

3D-Druck in der Anwendung

10. Mitteldeutsches Forum

Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur

HTWK Leipzig

14. Juni 2023

T A G U N G S B A N D

HTWK

Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig



Veranstalter:

HTWK

Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig



Mitteldeutsches Netzwerk Rapid Prototyping



Partner:



Das Organisationsteam um Prof. Peter Schulze, Prof. Jens Bliedtner, Günther Ganß, Dr. Marco Götze, Prof. Jörg Matthes und Kathrin Schaper-Thoma bedankt sich bei allen Referenten, Partnern und Unterstützern, die zum Gelingen der Veranstaltung beigetragen haben.

PLENARVERANSTALTUNG

Begrüßung Eröffnung der begleitenden Ausstellung	7
Tagungsleiter Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze, Professur Werkzeugmaschinen und Fertigung Fakultät ING, HTWK Leipzig	
Grußworte	8
Michael Kretschmer, Ministerpräsident des Freistaates Sachsen (CDU) Clemens Schülke, Bürgermeister und Beigeordneter für Wirtschaft Arbeit und Digitales, Stadt Leipzig Rektor Prof. Dr. rer. pol. Mark Mietzner, HTWK Leipzig	
Neuartige Biomaterialien durch biochemische Beschichtung	9
Prof. Dr. Annette Beck-Sickinger, Leipzig University, Institute of Biochemistry, Faculty of Life Science	
3D-Druck zur Herstellung individueller Arzneimittel	10
Prof. Dr. Julian Quodbach, Utrecht University	

SESSION 1: Medizintechnik & Biotechnologie

Moderation: Dr. Marco Götze

Anhydrid-haltige Oligomere für die Vernetzung von Gelatine und Chitosan beim 3D-Druck	22
Julia Matros, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, PTB	
Development of marine sponge inspired 3D printed scaffolds for implants and tissue engineering applications	24
Dr. Yuliya Khrunyk, Leipzig University, Faculty of Life Science	
Elastin als Bestandteil von Biotinen und dessen Verwendung für die Herstellung von 3D-Biomaterialkompositen zur Gefäßnachbildung	25
Tobias Hedtke, Fraunhofer IMWS	
A Peptide-Based Antimicrobial Coating For Biomaterials	26
Dennis Böhner, Leipzig University, Faculty of Life Science	

SESSION 2: Metalle & Polymere

Moderation: Dietmar Glatz

Architekturmodelle und Landschaftsmodelle – sinnvoll mit additiven Verfahren fertigen	28
Gunther Bigl, Formicum 3D-Service GmbH	
Untersuchung der Effekte beschleunigter Bewitterung auf 3D-gedrucktes faserverstärktes Polyethylen-Terephthalat (PET)	29
Philipp Johst, Fakultät ING, HTWK Leipzig	
Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile	36
Georg Trench, Schweißtechnische Lehr- & Versuchsanstalt Halle GmbH	
Die Verarbeitung von 1.4542 mit powder bed fusion – Herausforderungen und Ergebnisse	46
Hans-Werner Theobald, 3D-Metall Theobald e.K. Prof. Dr.-Ing Paul Rosemann, Fakultät ING, HTWK Leipzig	

SESSION 3: Energie & Nachhaltigkeit

Moderation: Constance Möhwald

Die Rolle der Bioökonomie in Sachsen und Potentiale der additiven Fertigung	48
Karoline Fürst, DBFZ gemeinnützige GmbH, Institution	
Regenerieren mit Laser und Draht – ressourcenschonend und innovativ	53
Dr.-Ing Tobias Gustmann, OSCAR Plasma Laser Technologie GmbH	
SAMSax – ein Reallabor für nachhaltige additive Fertigung	59
Dr.-Ing. Lisa Kühnel, TU Freiberg, IMKF	
3D-Druck als nachhaltige Technologie – Eine Bestandsaufnahme	66
Dr. Kerstin Michalke, Ernst-Abbe-Hochschule Jena	

SESSION 4: Mikro bis Makro

Moderation: Prof. Jens Bliedtner

Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM	76
Laura Römer, Hochschule Mittweida, LHM	
Granulatbasierte additive Fertigung von keramischen Bauteilen	83
Toni Wille, Ernst-Abbe-Hochschule Jena	
Kunststoffpulver aus Arbeitsschutzperspektive: ein blinder Fleck im SLS?	90
Erik Wöller, DermaPurge GmbH	

SESSION 5: KI im 3D-Druck | Simulation | Prozessmonitoring | Qualitätssicherung

Moderation: Prof. Jörg Matthes

OpticalCoherence Tomography and ist application for quality evaluation and control in 3D printing processes - examples	99
Dr.-Ing. habil. Molgorzata Kopycinska-Müller, Fraunhofer IKTS	
Qualitätssicherung von 3D-Druck-Bauteilen mittels halbautomatisierter Computertomographie-Analyse	100
Andreas Krombholz, Fraunhofer IMWS	
Integrierter 3D-Prozess zur optimalen Bahnplanung und -simulation der WAAM-Technologie	110
Koteswararao Gattupalli, ARC Solutions GmbH Albert Aparisi Escriva, GEFERTEC GmbH	

SESSION 6: Präzision im 3D-Druck

Moderation: Prof. André Streek

Einfluss von Transformationsfehlern und Vektorabweichungen auf 3D-gedruckte Prägeformen	120
Kilian Menzel, Fakultät IM, HTWK Leipzig	

Modelle und Methoden für eine schnelle und präzise Querschnittsbestimmung von Hochlast-Carbongarnen	130
Erik Knoch, IfB, HTWK Leipzig	
Grenzen des 3D-Drucks am Beispiel akustisch wirksamer Strukturen	145
Philipp Zimmermann, Forschungs- und Transferzentrum Leipzig e.V.	

PLENARVORTRAG & VERABSCHIEDUNG

Hydra 3D, ein 7-achs 3D-Drucker für faserverstärkte Bauteile	159
Dietmar Glatz, FBZ e.V. Merseburg	
Übergabe Staffelstab 3D-Druck Forum	160
Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze, Fakultät ING, HTWK Leipzig	

FIRMENPRÄSENTATIONEN

Andreas Maier GmbH & Co. KG	162
AMICO - FFLEX@HTWK Leipzig	163
ARC Solutions GmbH	163
DAVOSCAN GmbH	164
DermaPurge GmbH	164
DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum	165
EAH Jena	165
Gefertec GmbH	166
Institut für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf	166
Institut für Betonbau IfB der HTWK Leipzig	166
Laserinstitut Hochschule Mittweida	167
Mittelstand-Digital Zentrum Ilmenau	167
OSCAR PLT GmbH	168
TU Bergakademie Freiberg	168
SAMSax Nachhaltige additive Fertigung in Sachsen, TU Bergakademie Freiberg	169
Utrecht University	169

PLENARVERANSTALTUNG

Tagungsleiter und Moderation: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
HTWK Leipzig

Begrüßung & Eröffnung der begleitenden Ausstellung

Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze

*Professur Werkzeugmaschinen und Fertigung
Fakultät ING, HTWK Leipzig*

Grußworte

Michael Kretschmer

Ministerpräsident des Freistaates Sachsen (CDU)

Clemens Schülke

*Bürgermeister und Beigeordneter für Wirtschaft,
Arbeit und Digitales, Stadt Leipzig*

Prof. Dr. rer. pol. Mark Mietzner

Rektor HTWK Leipzig

Neuartige Biomaterialien durch biochemische Beschichtung

Prof. Dr. Annette Beck-Sickinger

Leipzig University, Institute of Biochemistry, Faculty of Life Sciences

3D-Druck zur Herstellung individueller Arzneimittel

Prof. Dr. Julian Quodbach

Utrecht University

3D-Druck zur Herstellung individueller Arzneimittel

Quodbach, Julian
assistant professor

Agenda

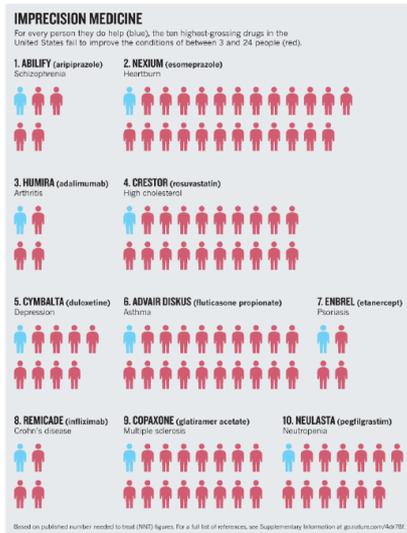
1. Hintergründe und Motivation
2. Einschränkungen
3. Möglichkeiten
4. Anwendungsorte
5. Probleme

7-6-2023 2

Motivation



7-6-2023 3



Schork, Nicholas. 2015. "Personalized Medicine: Time for One-Person Trials." *Nature* 520(7549): 609–11.

Therapeutischer Erfolg?

Unerwünschte Arzneimittelwirkungen

- 16 % von Hospitalisierungen direkt oder mittelbar auf UAWs zurückzuführen [1]
- 21 % aller Wiederaufnahmen auf UAWs zurückzuführen, davon 70 % vermeidbar [2]

Compliance?

- Chronische Erkrankungen: 55 % [3]

1. Osanlou R, Walker L, Hughes DA, et al. *BMJ Open* 2022;12:e055551. doi: 10.1136/bmjopen-2021-055551
2. Patel PB, Patel TK. *European Journal of Clinical Pharmacology*. 2019/09/01 2019;75(9):1293-1307
3. Fernandez-Lazaro CI, García-González JM, Adams DP, Fernandez-Lazaro D, Mielgo-Ayuso J, Caballero-García A, et al. *BMC Family Practice*. 2019;20(1):132.



Personalisierte Medizin

- Alter
- Geschlecht
- Komorbiditäten
- biologische Datenbanken
Genom, Proteom, Metabolom, ...

} Falls noetig:
Stratifizierung der Patienten bis n = 1

Der richtige Wirkstoff in der richtigen Dosierung zur richtigen Zeit.
(mit dem richtigen Freisetzungsprofil?)

Personalisierte Medizin

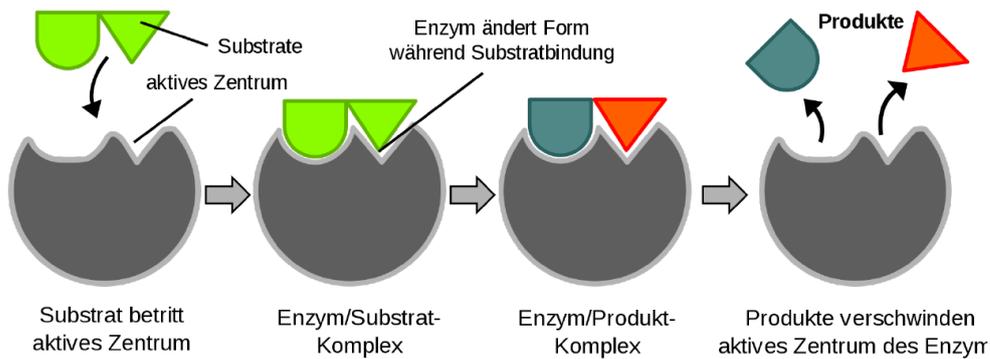
- Alter
- Geschlecht
- Komorbiditäten
- biologische Datenbanken
Genom, Proteom, Metabolom, ...

Falls noetig:
Stratifizierung der Patienten bis n = 1

Der richtige Wirkstoff in der richtigen Dosierung zur richtigen Zeit.
(mit dem richtigen Freisetzungsprofil?)

7-6-2023 7

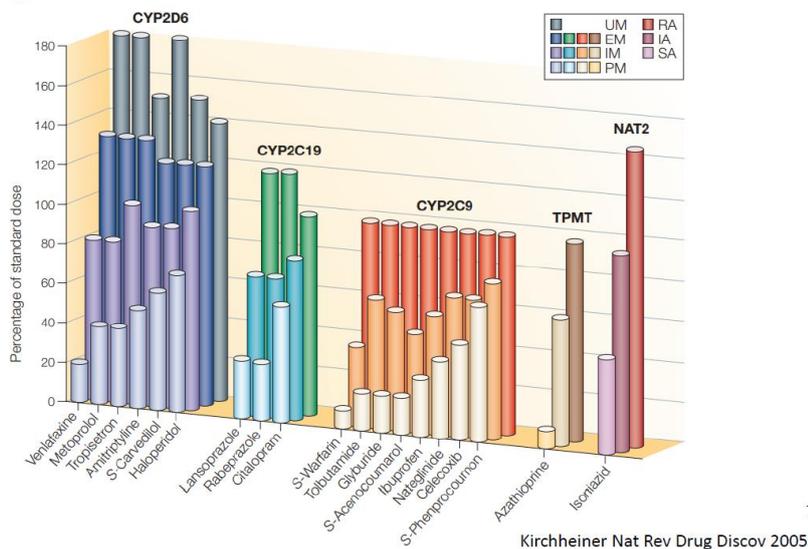
Pharmakogenetik – Metabolisierung von Arzneimitteln



Wikipedia.de

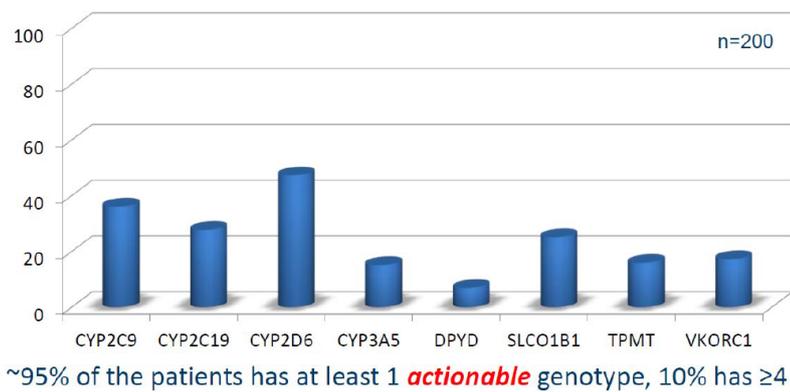
7-6-2023 8

Pharmakogenetik



7-6-2023 9

Pharmakogenetik



Bank Eur J Hum Genet. 2019

slide courtesy to Jesse Swen

Pre-emptive Pharmacogenomic Testing for Preventing Adverse Drug Reactions PREPARE Studie

- 2 Gruppen
- genotype-guided treatment n = 3342
- standard care n = 3602
- Genotypisierung von 12 Enzymen
- 42 Wirkstoffe zu Studienbeginn
- Dosisanpassung zur nächsten verfügbaren Dosis
- Anzahl klinisch relevanter Nebenwirkungen
- 25,2 % mit "actionable" Genotyp (n = 1558) für betrachtete Wirkstoffe

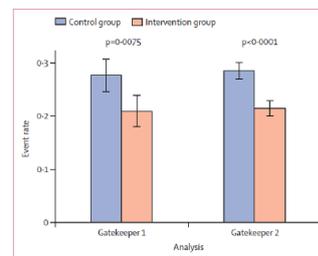


Figure 3. Frequency of causal clinically relevant adverse drug reactions in patients with an actionable test result

actionable test result was 132 (41%) of 323 in the study group and 231 (28%) of 833 in the control group. The study intervention significantly reduced adverse drug reaction risk by 30% (odds ratio [OR] 0.70 [95% CI 0.54-0.91]; $p=0.0075$). In the second gatekeeping analysis, which included all groups, the prevalence of the

Swen JJ, van der Wouden CH, Manson LEN, et al. A 12-gene pharmacogenetic panel to prevent adverse drug reactions... The Lancet. 2023;401(10374):347-356. doi:10.1016/S0140-6736(22)01841-4





Motivation

Unterversorgung von Kindern und Alten aufgrund von mangelnder Verfügbarkeit geeigneter Arzneiformen und Dosierungen

Zwischenfazit

Präzisionsmedizin wird sich durchsetzen

Therapeutische und finanzielle Anreize

Herstellung individualisierter Arzneimittel?



> 1 Mio. Tabletten / h



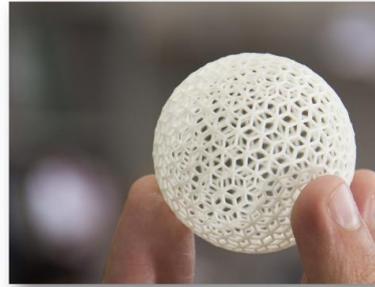
geringer Durchsatz, manuell

7-6-2023 15

3D-Druck / Additive Fertigung

... ist eine umfassende Bezeichnung für alle Fertigungsverfahren, bei denen Material Schicht für Schicht aufgetragen wird, um dreidimensionale Gegenstände (Werkstücke) zu erzeugen.

-wikipedia.de



7-6-2023 16

Einschränkungen

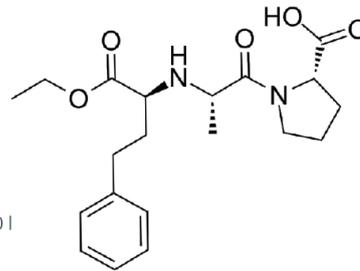
Thermolabilität

Löslichkeit

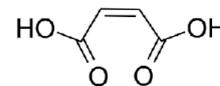
Materialauswahl

Reaktivität

Ketoconazol
wasserlösl., 20 °C: 0,29 mg/l
tägl. Dosis: 400 – 1200 mg
Wassermenge: 1.400 l – 4.100 l



Fenofibrat
wasserlösl., 25 °C: 0,42 mg/l
tägl. Dosis : 200 mg
Wassermenge : 480 l



Marmor
wasserlösl., 25 °C: 0,014 mg/l

7-6-2023 17

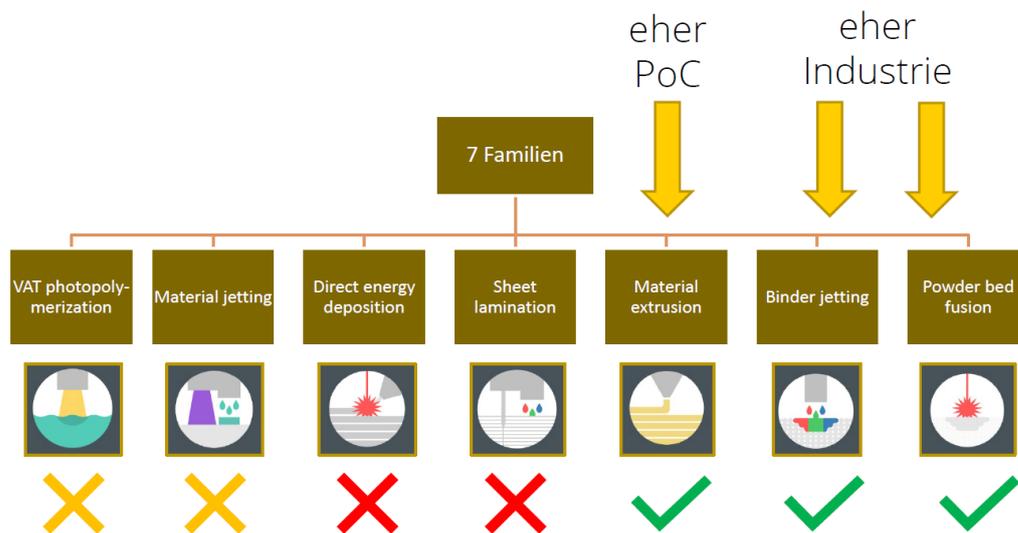
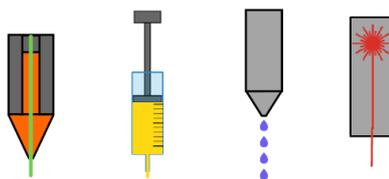


image clippings from 3dhubs.com

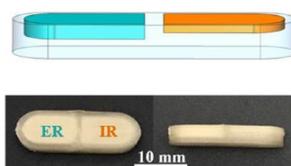
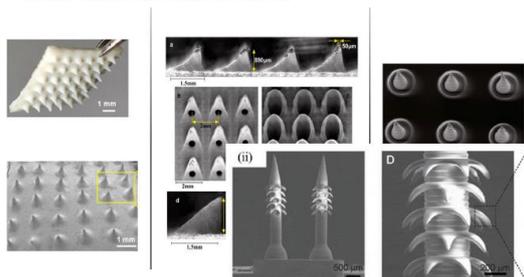
7-6-2023 18



	FDM	SSE	BJ	SLS
Materialauswahl	0/-	+	+	?
Wirkstoffbeladung	0	+	+	?
Thermische Belastung	-	+	+	-/0
Lösemittel	+	-	-	+
Multi-Materialdruck	+	+	?	-
Post-Processing	+	0	0	0
Entwicklungsaufwand	0	+	0	+
Rezirkulation von Material	+	+	-	-
Verfügbarkeit Equipment	+	+	-	-

7-6-2023 19

Möglichkeiten

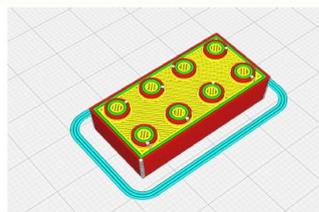
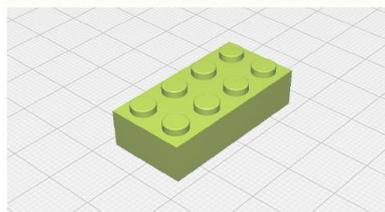


Pietrzak K, Isreb A, Alhnan M. EJPB. 2015;96:380-7.
 Arafat B, Qinna N, Cieszyńska M, Forbes RT, Alhnan MA. EJPB. 2018;128:282-9.
 Zheng Y, Deng F, Wang B, Wu Y, Luo Q, Zuo X, et al. Int J Pharm. 2021;602:120639.
 Elahpour N, et al. F. Int J Pharm. 2021;597:120301. 7-6-2023
 Melocchi A, et al. Journal of Pharmaceutical Sciences. 2020.
 Rajesh et al., JACS AU, 2022; <https://doi.org/10.1021/jacsau.2c00432>

20

Möglichkeiten

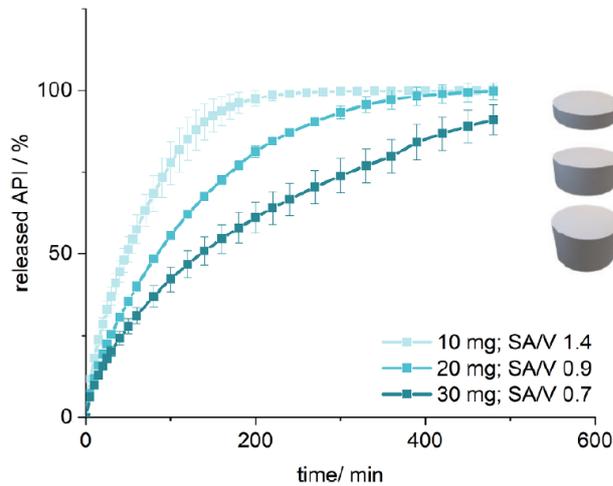
Vereinfachte Prozess- und Produktentwicklung



7-6-2023 21

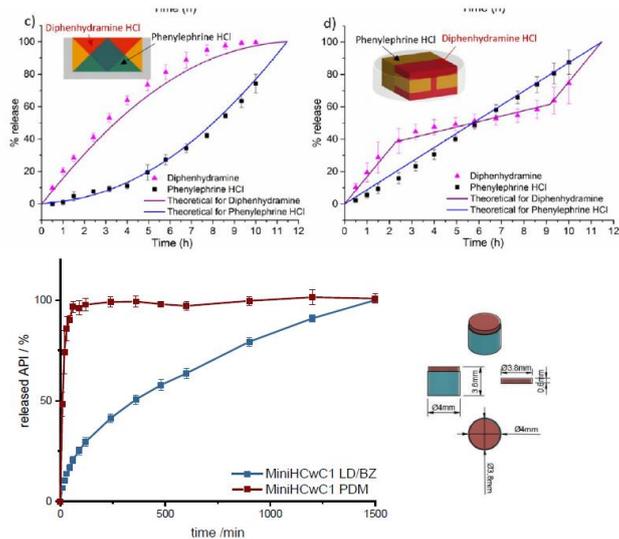
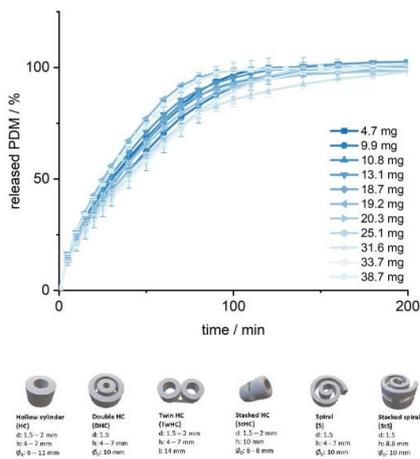
Möglichkeiten

Effekt und Sicherheit von Arzneimitteln hängen u.a. vom Freisetzungverhalten ab.



7-6-2023 22

Möglichkeiten



Tan Y, et al., J Contr. Rel., 322, 2020, 42-52

Windolf, H., R. Chamberlain and J. Quodbach (2022). "International Journal of Pharmaceutics" 616: 121555.

Windolf, H., R. Chamberlain, J. Breitkreutz and J. Quodbach (2022). "Pharmaceutics"

7-6-2023 23

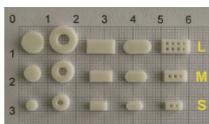
Clinical supply und größere Chargen



Apceia Pharmaceuticals - binder jetting
FDA Zulassung für Spritam[®]



Triastek - melt extrusion deposition



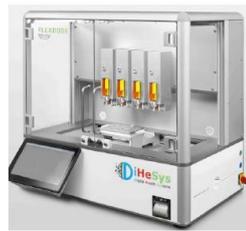
Laxxon Medical - 3D screen printing

7-6-2023 24

Equipment



FabRx, UK



DiHeSys, D



VitaeIndustries, USA



Doser, NL



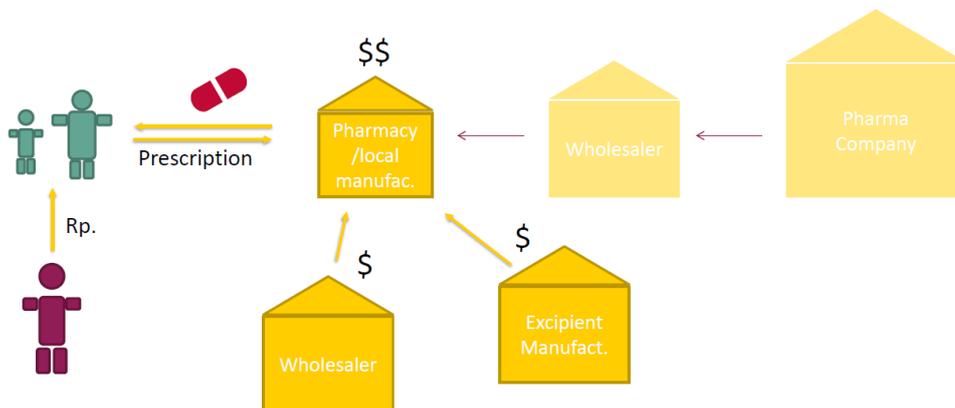
CurifyLabs, FI

goatAM, D

Semisolid Extrusion -
verschiedene Hersteller

7-6-2023 25

Probleme - Disruption



7-6-2023 26

Probleme

- Studienlage
- keine / wenige GMP-fähigen Geräte
- rechtliche Fragestellungen Abseits Rezepturherstellung
- Echtzeitfreigabe

7-6-2023 27

Zusammenfassung

- Präzisionsmedizin wird sich durchsetzen
- Technologien sind ausgereift (in anderen Industrien)
- Eine Formulierung, flexible Dosierung, hohe Stabilität
- Individualisierung auf Knopfdruck
- Teil-Automatisierung und Arbeitsschutz

7-6-2023 28



Utrecht
University

Sharing science,
shaping tomorrow

Assistant prof. Julian Quodbach
Department of Pharmaceutics
Utrecht Institute of Pharmaceutical Sciences
Utrecht University

j.h.j.quodbach@uu.nl

Danksagung

Hellen Windolf
Rebecca Chamberlain
Wessel Kooijman

SESSION 1

Medizintechnik & Biotechnologie

Moderation: Dr. Marco Götze
Hochschule Merseburg

Anhydrid-haltige Oligomere für die Vernetzung von Gelatine und Chitosan beim 3D-Druck

Julia Matros

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, PTB



Anhydrid-haltige Oligomere für die Vernetzung von Gelatine und Chitosan beim 3D-Druck

Julia Matros

Julia.matros@uni-duesseldorf.de

Arbeitskreis Jun.-Prof. Dr. Michael Hacker
Institut für Pharmazeutische Technologie & Biopharmazie

hhu.de

Anhydrid-haltige Oligomere für die Vernetzung von Gelatine und Chitosan beim 3D-Druck



Ziel

- Formulierung von druckbaren Biotinten aus
 - 1) natürlichen Biopolymeren, vorzugsweise Gelatine (einschließlich niedermolekularer Gelatine (Imagel®)) und Chitosan, und
 - 2) synthetischen Anhydrid-haltigen Oligomeren für deren kovalente Vernetzung per Amin-Anhydrid-Konjugation (Loth T, et al. Biomacromolecules. 2014;15:2104-2118)
- Druck des schnell-gelierenden Zweikomponenten-Hydrogels in einem kontinuierlichen Herstellungsprozess und gleichzeitige Einbettung lebender Zellen, die dann vermehrt und differenziert werden können.



Erstellt mit BioRender.com

Entwicklung der Oligomere und Zusammensetzungen

- Zusammensetzungen (Comonomere und Anhydridgehalt) der Anhydrid-haltigen Oligomere wirken sich auf Eigenschaften und Verarbeitbarkeit des Hydrogels aus
 - Erste Generation: Hydrophob → Verarbeitung erfordert den Einsatz eines Lösungsmittels, wodurch keine direkte Einbettung von Zellen möglich ist (Krieghoff J, et al. Biomedicines. 2021;9:370)
 - Aktuelle Generation: Hydrophiler → Zytokompatible Formulierungen, die eine direkte Einbettung erlauben (Nawaz HA, et al. J. Mater. Chem. B. 2021;9:2295-2307)

2

hhu.de

Anhydrid-haltige Oligomere für die Vernetzung von Gelatine und Chitosan beim 3D-Druck



Prinzip

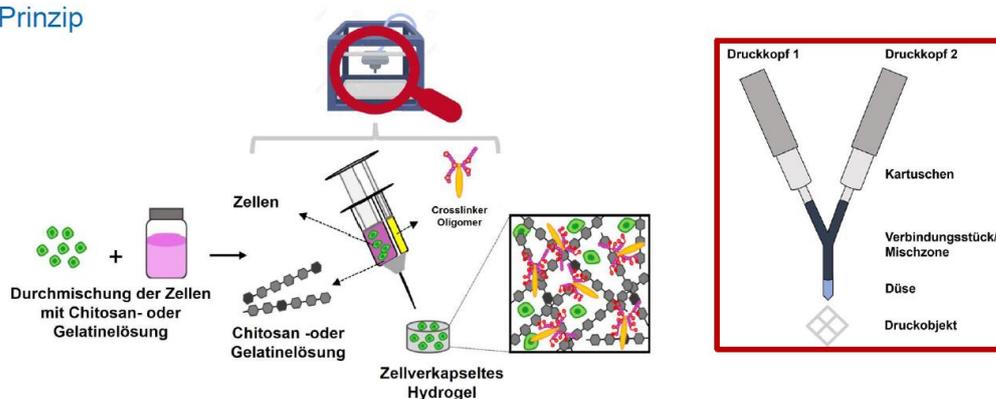


Illustration des Konzepts eines zellbeladenen Zweikomponenten-Hydrogels aus Chitosan bzw. Gelatine und Anhydrid-haltigem Oligomer (modifiziert) [1]

[1] Maqsood, I.: Injectable oligomer-cross-linked Chitosan hydrogels and nanocomposites (Dissertation), Universität Leipzig, 2020.

3

hhu.de

Development of marine sponge inspired 3D printed scaffolds for implantats and tissue engineering applications

Dr. Yuliya Khrunyk

Leipzig University, Faculty of Life Sciences

Elastin als Bestandteil von Biotinten und dessen Verwendung für die Herstellung von 3D-Biomaterialkompositen zur Gefäßnachbildung

Tobias Hedtke

Fraunhofer IMWS

A Peptide-Based Antimicrobial Coating For Biomaterials

Dennis Böhner

Leipzig University, Faculty of Life Sciences

SESSION 2

Metalle und Polymere

Moderation: Dietmar Glatz

FBZ Merseburg

Architekturmodelle und Landschaftsmodelle – sinnvoll mit additiven Verfahren fertigen

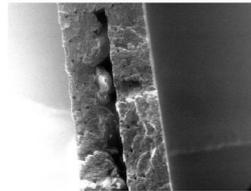
Gunther Bigl

Formicum 3D-Service GmbH

Untersuchung der Effekte beschleunigter Bewitterung auf 3D-gedrucktes faserverstärktes Polyethylen-Terephthalat (PET)

Philipp Johst

Fakultät ING, HTWK Leipzig



Untersuchung der Effekte von Bewitterung auf 3D-gedrucktes unverstärktes und faserverstärktes Material

Autor*innen: P. Johst^a, D. Seibert^a, D. P. Hedayati^a, L. Kube^b, A. Berlich^c, S. Blanke^c, S. Roßberg^a, W. Zschiesch^a, M. Kucher^a, R. Böhm^a

Kontaktinformationen:

a: Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK-Leipzig), Fakultät Ingenieurwissenschaften – Forschungsgruppe Leichtbau mit Verbundwerkstoffen, Karl-Liebknecht-Straße 132, Leipzig 04277, Deutschland;

b: Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK-Leipzig), Fakultät Ingenieurwissenschaften – Forschungsgruppe Hybride und Generative Fertigungstechnologien, Karl-Liebknecht-Straße 132, Leipzig 04277, Deutschland;

c: Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK-Leipzig), Mathematisch-Naturwissenschaftliches Zentrum (Chemie), Karl-Liebknecht-Straße 132, Leipzig 04277, Deutschland;

Präsentatoren: philipp.johst@htwk-leipzig.de, dimitrij.seibert@stud.htwk-leipzig.de

7. JUNI 2023

Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm

Gliederung

1. Motivation und Problemstellung

2. Berücksichtigung Werkstoffdegradation im Auslegungsprozess

Theorie

3. Versuchsdesgin

Praxis

Hauptteil

4. Vorläufige Ergebnisse der Bewitterungsversuche

5. Diskussion und Fazit

2 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

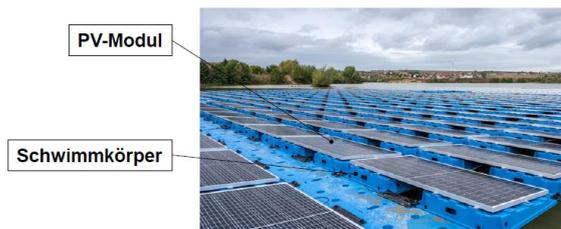
Literatur: Cazzaniga et al. (2018), Temiz & Javani (2020), Da Fimentel Silva et al. (2016), Frey et al. (2022)

1. Motivation und Zielstellung

- Möglichkeit des weiteren Ausbaus regenerativer Energien sind **PV-floating Anlagen**
- **Vorteile** - geringere Wasserverdunstung, höherer Wirkungsgrad, Einsparung von Nutzfläche an Land
- Zusammensetzung aus *schwimmender Unterbaukonstruktion* und dem daran befestigten *PV-Modul*



Bildquelle: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/solarenergie/solaranlage-schwimmende>



Bildquelle: <https://www.energynet.de/2021/06/10/schwimmende-photovoltaikanlagen/>

3 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

1. Motivation und Zielstellung

- Fertigung von Schwimmkörpern mittels geeigneter **3D-Drucktechnologie** am Einsatzort
 - *Entfall von Logistikwegen*, da kein Import aus anderen Ländern notwendig
 - *Vermeidung* logistik- und transportbedingter *Umweltbelastungen*; *Reduktion Energieaufwendungen*
 - *Geringere Kosten* bis zu mittleren Stückzahlen im Vergleich zu konv. Herstellungsverfahren

- **Materialauswahl** – Beachtung der *Recyclingfähigkeit* und *Umweltaspekte*
 - Schlüsselbereich für die Erreichung der Ziele des Green Deals im Bereich des Umweltschutzes ist der Übergang in die Kreislaufwirtschaft → *Recyclingfähigkeit*

2. Berücksichtigung Werkstoffdegradation im Auslegungsprozess

- Schwimmkörper ist im Betrieb einer Langzeitbelastung durch Bewitterung (*Feuchtigkeit, UV-Strahlung, ...*) ausgesetzt, die zur Schädigung des Werkstoffs führen können
- Infolge dieser Schädigung kommt es zu einer negativen Veränderung der mechanischen Kennwerte (= Degradation)
- Um sichere und dauerhafte Leistung des Schwimmkörpers zu gewährleisten, muss die Auswirkung der Bewitterung auf den Werkstoff im Auslegungsprozess berücksichtigt werden
- Berücksichtigung mittels verschiedener Methoden:
 - Werkstoffauswahl
 - Beschichtung
 - Inspektion
 - Prüfung mittels Experimenten → Bestimmung Widerstandsfähigkeit und Schädigungsverhalten der Werkstoffe unter dem Einfluss von Bewitterung

3. Versuchsdesign – Materialauswahl

PET
Polyethylenterephthalat

OC(=O)c1ccc(cc1)C(=O)OCC()


Bildquelle: <https://packaging-journal.de/pet-faschen-recycling-beispiele/>

Kurzfaser:
0,1 – 1 mm

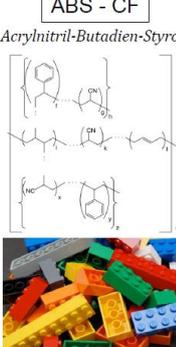
Langfaser:
1 – 50 mm

Endlosfaser:
> 50 mm



Faserverbund

ABS - CF
Acrylnitril-Butadien-Styrol



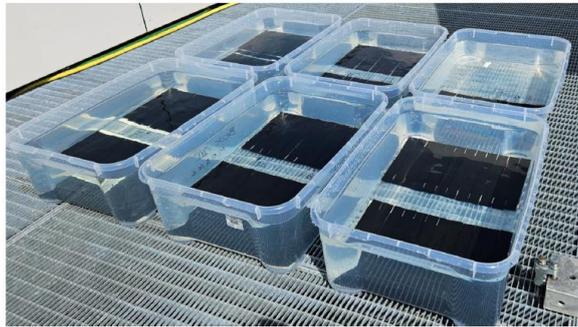
Bildquelle: <https://hackaday.com/2019/12/11/abs-free-plastics-in-one/>

3. Versuchsdesign – Bewitterungsversuche

Klimazone: Gemäßigte Zone (Deutschland)



Natürliche Bewitterung

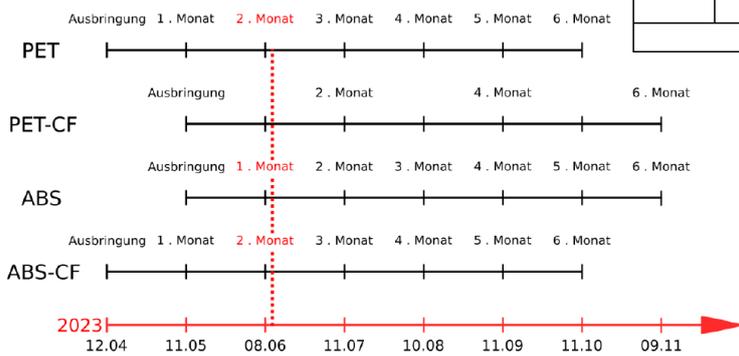


Permanenter Süßwassereinfluss

7 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

3. Versuchsdesign – Versuchsplanung



Prüfungstyp	Entnahme je Monat		Probengesamtanzahl
	Referenz (einmalig)		
	7		28
Natürliche Bewitterung	7		168
Unter Wasser	6		144
Summe			340

8 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

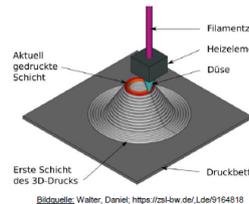
HITWK

3. Versuchsdesign – 3D-Druck der Probekörper



Bildquelle: <https://de.farnell.com/ultimaker/ultimaker-s5/3d-drucker-330mm-x-240mm-x-300mm/sp/2392573>

- Fertigung mittels FFF-Drucker



Bildquelle: Walter, Daniel; <https://zsl-bw.de/Lae9164618>

- Probekörper (DIN 527-3)



- Schichtdicke: 0,2 mm
- Düsentemp.: 240 °C bis 260 °C
- Druckbetttemp.: 70 °C bis 110 °C
- Druckgeschwindigkeit: 3000 mm/min

9 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

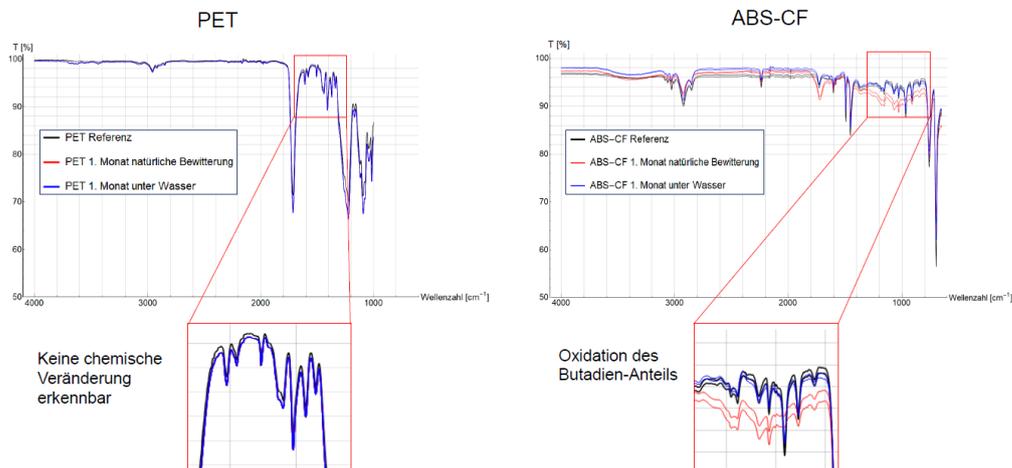
HITWK

3. Versuchsdesign – Prüfungen nach der Bewitterung

- Zerstörende Prüfmethode
 - Zugversuch nach *DIN 527*
- Zerstörungsfreie Prüfmethode (ZfP)
 - IR-Spektroskopie
 - REM



4. Vorläufige Ergebnisse – IR-Spektroskopie



4. Vorläufige Ergebnisse – Zugversuch ABS-CF & PET

ABS-CF

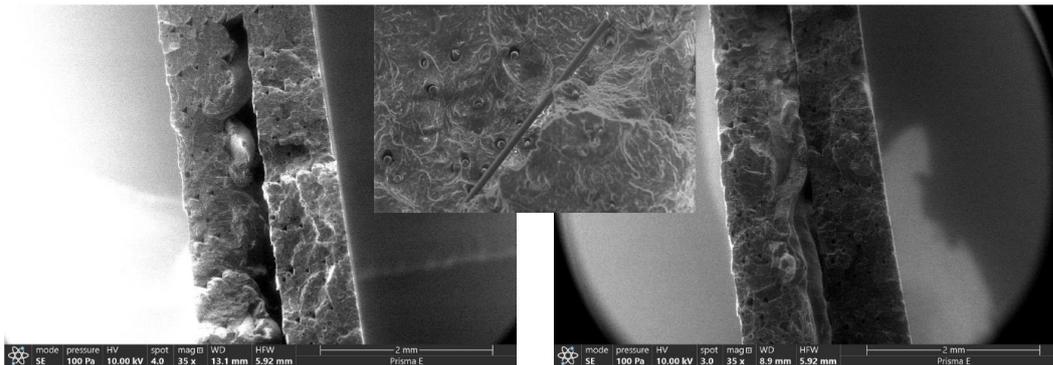
Monat	Prüfungstyp	E_t [MPa]	σ_m [MPa]	ε_m [%]	σ_b [MPa]	ε_b [%]
0	Referenz	2809	39,3	1,9	31,8	1,8
1	Natürliche Bewitterung	2831	37,3	1,8	35,1	1,8
	Unter Wasser	2701	36,0	1,9	32,5	1,8

PET

Monat	Prüfungstyp	E_t [MPa]	σ_m [MPa]	ε_m [%]	σ_b [MPa]	ε_b [%]
0	Referenz	3004	68,5	2,7	68,5	2,7
1	Natürliche Bewitterung	2926	67,0	2,8	67,0	2,8
	Unter Wasser	2902	61,1	2,5	61,1	2,5

4. Vorläufige Ergebnisse – REM

Schadensverhalten ABS-CF unter Wasser



13 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

5. Diskussion und Fazit

- Berücksichtigung der Effekte von Bewitterung auf qualitative und quantitative Merkmale 3D-gedruckter Werkstoffe auf unterschiedlichen Skalenebenen



Ausblick:

- Weitere Durchführungen natürlicher Bewitterung bis 6. Monat
- Verknüpfung der Effekte natürlicher Bewitterung mit den Effekten beschleunigter Bewitterung (Witterungsbox)

14 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Ausgewählte Literatur

- Böhm, Robert (2008): Beitrag zur bruchmodebezogenen Beschreibung des Degradationsverhaltens textilverstärkter Verbundwerkstoffe. Dissertation. Technische Universität, Dresden. Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, zuletzt geprüft am 31.05.2023.
- Cazzaniga, R.; Cicu, M.; Rosa-Clot, M.; Rosa-Clot, P.; Tina, G. M.; Ventura, C. (2018): Floating photovoltaic plants: Performance analysis and design solutions. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 81, S. 1730–1741. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.269.
- Da Pimentel Silva, Gardenio Diogo; Branco, David Alves Castelo (2018): Is floating photovoltaic better than conventional photovoltaic? Assessing environmental impacts. In: *Impact Assessment and Project Appraisal* 36 (5), S. 390–400. DOI: 10.1080/14615517.2018.1477498.
- Ehrenberg-Sillies, Simone; Kind, Sonja; Jetzke, Tobias; Bovenschulte, Marc (2015): Additive Fertigungsverfahren / 3D-Druck. Anwendungen und Potenziale. VDI/VDE Innovation + Technik GmbH. Online verfügbar unter <https://vdvde-it.de/sites/default/files/document/additive-fertigungsverfahren-3d-druck-2017.pdf>, zuletzt geprüft am 31.05.2023.
- European Commission (2023): A European Green Deal: Striving to be the first climate-neutral continent. Europe's New Growth Strategy - A climate-neutral EU by 2050. Online verfügbar unter https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en, zuletzt aktualisiert am 13.04.2023, zuletzt geprüft am 13.04.2023.
- Fath, Andreas (2019): Mikroplastik. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Frey, Michael; Hager, Gerd; Jenssen, Till; Kienzlen, Volker; Schmidt, Maïke (2022): Photovoltaik erfolgreich gestalten: Richard Boorberg Verlag GmbH & Co KG.
- Lindemann, Christian; Koch, Rainer (2016): Cost Efficient Design and Planning for Additive Manufacturing Technologies. In: *Solid Freeform Fabrication 2016: Proceedings of the 27th Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference*, S. 93–112. Online verfügbar unter <http://utw10945.utweb.utexas.edu/sites/default/files/2016/007-Lindemann.pdf>, zuletzt geprüft am 31.05.2023.
- Schürmann, Helmut (2007): Konstruieren mit Faser-Kunststoff-Verbunden. 2., bearb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer (VDI-Buch).
- Temiz, Mert; Javani, Nader (2020): Design and analysis of a combined floating photovoltaic system for electricity and hydrogen production. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 45 (5), S. 3457–3469. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2018.12.226.

15 Fakultät Ingenieurwissenschaften, Leichtbau mit Verbundwerkstoffen Prof. Böhm vertreten durch P. Johst und D. Seibert
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Danksagungen

- Gefördert durch die **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)** - Projektnummer 498129749.
- An Herrn **Dipl.-Ing. Peter Jakob** – *HTWK Leipzig, Fakultät Ingenieurwissenschaften* - für die Unterstützung bei zerstörenden Prüfmethode(n) (Zugversuche).

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Georg Trenschr

*Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalt Halle
GmbH*

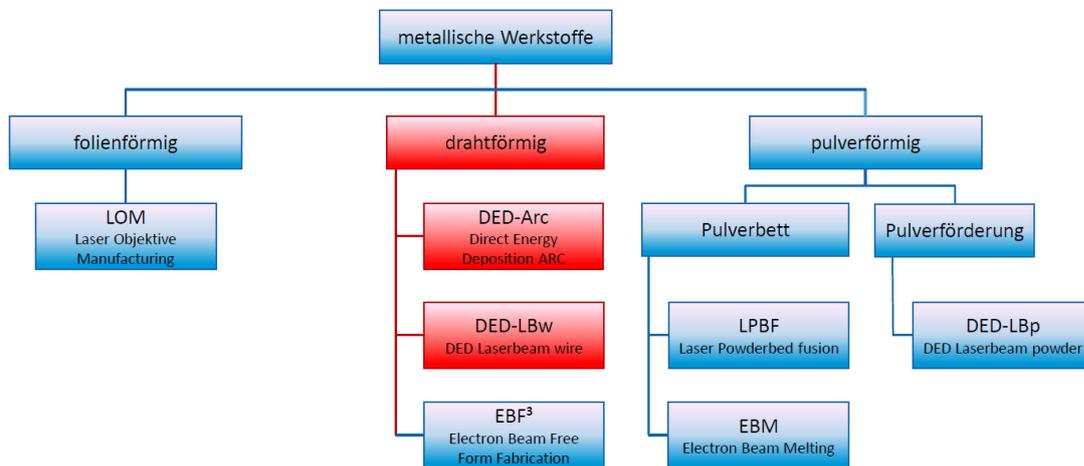


10. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck in der Anwendung

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

B. Eng., IWE Georg Trench
SLV Halle GmbH

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile



Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Vorteile der drahtbasierten gegenüber pulverbasierter Additiver Fertigung:

- geringerer Materialverbrauch & höhere Effizienz
 - 100% des Drahtes werden aufgetragen
 - bei pulverbasierten Verfahren gehen ca. 10-20% verloren
 - Höhere Dichte, als beim LPBF
- höhere Abschmelzleistung = höhere Verarbeitungsgeschwindigkeiten
- Arbeitsschutz (Pulverhandling)

EBF³ - Electron Beam Free Form Fabrication



Quelle: NASA

DED-Arc – Direkt Energy Deposition with Arc



Quelle: SLV Halle

DED-LBw – Direkt Energy Deposition with Laserbeam and wire



Quelle: IWS Dresden

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

DED-Arc – Direct Energy Deposition with Arc = Lichtbogen-Draht-Auftragsschweißen



Quelle: RAMLAB

- Einsatz von energiearmen Kurzlichtbögen, zur reduzierten Energieeinbringung (z.B. Fronius CMT)
- spezielle Zusammenstellung von Kennlinien und Schutzgasen für schmale, hohe Raupen und geringerem Einbrand
- Auftragsrate: 4 kg/h bis 15 kg/h
- Anlagenlayout: Portalachsen oder Robotersystem
- Einsatz: Volumen generieren, Verschleißschutz, Reparatur

Prinzipdarstellung Fronius CMT Prozess:



Quelle: Fronius

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Anwendungsbeispiele DED-Arc

Prototypenbau / Werkzeugbau

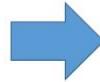
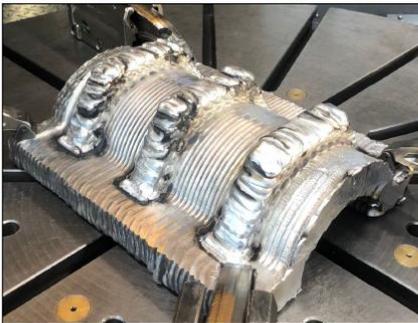
Halbschale eines RTM-Werkzeuges aus 3.3548 (EN AW-5083 / AlMg4,5Mn)

Bauzeit: 7 Stunden

Rohmaterialkosten: ca. 90€ (Stand 12/2022)

Masse: 9 kg

Abmessungen: 300 x 250 x 400 [mm] (BxHxT)



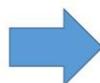
Quelle: SLV Halle

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Anwendungsbeispiele DED-Arc

Maschinenbau

- Herstellung einer Kastenkulisse des Drehgestells eines ICE der Deutschen Bahn



Aufbauzeit: 26 h
Gesamtzeitersparnis: 50%
(Vgl. konventionelles Gießen)

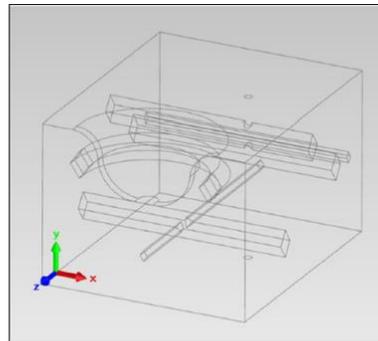
Quelle: GEFERTEC

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Anwendungsbeispiele DED-Arc

Formenbau – Bsp. Umformwerkzeuge:

- Integration von vertikal & horizontal verlaufende Kühlkanälen
- Können auch teilweise durch Kreuzungen miteinander verbunden sein



Gewicht: 9kg
Volumen: 1200cm³
Aufbaurrate: 230 cm³/h
Aufbauzeit: 5 h

Quelle: GEFERTEC

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Anwendungsbeispiele DED-Arc



2.0921 | CuAl8
Aluminiumbronze

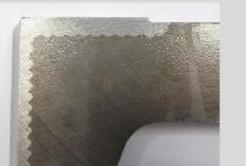


3.3548 | AL 5183 | AlMg4,5Mn | naturharte Aluminiumlegierung

Multi-Materialien



CrNi + CuAl8 (Bronze)



Duplexstahl + Baustahl

Quelle: GEFERTEC, Fit AG

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Zusammenfassung DED-Arc

Vorteile:

- geringe Prozesskosten
- gute Aufbauraten
- 100% Werkstoffausnutzung
- standardisierte Drahtwerkstoffe am Markt verfügbar
- hohe Werkstoffvielfalt
- Gefügeeigenschaften dem Grundwerkstoff überlegen
- kein Laserschutz / Laserschutzbeauftragter nötig

Nachteile:

- raue Oberflächenbeschaffenheit
- grobe Strukturauflösung
- eingeschränkte geometrische Komplexität
- Brenner nur in PA-Position

Wirtschaftliches additives Verfahren zur Generierung endkonturnaher Rohlinge mit mittlerer Komplexität

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

DED-Arc Ausstattung der SLV Halle



- GEFERTEC arc405**
- 5 Achsen simultan
 - Bauraum: 1m³
 - komplette Prozessüberwachung
 - aktives Temperaturmanagement



Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

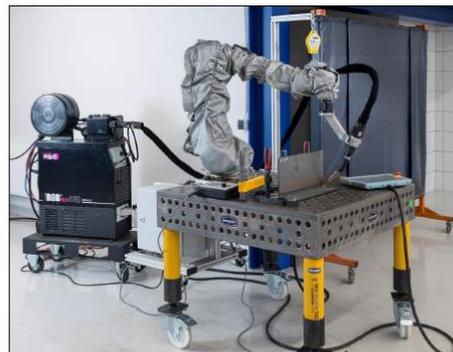
DED-Arc Ausstattung der SLV Halle



- Kuka KR15/2 mit Sinumerik CNC**
- 9 Achsen simultan
 - Bauraum: 15m³
 - 7m Linearachse
 - Lasertriangulationssensor

UniversalRobots UR10

- 6 Achs-Knickarmroboter
- Bauraum: 3m³
- geringe Anschaffungskosten & smarte Bedienung



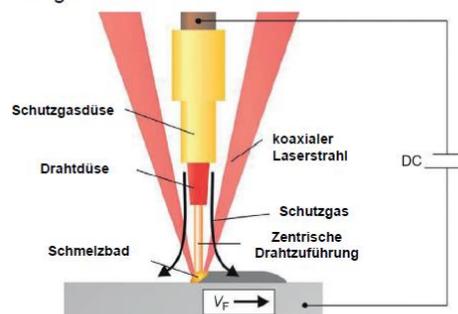
Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

DED-LBw – DED laserbeam and wire – Laser-Draht-Auftragschweißen

- laserbasiertes Wärmeleitschweißen mit geringem Einbrand und therm. Belastung des Substratmaterials
- Auftragsrate: bis 1 kg/h (Prototypen mit Multidraht auch bis zu 15 kg/h)
- Anlagenlayout: vorrangig Robotersystem, Portalachsensystem
- Einsatz: Instandsetzung, Verschleißschutz, Volumen generieren

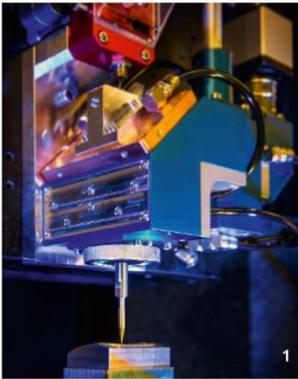


Quelle: IWS Dresden

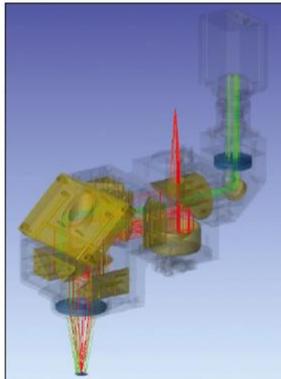


Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Gerätetechnik DED-LBw – DED laserbeam and wire



Bearbeitungskopf mit drahtförmigen Zusatzwerkstoff und koaxialer Drahtzufuhr



Strahlengang – Erzeugung eines Ringstrahls



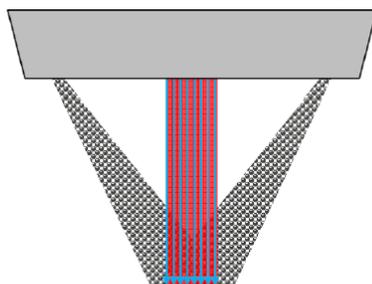
Bearbeitungsoptik COAXwire am Roboter

Quelle: ILT Aachen, IWS Dresden

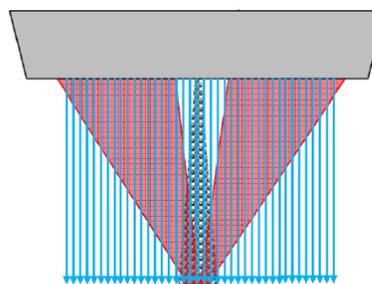
Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Gerätetechnik DED-LBw – DED laserbeam and wire

Zentraler Laserstrahl mit umlaufender Werkstoffzuführung



Koaxialer Laserstrahl mit zentraler Werkstoffzuführung



Quelle: OSCAR PLT

Methoden der additiven Fertigung

Gerätetechnik DED-LBw – DED laserbeam and wire

Vorteile des Koaxialen Aufbaus:

- maximale Flexibilität durch Anwendung von Pulver- und Drahtwerkstoffen
- richtungsunabhängiges Verfahren durch konstante Laserleistung ringförmig um den Zusatzwerkstoff
- hervorragende Schutzgasabdeckung

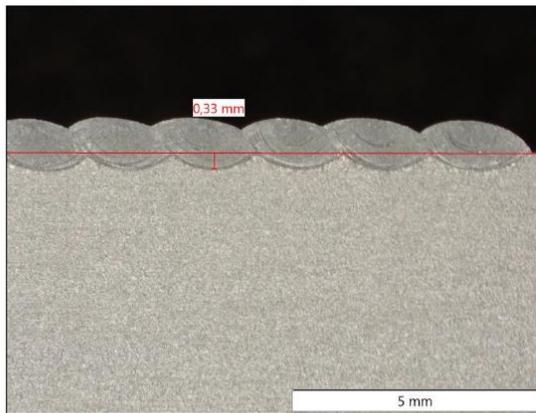


Quelle: OSCAR PLT

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Anwendungsbeispiele DED-LBw – DED laserbeam and wire

Auftragschweißen/Beschichtung einer Welle



Grundmaterial: 1.4301
Zusatzwerkstoff: 1.4316 (SG X2 CrNi19-9)
Schichtdicke: 0,9 mm



Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Anwendungsbeispiele DED-LBw – DED laserbeam and wire

Makroschliff & Härteverlauf eines dünnwandigen Zylinders



Grundmaterial: S235J2
Zusatzwerkstoff: 1.5125 (G3Si1)
Schichtdicke: 0,6 mm



Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Anwendungsbeispiele DED-LBw – DED laserbeam and wire

Demonstrator eines Propellers mit Durchstrahlungsprüfung



Grundmaterial: 1.4301 Zusatzwerkstoff: 1.4404 (316L)
Fertigungszeit: 3 Stunden

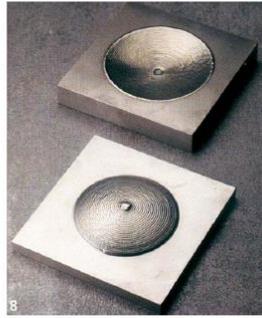


Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

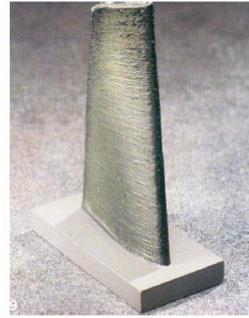
Anwendungsbeispiele DED-LBw – DED laserbeam and wire



Oberflächenbeschichtung auf Zylindern und Wellen



Oberflächenbeschichtung auf gekrümmten Oberflächen



Generieren von Nickel-Basis Schaufelrädern

Quelle: IWS Dresden

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Reparaturschweißen mittels DED-LBw – DED laserbeam and wire

Auftragschweißen zur Wiederherstellung der Maßhaltigkeit an verschleißbelasteten Bauteilen



Quelle: ALOtec Dresden



Quelle: SLV Halle

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Reparaturschweißen mittels DED-LBw – DED laserbeam and wire

Instandsetzung einer verschlissenen Schrägstirnwelle aus dem Tagebau



- Aufarbeitung eines Lagersitzes
- Auftragschweißen ohne Vorwärmung
- Schichthärte 46HRC

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Zusammenfassung DED-LBw – DED laserbeam and wire

Vorteile:

- 100% Werkstoffausnutzung
- standardisierte Drahtwerkstoffe am Markt verfügbar
- hohe Werkstoffvielfalt
- geringe Grundwerkstoffbeeinflussung
- vielfältige Bauteilgeometrien
- feine Oberflächenauflösung
- geringerer Nacharbeitsaufwand

Nachteile:

- hohe Geräteanschaffungskosten
- komplexe Bedienung
- Laserschutz + Laserschutzbeauftragter nötig
- Zugänglichkeit bei verwinkelten Bauteilen durch Baugröße Bearbeitungskopf

Wirtschaftliches additives Verfahren zur Oberflächenbeschichtung und Wiederherstellung verschlissener Geometrien mit mittlerer Komplexität.



24

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

DED-LBw Ausstattung der SLV Halle



ALOtec Roboteranlage mit OSCAR PLT ProFocus1000

- 6 Achs-Knickarmroboter mit Manipulator → 8 Achsen simultan
- ProFocus1000 Bearbeitungskopf
 - 6 Einzeldioden mit Ringfokus
 - Systemleistung 1.000 W
 - koaxiale Drahtzufuhr
- Prozessüberwachung durch XIRIS VIS-Kamera
- Lasertriangulationsscanner zur Bauteileinmessung

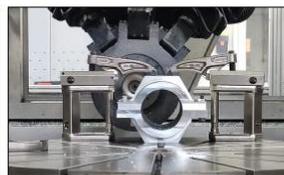
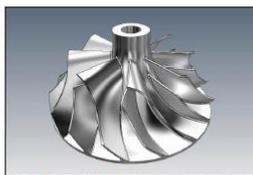


25

Drahtbasierte Verfahren zur additiven Fertigung metallischer Bauteile

Leistungsspektrum der SLV Halle in der additiven Fertigung

- Entwicklungs- und Dienstleistungsaufgaben entlang des gesamten AM-Workflows
 - Datenerfassung durch 3D-(Laser)Scanning
 - Reverse Engineering
 - CAD-CAM Anwendung
 - Fertigung von Prototypen bis zu Kleinserien
 - Endkonturfräsen und Bauteilvermessung
- Prozessqualifikation (Verfahrensprüfung)
- Zerstörende & Zerstörungsfreie Werkstoff- & Bauteilprüfung
- Beratungsdienstleistungen & Anlagenvorfürhungen
- bald auch Bedienerprüfung und AM-Aufsichtsperson nach DVS-Regelwerk



26

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Ihr Ansprechpartner:

B. Eng., IWE
Georg Trench



Fachbereichsleiter
Additive Manufacturing

+49 345 5246-405

georg.trench(at)slv-halle.de



27

Die Verarbeitung von 1.4542 mit powder bed fusion – Herausforderungen und Ergebnisse

Hans-Werner Theobald

3D-Metall Theobald e.K.

Prof. Dr.-Ing. Paul Rosemann

Fakultät ING, HTWK Leipzig

SESSION 3

Energie & Nachhaltigkeit

Moderation: Constance Möhwald

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Die Rolle der Bioökonomie in Sachsen und Potentiale der additiven Fertigung

Karoline Fürst

DBFZ gemeinnützige GmbH

Bioökonomie in Sachsen

Karoline Fürst



10. Mitteldeutsches Forum | | 3D-Druck in der Anwendung
Leipzig, 14. Juni 2023

Das DBFZ

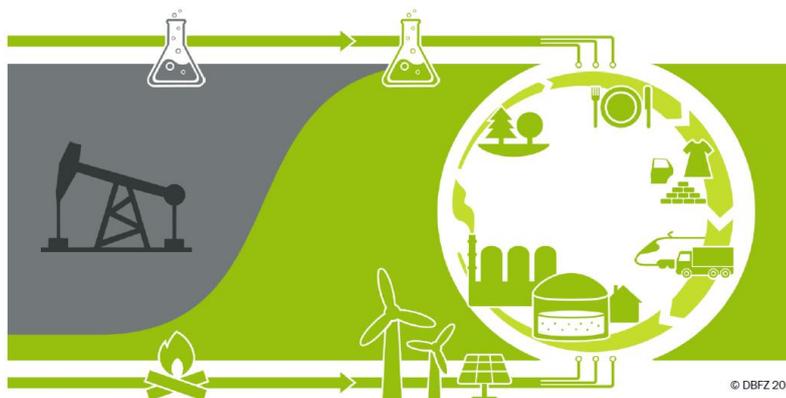


- gemeinnützige GmbH
- BMEI ist Alleingesellschafter
- 263 Beschäftigte
- Forschungsbereiche
 - Bioenergiesysteme
 - Biochemische Konversion
 - Thermo-chemische Konversion
 - Bioraffinerien

Karoline Fürst: Bioökonomie in Sachsen
10. Mitteldeutsches Forum | | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023

2

Transformation zur biobasierten Wirtschaft

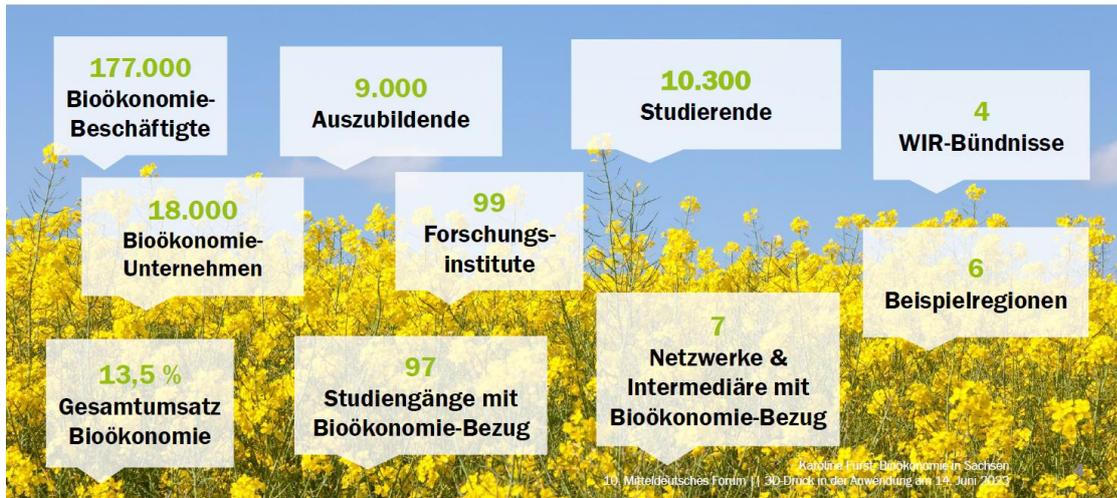


© DBFZ 2020

Karoline Fürst: Bioökonomie in Sachsen
10. Mitteldeutsches Forum | | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023

3

Bioökonomie in Sachsen



Bioökonomie in Sachsen



Wirtschaftszweig nach WZ 2008	BÖ-Anteil (% max.)	svB BÖ (2020)	LQ (2020)
A 01 Landwirtschaft	100	17.700	0,67
C 10 Herstellung von Nahrungs- und Futtermitteln	100	29.800	0,85
C 13 Herstellung von Textilien	51,1	4.200	1,96
C 16 Herstellung von Holz- und Korbwaren	100	5.900	0,81
C 17 Herstellung von Papier und Pappe	100	6.700	1,07
C 18 Druckgewerbe und Vervielfältigung	87	5.700	1,20
C 22 Herstellung von Gummi- und Kunststoffwaren	29,4	5.600	0,82
C 28 Maschinenbau		2.600	1,58
C 31 Herstellung von Möbeln	71,0	4.300	1,13
C 33 Reparatur und Installation von Maschinen und Ausrüstungen		9.700	0,93
F 43.32 Bautischlerei und -schlosserei	100	7.100	0,94
F 43.91 Dachdeckerei und Zimmerei	100	6.900	0,91
I 56 Gastronomie	100	39.400	1,06
J 62 Erbringung von Dienstleistungen der Informationstechnologie		30.100	1,47
M 72.1 FuE in den Natur-, Ingenieur-, Agrarwissenschaften, Medizin	100	13.900	1,13
SUMME	-	147.200	-

10. Mitteldeutsches Forum | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023

Wissen & Innovation in Sachsen



Biogene Ressourcen



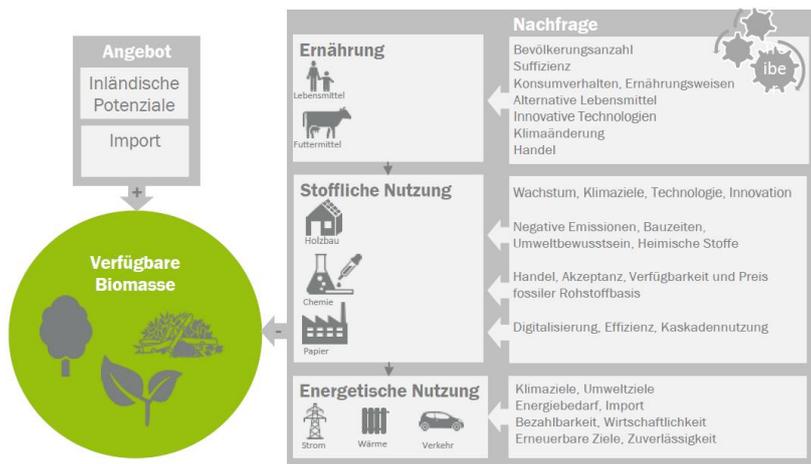
Hauptprodukte	Nebenprodukte	Rest- und Abfallstoffe
Holz- und Forstwirtschaft: Industrie- und Stammholz (Laub/Nadel)	Holz- und Forstwirtschaft: Waldrestholz, Rinde, Sägenebenprodukte, Industrierestholz etc.	Industrie: Ernährungswirtschaft (Milchverarbeitung, Biotreber, Stärkeproduktion etc.); Bioenergieproduktion (Gärreste, Schlempe etc.)
Landwirtschaft: Getreide, Raps, Zuckerrübe, Kartoffel, Sonderkulturen etc.	Landwirtschaft: Stroh, Gülle, Maisspindeln, Kartoffelkraut, Zuckerrübenblätter etc.	Reststoffe sonstiger Flächen: Begleitgrün, Schwemmgut, Landschaftspflegeholz etc.
		Siedlungsabfall und Klärschlamm: Altpapier, Biotonne, Kantinenabfälle etc.

Kategorisierung von Biomassen (Quelle: DBFZ 2023 Ressourcendatenbank)

Karoline Fürst: Bioökonomie in Sachsen
10. Mitteldeutsches Forum | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023

7

Biomassenutzung – Treiber



Karoline Fürst: Bioökonomie in Sachsen
10. Mitteldeutsches Forum | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023

8

Biomassenutzung – Potenziale



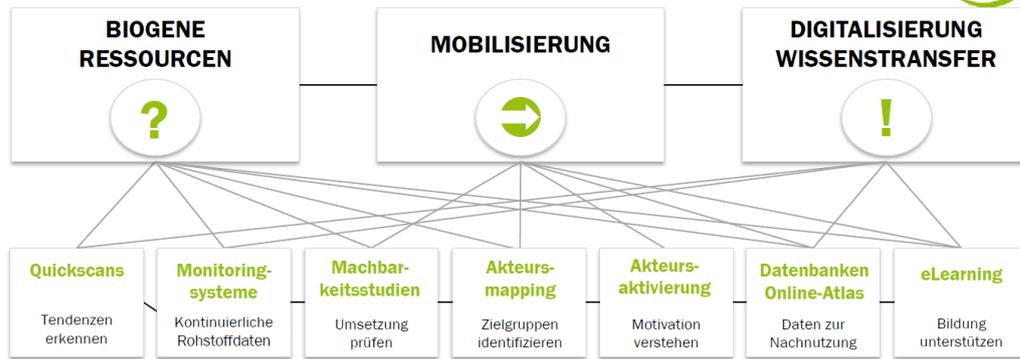
- Effizienz- und Ertragsteigerungen (z.B. Precision Farming)
- Höhere Nutzungskaskaden von Biomasse
- Biomassen mit „niedriger Flächenintensität“ (z.B. Algen, Insekten, Agroforst, Agri-PV, B von marginalen Flächen/Wüstenflächen)
- EU-Potenzialstudien zeigen eher Potenziale bei landwirtschaftlicher Biomasse/Reststoffen¹⁾ sowie marginalen²⁾, ungenutzten und stillgelegten Flächen³⁾

Quellen: 1) Mandley et al. (2020): EU bioenergy development to 2050; 2) Vera et al. (2021): Supply potential of lignocellulosic energy crops grown on marginal land and greenhouse gas footprint of advanced biofuels; 3) McKinsey (2020): How the European Union could achieve net-zero emissions at net-zero cost

Karoline Fürst: Bioökonomie in Sachsen
10. Mitteldeutsches Forum | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023

9

Potenziale für die Bioökonomie



Karoline Fürst: Bioökonomie in Sachsen
10. Mitteldeutsches Forum | | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023



10

Transferwerkstätten der Bioökonomie



- 31. Januar 2023 | „Bioökonomie in Sachsen“
- 25. April 2023 | „Digitale Modelle“
- 23. Mai 2023 | „Kreislaufwirtschaft und Nährstoffrecycling“
- 05. Juli 2023 | „Von der Faser zum Produkt“
- 06. September 2023 | „Bioprozesse“
- 18. Oktober 2023 | Bauen mit nachhaltigen Rohstoffen



**BIOÖKONOMIE WERKSTATT
SACHSEN**



Karoline Fürst: Bioökonomie in Sachsen
10. Mitteldeutsches Forum | | 3D-Druck in der Anwendung am 14. Juni 2023

11

Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH



Bioökonomie in Sachsen

Ansprechpartnerinnen

Karoline.Fuerst@dbfz.de

**DBFZ Deutsches
Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH**
Torgauer Straße 116
D-04347 Leipzig
Tel.: +49 (0)341 2434-112
E-Mail: info@dbfz.de
www.dbfz.de

Fotograf: DBFZ, Jan Gutzeit, Michael Moser Images, DREWAG/Peter Schubert (Tafelfolie, rechts), Pixabay / CC0 Public Domain

Regenerieren mit Laser und Draht – ressourcenschonend und innovativ

Dr.-Ing. Tobias Gustmann

OSCAR Plasma Laser Technologie GmbH

Regenerieren mit Laser und Draht

ressourcenschonend
&
innovativ

Dr. Tobias Gustmann, Dr. Frank Silze,
Sebastian Bibrack, Dr. Michael Schnick

MCP Engineering Lausitz, Fotograf: Andreas Franke

Situation in der Produktion und Industrie

„Lieferengpässe kosten Milliarden an Wertschöpfung“
(Industrieanzeiger – 27.01.2023)¹

„Die Produktion von Aluminium wandert ab aus Europa“
(Wirtschaftswoche – 24.03.2023)

„Die deutsche Industrie steht 2023 vor großen Herausforderungen“
(www.additive.industrie.de – 01.02.2023)



Laser-Auftragschweißen (LMD)

(leistungsfähig und präzise, hochgradig flexibel, industrieerprobt)



¹ <https://industrieanzeiger.industrie.de/news/lieferengpaesse-kosten-milliarden-an-wertschoepfung/>

ProFocus (Direktdioden-Laser für Draht & Pulver)

kompatibles Design für optimale Zugänglichkeit
Gewicht = 14 kg / 19 kg

ein einfacher Wechsel zwischen Pulver- und Drahtprozess

Richtungsunabhängigkeit durch koaxiale Werkstoffzuführung von Draht und Pulver

Strahlerzeugung und Optik in einem Kopf

Wechselsystem Schutzgasabdeckung < 20 ppm O₂ (mit Argon)

integrierte Prozessüberwachung und -steuerung

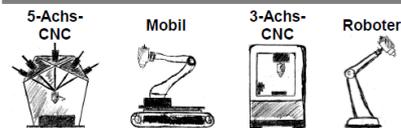
Technische Angaben

- Laserleistung: 1 kW / 2 kW
- Abmaße: Ø 195 x 360 mm
- Gewicht: 14 kg / 19 kg
- Spurbreite: 2 mm
- Einbrand: < 0,5 mm
- Schweißdraht: Ø 0,8 – 1,2 mm
- Auftragsrate: bis 2 kg/h*

* ohne Heißdraht, Erprobung im Gange

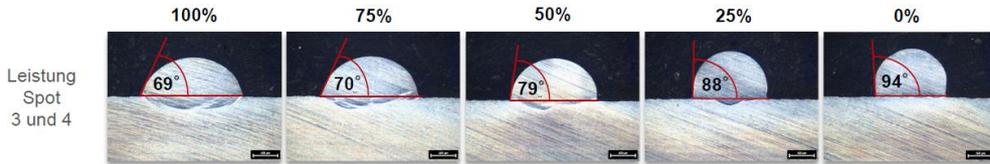
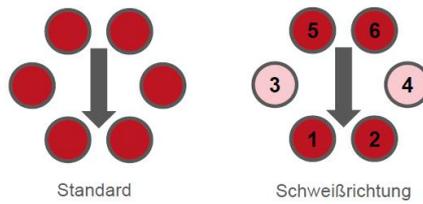
ProFocus-Prozessregelung

- StartControl - automatische Bauteilfindung
- WireWatcher - Drahtabrisskontrolle
- HeightControl - automatische Höhenregelung

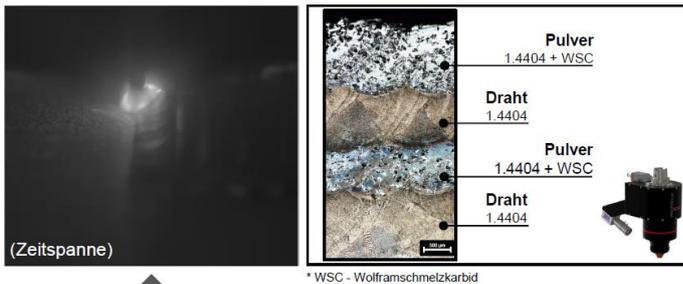


variabler Energieeintrag:

- Ansteuerung einzelner Lasermodule
- lokaler Einfluss auf Wärmeeintrag

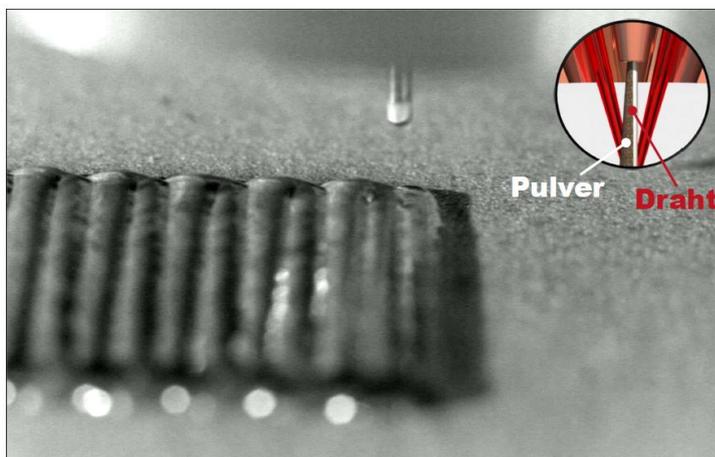


Flexibilität in der Anwendung – Draht und Pulver in einem System



Technologiewechsel zwischen Draht und Pulver (via HMI und/oder Bahnplanungssoftware)

- Stähle
- Superlegierungen
- Leichtmetalle (Ti-, Al-Basis, ...)
- Funktionswerkstoffe (Kupfer, INVAR, ...)
- Sonderwerkstoffe (MMCs, HEAs, ...)



Vorteile Zusatzwerkstoff Draht:

- + hohe Verfügbarkeit
- + zertifiziert
- + günstig
- + lagerfähig
- + theor. 100 % materialeffizient
- + Gesundheitsschutz

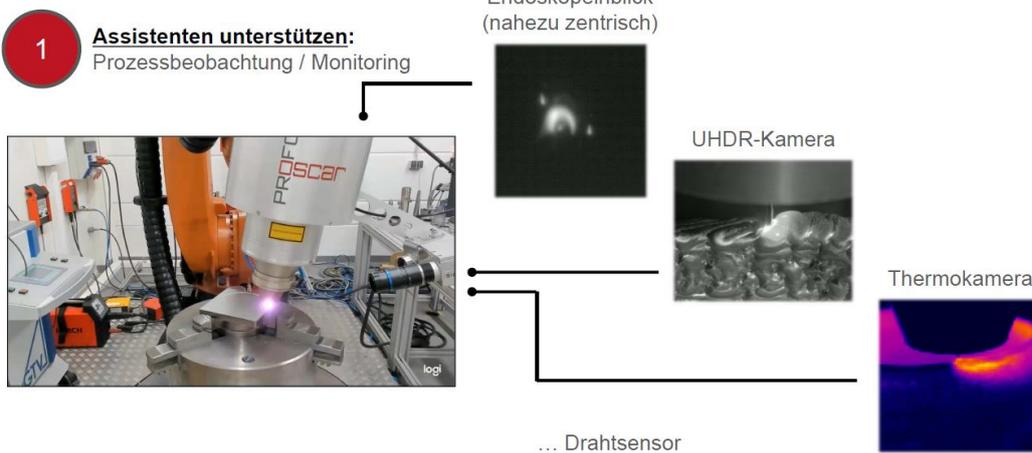
Nachteile Zusatzwerkstoff Draht:

- hoher Steuerungs- und Regelungsaufwand
- ... Materialflexibilität (**Pulveroption!**)

Auf dem Weg zum „autonomen“ Draht-LMD-Prozess



Wie weit ist der Drahtprozess?



Wie weit ist der Drahtprozess?

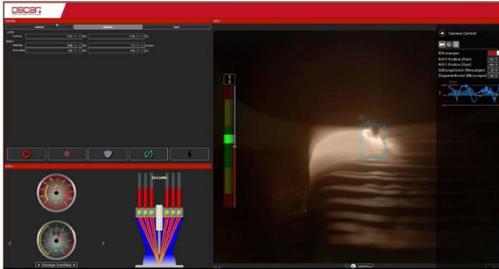


Wie weit ist der Drahtprozess?

2b

Assistenten können eingreifen:
Positionskorrektur Z-Lage

Vermeidung durch automatische
Höhenregelung der Z-Achse



ohne Höhenkorrektur



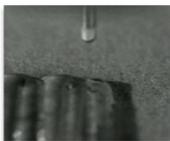
mit Höhenkorrektur

Wie weit ist der Drahtprozess?

3

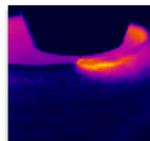
Prozess läuft überwiegend ohne Bediener:
Überwachungsprogramme

**Start – Stop
Drahtkontakt**



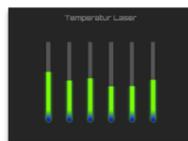
Werkstückkontakt
am Start
und am Schweiß-
bahnende.

Bauteiltemperatur



Bei Erreichen einer
Grenztemperatur,
Einschub einer
Abkühlpause.

Temp.-Überwachung



Zustandsprüfung der
Optik und des
Laseraggregates.

**Verbrauchskontrolle
Schutzgas**



Hinweis bei geringer
Restmenge und Erhalt des
Bauteiles.

Praxisbeispiele



*Funktionalisierung, Sondergeometrien, Gewichts- und
Eigenschaftsoptimierung*



Großbauteil: Tagebau (Reparatur)



Großbauteil: Energiesektor (Reparatur)

Reparatur als Anwendung:

Lagerschale **Schaufelradgetriebe**

Neues Reparaturverfahren
(Resilienz & Kostenreduktion)



2022
BRANDENBURGER
INNOVATIONSPREIS



https://www.youtube.com/watch?v=gwg4m4IV_CM



Lagerschale Schaufelradgetriebe:

Werkstoff: S355

Vorgehen bisher:

- Einspannung in Bohrwerk, dann vordrehen
- Anfertigen von Buchsen
- Einschweißen der Buchsen in Gehäuse
- Teilen der Buchsen
- Fräsen auf Endmaß
- Durchlaufzeit ca. 120 bis 180 Stunden

Reparatur mit Laser:

- verzugsfreies Aufschweißen der Lagerhalbschalen
- Zusammenbau
- Fräsen auf Endmaß
- Durchlaufzeit ca. **40 Stunden**



„Wir sehen uns in unserer Branche nicht nur als Innovator, sondern vielmehr als Zukunftsmacher mit Vorreiterrolle.“

Dr. Michael Schnick

Kjellberg
FINSTERWALDE

OSCAR
Plasma-Laser-Technologie

SAMSax – ein Reallabor für nachhaltige additive Fertigung

Dr.-Ing. Lisa Kühnel

TU Freiberg, IMKF

SAMSax – ein Reallabor für nachhaltige additive Fertigung

10. Mitteldeutsches Forum – 14.06.2023
Dr. Lisa Kühnel



Agenda

SAMSax

Materialien

Beispiel

Ausblick

Agenda

1. SAMSax – wer sind wir und was haben wir vor?
2. Materialien – alles außer Standard!
3. Beispiel – *theatralische* Holzspäne
4. Ausblick



05.06.2023

samsax.de

2

Agenda

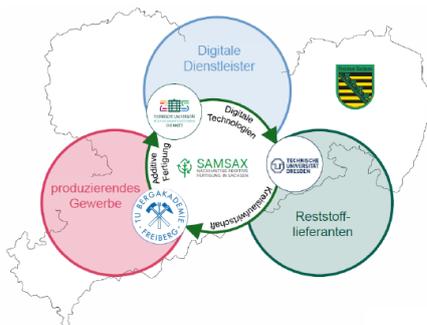
SAMSax

Materialien

Beispiel

Ausblick

SAMSax – Wer sind wir?



- simul+ Modellprojekt Sustainable Additive Manufacturing in Saxony
- dt. nachhaltige additive Fertigung in Sachsen
- ein Reallabor zur Kreislaufwirtschaft mittels additiver Fertigung

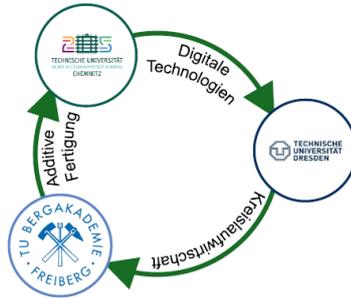
05.06.2023

samsax.de

3

SAMSax – unser Team

Dr.-Ing. André Dettmann Dr. rer. nat. habil. Holger Hoffmann M. Sc. Adelina Heinz



05.06.2023

samsax.de

4

SAMSax – Was sind unsere Ziele?

Ressourcen nachhaltig nutzen

- Reduktion von Materialbedarf, Transportwegen, Abfall
- Erhöhung Rezyklierbarkeit, Bioabbaubarkeit, Anteil an biobasierten Stoffen
- Erhöhung Funktionalität, Wertschöpfung
- Wissen schaffen und teilen

- Einbindung **aller** relevanten Beteiligten

05.06.2023

samsax.de

5

SAMSax – Was sind unsere Ziele?

Reallabor zum Anfassen und für jedes KMU in Sachsen

- Reststoffe von Lieferanten werden analysiert und für die Additive Fertigung vorbereitet
- neue Wert- und Werkstücke werden gefertigt und als Prototypen zur Verfügung gestellt

Datenbank mit Übersicht über Reststoffe und mögliche Anwendungen

- Reststoffe und deren Eigenschaften (Lokalität, Menge, Analysen) werden in der Datenbank aufgenommen
- Anwendbarkeit des jeweiligen Reststoffes für die Additive Fertigung wird dargestellt

Wissensmanagementplattform zur Weiterbildung und Austausch mit weiteren Akteuren

- regelmäßige zeitunabhängige Onlinekurse
- Netzwerkmöglichkeit mit anderen Nutzenden

05.06.2023

samsax.de

6

Mögliche Materialien

Industrielle Nebenprodukte	Brechsand	Füller	Textilreste	...
Gräser	Miscanthus	Flachs	Spreustroh	...
Kerne	Aprikose	Pfirsich	Pflaume	...
Schalen	Haselnuss	Reis	Kokosnuss	...
Hölzer	...aus Sägewerk	...aus Tischlerei	...aus Industrie	...
Muscheln	Kaffeehütchen	Kaffeesatz/bohnen	Invasive Arten	...
Lignin	Papierfasern	Bienenwachs	Mycel	...
weitere Materialien	Metall	Keramik	Glas	...



Ausgangsmaterialien sind feine Pulver (Stäube $d < 500 \mu\text{m}$)

05.06.2023

samsax.de

7

SAMSax – Ablauf am Beispiel „Holzspäne“

- Holzspäne aus der Werkstatt im Theater



05.06.2023

samsax.de

8

SAMSax – Ablauf am Beispiel „Holzspäne“

- Holzspäne aus Werkstatt im Theater
- Anlieferung/Abholung mit dem Reststoffbegleitzettel
 - (<https://samsax.de/leistungen/datenbank/>)

Um Ihren Reststoff mit in die SAMSax Datenbank aufnehmen zu können, benötigen wir folgende Daten Ihres Reststoffes:

das Grab, das kein

• Name: Fichte / Pappel - aus dem Theater-Fabrik

• Herkunft: Holzwerk (Holzspäne)

• Grundsätzliche Verträglichkeit (Menge ggf. pro Zeiteinheit, Saisonalität):
immer

• Restwert (€/Tonne):

• Ungefähre Kosten für Entsorgung: abfalllos

• Toxisch: ja nein unbekannt

• Brennbarkeit: ja nein unbekannt

• Mögliche Veranreinigungen und/oder Sicherheitstafel (SHU):
kein unbekannt - getrennt werden Kunststoff, Papier, Pflanz

Damit wir eine grundsätzliche Anwendbarkeit Ihres Reststoffes für die Additive Fertigung abschätzen können, werden wir anschließend folgende Analysen durchführen:

- Partikelgrößenverteilung (PCV)
- Feuchtigkeit
- Menge (Masse, Volumen)
- Foto

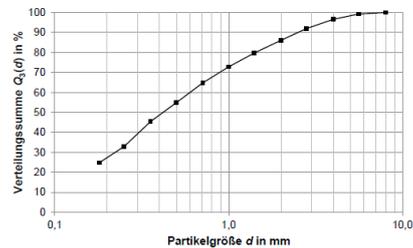
05.06.2023

samsax.de

9

SAMSax – Ablauf am Beispiel „Holzspäne“

- **Holzspäne** aus Werkstatt im Theater
- Anlieferung/Abholung mit dem Reststoffbegleitzettel
 - (<https://samsax.de/leistungen/datenbank/>)
- Analysieren des Reststoffes durch das SAMSax-Team
- Auswahl von Fraktionen für jeweilige Fertigungsverfahren



SAMSax – Ablauf am Beispiel „Holzspäne“

- **Holzspäne** aus Werkstatt im Theater
- Anlieferung/Abholung mit dem Reststoffbegleitzettel
 - (<https://samsax.de/leistungen/datenbank/>)
- Analysieren des Reststoffes durch das SAMSax-Team
- Auswahl von Fraktionen für jeweilige Fertigungsverfahren
- Fertigung von Probekörpern und ggf. von Prototypen
- Analyse der mechanischen Eigenschaften der gefertigten Bauteile



Druck von Holzstaub mittels Pastenextrusion (LDM)

- **Holzspäne** aus Werkstatt im Theater ($d < 355 \mu\text{m}$)
- Alginat als Bindemittel (16,7 Gew.-%)
- Wasser als Lösemittel (Feuchtigkeit der Paste 80 %)

Druckparameter für WASP 40100:

$d_{\text{Düse}} = 6 \text{ mm}$
 $h_s = 4 \text{ mm}$
 $p = 0,6 \text{ MPa}$

Probekörper Zylinder $h = d = 30 \text{ mm}$



„Holzstaub“ mittels Pastenextrusion

Eigenschaften der Probekörper:

- Dichte $\rho = 0,26 \pm 0,01 \text{ g/cm}^3$
- Druckfestigkeit $\sigma_{\max} = 1,76 \pm 0,08 \text{ N/mm}^2$
- Bruchstauchung $\epsilon_{\max} = 19,9 \pm 2,1 \%$
- Kompressionsmodul $K = 21,2 \pm 1,1 \text{ N/mm}^2$
- wasserlöslich
- mechanisch bearbeitbar
- beschichtbar (Farbe, Beständigkeit erhöhen, etc.)

extrudiertes Polystyrol (EPS):

$\rho = 0,02 - 0,05 \text{ g/cm}^3$
 $\sigma_{\max} = 0,1 - 0,5 \text{ N/mm}^2$

[Schlaadt Plastics GmbH]

- Probekörper können in Wasser wieder zu Paste verarbeitet werden
- Pasten können im Kühlschrank oder Frost gelagert werden

05.06.2023

samsax.de

13

Anwendung in Pastenextrusion



05.06.2023

samsax.de

14

Anwendung im Binder Jetting



© Nasser Hashemi



05.06.2023

samsax.de

15

1. SAMSax Workshop – Neue Lösungen für Ihre Produkte mittels additiver Fertigung

Wann?: **26.09.2023** von 09:00 – 15:00 Uhr

Wo?: TU Bergakademie Freiberg (ZeHS)

Ziel des Workshops:

neue und innovative **Produktideen** und **Anwendungen** mit Hilfe additiver Fertigungsverfahren zu generieren

→ Teilnahme ist kostenfrei!



Sie sind herzlich eingeladen!

05.06.2023

samsax.de

16

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Wir freuen uns auf eine erfolgreiche Zusammenarbeit!
Ihr SAMSax Team aus Freiberg, Chemnitz und Dresden

Tel.: +49 3731 39 3749

Fax: +49 3731 39 3658

E-Mail: info@samsax.de

Web: <http://samsax.de>



3D-Druck als nachhaltige Technologie – Eine Bestandsaufnahme

Dr. Kerstin Michalke

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

3D-Druck als nachhaltige Technologie - Eine Bestandsaufnahme -

14.06.2023 – Leipzig 10. Mitteldeutsches Forum || 3D-Druck in der Anwendung

Was ist Nachhaltigkeit?



© umweltmission.de

Kreislaufwirtschaft



© Jacqueline Ullmann für Fraunhofer FIT

**Additiver
Fertigungsprozess**

Material

Recycling

Was sind die Potentiale der additiven Fertigung?

<p>Vor Ort → Kurze Transportwege</p> <p>© Eurostat</p>	<p>Nach Bedarf → Keine Lagerhaltung</p> <p>© Wikiwand</p>	<p>Weniger Abfall</p> <p>© Adobe Stock</p>
<p>Topologieoptimierung Leichtbau → weniger Gewicht leichtere Fahrzeuge sparen Kraftstoff</p>	<p>„Verschmelzen“ von Einzelteilen → Weniger Montage geringere Ausfallwahrscheinlichkeit höhere Lebensdauer</p> <p>© Wohlers Associates</p>	

**Additiver
Fertigungsprozess**

Material

Recycling

Was sind Bio-Kunststoffe?

Biobasierte Kunststoffe

Auf Rohstoffe bezogen, die nach spätestens zwei Wachstumsperioden geerntet werden (Mais, Weizen...)



Ressourcenschonend (Erdöl):
potentiell verringerte
Freisetzung von fossilem CO2

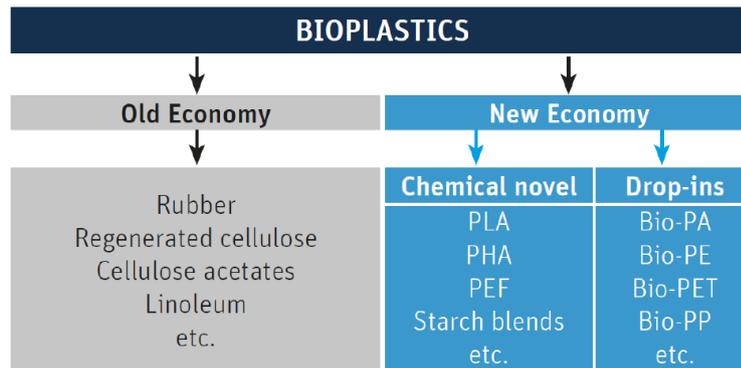
Bioabbaubare Kunststoffe

Biologischer, mikrobieller
Abbauprozess; nicht zeitlich
begrenzt



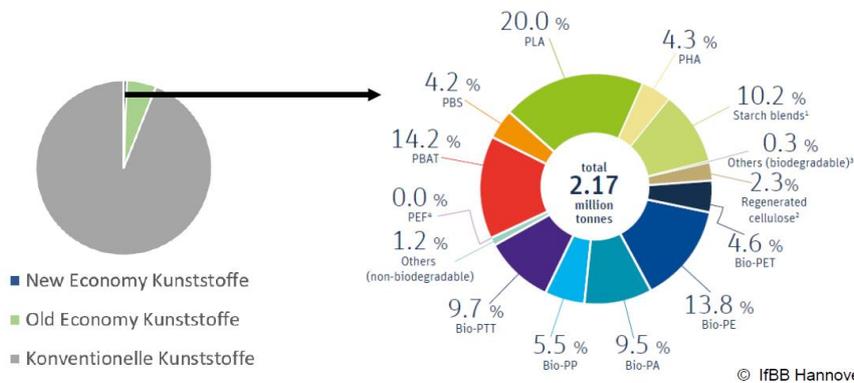
Jedoch Recycling häufig nicht
gelöst; Problem Mikroplastik

Was für Bio-Kunststoffe gibt es?



© IfBB Hannover

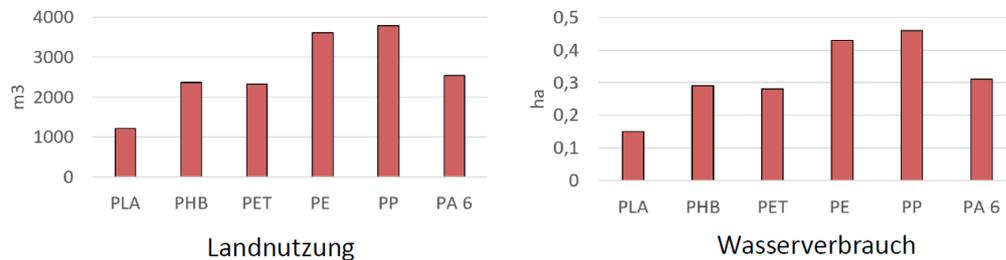
New Economy Kunststoffe



© IfBB Hannover

Ressourcenverbrauch bei der Herstellung von 1t biobasiertem Kunststoff

Beispiel Zuckerrübe



Gefüllte Kunststoffe



- Meist PLA vermischt mit Reststoffen wie: Holzspäne, Kork, Nusschalen, Muschelschalen, Aprikosenkerne, Wolle usw
- Filament- oder Granulatdruck
- Weiterverwertung von Reststoffen → Einsparen von Kunststoff
- häufig schlechtere mechanische Eigenschaften
- Verbundstoff → Recycling?

Nutzung von Reststoffen zur Kunststoffsythese

- **Neuer PET-ähnlicher Kunststoff**
- Ausbeute von 25 % bei landwirtschaftlichen, lignozellulosehaltigen Reststoffen
- Abfälle: „gekocht“ in kostengünstigen Chemikalien → Kunststoffvorprodukt in einem Schritt
- zäh, hitzebeständig, gute Barriere für Gase → Kandidat für Lebensmittelverpackungen
- leicht biologisch abbaubar zu harmlosen Zuckern → Nachteil: nicht besonders wasserresistent



© Lorenz Manker

Kohlendioxid als Rohstoff

- Leitprojekt »ShaPID«:
Kooperation von neun Fraunhofer-Institute
- Herstellung von Methanol und Ameisensäure aus CO₂ → »Futter« für Mikroorganismen, die daraus weitere Produkte produzieren, z.B. organische Säuren als Bausteine für Polymere (z.B. Kunststoffe)



© Fraunhofer IGB

Kohlendioxid als Rohstoff: CCU-Projekt C2PAT

Kunststoffproduktion aus grünem Wasserstoff und CO₂ (Abgase Schornstein)



© OMV Refining & Marketing



© 7 vs. Wild: Panama | Folge 2

Bioabbaubarkeit und Kompostierung am Beispiel von Polymilchsäure (PLA)

- **Bioabbau** (DIN EN 16575): Abbau, bewirkt durch biologische Aktivität; führt zu signifikanter Änderung der chemischen Struktur eines Produktes; der Stoff muss nicht innerhalb eines bestimmten Zeitraums abgebaut sein.
- **Kompostierbar** (EN 13432): Produkte zersetzbar zu mindestens 90% innerhalb von maximal 90 Tagen in einer industriellen Kompostierungsanlage. Reste müssen durch Zwei-Millimeter-Sieb passen

→ Mikroplastik

→ die meisten industriellen Kompostieranlagen sind nicht für PLA ausgelegt

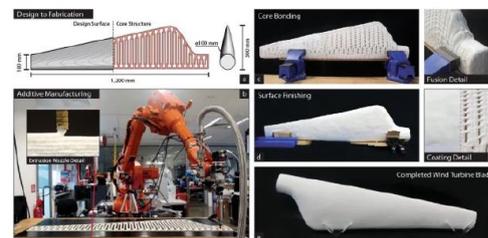
- ✓ Kompostierbar und umweltverträglich bei Freisetzung
- ✓ Mechanische und chemische Eigenschaften wie konventionelle Kunststoffe



- ✓ Herstellbar aus erneuerbaren Quellen
- ✓ Kompatibel mit herkömmlichen Herstellungsmethoden
- ✓ Kompatibel mit bestehenden Wertstoffkreisläufen

Biobasiert und bioabbaubar: FLAM = fungal-like adhesive material

- Mischung aus Chitin und Zellulose
- natürlichen Bestandteile: in jedem Lebensraum auf der Erde reichlich vorhanden
- Zusammensetzung entspricht der von Oomycetenzellwänden
- Kosten im Bereich von Standardkunststoffen (Granulat)
- optimales Verhältnis von 1:8 (w/w) Chitin:Cellulose: biegsamer Verbundstoff, minimaler Schrumpfung, geringer Wasseraufnahme
- mechanische Eigenschaften wie hochwertiger Polyurethan-Hartschaum
- Eigenes spezielles 3D-Drucksystem notwendig: basierend auf Direct Ink Writing (DIW) und Roboter



© Sanandiyi, N.D. et al., Sci Rep 8, 8642 (2018)



Recycling von Restfilament und Fehldrucken

- Thermoplastisches Material: Umwandlung in Filament möglich

Herausforderung: Erhaltung der Materialkonsistenz

- Polymerketten werden durch wiederholte Recyclingdurchläufe immer kürzer
- Additive können ausgasen → Änderung der Materialeigenschaften

Möglichkeiten:

- Eigenes Recycling mit Schredder, Extruder und Strangpresser
- Filament Recycling Service: <https://recyclingfabrik.com/>
- Rezykliertes Filament: <https://www.filamentworld.de/>; <https://www.qitech.de>

Recycling von SLS-Altpulver

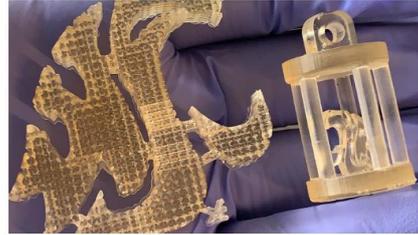
- **Materialise** bietet mit Bluesint rezykliertes PA12-Pulver an
- **Evonik** plant Rücknahme und Rezyklierung von PA12 Altpulver und gedruckten Bauteilen
- **KUZ Leipzig**: Verfahren zur chemischen Aufbereitung von SLS-Altpulver (PA12) entwickelt (gefördertes Projekt)
→ muss noch im Prozess getestet werden



© FASTPART

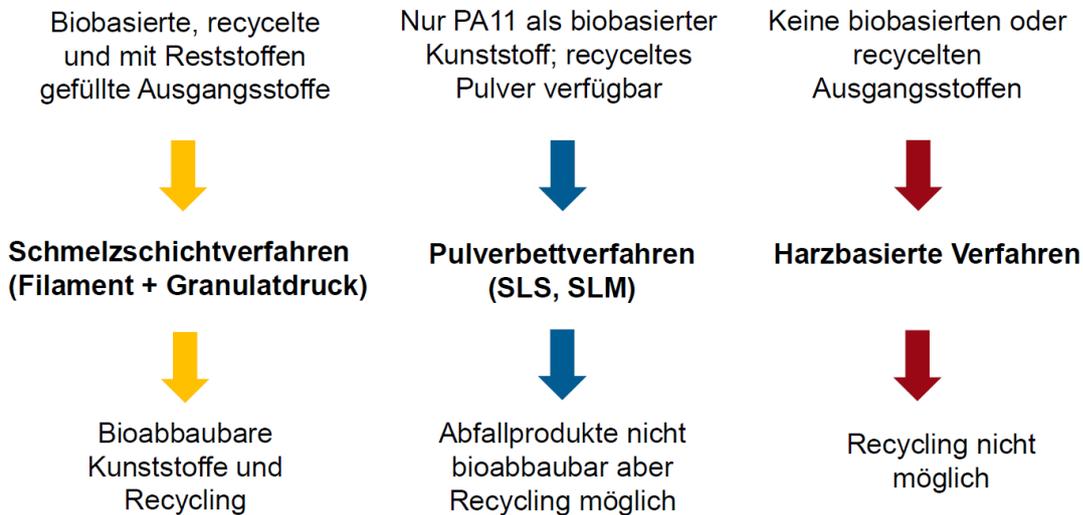
Chemisches Recycling von Polymilchsäure (PLA)

- PLA wird kostengünstig zerlegt in Bestandteile (Monomere) → Bausteine für viele Kunststoffe
- Abbau bei milden Temperaturen innerhalb von 2 Tagen
- Aus Bestandteilen entsteht UV-härtendes Flüssigharz (DME-ACMO-Harzlösungen)



© Washington State University

→ wie wird das Harz dann recycelt?



Modellfabrik Virtualisierung

c/o Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Carl-Zeiss-Promenade 2
07745 Jena

Kerstin Michalke
Telefon: +49 (3641) 205-390
E-Mail: kerstin.michalke@eah-jena.de



SESSION 4

Mikro bis Makro

Moderation: Prof. Jens Bliedtner
Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM

Laura Römer

Hochschule Mittweida, LHM

Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM

Laura Römer, M.Sc.

-Additive Fertigung-

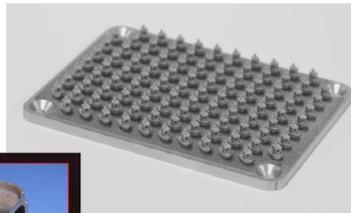
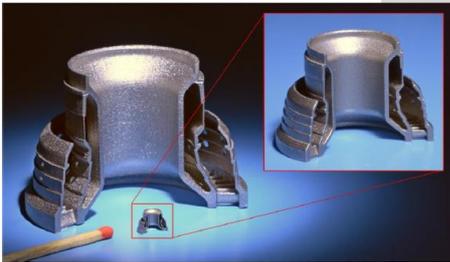


www.laser.hs-mittweida.de

Das Mikro-SLM als Weiterentwicklung des selektiven Laserstrahlschmelzens (SLM)

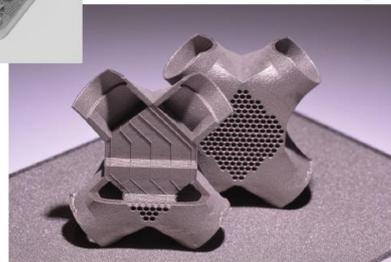
- **Ziel:** höhere Strukturauflösungen, geringere Oberflächenrauheiten, hohe Bauteildichten

Turbinen-Verbrennungskammer
(Vergleich SLM und Mikro-SLM)



Testmodell „3DBenchy“
im Mikroformat

Mikro-Wärmeübertrager



2 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida

Das Mikro-SLM als Weiterentwicklung des selektiven Laserstrahlschmelzens (SLM)

Prozessablauf:

- Aufbringen einer Pulverschicht auf die Bauplattform
- Selektives Bestrahlen des Pulverbettes mittels Lasers
- Absenken der Bauplattform entsprechend der Schichtdicke
- Wiederholen der Prozessschritte bis zur Fertigstellung des Bauteils

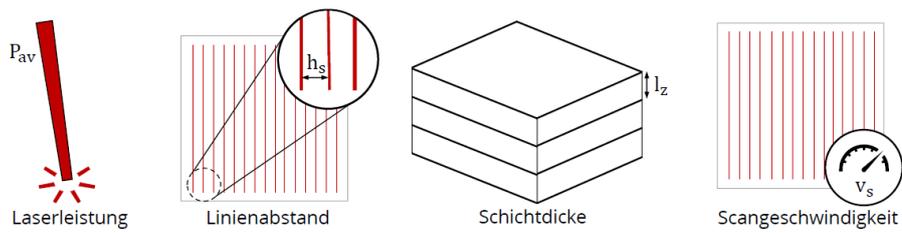
Abgrenzung des Mikro-SLM vom konventionellen SLM:

	SLM	Mikro-SLM
Schichtdicke	20 – 100 µm	≤ 10 µm
Korngrößen (d ₉₀)	< 100 µm	< 10 µm
Fokusbereich	50 – 150 µm	≤ 40 µm
Minimale Strukturbreite	100 µm	40 µm
Oberflächenrauheiten R _a	15 – 30 µm	2-5 µm

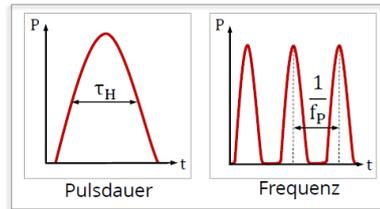
Die Bestrahlung erfolgt kontinuierlich oder gepulst mit Pulsdauern im Bereich weniger 100 ns

3 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida

Wichtigste Prozessparameter im Überblick



Im Falle von gepulster Bestrahlung:



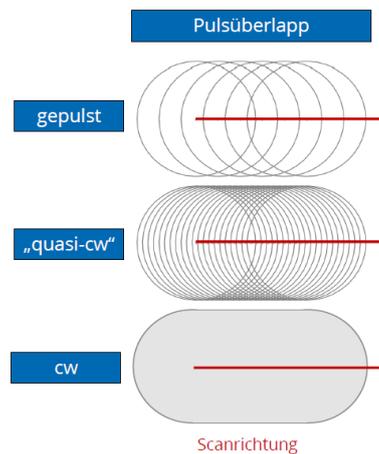
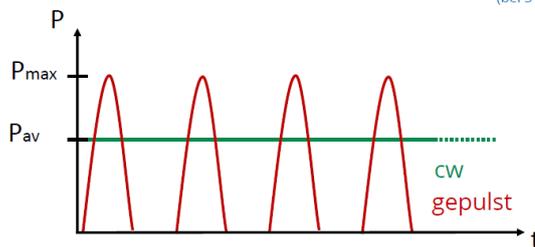
4 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
 (C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Verwendete Bestrahlungsregime und deren Eigenschaften

Bestrahlungsregime	Pulsdauer τ_H	Frequenz f_P	Wechselwirkungszeit
gepulst	457 ns	0,5 MHz	↑ (2,7 μ s)
gepulst („quasi-cw“)	132 ns	2 MHz	
cw	-	-	↑↑↑↑ (10,8 μ s)

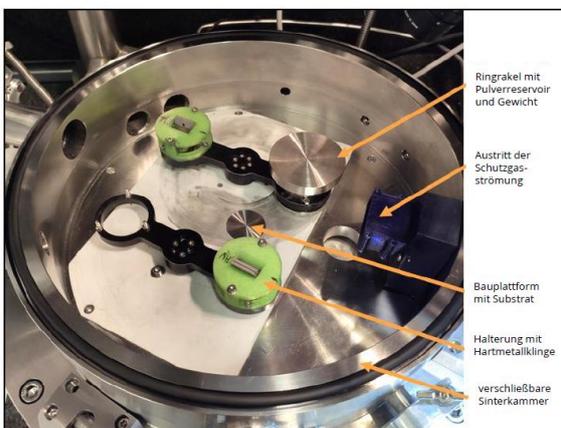
(bei 3 m/s)



5 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
 (C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



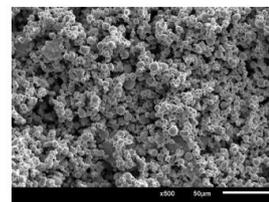
Anlage und Pulvermaterial



- Eigenbau Forschungsanlage (Prozess unter Argon-Schutzgasatmosphäre)

6 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
 (C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida

- Material: 1.4404 ($d_{90} < 10 \mu\text{m}$)



Schwerpunkte der Untersuchungen

Einfluss der Bestrahlungsregime auf:

- Bauteildichte
- Strukturauflösung
- Verhalten bei unterschiedlichen Schichtdicken
- Aufbaurrate



Limitierende Faktoren

- Einschränkung nutzbarer Prozessparameter durch regimeabhängige Problematiken

Pulveraufschub

Problematischer Schichtaufzug durch geringe Deckflächenrauheit

7 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida

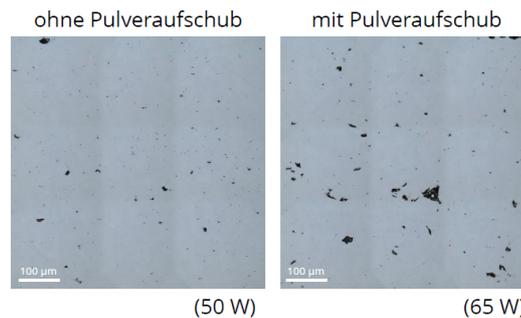


Limitierende Faktoren > Pulveraufschub

- tritt auf bei **gepulster Bestrahlung** in Kombination mit hohen Laserleistungen
- der Anteil an verdampftem Material steigt
- loses Pulvermaterial wird durch den entstehenden Druck vor dem Laserstrahl aufgeworfen



Ein starker Pulveraufschub führt zu Prozessfehlern und schränkt damit den Bereich nutzbarer Laserleistungen ein!

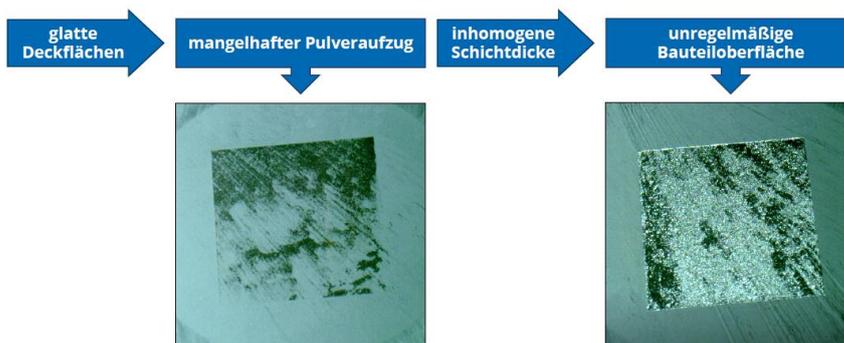


8 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Limitierende Faktoren > Geringe Deckflächenrauheit

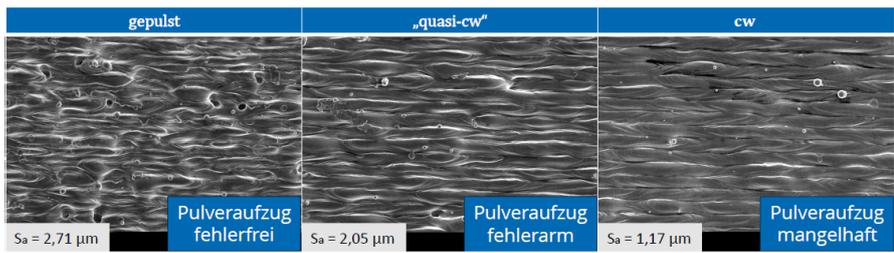
- tritt auf bei **kontinuierlicher Bestrahlung** in Kombination mit geringen Linienabständen und/oder geringen Scangeschwindigkeiten



9 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Limitierende Faktoren → **Geringe Deckflächenrauheit** → **Lösung**



- für einen fehlerarmen Pulveraufzug ist ein minimaler Mittenrauwert von $S_a = 2 \mu\text{m}$ erforderlichlich

Möglichkeiten zum Erhöhen der Rauheit bei cw-Bestrahlung:

- größerer Linienabstand
- höhere Scangeschwindigkeit bei höherer Laserleistung

negative Auswirkung auf Bauteildichte erwartet

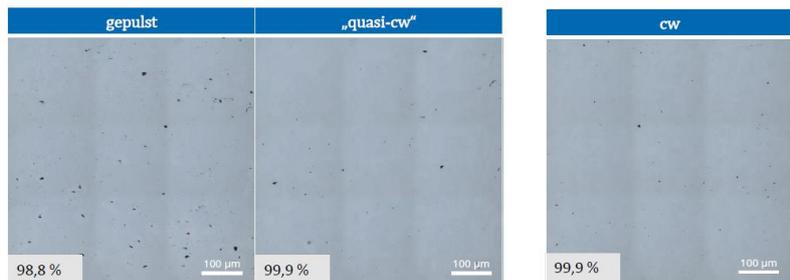
unter Verwendung hoher Laserleistungen wurden dennoch hohe Bauteildichten erreicht!

10 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc. (C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Bauteileigenschaften → **Dichte**

- hohe Bauteildichten mit allen drei Regimen
- beste Ergebnisse mit „quasi-cw“- und cw-Bestrahlung (relative Dichten ≈ 99,9 %)



theoretische Volumenbaurate

0,78 cm³/h

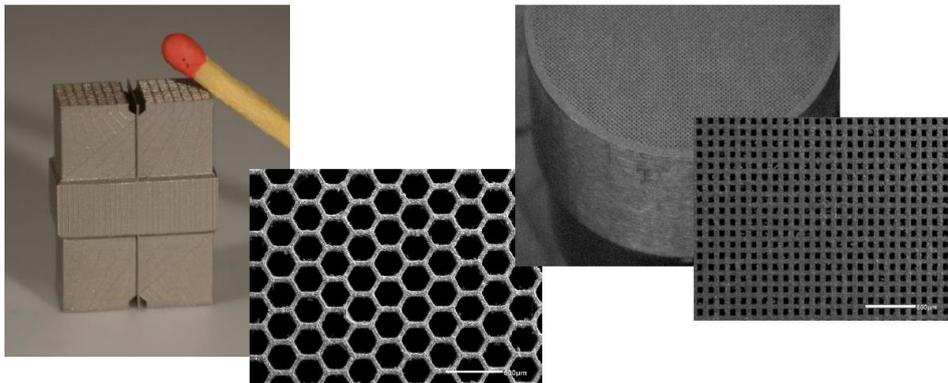
1,32 cm³/h

11 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc. (C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Bauteileigenschaften → **Strukturauflösung**

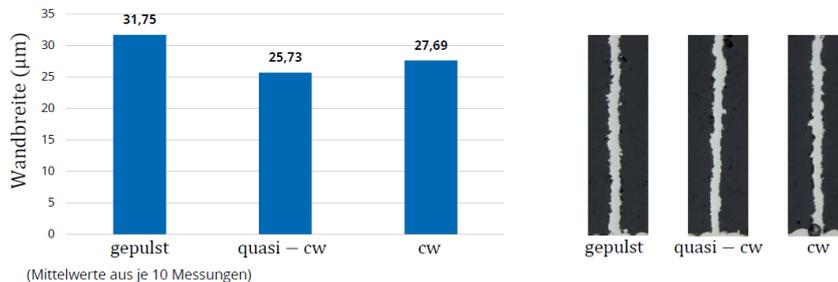
- dünnwandige Strukturen mit hohem Aspektverhältnis gefragt (Anwendung: Mikro-Filter, -Wärmeübertrager, -Mischer)



12 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc. (C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



- Erzeugung von Einzelwänden zur Bestimmung der Strukturauflösung (konstante Prozessparameter)



kein relevanter Unterschied in der Strukturauflösung bei gepulster und kontinuierlicher Bestrahlung!

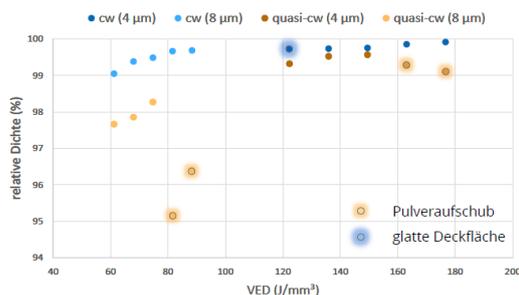
13 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Vergleich nutzbarer Schichtdicken

- Durch ein Erhöhen der Schichtdicke können wesentlich höhere Volumenbauraten und damit kürzere Prozesszeiten erreicht werden

Untersuchungen bei zwei Schichtdicken: 4 µm & 8 µm



- kontinuierliche Bestrahlung ermöglicht auch bei erhöhter Schichtdicke von 8 µm hohe Bauteildichten > 99 %
- bei gepulster/ quasi-cw Bestrahlung besteht eine deutliche Dichteabnahme mit größerer Schichtdicke

Theoretische Volumenbaurate

Schichtdicke: 4 µm	Schichtdicke: 8 µm
1,32 cm³/h	2,65 cm³/h

$$VED = \frac{P_{av}}{v_s \cdot h_s \cdot l_z}$$

14 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Fazit – gepulst oder cw?

Bauteileigenschaften

- keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich erreichbarer Bauteildichten und Strukturauflösungen bei gepulster und kontinuierlicher Bestrahlung
 - relative Bauteildichten von ≈ 99,9 % und Strukturen mit Wandbreiten < 30 µm sind sowohl gepulst als auch kontinuierlich möglich
- bei gepulster Bestrahlung sind hohe Pulswiederholfrequenzen („quasi-cw“) vorteilhaft

Unterscheidungsmerkmal

- geringe Schichtdicke (4 µm): höhere Aufbauraten mit kontinuierlicher Bestrahlung (für die Realisierung hoher Bauteildichten)
- die cw-Bestrahlung bietet zusätzlich die Möglichkeit, dichte Bauteile auch bei **höherer Schichtdicke** zu erzeugen → nochmals höhere Aufbauraten möglich

15 Prozessvergleich zur Nutzung von kurzgepulster und kontinuierlicher Bestrahlung im Mikro-SLM | Laura Römer, M.Sc.
(C) 07.06.2023 Laserinstitut Hochschule Mittweida



Vielen Dank



Laura Römer

Laserinstitut Hochschule Mittweida
Technikumplatz 17 | 09648 Mittweida

T +49 (0) 3727 58-1911
roemer2@hs-mittweida.de
www.laser.hs-mittweida.de

Laserinstitut Hochschule Mittweida | Raum 42-204
Schillerstraße 10 | 09648 Mittweida

www.laser.hs-mittweida.de

Granulatbasierte additive Fertigung von keramischen Bauteilen

Toni Wille

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

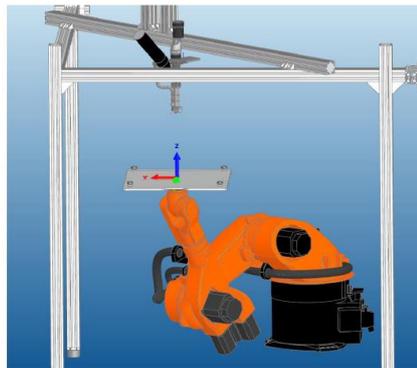
Granulatbasierte additive Fertigung von keramischen Bauteilen

T. Wille¹, A. Hopf¹, M. Layher¹, D. Just¹, J. Bliedtner¹, T. Forstner², S. Greiner²,
 D. Drummer², J. Rösler³, P. Schirmer³, M. Lenz³

¹Ernst-Abbe-Hochschule Jena, ²Universität Erlangen-Nürnberg,
³Rösler CeramInno GmbH

Agenda

1. Technische Keramik
2. Grundlagen
3. Anlagentechnik
4. Prozesskette
5. Ergebnisse
 - 4.1 Prozessmodell additive Fertigung
 - 4.2 Grünbearbeitung
 - 4.3 Entbindern und Sintern
6. Ausblick



Technische Keramik

Technische Keramiken als Werkstoff

- Hochleistungswerkstoffe mit besonderen elektrischen, mechanischen oder chemischen Eigenschaften
- Al_2O_3 ist ein sehr guter elektrischer Isolator und ein guter Wärmeleiter mit guten Gleiteigenschaften
 - Anwendungen: Verschleißschutz, Brennunterlagen zum Metallsintern, Hochtemperaturöfen, Elektrotechnik, Gleitlager...



Abb. 1: Al_2O_3 Sinterunterlage [Ceramtec]



Abb. 2: Al_2O_3 Kühlkörper [Ceramtec]



Abb. 3: Al_2O_3 Isolierrohr [Ceramtec]

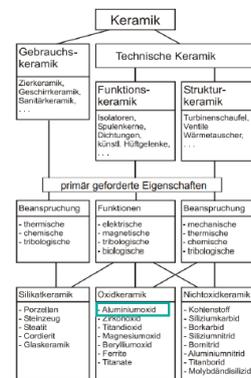


Abbildung 4: Übersicht der Keramiken nach Anwendung [Roos]

Konventionelle Verarbeitung von technischen Keramiken

- Pressen, Gießen oder Extrudieren
- für Extrusion und Spritzguss werden Composite-Systeme mit thermoplastischen Bindern verwendet
- anschließendes Entbindern und Sintern nötig (Sintern von Oxidkeramiken bei ca. 1600-1800°C)
- für jede Bauteilgeometrie muss i.d.R. eine Form hergestellt werden
-> teuer und unflexibel



Abb. 5: mögliche Prozesskette zur Herstellung eines Keramiteils [Jacobs et al.]

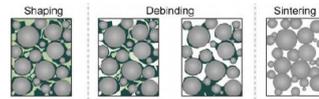


Abb. 6: Prozesskette zur Fertigung keramischer Bauteile mittels polymergebundener Werkstoffsysteme [Gonzalez-Gutierrez et al.]

Alternativer Ansatz: Additive Fertigung technischer Keramiken

direkt		indirekt			
„Selektives Laser Sintern“		„Stereolithografie“		„Fused Deposition of Ceramics“	
<ul style="list-style-type: none"> • Sintern von Keramikpulver mittels Laser 		<ul style="list-style-type: none"> • photoinitierte, lokale Polymerisationsreaktion von Kunstharzen mittels Laser oder UV-Projektor • Keramikpartikel in Harz gebunden 		<ul style="list-style-type: none"> • thermisches Plastifizieren von Kunststoff und Strangablage durch eine Düse • Keramikpartikel in Kunststoffmatrix gebunden 	
Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile	Vorteile	Nachteile
<ul style="list-style-type: none"> • direkter Prozess 	<ul style="list-style-type: none"> • (Porosität) 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Oberflächen-güten und geringe Formab-weichungen 	<ul style="list-style-type: none"> • mehrstufiger Prozess • hoher Reinigungs-aufwand 	<ul style="list-style-type: none"> • günstig • schnell 	<ul style="list-style-type: none"> • mehrstufiger Prozess • geringe Oberflächen-güten und größere Formab-weichungen
[DIN EN ISO 17296-2]					

Vergleich FLM und granulatbasiertes Schmelzsichten

Fused Layer Modelling	granulatbasiertes Schmelzsichten
Verfahrensprinzip	
<ul style="list-style-type: none"> • Strangablageverfahren mittels Extrusion thermisch plastifizierten Materials 	
Materialzufuhr	
i.d.R. Filament	Granulat
Düsendurchmesser	
≈ 0,4 - 1,0 mm	≈ 1,0 - 6,0 mm
Materialaustragsraten	
≈ 0,01 kg/h	≈ 0,5 - 6,5 kg/h



Abb. 7: Grundprinzip der Filamentextrusion [Gonzalez-Gutierrez et al.]



Abb. 8: Grundprinzip der Granulatextrusion [Gonzalez-Gutierrez et al.]

- inverse Kinematik
- 6-Achs Kuka Roboter
- 1: beheizte Bauplattform
- 2: Extruder

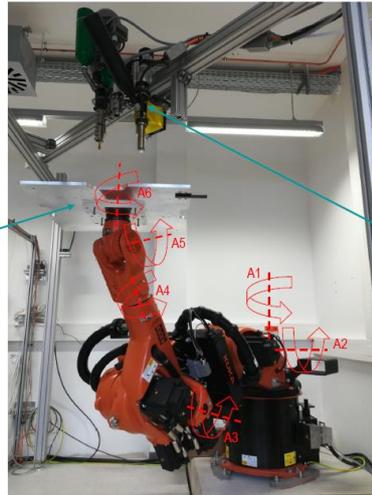


Abb. 9: Anlagenaufbau mit Roboter und Extruder



Prozessmodell additive Fertigung

- Beschreibung der Stranggeometrie in Abhängigkeit der Prozessparameter
- Anpassung der Parameter Extrusionsrate, Vorschubgeschwindigkeit und Düsenabstand für gewünschten Strangquerschnitt
- theoretisches Modell nach Schmidt et al.:

$$v_f = \frac{M}{\frac{\pi}{4} \cdot h^2 + h \cdot (w - h)}$$



Abb. 10: exemplarischer Strangquerschnitt

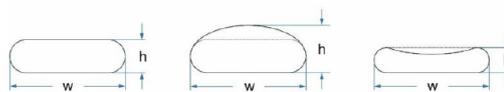


Abb. 11: Einfluss des Düsenabstandes auf den Strangquerschnitt [Layher et al.]

Prozessmodell additive Fertigung

- Festlegung auf Stranggeometrie: $w = 5 \text{ mm}$, $h = 1,5 \text{ mm}$
- Einfügen einer Ebene beim Sollwert der Strangbreite $w = 5 \text{ mm}$
- Schnittkurve beschreibt mögliche Kombinationen aus Extruderdrehzahl und Vorschubgeschwindigkeit

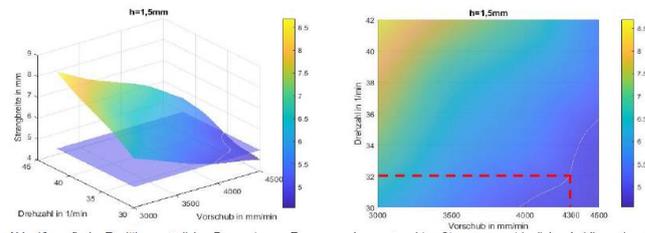


Abb. 12: grafische Ermittlung möglicher Parameter zur Erzeugung der gewünschten Strang-geometrie, links: dreidimensionale Ansicht, rechts: zweidimensionale Ansicht mit Beispiel

Prozessmodell additive Fertigung

- Ziel: Ermittlung der unteren Grenze der Zwischenlagentemperatur
- Annahme: Steigerung der Festigkeit mit zunehmender Zwischenlagentemperatur
- Fertigung von Hohlquadern zur Herstellung von Biegeprüfkörpern
- Ergebnis: keine Festigkeitssteigerung nachweisbar

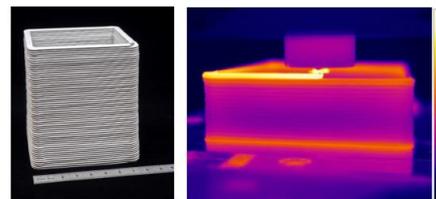


Abb. 14: links: Hohlquader, rechts: thermografische Aufnahme

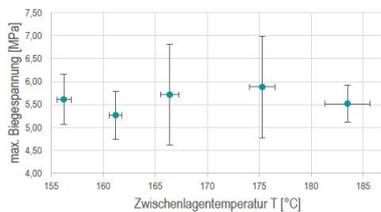


Abb. 13: Schichtzusammenhalt in Abhängigkeit der Zwischenlagentemperatur



Abb. 15: Biegeprüfkörper

spanende Grünbearbeitung

- Werkzeug: Schafffräser HSS Ø12



Abb. 16: eingespannter Probekörper in Fräsmaschine

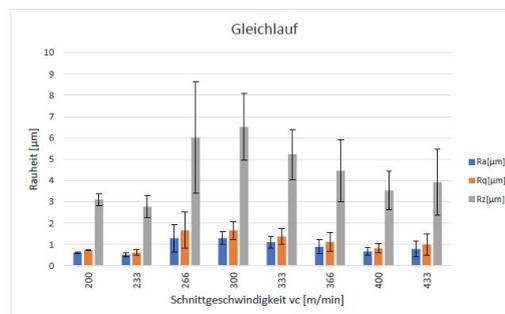


Abb. 17: Rauheiten der gefrästen Probe in Abhängigkeit der Schnittgeschwindigkeit v_c

Entbindern und Sintern

- thermischer Entbinderungsprozess
- Sintervorgang in Luft-Atmosphäre
- Rauheiten nach dem Sintervorgang besser als Zustand direkt nach der Grünbearbeitung



Abb. 18: links: Grünkörper, rechts: gesintertes Bauteil

Tabelle 1: Rauheiten vor und nach dem Sintern

	Ra [µm]	Rq [µm]	Rz [µm]
nach Grünbearbeitung ($v_c = 233 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$)			
Mittelwert	0,613	0,729	2,872
STABW	0,023	0,025	0,270
nach Sintervorgang			
Mittelwert	0,205	0,300	1,920
STABW	0,017	0,054	0,116

Ausblick

Ziel: Beherrschung der gesamten Prozesskette

- Optimierung der Entbinder- und Sinterkurven
- Erforschung der limitierenden, geometrischen Faktoren; maximale Wanddicken u.Ä.
- Untersuchungen des Schwindverhaltens beim Entbindern/Sintern
- Parameterstudie zur spanenden Hartbearbeitung
- Kombination der einzelnen Prozessschritte



Abb. 19 Demonstrator einer Brennkassette



Abb. 20: Ringstruktur D = 300 mm

Ausblick

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

- 3d-figo GmbH (2021): FFD150H. Online verfügbar unter <http://3d-figo.de/produkt/>
- AIM3D GmbH (2017). Online verfügbar unter <https://www.aim3d.de/>
- Bellini, Anna (2002): Fused Deposition of Ceramics. A Comprehensive Experimental, Analytical and Computational Study of Material Behavior, Fabrication Process and Equipment Design. Drexel University, Philadelphia
- CeramTec: Oxidkeramik-Aluminiumoxid (Al2O3). Der bekannteste oxidkeramische Werkstoff. Online verfügbar unter <https://www.ceramtec-industrial.com/de/werkstoffe/aluminiumoxide#glossary5066AccordionLetterN>
- DIN EN ISO 17296-2, 2016. DIN EN ISO 17296-2
- Duty, Chad E.; Kuntz, Vlastimil; Compton, Brett; Post, Brian; Erdman, Donald; Smith, Rachel et al. (2017): Structure and mechanical behavior of Big Area Additive Manufacturing (BAAM) materials. In: *Rapid Prototyping Journal*, S. 181–189
- Eckhardt, Lukas (2020): Entwicklung eines Prozessmodells für die laserunterstützte additive Fertigung großvolumiger Kunststoffbauteile. Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Jena
- Gebhardt, Andreas (2014): 3D-Drucken. Grundlagen und Anwendungen des Additive Manufacturing (AM). Carl Hanser Verlag
- Gonzalez-Gutierrez, Joaquin; Cano, Santiago; Schuschnigg, Stephan; Kukla, Christian; Sapkota, Janak; Holzer, Clemens (2018): Additive Manufacturing of Metallic and Ceramic Components by the Material Extrusion of Highly-Filled Polymers. A Review and Future Perspectives. In: *Materials* 5
- Hadian, Amir; Koch, Leonard; Koberg, Philipp; Sarraf, Fateme; Liersch, Antje; Sebastian, Tutu; Clemens, Frank (2021): Material extrusion based additive manufacturing of large zirconia structures using filaments with ethylene vinyl acetate based binder composition. In: *Additive Manufacturing*
- Jacobs, Olaf (2009): Werkstoffkunde. 2. Aufl. Würzburg: Vogel (Vogel-Fachbuch)
- Layher, Michel; Eckhardt, Lukas; Hopf, Andreas; Bliedtner, Jens (2020): Development Of A Process Model For Bead Deposition Rates And Cooling Behavior Of Large Scale Additive Manufacturing Parts, 2020
- Mollah, Md Tusher; Comminal, Raphael; Serdeczny, Marcin P.; Perdersen, David B.; Spangenberg, Jon: Stability and deformations of deposited layers in material extrusion additive manufacturing.
- Ravi, Abinash K.; Deshpande, Anagh; Hsu, Keng H. (2016): An in-process laser localized pre-deposition heating approach to inter-layer bond strengthening in extrusion based polymer additive manufacturing. In: *Journal of Manufacturing Processes*, S. 179–185
- Roos, Eberhard; Maille, Karl (2005): Werkstoffkunde für Ingenieure. Grundlagen, Anwendung, Prüfung. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Springer (Springer-Lehrbuch)
- Schmidt, Leander; Schrickler, Klaus; Bergmann, Jean Pierre; Husenöder, Felix; Eiber, Mathias (2018): Characterization of a granulate-based strand deposition process in the FLM-method for definition of material-dependent process strategies. In: *Rapid Prototyping Journal*, S. 104–116
- SiCeram GmbH: Werkstoffe. Online verfügbar unter <https://siceram.de/werkstoffe/>
- Trivitky, Nahum; Bonet, Alexander; Dermeik, Benjamin; Fey, Tobias; Filbert-Demut, Ina; Schlier, Lorenz et al. (2014): Additive Manufacturing of Ceramic-Based Materials. In: *Advanced Engineering Materials*, S. 129–134
- Turner, Brian N.; Strong, Robert; Gold, Scott A. (2014): A review of melt extrusion additive manufacturing processes. I. Process design and modeling. In: *Rapid Prototyping Journal*
- WZR ceramic solutions GmbH (2021): Online verfügbar unter <https://wzr.co/>

Kunststoffpulver aus Arbeitsschutzperspektive: ein blinder Fleck im SLS?

Erik Wöller

DermaPurge GmbH

Kunststoffpulver aus Arbeitsschutzperspektive

Ein blinder Fleck im SLS?



M.A. Erik Wöller
woeller@dermapurge.com
DermaPurge GmbH c/o Leibniz-Institut für
Polymerforschung Dresden

14.06.2023



- Innovative, patent-basierte Produkte
- Besonders effektiv durch maßgeschneiderte Lösungen
- schonende Hautreinigung ohne Tenside



Produktentwicklung



Um was geht es heute?

1. Gefahrenpotential von Kunststoffpartikeln:
 - a. Material vs. Partikeltoxizität
 - b. Metall- und Kunststoffpulver
 - c. Trends und Effekte
2. Aufnahmewege in den Körper
3. Schutzmöglichkeiten

Toxizität von Materialien

- Materialtoxizität
 - „Normale Toxizität“:
 - Direkte Interaktion mit Enzymen oder Proteinen
 - Wird noch nicht beachtet!
 - Partikeltoxizität: Aufgrund der physikochemischen Eigenschaften der Partikel
 - Größe
 - (Ladung)
 - (Form)
 - Material
 - Löslichkeit
 - Bioabbaubarkeit
 - Biopersistenz
- Materialtoxizität ist einfach abzuschätzen
Partikeltoxizität eher komplex



Sicherheitsdatenblätter oft unzureichend

- 52 % ...der im EU REF-2-Projekt untersuchten SDB waren mangelhaft. → ECHA wird aktiv: enforcement project (REF-11)¹
- Auswahl der H- und P-Sätze basiert auf der Materialtoxizität → Reach-Update (EU) 2021/979

¹https://echa.europa.eu/de/-/highlights-from-enforcement-forum-38-meeting?utm_source=echa-weekly&utm_medium=email&utm_campaign=weekly&utm_content=20210630&_cldee=at5mcmlc2xAcW9yZGF2Z3JvdXAuY29t8&recipientid=lead-ef2de77a504ae911810b005056952b31-04308797cd1452a2b3855cb869b6b1&esid=7cf1018-73d9-eb11-812c-005056b69310e

Materialtoxizität am Beispiel Al

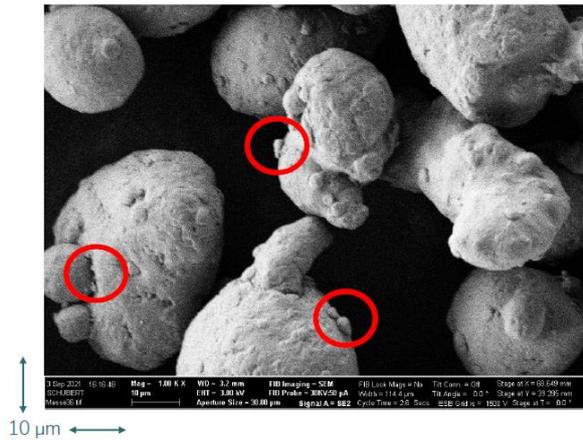
- Nur die Dosis macht das Gift
- Welche Dosis ist ungefährlich?
- Maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK)=
- Konzentration bei der keine Beeinträchtigung der Gesundheit zu erwarten ist.

Substanz	ppm (mg/m ³)
Acetaldehyd	50 (91)
Aceton	500 (1200)
Acetonitril	20 (34)
Aldrin	(0,25)
Aluminium (Staub)	(1,5)
Ameisensäure	5 (9,5)

<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/mak-wert/40803>

Es gibt nur MAK Werte für die Luft!

Metallpulver in der Fertigung

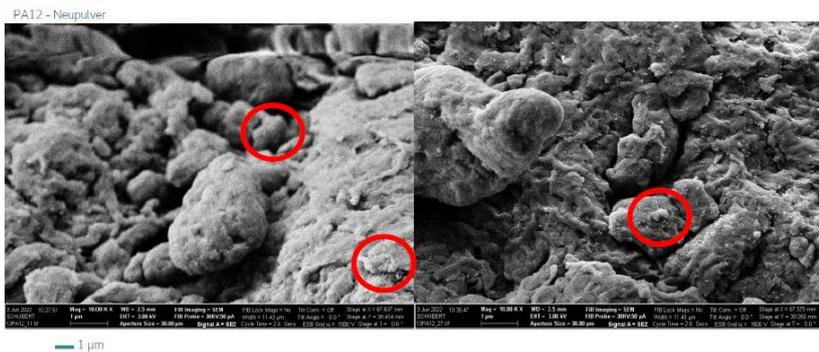


AlSi10Mg als 20-63 µm angegeben

- Metall: Durch Abrieb entstehen Partikel <20 µm
- Starke Abweichung in der Größenverteilung
- Lässt sich im Herstellungsprozess kaum vermeiden

→ Volumen-Mittelwert für Arbeitsschutz nur sekundär aussagekräftig

Risikofaktor Kunststoffpulver



baua: Studie zu **Stoffbelastungen** bei der additiven Fertigung mit Pulverbettverfahren:
 Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin

- Personengetragene Messungen bis etwa um den **Faktor drei höhere Belastungen** als ortsfeste Messungen.
- Auf den unmittelbaren Umgang (**Entnahme, Reinigen, Sieben, Rüsten, Nachbearbeiten, Sägen, Strahlen**) mit den Werkstoffen durch die Beschäftigten zurückzuführen
- Belastung **trotz teils geschlossenen Systemen und Absauganlagen**

Tätigkeit	Anzahl	Median in mg/m ³	95-Perzentil in mg/m ³	Maximum in mg/m ³
ortsfest	66			≤ 0,65
davon:				
Entnahme/Reinigen/Sieben/Rüsten	29	0,10	0,31	0,36
Nachbearbeitung	12			≤ 0,93
Sägen	4	0,30		0,44
Sieben	6			≤ 0,65
Tagbetrieb	4	0,07		0,11
Nachtbetrieb	11	0,06	0,13	0,17
personengetragen	39	0,18	0,21	0,27
davon:				
Entnahme/Reinigen/Sieben/Rüsten	30		0,21	0,27
Nachbearbeitung	9	0,18		

Source: R. Heibich, U. Prott, A. Woznica, J. Walter, M. Hübner, S. Kallert: Staubbelastungen bei der additiven Fertigung mit Pulverbettverfahren. In: Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, Volume 81, Nr. 1-2, 2021, Seiten 53-59, Projektnummer: F.2410

Risiko: Hautkontakt

Partikel <100 nm (i.e. nanoplastics) können **direkt die Hautbarriere** durchstoßen

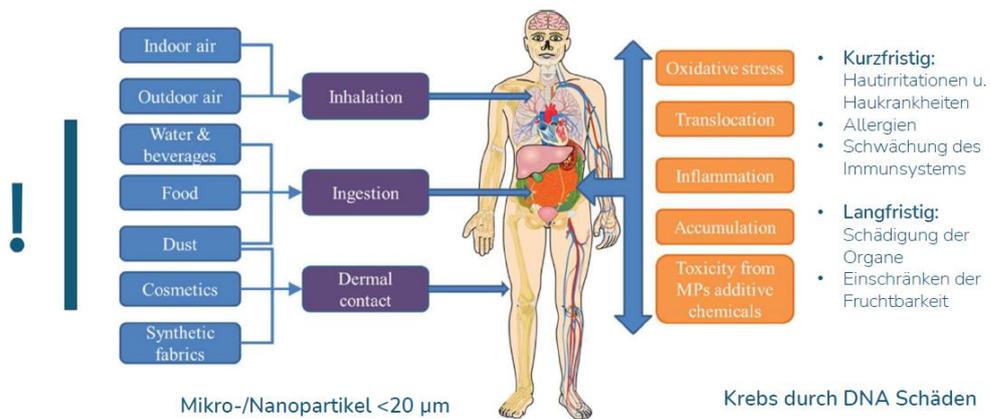
Hautpenetration größerer Partikel über **Haarfollikel, Schweißporen**, beschädigte Haut etc.



Risiko: Kontaminationsverschleppung



Wenn sich (Kunststoff-)Stäube im Körper anlagern



Bausteine zur Verringerung der Exposition von Kleinstpartikel



Handschutz/Vollschutz

- An- und Ausziehen der Handschuhe/Vollschutz führt zu Exposition.
- Längeres Tragen vermeiden
- Bei drehenden Werkzeugen ausgeschlossen



Semi-geschlossene Systeme



- BAuA-Studie zeigt: Trotzdem Partikelbelastung

Absauganlagen



- Erfassen nicht die kleinsten Partikel von Oberflächen und der Haut.
- Kaum Verringerung der Aufnahme durch Haut und Oral.

Hautreinigung

- Seife und Handwaschpasten sind nicht effektiv
- Lösen Allergien und Irritationen aus
- Schädigen die Hautbarriere



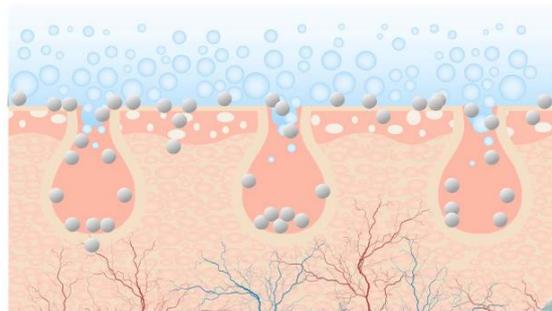
NUR GESAMTKONZEPT BIETET SICHERHEIT

Wir setzen da an, wo Seife, Waschpaste & Co. versagen!

1.) Keine effektive Reinigung!



2.) Wash-In-Effekt!



3.) TRGS 401!



powder-ex – der Magnet für die Haut



FÜR PARTIKEL AB 4 nm

ALLE PULVER & STÄUBE

99% REINIGUNGSLEISTUNG

PRÄVENTIV GEGEN RISIKEN

SEIFENFREI



Made in Germany

Anwendung und Funktionsweise



Implementierung in den Hautschutzplan

Was	Wer	Wann	Wie	Womit
				Produktname <input type="text"/>
				Produktname <input type="text"/>
	<ul style="list-style-type: none"> Produktionsmitarbeiter Maschinenführer Reinigungspersonal Logistiker 	<ul style="list-style-type: none"> Beim <u>jedem</u> Verlassen der Produktionsräume Nach direktem oder indirektem Staub- oder Pulverkontakt 	<ul style="list-style-type: none"> Hände befeuchten etwa 5 ml auf Hände pumpen – komplett verreiben Mit kaltem Wasser abspülen 	Produktname powder-ex
				Produktname <input type="text"/>
				Produktname <input type="text"/>

Vor dem Essen und bei Arbeitende anwenden!

Zusätzlicher Schutz für Ihre Mitarbeiter

Nach: Muster-Hautschutz- und Hygieneplan der BGN

DERMAPURGE

+49 351 4658 1322
 info@dermapurge.com
 www.dermapurge.com

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN | ipf | exiST | Science4Life | ESF | Made in Germany

SESSION 5

KI im 3D-Druck

Simulation | Prozessmonitoring

Qualitätssicherung

Moderation: Prof. Jörg Matthes
Hochschule Mittweida

Optical Coherence Tomography and its application for quality evaluation and control in 3D printing processes - examples

Dr.-Ing. habil. Malgorzata Kopycinska-Müller

Fraunhofer IKTS

Qualitätssicherung von 3D-Druck-Bauteilen mittels halbautomatisierter Computertomographie-Analyse

Andreas Krombholz

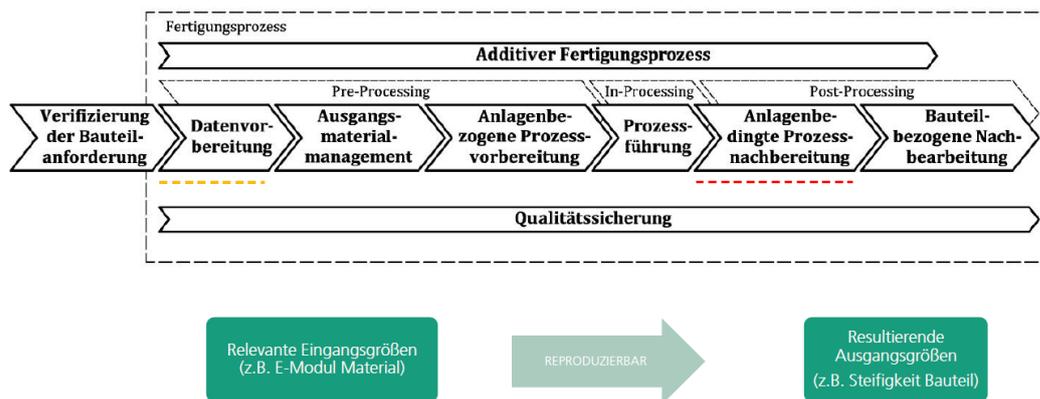
Fraunhofer IMWS

Qualitätssicherung von 3D-Druck-Bauteilen mittels halbautomatisierter Computertomographie-Analyse

14.06.2023 – 3D-Druck in der Anwendung

Thomas Wagner, Andreas Kromholz, Alexander Goldstein, Marco Rühl

Qualitätssicherung und Industrialisierung in der additiven Fertigung (DIN SPEC 17071)



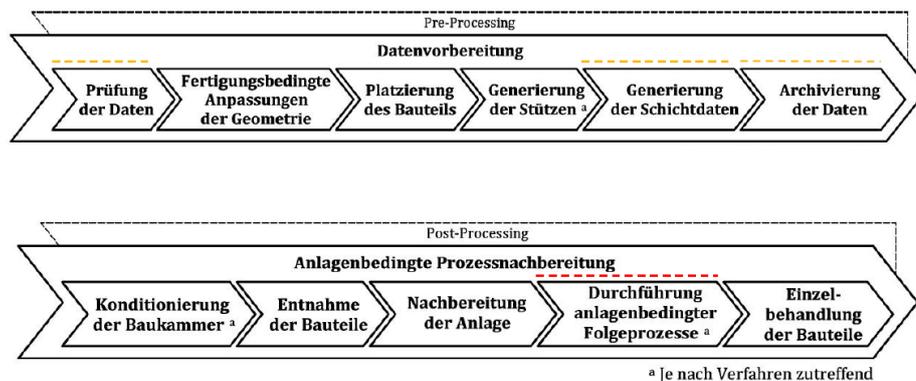
Seite 2

01.06.2023

© Fraunhofer IMWS

Quelle : verändert nach DIN SPEC 17071:2019-12

Qualitätssicherung und Industrialisierung in der additiven Fertigung (DIN SPEC 17071)



Seite 3

01.06.2023

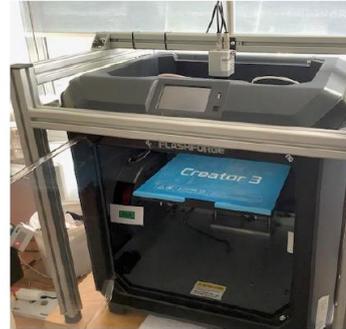
© Fraunhofer IMWS

Quelle : verändert nach DIN SPEC 17071:2019-12

Prozess FFF (Fused Filament Fabrication) - Hardware

Hardware (Flashforge Creator 3 Pro)

- Baugröße (XYZ) 300 x 250 x 200 mm³
- Material PLA, ABS, PA, PC, PVA, HIPS, PETG, Wood, ASA, PA-CF
- Ø Filament 1.75 mm
- Schichtdicke 0.05 – 0.4 mm (0.6 mm, 0.8 mm)
- Ø Düsen 0.4 mm (0.6 mm, 0.8 mm), 2 Düsen
- Druckgenauigkeit +/- 0.2 mm
- T-MAX_{Extruder} 320 °C
- T-MAX_{Plattform} 120 °C
- Geschwindigkeit 10 - 150 mm/s



Seite 4 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS Quelle: flashforge-germany.com - Flashforge Creator 3 Pro [abgerufen am 1. Juni 2023]



Material - PLA

Mechanische Spezifikation	
Durchmesser	1.75mm
Gewicht	1kg
Spezifisches Gewicht	1,24 g/cc
MFI	6,0 g/10 min
Zugfestigkeit	110 MPa (MD) / 145 MPa (TD)
Bruchdehnung	160% (MD) / 100% (TD)
Zugmodul	3310 MPa (MD) / 3860 MPa (TD)
Stoßfestigkeit	7,5 kJ/m ²
Toleranz	± 0.05mm
Rundheit	≥ 95%

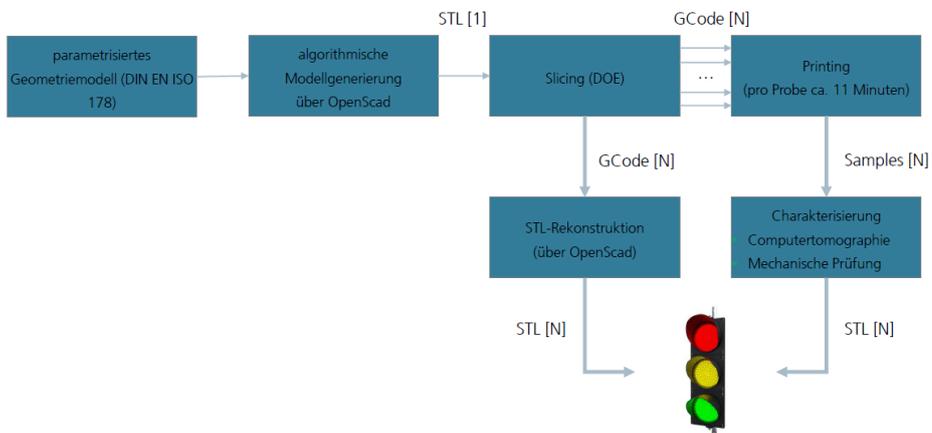
Betriebsumgebungsspezifikationen	
Drucktemperatur	180-210°C
Schmelztemperatur	210 °C ± 10 °C.
Schmelzpunkt	145-160°C
Vicat Weichtemperatur	±60 °C.
Wärmeabfütungstemperatur	56 °C
Lagertemperatur	15-25°C



Seite 5 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS Quelle: Datenblatt R&S



Workflow

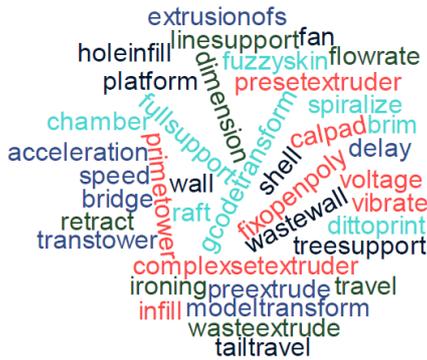


Seite 6 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS



Slicing

40 Sektionen, über 400 Parameter (ffslicer)



Sektionen (40)

Parameter (> 300)

DOE – Design of Experiment

P1 x P2 x P3 x...x PN

Beispielhafte Generierung einer Untermenge von 40 Proben

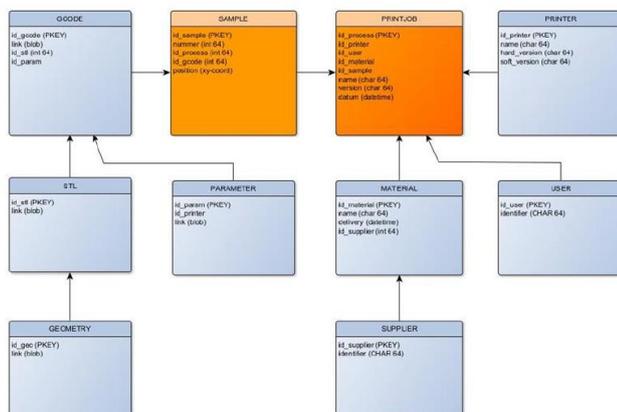
```
#####
#
# parameter;r;start;end;delta      # r for range parameter
# parameter;v;value1;value2;value3 # v for value parameter
#
#####

main.layerHeight;r;0.15;0.20;0.05      # range;2;0.01;2.00;0.18
main.firstLayerHeight;r;0.27;0.291;0.01 # range;2;0.01;2.00;0.27
main.rightTemp;r;200;230;10            # range;2;0.00;1000.00;200.00
main.leftTemp;r;200;200;10            # range;2;0.00;1000.00;200.00
main.platTemp;x;80;80;10              # range;2;0.00;300.00;50.00

shell.count;r;2;3;1                   # range;2;0.00;1000.00;2.00

infill.topSolidCnt;r;1;1;1            # range;2;0.00;30.00;3.00
infill.bottomSolidCnt;r;1;2;1        # range;2;0.00;30.00;3.00
infill.density;r;0.1;0.2;0.1         # range;2;0.00;1.00;0.15
infill.solidDensity;r;0.1;0.1;0.1    # range;2;0.00;1.00;1.00
infill.shape;v;line;triangle;hexagon;3dInfill # value;4;line;triangle;hexagon;3dInfill;hexagon
infill.startAngle;r;45.0;45.0;5.0    # range;2;0.00;180.00;45.00
infill.crossAngle;r;90.0;90.0;15.0   # range;2;0.00;180.00;90.00
```

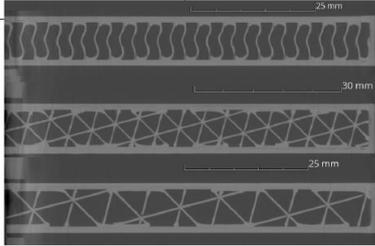
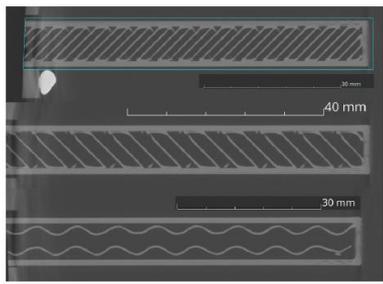
Daten – Management über RDBMS (MariaDB)



DOE – Design of Experiment

P1 x P2 x P3 x...x PN

```
#####  
# parameter: r1: start: end: delta # r For range parameter  
# parameter: v1: value1: value2: val3: delta # v For value parameter  
#####  
main_layerHeight: r1: 0.15: 0.20: 0.05 # range: r1: 0.012: 0.02: 0.018  
main_firstLayerMeshSize: r2: 0.25: 0.28: 0.01 # range: r2: 0.012: 0.02: 0.027  
main_rightTemp: r3: 200: 250: 10 # range: r3: 0.001000: 0.002000: 0.00  
main_leftTemp: r4: 200: 250: 10 # range: r4: 0.001000: 0.002000: 0.00  
main_plateTemp: r5: 80: 100: 10 # range: r5: 0.003000: 0.005000: 0.00  
shell: count: r6: 2: 3: 1 # range: r6: 0.001000: 0.002000: 0.00  
infill: edgeInfill: r7: 1: 1: 1 # range: r7: 0.0030: 0.003: 0.00  
infill: bottomShellInfill: r8: 1: 1: 1 # range: r8: 0.0030: 0.003: 0.00  
infill: density: r9: 0.1: 0.2: 0.1 # range: r9: 0.001: 0.001: 0.00  
infill: sortMesh: r10: 1: 0: 1: 0: 1 # range: r10: 0.001: 0.001: 0.00  
infill: shape: v1: line: r11: angle: hexagon: 3Dinfill # value: 4: 1: line: r12: angle: hexagon: 3Dinfill: hexagon  
infill: startAngle: r13: 45: 0: 45: 0: 45: 0 # range: r13: 0.001800: 0.0045: 0.00  
infill: crossAngle: r14: 90: 0: 90: 0: 135: 0 # range: r14: 0.001800: 0.0090: 0.00
```



Proben

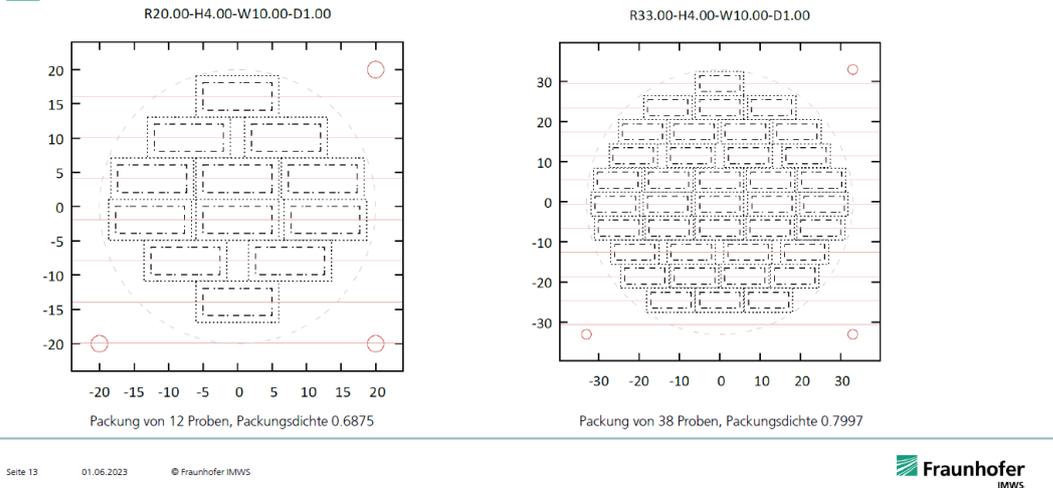
„Das Chaos besiegt die Ordnung, weil es besser organisiert ist.“



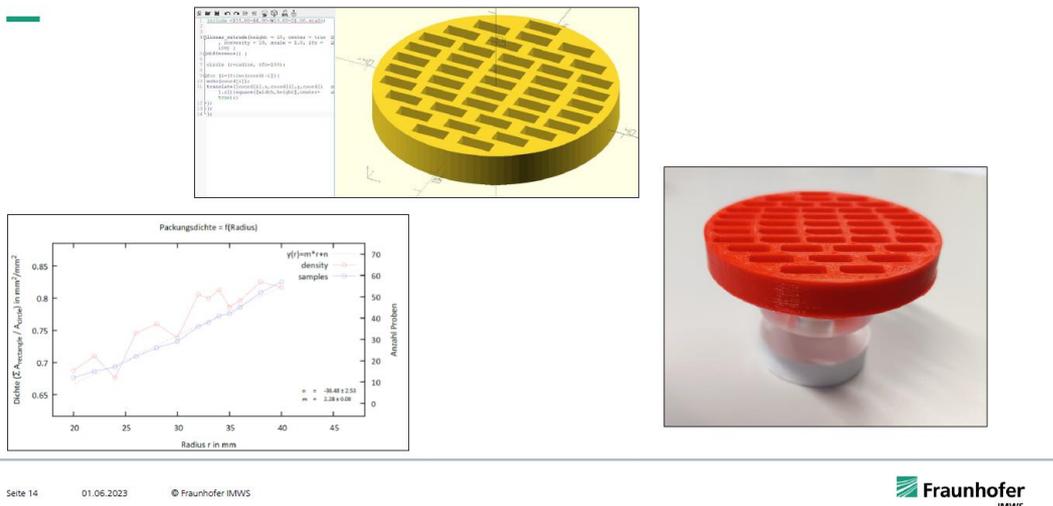
Computertomographie – Markierung/Identifikation



Computertomographie - Probenhalterung

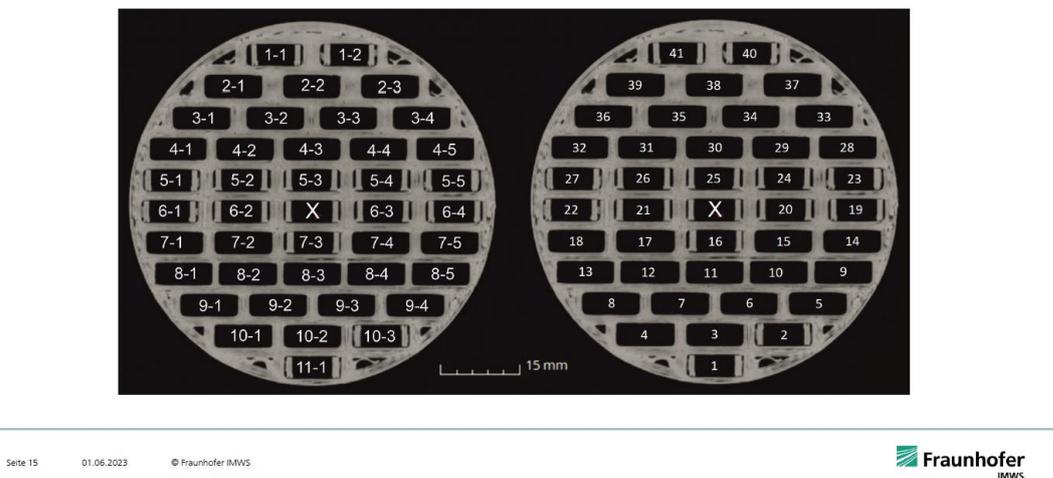


Computertomographie - Probenhalterung



Computertomographie - Probenhalterung

RayScan 200E, 2k-Detektor (2000x2000 Pixel), Voxelgröße ca. 60 µm, Höhe = 80 mm



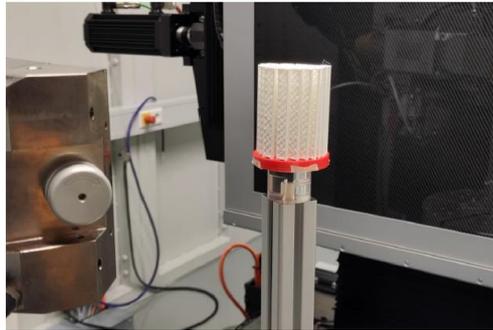
Computertomographie - Parameter

Randbedingungen

- Aufnahmezeit ≤ 1 h
- ca. 40 Proben
- Auflösung Voxel ca. $64 \mu\text{m}$ (Düsenbreite $400 \mu\text{m}$!),
Probenmerkmal sollte eine Größe von ca. 4 Voxeln haben !

Parameter CT-Anlage

- Spannung: 120 kV
- Stromstärke: $250 \mu\text{A}$
- Belichtungszeit: 500 ms
- Anzahl Projektionen: 1440
- Mittelwerte pro Projektion: 2



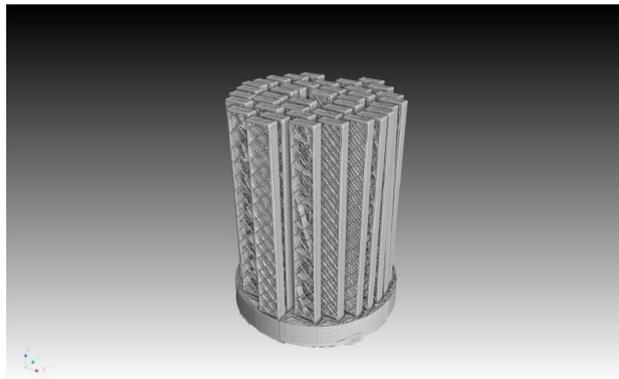
Seite 16

01.06.2023

© Fraunhofer IMWS



Computertomographie - Ergebnisse



Schritte

- Oberflächenbestimmung
- Ausrichtung des Volumens
- ROI(s) definieren & extrahieren (42 ROI)
- Generierung von Einzelvoluminas

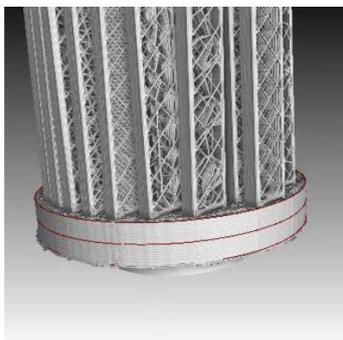
Seite 17

01.06.2023

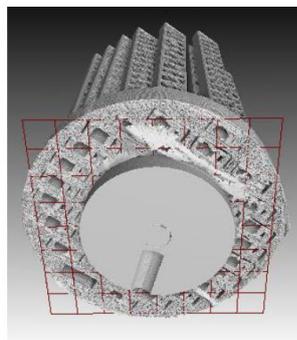
© Fraunhofer IMWS



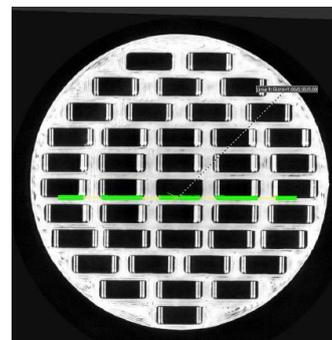
Computertomographie – Arbeitsschritt Volumenausrichtung



Fit Zylinder



Anpassung Ebene



Anpassung Linien

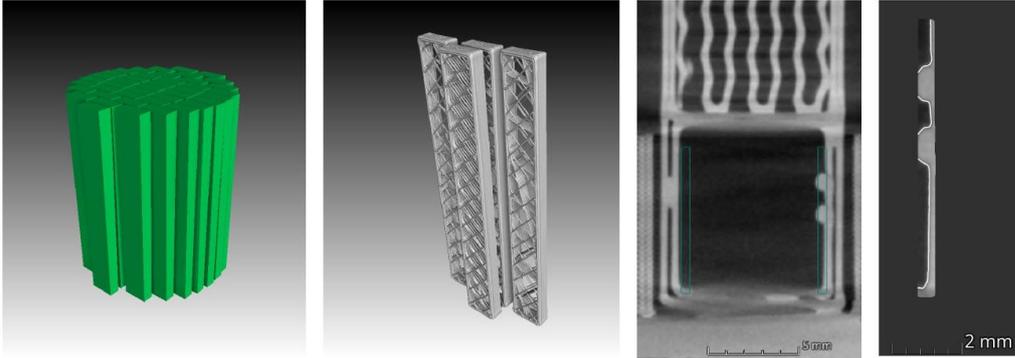
Seite 18

01.06.2023

© Fraunhofer IMWS



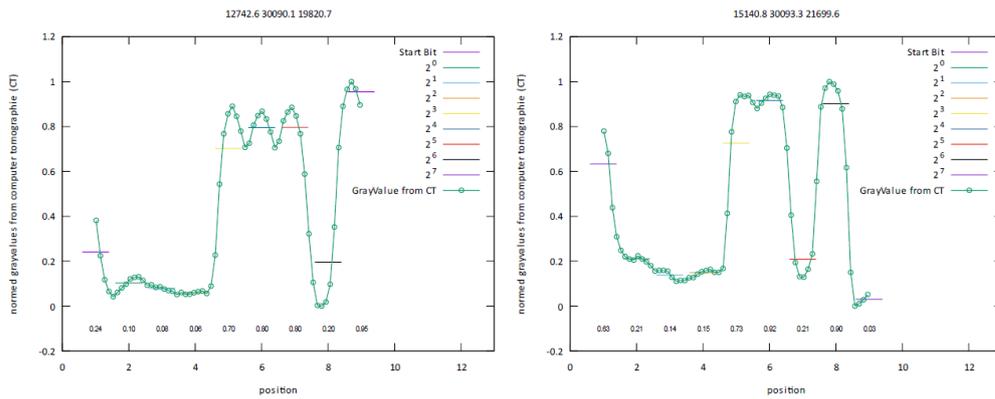
Computertomographie – Generierung Einzelvolumina und Identifikation Marker



Seite 19 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS



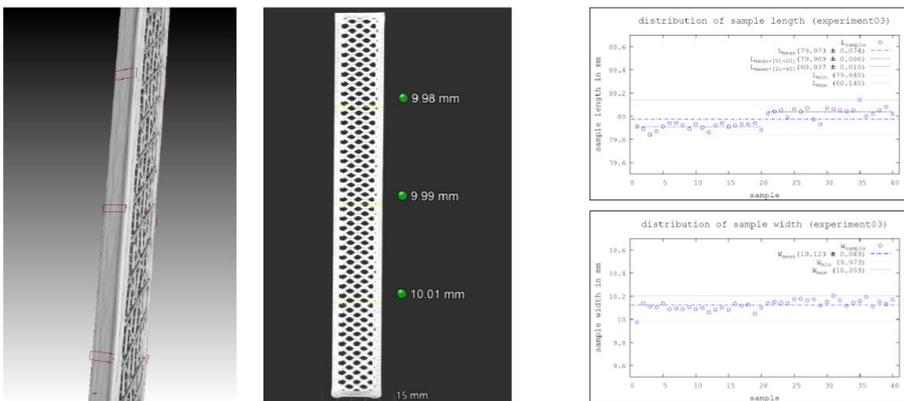
Computertomographie – Generierung Einzelvolumina und Identifikation Marker



Seite 20 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS



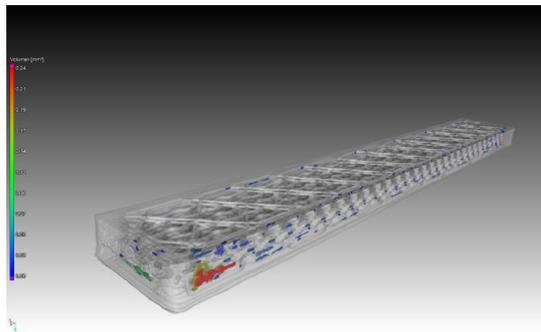
Computertomographie – Geometrievermessung an Messpunkten und Vergleich mit manueller Messung



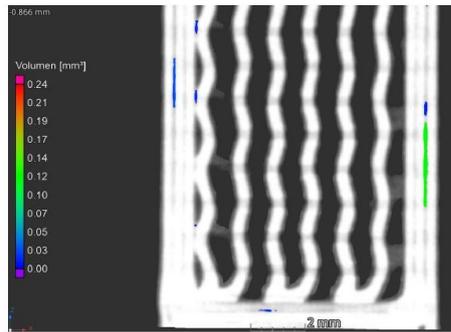
Seite 21 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS



Computertomographie – Messung von Porositäten“ zwischen den Lagen



Porenanalyse 2d

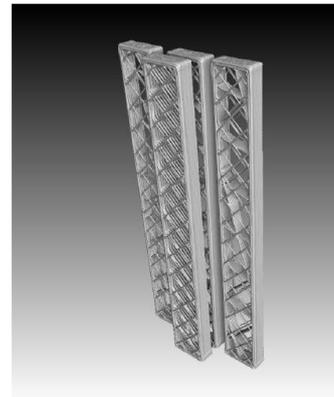


Porenanalyse 3d

Seite 22 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS



Ausblick: GCode-Rekonstruktion vs. CT-Scan



Seite 23 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS



Danksagung

Wir danken der Investitionsbank Sachsen-Anhalt für die Förderung des Projektes "Halbautomatisierte Bewertung von additiv gefertigten polymeren Bauteilen mittels CT-Daten zur Qualitätssicherung im 3D-Druck-CT4Add2QM " 2204/00038



EUROPÄISCHE UNION
EFRE
Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

Seite 24 01.06.2023 © Fraunhofer IMWS



Kontakt

Andreas Krombholz
Polymeranwendungen / Nachhaltige Werkstoffe und Prozesse
Tel. +49 3445/5589-153
andreas.krombholz@imws.fraunhofer.de

Thomas Wagner
Polymeranwendungen / Bewertung von Faserverbundsystemen
Tel. +49 3445/5589-216
thomas.wagner@imws.fraunhofer.de

Fraunhofer IMWS
Walter-Hülse-Straße 1
06120 Halle/Saale
www.imws.fraunhofer.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

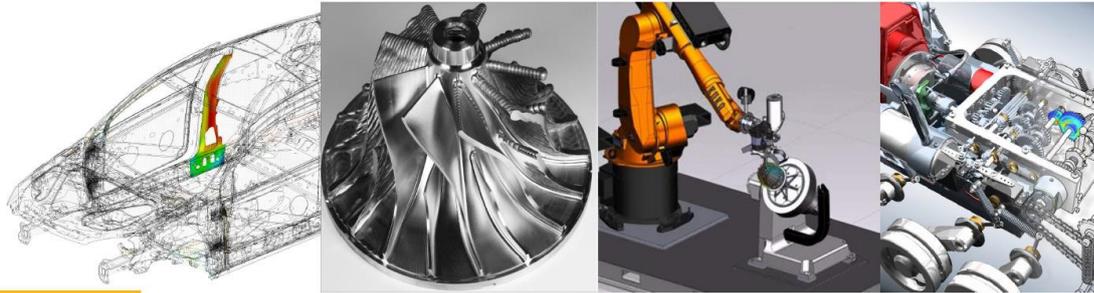
Integrierter 3D-Prozess zur optimalen Bahnplanung und -simulation der WAAM- Technologie

Koteswararao Gattupalli

ARC Solutions GmbH

Albert Aparisi Escriva

GEFERTEC GmbH



Integrierter 3D-Prozess zur optimalen Bahnplanung und -simulation der WAAM-Technologie

Koteswararao Gattupalli(ARC Solutions GmbH)
Albert Aparisi Escriva(GEFERTEC GmbH)

Inhalte

Vorstellung der Unternehmen

Einordnung von 3DMP® WAAM in die DED-Prozesslandschaft

Das WAAM-Verfahren

NX-Technologie und Möglichkeiten

Bahnplanung und digitale Simulationen

Anwendungsszenarien

Anwendungsfall - Beispiel (Load collar)

Partnerschaftlich zum Erfolg

GEFERTEC bietet komplette Fertigungssysteme für den Metall 3D Druck im Wire-Arc-Additive-Manufacturing (WAAM) Verfahren an. Grundlage ist dabei das traditionelle Metallschutzgasschweißen.

Software-Systemhaus, Siemens PLM Solution Partner, ISO 9001 zertifiziert
Ganzheitliche Lösungen, von Konzeptfindung über Einführung bis zum Betrieb
seit 20 Jahre Knowhow in SIEMENS- und 3rd-party Anwendungen

Ihr strategischer Partner für die Digitale Fabrik (Industrie 4.0)
Hersteller von NX, Teamcenter, Mccenter, CMVM/RMVM, Simcenter, Opcenter, Solidedge, Mendix, MindSphere, Simatic, Sinumerik, u.v.a.m.
Unmittelbarer, weltweiter Zugriff auf die Entwicklung und Service

Maschinen- und Anlagenbauer

Zertifizierter Partner

Technologielieferant



GEFERTEC

F & E

Produkt-entwicklung

Vertrieb

Application Center

Starke Partner der GEFERTEC GmbH

Partner für
Unterstützungsprozess

Partner für
Maschinenproduktion

Feb 2015 Gründung	2015 Seed und Series A Finanzierung B.I.G./Scansonic	Sep 2017 Offizieller Markteintritt EMO	Sep 2018 Series B/Beteiligung der EMAG Group
	Dez 2016 1. Maschinenverkauf	Nov 2017 Launch der arc40X Serie	Dez 2021 Auslieferung der 35. arc-Maschine
		Mai 2018 1. Internationaler Maschinenverkauf	Aug 2019 Gründung GEFERTEC LLC

GEFERTEC



Maschinenbau

Wir fertigen und liefern die arc-Maschinen für unsere Kunden weltweit. Für unsere Maschinen bieten wir selbstverständlich Training, Service und auch kundenspezifische Hard- und Softwareentwicklung an.

Auszug aus der DED-Prozesslandschaft



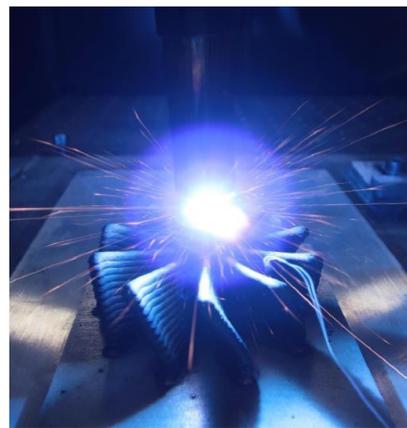
WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing)

Lichtbogen als Energiequelle

- Ausgereifte und robuste Prozesstechnologie
- Einfach bedienbar, digital gesteuert
- Vollautomatisiert

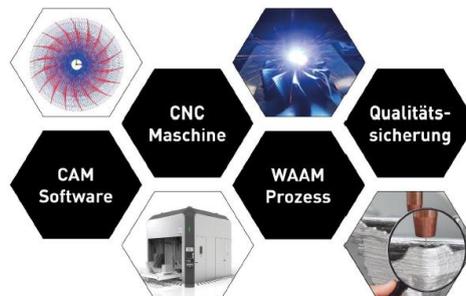
Aufbauarten

- Aluminium : 600 cm³/h (1.6 kg/h)
- Stahl : 450 cm³/h (3.5 kg/h)
- Ni-Bases : 450 cm³/h (3.5 kg/h)
- Titanium : 900 cm³/h (4 kg/h)

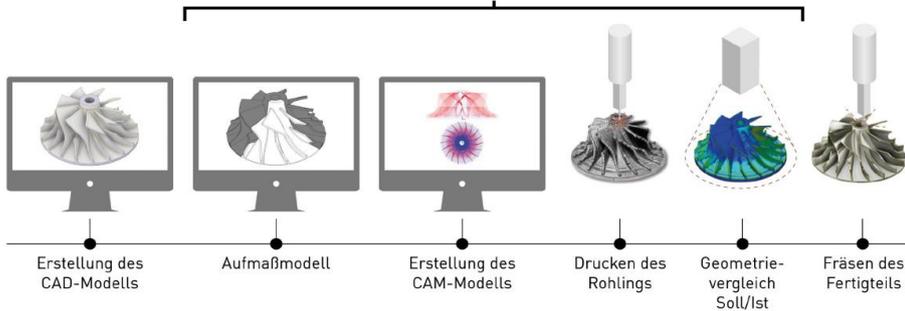


Was ist 3DMP®?

Durch die Integration eines einfachen WAAM-Prozesses, einer einfach zu bedienenden CAM-Software und des GEFERTEC-Maschinenparks wird eine revolutionäre und zugleich nachhaltige Lösung für die Fertigung geboten.



3DMP® Prozessschritte



Multiaxiale AM Verfahren - die CNC im Fokus !

Electron Beam Melting 	Cold Gas Spray 	Wire & Arc Additive Manufacturing 	Laser Powder / Wire Deposition 	DED – Directed Energy Deposition
Fused Deposition Modeling 	Thermoplastic Advanced Fibre Placement 	Continuous Filament Fabrication 	Pellet Extrusion 	

Ineffiziente Einzellösungen



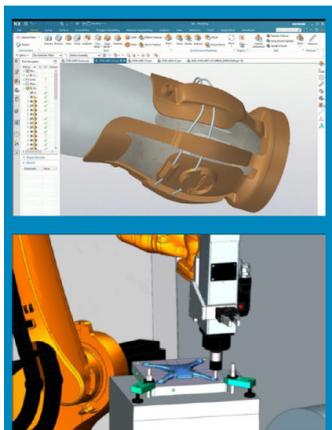


NX, wo sich verschiedene Technologien treffen - Hybride Fertigung

Subtraktive und additive Fertigung - eine zukunftssträchtige Symbiose



NX – die führende Größe bei der additiven Fertigung im Umfeld der Zerspanung



- + verschiedene additive Fertigungsverfahren mit einheitlicher Bedienung in einem System
 - + LMD (Laser Metal Deposition)
 - + WAAM (Wire Arc Additive Manufacturing)
 - + ME (Material Extrusion)
 - + ...
- + optimal auf SINUMERIK Multiaxiale AM-Maschinen abgestimmte Postprozessoren / Simulationen / Digital Twin
- + optimale Synthese aus additiven und subtraktiven Technologien in ein und demselben CAD/CAM-System
- + einheitlicher Prozess, ohne Konvertierung, von Entwurf / Reverse Engineering über Topologieoptimierung / Detaillierung bis zum einbaufertigen Bauteil
- + und vieles mehr

- 🔧 Erstellen Sie Ihre Rohteile schnell und effizient durch additive Fertigung und Nachbearbeitung.
- 🔧 Regenerieren Sie ihre Verschleißteile(Wear Parts) schnell und effizient
- 🔧 Fertigen Sie Ihre Bauteile mit weniger Material und Energie.
- 🔧 Fertigen Sie ihr bestehendes Bauteilportfolio schneller, effizienter und individuell.
- 🔧 Erweitern Sie ihr Portfolio durch Bauteile, die Sie durch reine Zerspanung nicht fertigen könnten.
- 🔧 Kombinieren Sie verschiedenste Materialien in einem Bauteil.



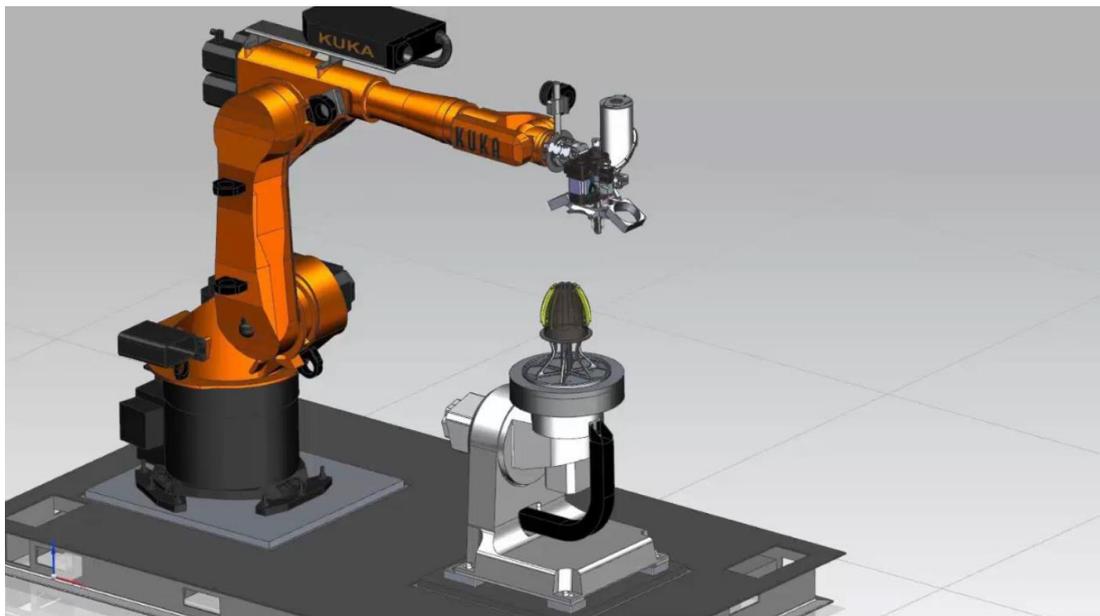
Digitalen Zwilling im NX

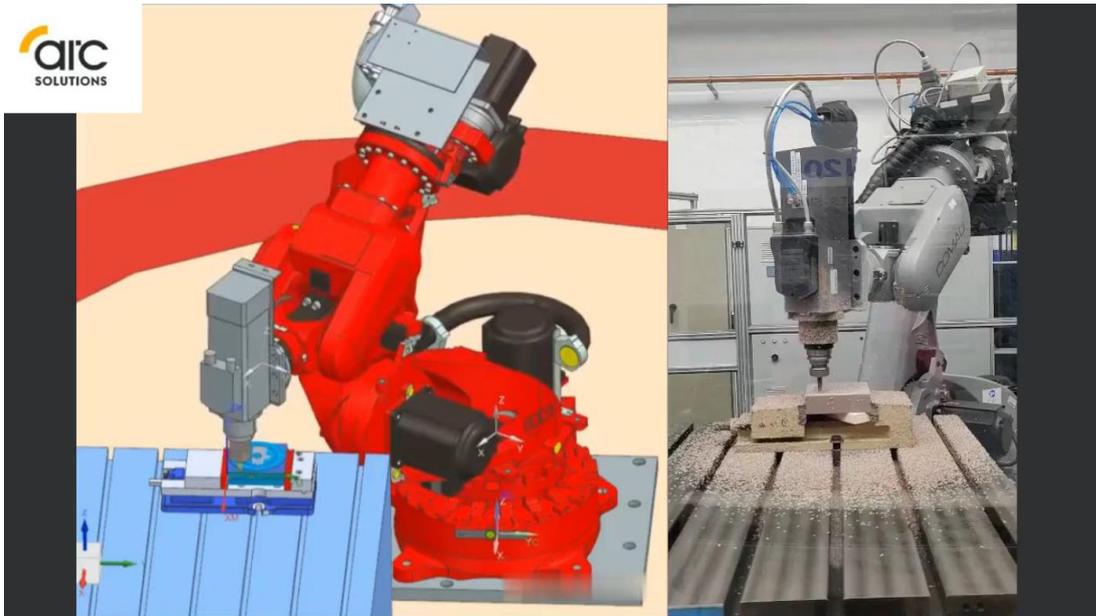
Vorteile von Digitalen Zwilling

- Verifikation und Test von CNC-Programmen
 - Validierung von Maschinen und Prozessen
 - Überprüfung des Materialabtrags
 - Überprüfung und Optimierung der Bearbeitungsoperationen
- Erkennen und Korrektur von Fehlern (Singularitäten, Kollisionen) vor der Bearbeitung
- Einsparung teurer Testwerkstücke
- Messung von CNC-Programmlaufzeiten
- Reduzierung von Stillstandszeiten Maschine/Roboter.



Virtuelle Maschine mit virtueller Steuerung (Siemens)





GEFERTEC

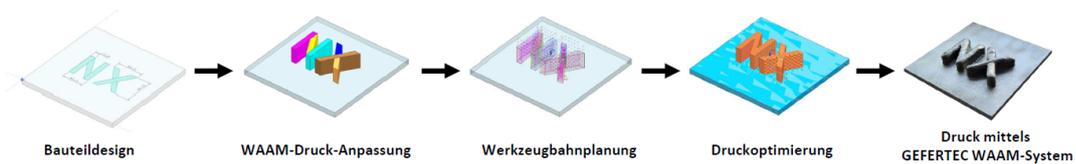
WAAM-Technologie trifft auf SIEMENS NX CAM-Software

Vorteile SIEMENS NX

- Leistungsstarke und effiziente Werkzeugbahnplanung für den WAAM-Prozess
- Synergien und Komfort durch den konsequenten Einsatz einer einheitlichen CAD/CAM-Standardsoftware
- Vollständige Einbindung in die digitale Produktionsumgebung, einschließlich PLM, MES und ERP
- Modularer Aufbau

Leistungsumfang CAM-Modul (WAAM)

- Grundlegende Konstruktionsoperationen
- CAM-Operationen
- Umfassende Simulationsfunktionalitäten



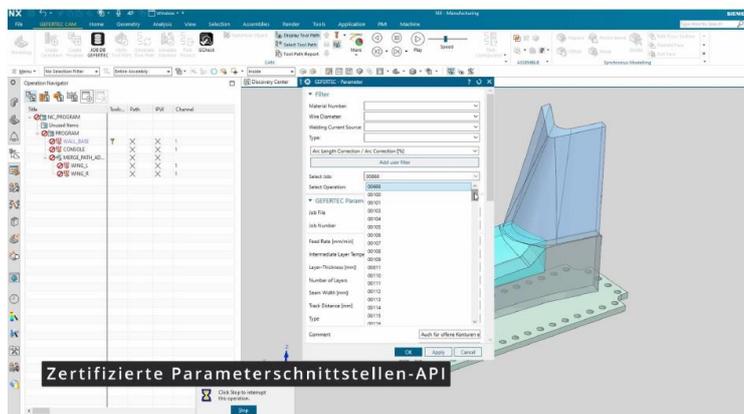
solutions that move

page 20

© ARC Solutions GmbH all rights reserved

GEFERTEC

Anwendungsfall – Beispiel Load Collar – SIEMENS Energy



Zertifizierte Parameterschnittstellen-API

solutions that move

page 21

© ARC Solutions GmbH all rights reserved

Anwendungsfall – Beispiel Load Collar – SIEMENS Energy

Vorteile von 3DMP® WAAM

- + Kosteneinsparungen
- + Einsparung von Material

Technische Daten

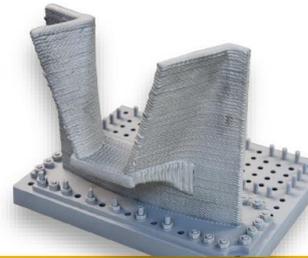
Maschine: arc405
Abmessungen [mm]:
 L = 100 | H = 300 | B = 350
Draht: 1.4948 | Ø 1.2 mm
Druckmasse: 16 kg
Druckzeit: 4.5 h

Konventionelle Fertigungstechnologie – Fräsen aus dem Vollen

- Hochwarmfester Stahl
- Aus einem 83 kg schweren Rohling wird ein 7 kg schweres Fertigteil hergestellt

Herausforderungen

- Fertigung nach Siemens-internen Standards
- Ermüdungstests bei niedrigen Zyklen erforderlich
- Qualifizierungsprozesse nach bestehenden Schmelzschweißnormen, z. B. DIN EN ISO 15614



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Diskussion & Fragen?

- Zeit
- Energie
- Material
- Geld

Koteswararao Gattupalli
 kkg@arcsolutions.de

Albert Aparisi-Escriva
 Albert.Aparisi-Escriva@gefertec.de

SESSION 6

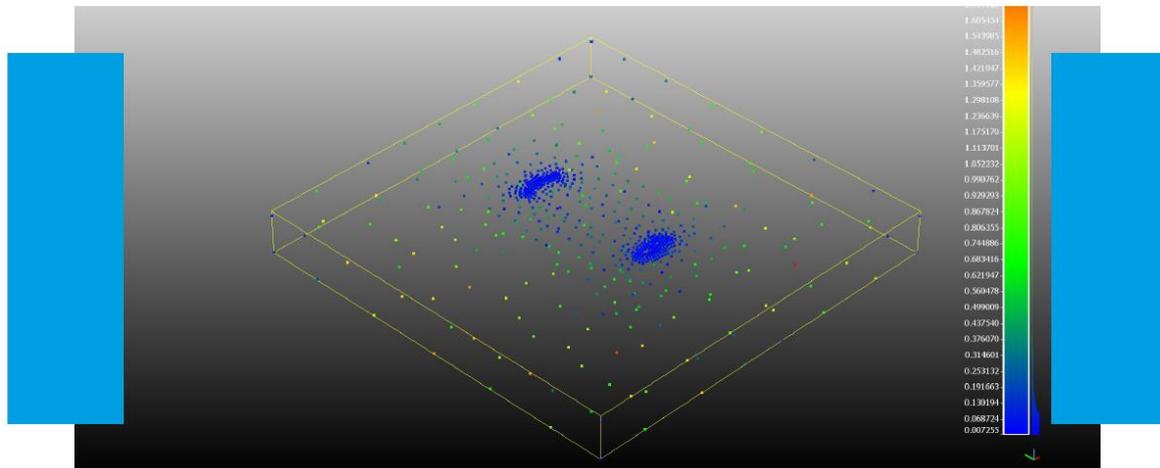
Präzision im 3D-Druck

Moderation: Prof. Dr.-Ing. André Streek
Hochschule Mittweida

Einfluss von Transformationsfehlern und Vektorabweichungen auf 3D-gedruckte Prägeformen

Kilian Menzel

Fakultät IM, HTWK Leipzig



Einfluss von Transformationsfehlern und Vektorabweichungen auf 3D-gedruckte Prägeformen

7. JUNI 2023

Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien,
Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch

Projekt: 4D-Embossing

- Neuartige Prägeformen mit immanenten, mehrdimensionalen Eigenschaftsgradienten
- Kombination additiver und subtraktiver Fertigungsverfahren
- Ziel: gezielte Beeinflussung der Prägeeigenschaften des Werkzeugs

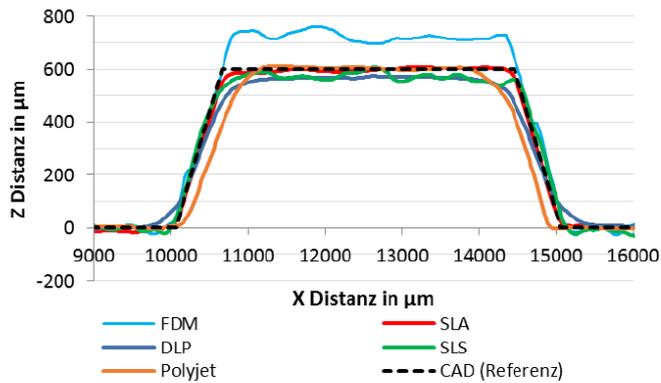
Förderung: ZIM des BMWi (Projektträger VDI)

Projektpartner: SWG – Sächsische Walzengravur GmbH

Projektlaufzeit: 06/2019 – 12/2021

Arbeitsgruppe: Prof. Dr. Lutz Engisch, Dr. Simon Hamblyn, Dr. Jennes Hünninger,
Kilian Menzel, Maximilian Mohrich

Abbildungsgenauigkeiten additiver Fertigungsverfahren

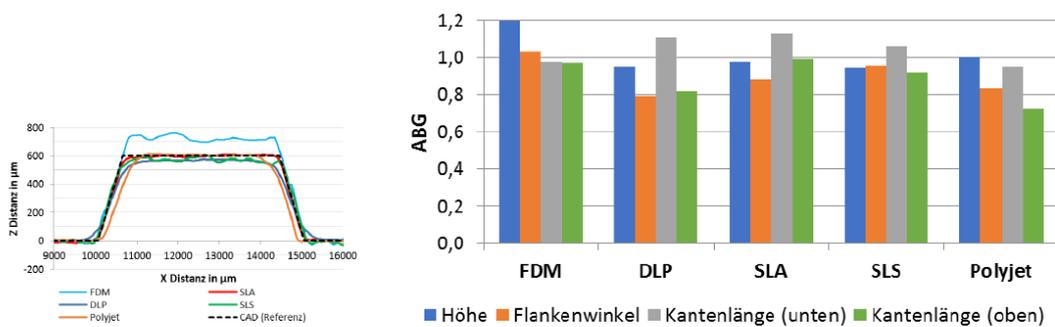


Abbildungsgenauigkeit der untersuchten 3D-Druckverfahren für Pyramidenstümpfe mit 5 mm Kantenlänge und 45° Flankenwinkel

3 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Abbildungsgenauigkeiten additiver Fertigungsverfahren



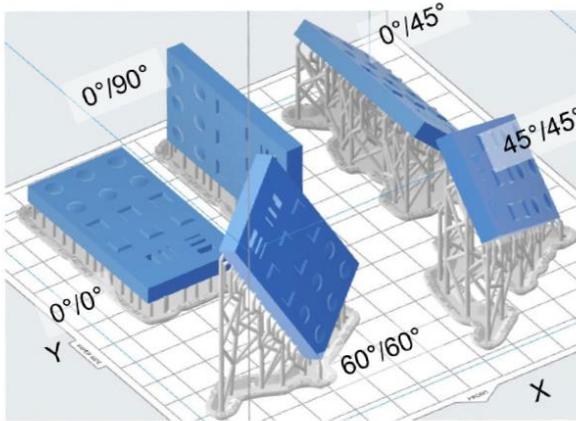
Abbildungsgenauigkeit der untersuchten 3D-Druckverfahren für Pyramidenstümpfe mit 5 mm Kantenlänge und 45° Flankenwinkel

$$ABG = \frac{Ist - Wert}{Soll - Wert}$$

4 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Untersuchung verschiedener Bauwinkel



Ermittlung der Herstellungs-Genauigkeit:

$\pm 50 \mu\text{m}$ in X- und Y-Richtung und
 $\pm 5 \mu\text{m}$ in Z-Richtung

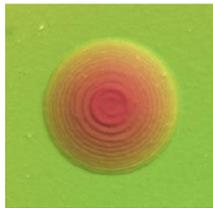
5

Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch
 Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

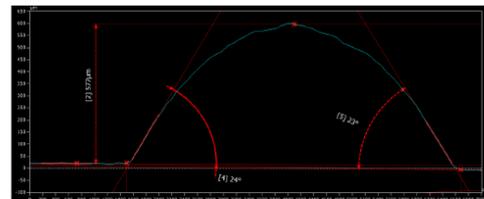
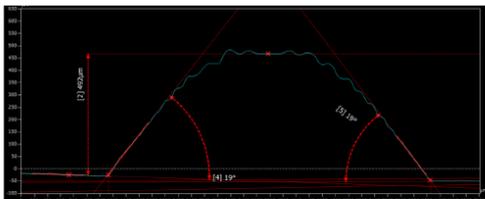
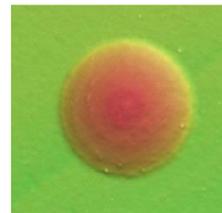
HTWK

Untersuchung verschiedener Bauwinkel

0°/0°



45°/45°



6

Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch
 Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Einfache Testform: Konvertierung



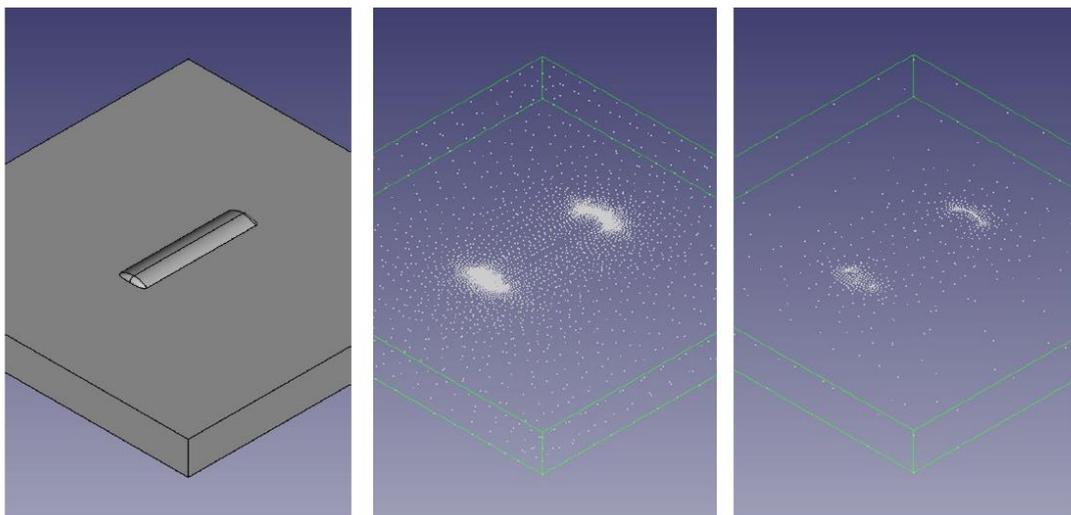
→ Einfluss der Tessellierungs-Feinheit-Einstellungen an einfacher Geometrie

7

Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Einfluss der Tessellierungs-Feinheit im Netgen Mesher (FreeCAD)



CAD-Modell

Punktwolke (groß)
Feinheit: sehr fein

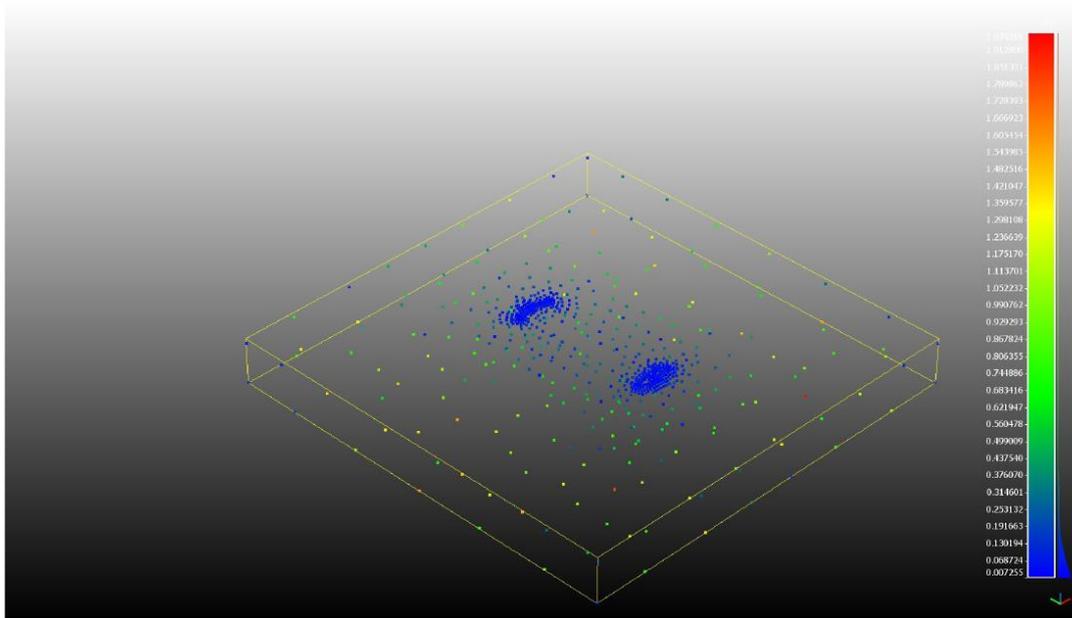
Punktwolke (klein)
Feinheit: mittel

8

Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

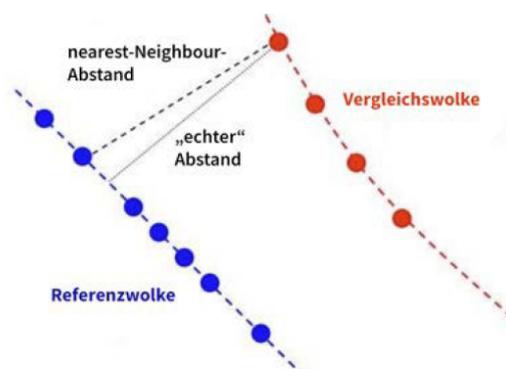
Punktwolkenvergleich in CloudCompare



9 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

CloudCompare: Methode



Methode:

- Referenz- und Vergleichswolke werden zueinander ausgerichtet (ICP)
- $n_{\text{Punkte}}(\text{Referenz}) > n_{\text{Punkte}}(\text{Vergleich})$
- Berechnung der Punktabstände zum „nächsten-Nachbar“

Eukl. Abstand im 3D-Raum:

$$d(\vec{p}_1, \vec{p}_2) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

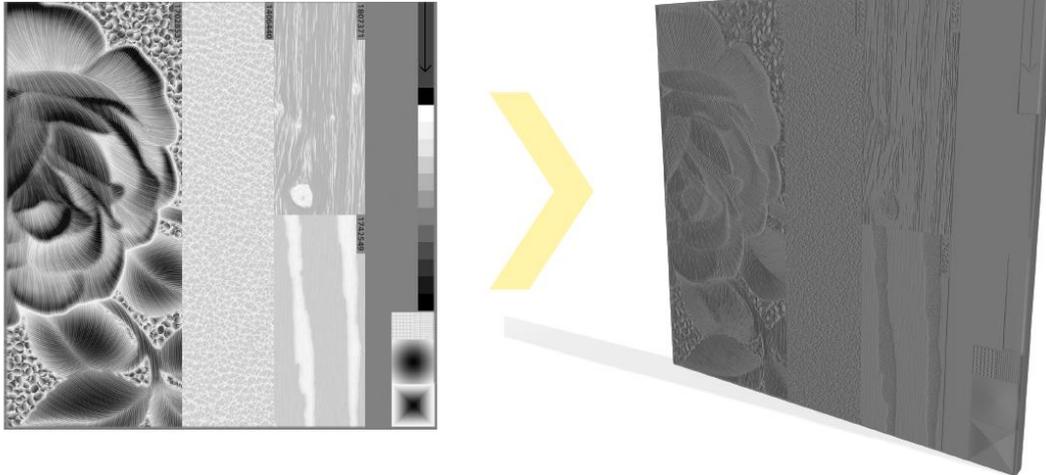
→ Maß für Abformgenauigkeit

Quellen: Wujanz, D.; Krueger, D.; Neitzel, F. Der ICP-Prox-Algorithmus: Oberflächenbasierte Registrierung terrestrischer Laserscans für die Deformationsanalyse, 2014.
Bispo, E.; Fisher, R. Free-form Surface Matching for Surface Inspection, 2003.
Zhu, L.; Barhak, J.; Srivatsan, V.; Katz, R. Efficient registration for precision in-spection of free-form surfaces. *Int J Adv Manuf Technol*, 2007, 32, 505–515.
Fraunhofer Institute for Factory Operation and Automation. OptoInspect3D Inline 2.7.0: OptoInspect3D Inline Interface Description. <http://www.optoinspect3d.de/documentation/html/index.html> (Accessed March 18, 2021).
Dold, C.; Brenner, C. Verfahren zur Registrierung von 3D Punktwolken: Hamburg, 2007.
Chetverikov, D.; Stepanov, D.; Krsek, P. Robust Euclidean alignment of 3D point sets: the trimmed iterative closest point algorithm. *Image and Vision Computing*, 2005, 23, 299–309.

10 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Englisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Relevanz in der Anwendung: Test-Prägeform



11 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Relevanz in der Anwendung



12 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Relevanz in der Anwendung



#	Datei	Auflösung l/cm	Punktgröße µm	Dateigröße MB
1	hohe Auflösung	500	20	1534
2	niedrige Auflösung	250	40	389

13 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Relevanz in der Anwendung

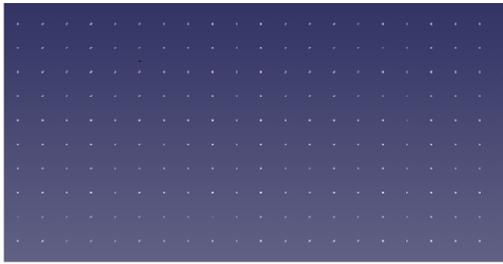


#	Datei	Auflösung l/cm	Punktgröße µm	Dateigröße MB
1	hohe Auflösung	500	20	1534
2	niedrige Auflösung	250	40	389
3	niedrige Auflösung mit Reduzierung	250	40	195

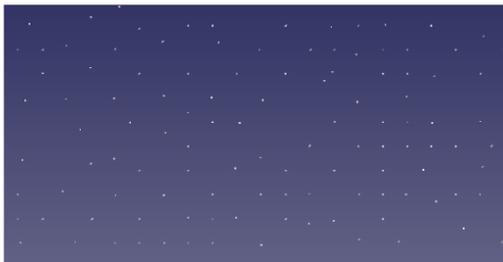
14 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Im Detail: Punktwolkenreduktion (Datenreduktion)



Punktwolke und schattierte 3D-Ansicht des Netzes von Datei 2

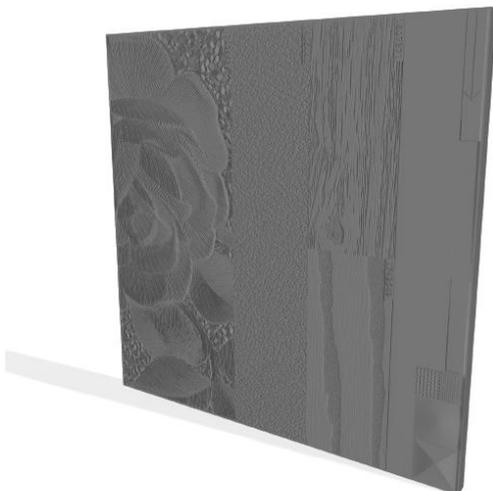


Punktwolke und schattierte 3D-Ansicht des reduzierten Netzes von Datei 3

15 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Fazit



Ergebnisse

- Die ermittelten Abweichungen ($< 2 \mu\text{m}$) lagen unterhalb der Fertigungstoleranzen der untersuchten 3D-Druckverfahren ($50 - 100 \mu\text{m}$)
- Konvertierung von TIFF zu STL erfolgreich
- Punktreduktion zur Datenminimierung hat (scheinbar) keine signifikanten Einflüsse

16 Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

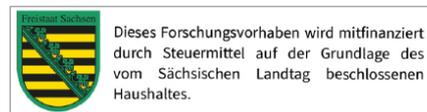
Einfluss von Transformationsfehlern und Vektorabweichungen auf 3D-gedruckte Prägeformen

iP³ Leipzig – Institute for Printing, Processing and Packaging Leipzig
Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung | FIM



M.Eng. Kilian Menzel
kilian.menzel@htwk-leipzig.de

Prof. Dr. rer. nat. Lutz Engisch
lutz.engisch@htwk-leipzig.de



17

Kilian Menzel, Fakultät Informatik und Medien, Lehrgebiet Werkstoffe und Werkstoffprüfung, Prof. Dr. Lutz Engisch
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Modelle und Methoden für eine schnelle und präzise Querschnittsbestimmung von Hochlast-Carbonfasern

Erik Knoch

IfB, HTWK Leipzig

Modelle und Methoden für eine schnelle und präzise Querschnittsbestimmung von Hochlast-Carbongarnen

10. Mitteldeutsches Forum 3D-Druck

gefördert durch:



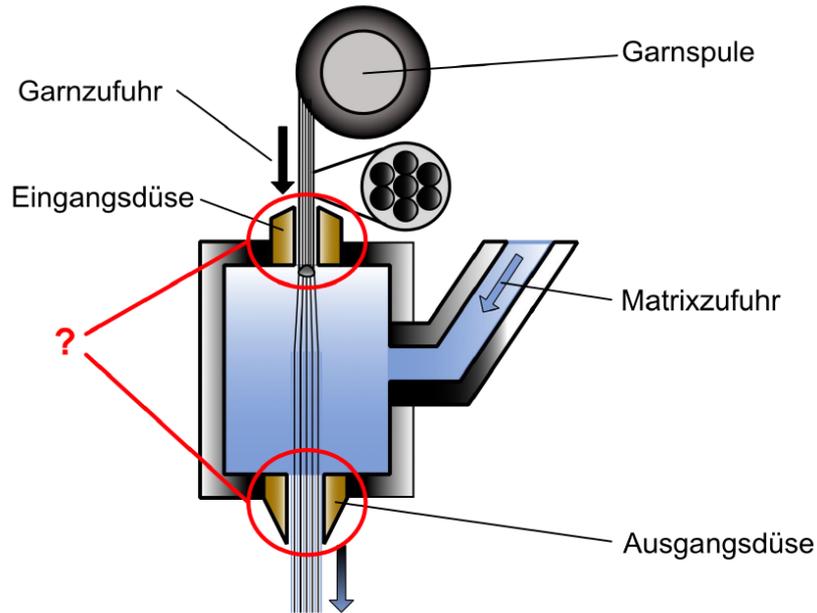
8. JUNI 2023

Erik Knoch, M. Sc.

Agenda

- 1) Motivation
- 2) Forschungsfrage
- 3) Stand der Forschung
- 4) Umfangsmethode
- 5) Volumenmethode
- 6) Handlungsempfehlung

Motivation – Prozessübersicht

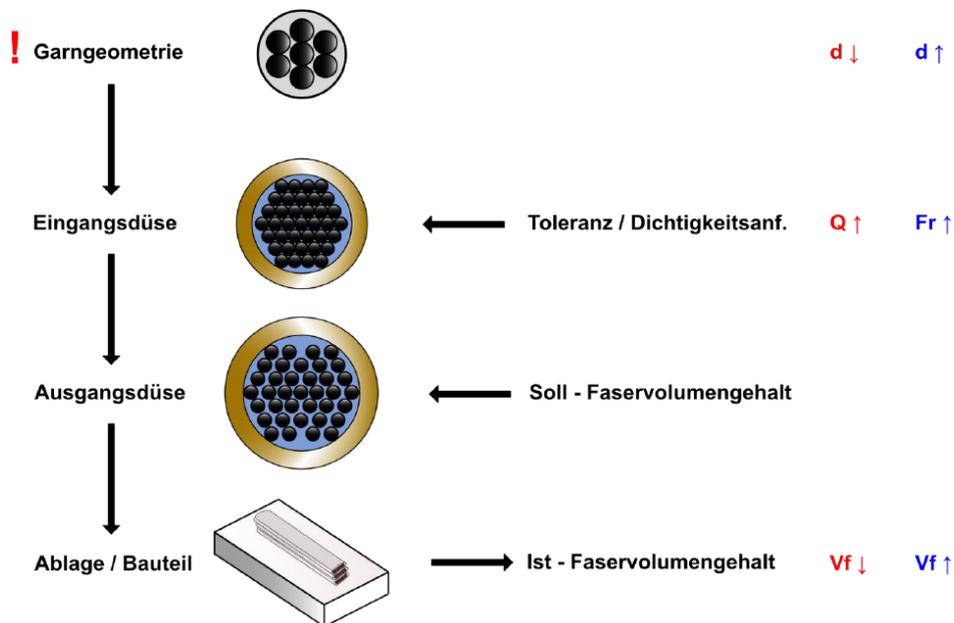


3

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Motivation - Entwurfsschema der Düsengeometrie

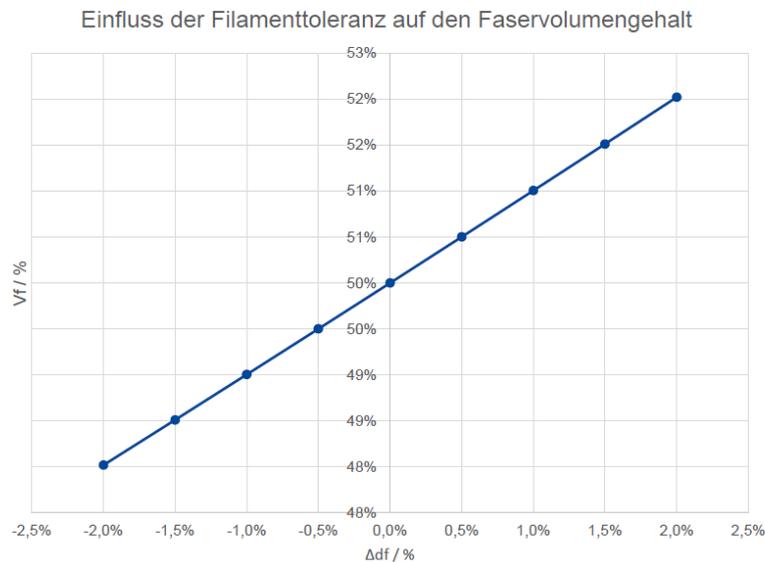


4

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Motivation – Einfluss von Fertigungstoleranzen



5

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

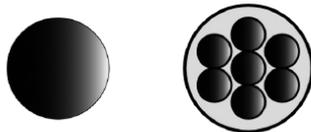
Motivation - Garnmodell

d_0 Methode 1: mit T_t

$$V_0 = \frac{m}{\rho} = \frac{T_t * l}{\rho}$$

$$d_0 = \sqrt{\frac{4 V_0}{\pi l}} = \sqrt{\frac{4 T_t}{\pi \rho}}$$

$$[T_t] = 1 \text{ tex} = \frac{1g}{km} [1]$$



d_0 Methode 2: mit d_f und n_f

$$A_0 = A_f * n_f$$

$$d_0 = d_f * \sqrt{n_f}$$

Berechnung d_{hex} über d_0 :

$$\rho_{max} = \frac{\pi}{\sqrt{12}} [2]$$

$$d_{hex} = \frac{d_0 * \sqrt{12}}{\pi}$$

[1] Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), DIN 60905-1:1985-12, Tex-System, Teil 1: Grundlagen, S. 1, Beuth-Verlag, Berlin, 1985

[2] Hai-Chau Chang und Lih-Chung Wang. *A Simple Proof of Thue's Theorem on Circle Packing*. 2010. doi: 10.48550/ARXIV.1009.4322

6

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Motivation – Herstellerangaben Probenmaterial

TEIJIN

TenaxTM FILAMENT YARN Product Data Sheet

Brand name	Production site	Fiber family & tensile properties	Sizing properties	Number of filaments	Nominal linear density (without sizing)	Additional information	Tensile strength [MPa]	Tensile modulus [GPa]	Elongation at break [%]	Filament diameter [µm]	Density [g/cm ³]	Sizing	Size level [%]
Tenax TM -E	STS40	E23 24K		24K	1600tex		4300	250	1.7	7.0	1.78	EP	1.3
Tenax TM -E	STS40	F11 24K		24K	1600tex		4300	240	1.8	7.0	1.78	PU	0.17
Tenax TM -J/E	STS40	F13 24K		24K	1600tex		4300	240	1.8	7.0	1.78	PU	1.0
Tenax TM -J/E	STS40	F13 48K		48K	3200tex		4300	250	1.7	7.0	1.77	PU	1.0
Tenax TM -E	STS40	E23 48K		48K	3200tex		4300	250	1.7	7.0	1.78	EP	1.0

Quelle: www.teijin-carbon.com, 05.06.23

Lot - Nr. 210220420			
	Einheit	Mittelwert	C.V. (%)
Zugfestigkeit	MPa	4442,9	3,2
E-Modul aus Zugversuch	GPa	247,9	0,9
Bruchdehnung	%	1,70	3,2
Feinheit (ohne Präparation)	tex	3197,2	0,7
Präparationsmasseanteil	%	1,22	9,2
Kurzstabbiegefestigkeit (ILSF)	MPa	135,3	-
Dichte	g/ccm	1,79	-
Filamentdurchmesser	µm	7,0	-

Quelle: TEIJIN CARBON EUROPE GMBH, Konformitätserklärung / Abnahmeprüfzeugnis 3.1 / 202200311, TenaxTM-E STS40 F13 48K 3200tex, auf Anfrage, 02.02.2022

7

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Agenda

- 1) Motivation
- 2) Forschungsfrage
- 3) Stand der Forschung
- 4) Verfahrensauswahl
- 5) Umfangsmethode
- 6) Volumenmethode
- 7) Handlungsempfehlung

8

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Forschungsfrage

- Handlungsempfehlungen für Messung von d_0 und d_{hex} ungetränkter Carbongarne
- schnelle und präzise Messung in einer Fertigungs- / Werksumgebung
- Messgenauigkeit der Verfahren

9

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Agenda

- 1) Motivation
- 2) Forschungsfrage
- 3) Stand der Forschung
- 4) Verfahrensauswahl
- 5) Umfangsmethode
- 6) Volumenmethode
- 7) Handlungsempfehlung

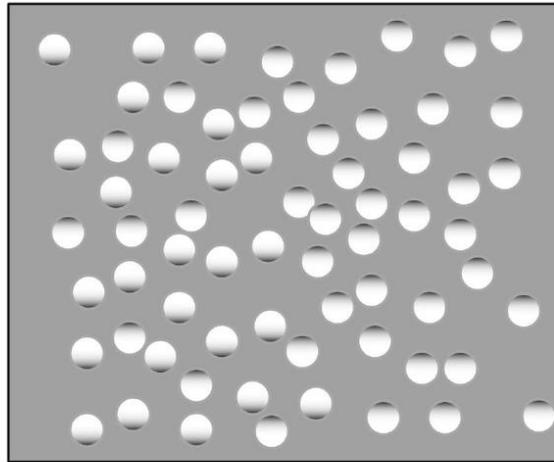
10

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

SdTuF: Mikroskopische Analyse

Gemäß DIN EN ISO 20705 mit Durchlichtmikrosk. oder REM [1]



[1]: Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), DIN EN ISO 20705:2020-05, Textilien, Quantitative mikroskopische Analyse, S. 7 ff., Beuth-Verlag, Berlin, 2020

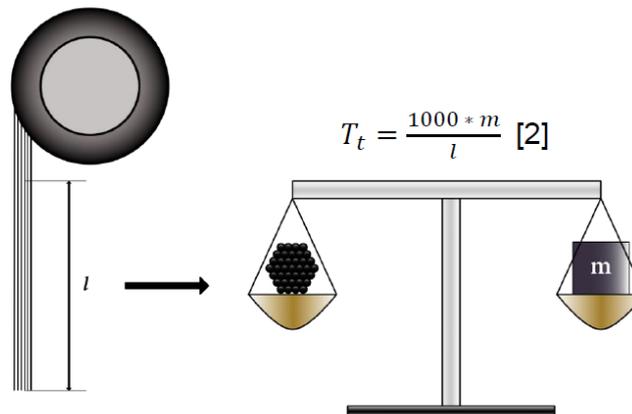
11 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

SdTuF: Gravimetrische Feinheitsbestimmung

Garnproben gemäß : DIN EN ISO 1889 [1]

Filamentproben gemäß: DIN EN ISO 1973 [2]



[1]: Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), DIN EN ISO 1889:2009-10, Verstärkungsgarne – Bestimmung der Feinheit, S. 6 ff., Beuth-Verlag, Berlin, 2009

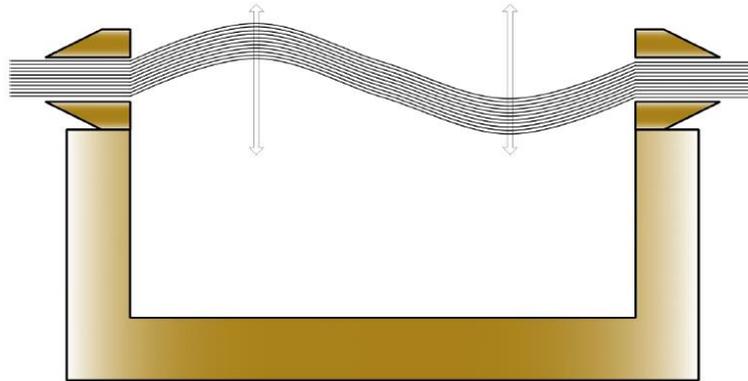
[2]: Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), DIN EN ISO 1973:2021-12, Textile Fasern – Bestimmung der Feinheit – Gravimetrisches Verfahren und Schwingungsverfahren, S. 6 ff., Beuth-Verlag, Berlin, 2021

12 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

SdTuF: Schwingungsverfahren zur Feinheitsbestimmung

gemäß: DIN EN ISO 1973 [1]



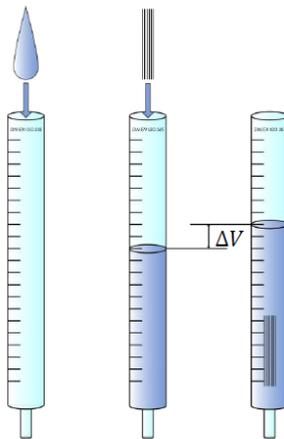
[1]: Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.), DIN EN ISO 1973:2021-12, Textile Fasern – Bestimmung der Feinheit – Gravimetrisches Verfahren und Schwingungsverfahren, S. 6 ff., Beuth-Verlag, Berlin, 2021

13 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

SdTuF: Volumenverdrängung

gemäß: DAfStb-Richtlinie (Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung) und ISO 10406-1 mit Titrationsbüretten (DIN EN ISO 385) [1]



$$A = \frac{(V - V_0) * 1000}{l}$$

$$d = 2 * \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

[1]: Deutscher Ausschuss für Stahlbeton e. V. (Hrsg.), DAfStb-Richtlinie, Betonbauteile mit nichtmetallischer Bewehrung, Entwurf November 2022, S. 153, Beuth-Verlag, Berlin, 2022

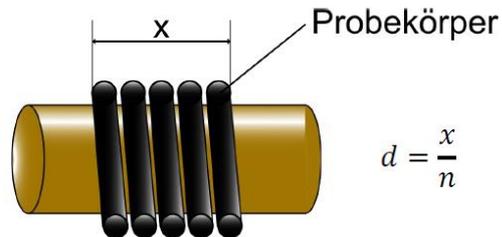
14 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

SdTuF: Umfangsmethode

Indirekte Messung des Durchmessers nach F. W. Kuhn (Baumwollgarne)

[1]:



[1]: Siebel, Erich. Die Prüfung der Textilien, bearb. von Prof. Dr.-Ing. H. Sommer (hrsg.), 2. Aufl. Berlin: Springer, 1960. Print.

15 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Agenda

- 1) Motivation
- 2) Forschungsfrage
- 3) Stand der Forschung
- 4) Umfangsmethode
- 5) Volumenmethode
- 6) Handlungsempfehlung

16 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

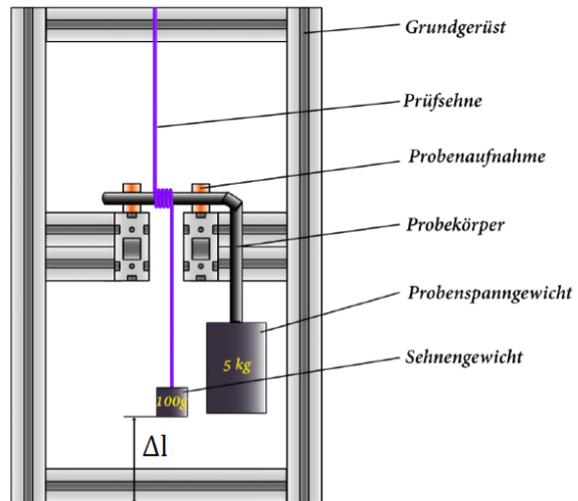
Verfahrensauswahl d_{hex} : Umfangmethode

- Modellierung über Helix:

$$s = \pi d \sqrt{1 + k^2}$$

$$s = \pi (d_m + d_c) \sqrt{1 + d_c^2} * n$$

$$d_m = \frac{s}{\pi n \sqrt{1 + d_c^2}} - d_c$$



17

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Untersuchungsgegenstände: Umfangsmethode

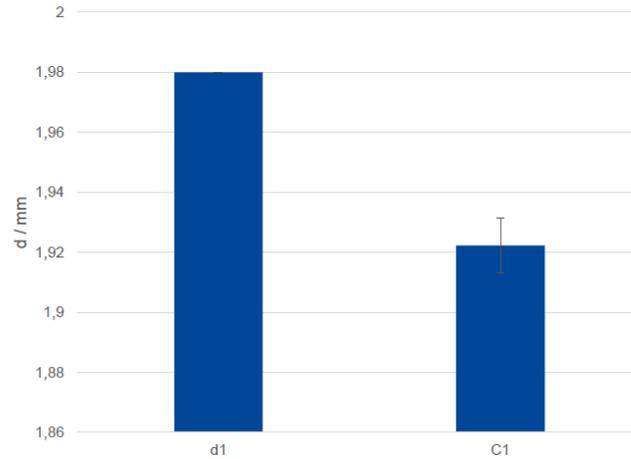
- 1) Kalibrierung der Prüfsehne
- 2) Evaluierung der Messgenauigkeit anhand von Prüfkörper
- 3) Vermessung von 24K und 48K Carbongarnen

18

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Umfangsmethode – Kalibrierung der Prüfsehne



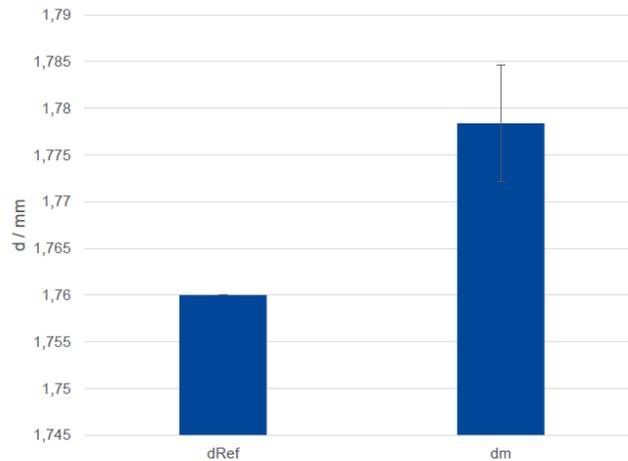
Art	d / mm	d_c / mm
Rundstab	1,98	$0,377 \pm 1.69\%$

19

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Umfangsmethode – Referenzmessung



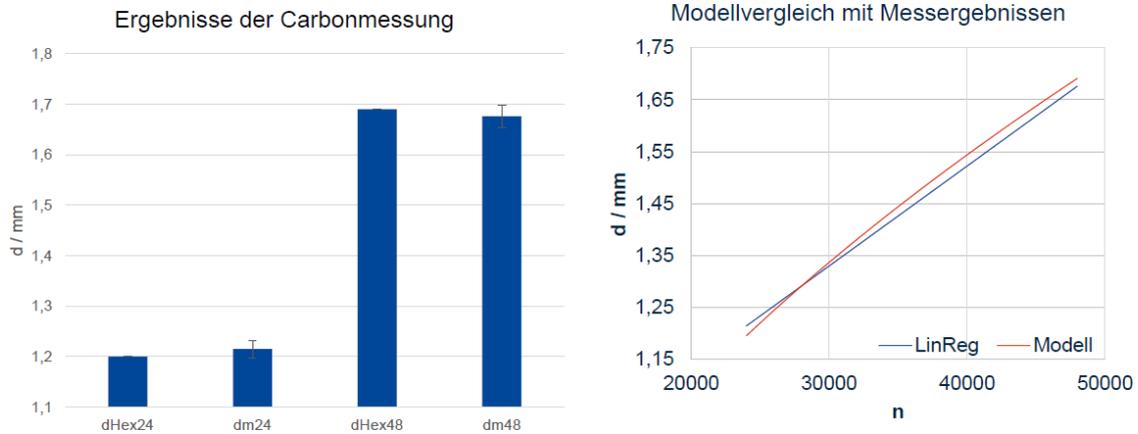
Art	d_{Ref} / mm	d_m / mm	Δ_{Soll}
Rundstab	1,76	$1,78 \pm 0,35 \%$	1,14 %

20

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Umfangsmethode – Messung 24K / 48K Carbongarn



n	$d_{hex_{Modell}} / mm$	$d_{hex_{Mess}} / mm$	$\Delta Soll$
24K	1,20	$1,22 \pm 1,64 \%$	1,7 %
48K	1,69	$1,68 \pm 1,19 \%$	0,59 %

21 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Agenda

- 1) Motivation
- 2) Forschungsfrage
- 3) Stand der Forschung
- 4) Umfangsmethode
- 5) **Volumenmethode**
- 6) Handlungsempfehlung

22 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Untersuchungsgegenstände: Volumenmethode

gemäß ISO 10406-1

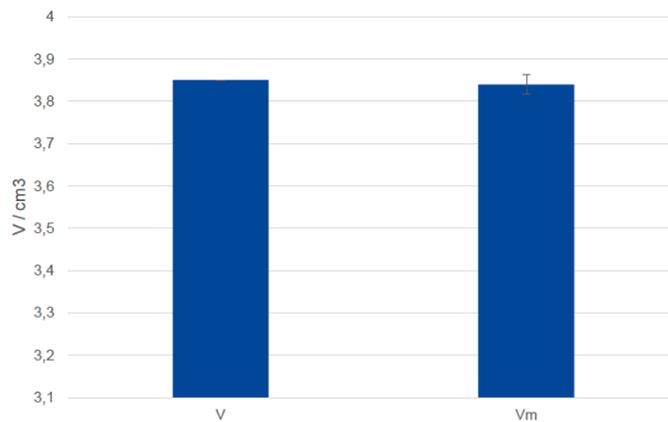
- 1) Untersuchung der Messgenauigkeit anhand von Prüfkörper
- 2) Vermessung von 24K und 48K Carbongarnen bei versch. Probekörperlänge

23

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Volumenmethode – Referenzmessung



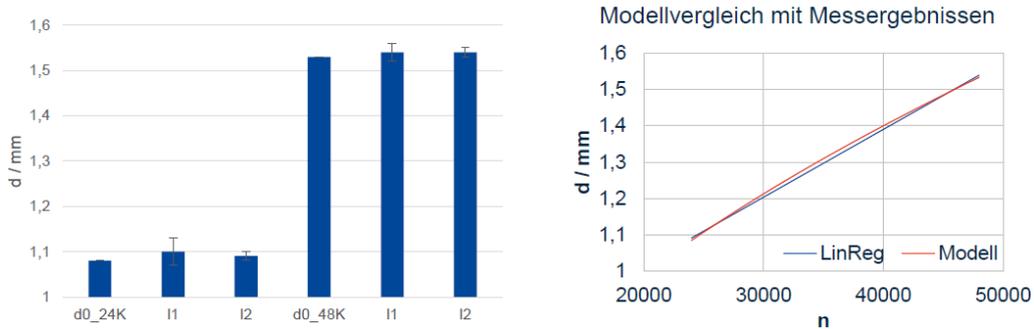
Probe	d / mm	l / mm	V / cm^3	$V_{\text{mess}} / \text{cm}^3$	ΔSoll
Rundstab	7,58	85,36	3,85	$3,84 \pm 0,6 \%$	-0,26 %

24

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Volumenmethode – Messung 24K / 48K Carbonsarn



n	l / mm	d_{0_Modell} / mm	d_{0_Mess} /mm	Δ_{Soll}
24K	1000	1,08	$1,1 \pm 2,73 \%$	1,8 %
24K	2000	1,08	$1,09 \pm 0,92 \%$	0,9 %
48K	1000	1,53	$1,54 \pm 1,3 \%$	0,6 %
48K	2000	1,53	$1,54 \pm 0,65 \%$	0,6%

25 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Agenda

- 1) Motivation
- 2) Forschungsfrage
- 3) Stand der Forschung
- 4) Umfangsmethode
- 5) Volumenmethode
- 6) Handlungsempfehlung

26 M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Handlungsempfehlung

- Umfangsmessung: für Erfassung von d_{hex}
 - 0,40 mm monofile Prüfsehne, > 20 Windungen
 - Kalibrierung über Rundmaterial (z.B. Bohrer)
 - $\Delta Soll_{Ref} < 1,2\%$ und $Std < 1,7\%$
- Volumenmessung: für Erfassung von d_0
 - $l = 2000$ mm
 - $\Delta Soll_{Ref} < 0,3\%$ und $Std < 1\%$

27

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

**Herzlichen Dank für Ihr Interesse.
Ihre Fragen sind willkommen.**

Kontakt:

M. Sc. Erik Knoch
Forschungsgruppe „Nachhaltiges Bauen“, Institut für Betonbau

Tel.: +49 (341) 3076-8729

E-Mail: erik.knoch@htwk-leipzig.de

Homepage: <https://nachhaltigesbauen.htwk-leipzig.de>

28

M. Sc. Erik Knoch, Fakultät Bauwesen, Institut für Betonbau, Forschungsgruppe: Nachhaltiges Bauen
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Grenzen des 3D-Drucks am Beispiel akustisch wirksamer Strukturen

Philipp Zimmermann

Forschungs- und Transferzentrum Leipzig e.V.

Grenzen des 3D-Drucks

am Beispiel akustisch wirksamer Strukturen

10. Mitteldeutsches Forum || 3D-Druck in der Anwendung

8. JUNI 2023

Philipp Zimmermann,
AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze

Agenda

- 1. Ziel des Forschungsprojekts**
- 2. Geplante Versuche und Testobjekte**
- 3. Verfahren**
- 4. Konstruktion von Probekörpern**
- 5. Pre-Processing**
- 6. Druckergebnisse**
- 7. Ergebnisse des Forschungsprojekts**

2

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

Ziel des Forschungsprojekts

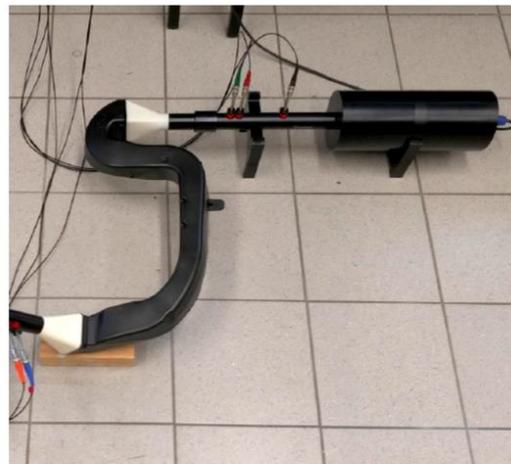
- **Konstruktion und additive Fertigung von schalldämpfenden und -dämmenden Strukturen**
- **Wichtigste Parameter:**
 - Skalierbarkeit
 - Bauraumsensitivität
 - Einstellbarkeit der akustischen/strömungstechnischen Wirkung
 - Einfachheit der Integration in bestehende Konstruktionen
- **Motivation:**
 - Hohe Individualisierbarkeit
 - Schnelle Fertigung
 - Funktionsintegration

3

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HTWK

Geplante Versuche und Testobjekte



4

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

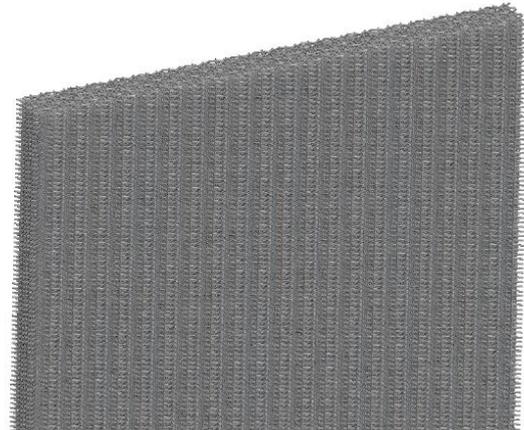
HTWK

Geplante Versuche und Testobjekte

**Probekörper für Messung im Impedanzrohr,
Durchmesser 29,5 mm
Höhe 10 mm**



**Probekörper für Messung im Plattenprüfstand,
Endgültige Maße 300 mm x 200 mm**



5

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Verfahren

- **Pulverbett- und harzbasierte Verfahren:**
 - Kleine Strukturen darstellbar
 - Zwischenräume schlecht zu reinigen oder gar nicht zu fertigen
- **Fused Filament Fabrication**
 - Schichtstärken ab ca. 0,1 mm
 - Strangbreiten ab ca. 0,2 mm - Lücken in ähnlichen Dimensionen möglich
 - Weit verbreitet und mit wenig Aufwand realisierbar
 - Chemisches Auflösen der Stützstrukturen auch in kleinen Kavitäten erfolgreich
- **Generelle Herangehensweise:**
 - Konstruktion
 - Vernetzung
 - Slicing
 - Druckpfadberechnung

6

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern

- **Aufbau Schalldämmmatte: steife Wandung + Federelemente + Absorber**
- **Absorberstruktur:**
- Möglichst wenig Material
- Möglichst viel zugänglicher Hohlraum
- Keine direkten Kanäle durch die Struktur in Strömungsrichtung
- Muss druckbar sein
- Bauteilfestigkeit
- Skalierbarkeit der Außenmaße

7

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern

- **Schlussfolgerungen:**
- Struktur aus Einzelsträngen
- Wiederholung eines Strukturelements (→ Konstruktion)
- Überlappung der Elemente in Strömungsrichtung

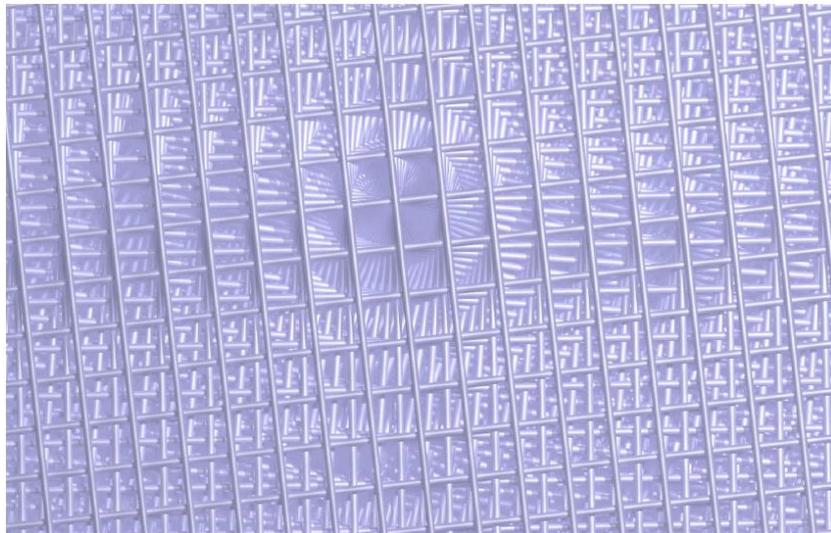
8

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 1. Variante

Gitterstruktur V4 (▲ 200k | ● 600k | 270 MB CATIA | 10 MB STL)



9

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 1. Variante

- **Problem: Slicer lässt keine Bahnen mit Anfang und Ende an verschiedenen Orten zu**
- **Problem: CATIA bereits am Ende der Leistungsfähigkeit, geringe Änderungsstabilität**
- **(Problem): Dateigröße der STL-Daten steigt**



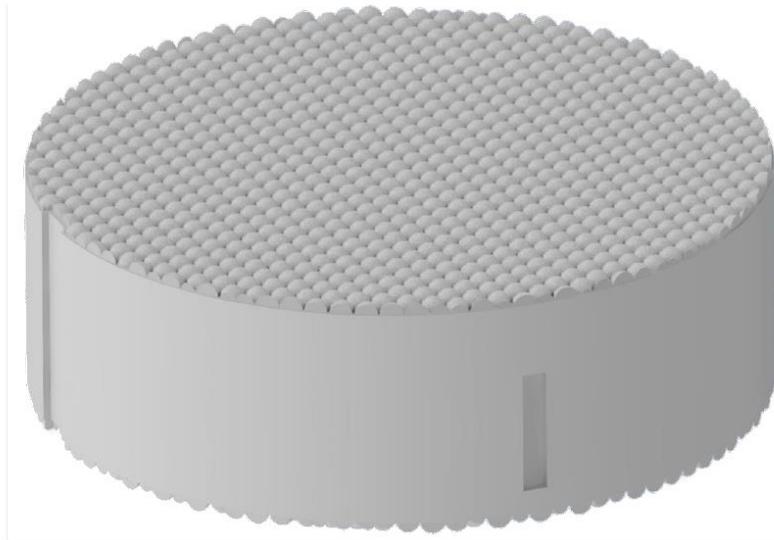
10

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 2. Variante

Vollkugelstruktur (▲ 13,3 Mio. | ● 40 Mio. | 31 MB Inventor | 650 MB STL)



11 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 3. Variante

Hohlkugelstruktur (▲ 1 Mio. | ● 3,1 Mio. | 3,5 MB Inventor | 50 MB STL)

Problem: Slicer baut Vollkugeln bei zu kleinen Durchmessern
Problem: Treppeneffekte können zu Löchern und Instabilitäten führen

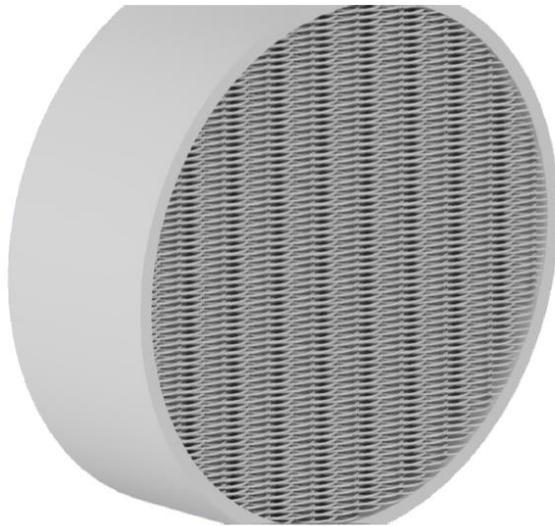


12 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 4. Variante

Torusgitter (▲ 24 Mio. | ● 72 Mio. | 600 MB Inventor | 2,4 GB STL)



13 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 4. Variante

Verbessertes Datenhandling mittels Umsetzung in nTopology...

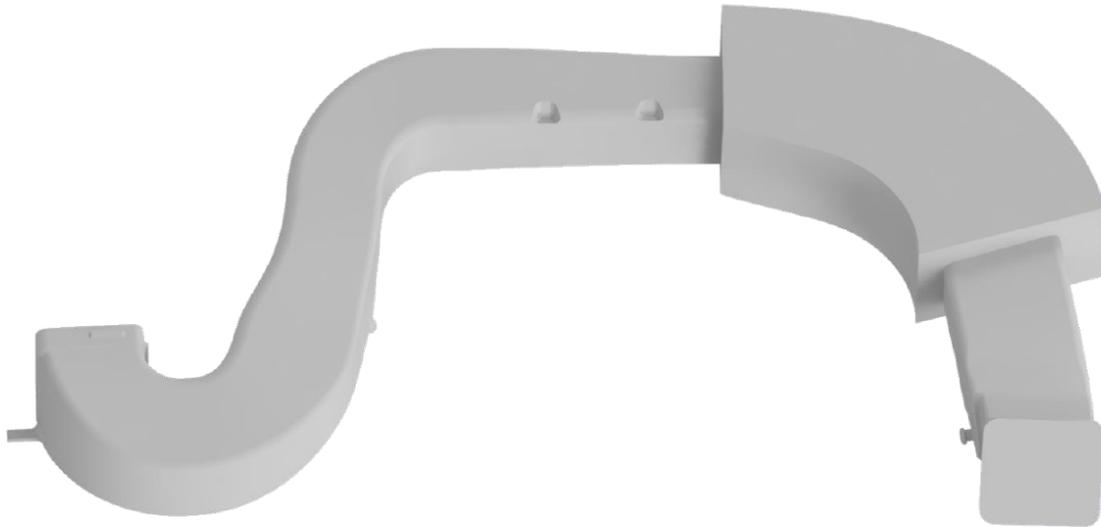


14 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 4. Variante

Verbessertes Datenhandling mittels Umsetzung in nTopology...

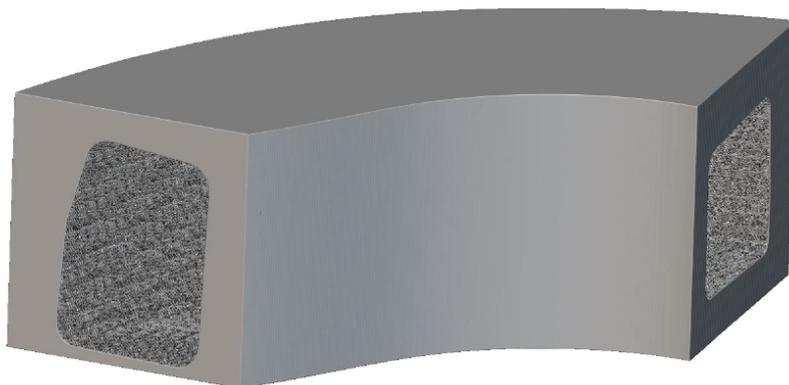


15 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 4. Variante

Verbessertes Datenhandling mittels Umsetzung in nTopology...
Dateigröße ca. 2,5 MB

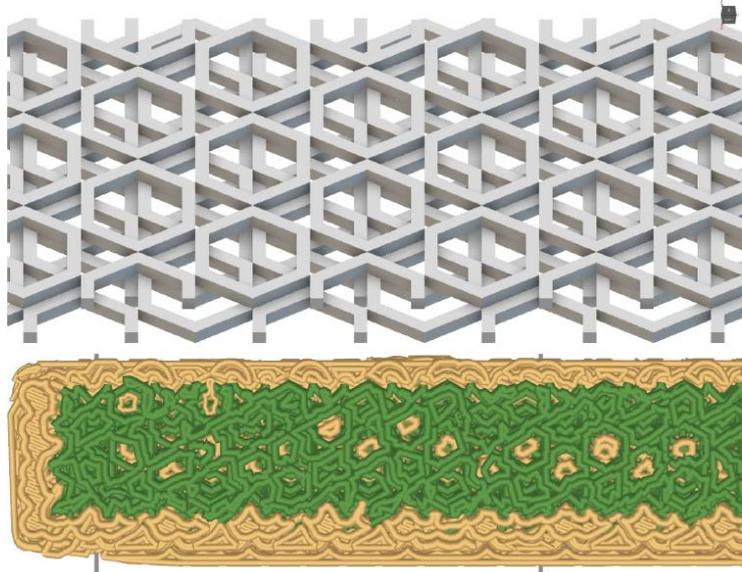


16 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion von Probekörpern - 4. Variante

...und Ersetzen der Tori durch Hexagon-förmige Elemente



17 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Konstruktion des planaren Probekörpers

- **Problemlos möglich in nTopology**
- Schwierigkeit in der Nutzung des STL-Formats
- **Finale Umsetzung in FullControl GCODE Designer**
- Tool in ehemals Excel, inzwischen Python
- Erzeugt direkt Gcode basierend auf mathematischen Funktionen
- Daher weder Vernetzung noch Aus-/Eingabe als STL notwendig!
- Vermutete Grenzen nur durch Zeilenanzahl

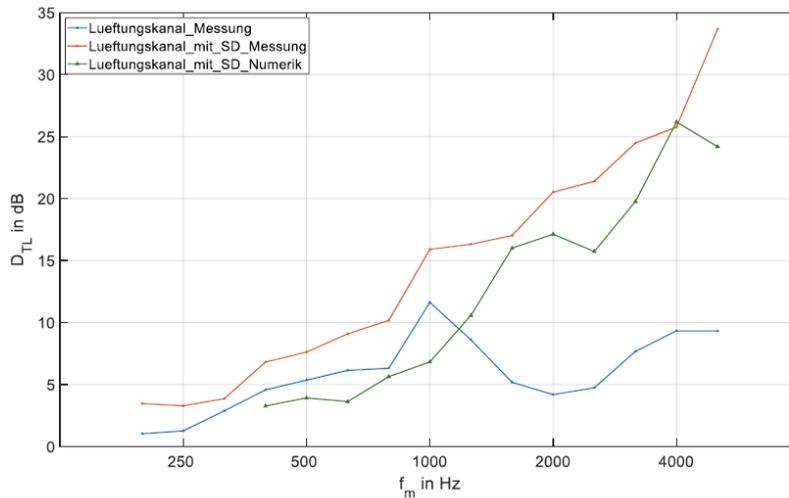
1 Circle/arc		20	50	0	1.25	180	180 cw	10
2 Circle/arc		22.83	50	0	1.25	180	-180 anti-CW	10
3 Cartesian repeat	1,2		5.66	0	0	27		
4 Circle/arc		175.65	50	0	1.25	0	180 CW	10
5 Circle/arc		172.82	50	0	1.25	0	180 anti-CW	10
6 Cartesian repeat	4,5		-5.66	0	0	27		
7 Cartesian repeat	1,2,3,4,5,6		1.415	2.45085189	0	4		
8 Cartesian repeat	1,2,3,4,5,6,7		1.415	0	0.254	1		
9 Cartesian repeat	1,2,3,4,5,6,7		0.7075	1.25	0.508	1		
10 Cartesian repeat	1,2,3,4,5,6,7,8		0	0	0.762	51		

18 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Druckergebnisse

- **Ca. 6 Tage reine Druckzeit für Schalldämpfer in Abschnitten von 10 mm Höhe bei Schichtstärke 0,33 mm**



19 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Ergebnisse – Grenzen des 3D-Drucks

- **Mögliche Einschränkungen durch**
 - Konstruktionssoftware
 - Vernetzung und Ausgabe als STL
 - Größe der entstehenden Daten
 - Leistungsfähigkeit der Netzbearbeitungssoftware
 - Interpretation durch den Slicer
 - Leistungsfähigkeit des Slicers
 - Bahnplanungsalgorithmus des Slicers
- **Lösungen**
 - Wahl spezialisierter Software/Anfertigung eigener Software
 - Umgehen der Vernetzung/des STL-Formats als solches
 - Konstruktive Lösungen
 - Evtl. reine Rechenleistung

20 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Ergebnisse – Forschungsprojekt „Additive Schalldämpfer“

- **Schalldämpfung mittels generativ gefertigter Strukturen ist effektiv möglich**
- Druckzeiten durch Kleinteiligkeit der Strukturen sehr hoch
- Große Bauteile nur schwer realisierbar
- Bauraumsensibilität ausgezeichnet
- Belastbarkeit gegenüber herkömmlichen Schalldämpfern deutlich erhöht

- Anwendung tendenziell im Prototypenbau
- Einsatzfertige Bauteile eher in Spezialfällen bei Einzelstücken mit relativ geringen Abmessungen

21 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Software

- **CAD**
- CATIA
- Autodesk Inventor
- nTopology

- **Preprocessing**
- Grabcad Print
- Stratasys Insight
- Cura

- **Mesh Tools**
- Autodesk Netfabb
- Meshmixer

- **Gcode Generation**
- FullControl GCODE Designer

22 Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

Danksagung



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

23

Philipp Zimmermann, AG Hybride und Generative Fertigungstechnologien – Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig

HITWK

PLENARVORTRAG &
VERABSCHIEDUNG

Hydra 3D, ein 7-achs 3D-Drucker für faserverstärkte Bauteile

Dietmar Glatz

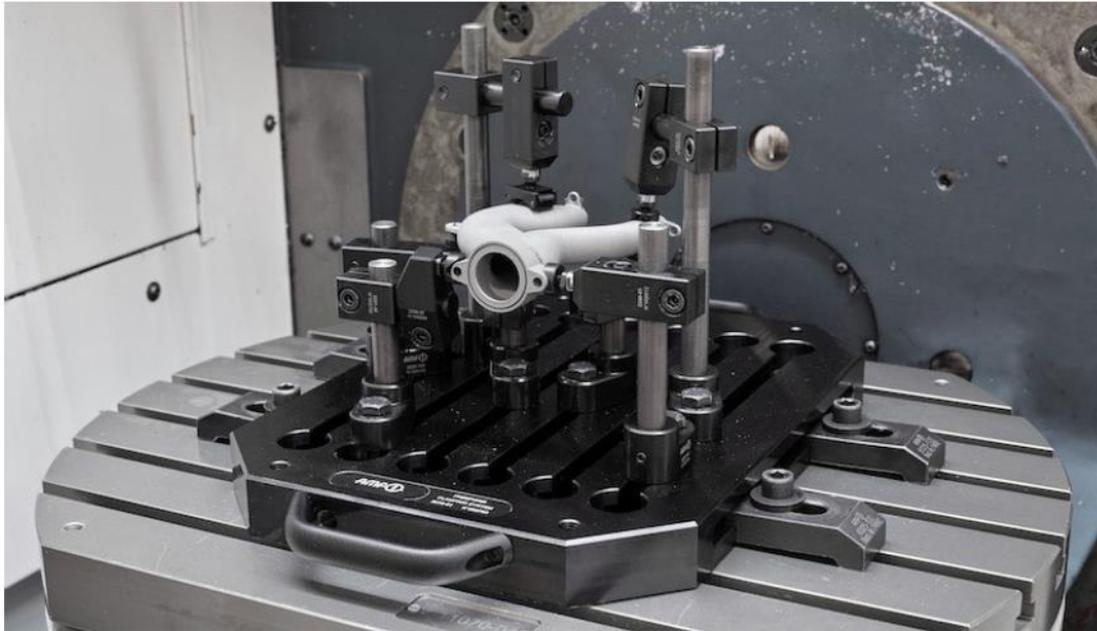
FBZ e.V. Merseburg

Übergabe Staffelstab 3D-Druck Forum

Prof. Dr.-Ing. Peter Schulze

Fakultät ING, HTWK Leipzig

FIRMENPRÄSENTATIONEN



Weltneuheit: Komplexe Freiformbauteile flexibel und prozesssicher spannen mit modulare Baukasten von AMF

AMF stellt einen modularen Baukasten an Spannmitteln für das Freiformspannen vor. Mit dem neu entwickelten, weltweit bisher einzigartigen Spannmittelsatz aus mehr als 100 Teilen lassen sich frei geformte 3D-Druck- oder Gussteile ohne gerade Flächen schnell, sicher und wiederholgenau spannen. Das intelligente System ermöglicht die Fünfseiten-Endbearbeitung der Bauteile ohne Störkontur. Die Handhabung ist einfach und praxisnah, weil sich die Werkstücke in jeder Position vorfixieren lassen.

Alle Einzelkomponenten sind als CAD-Daten für die digitale Arbeitsvorbereitung zur Programmierung verfügbar. Die Elemente sind aus nitriertem Werkzeugstahl und werden in einem handlichen Koffer ausgeliefert. Das weckt Kindheitserinnerungen.

((Firmeninfo AMF))

Marktführer beim Spannen auf dem Maschinentisch

Das 1890 als Andreas Maier Fellbach (AMF) gegründete Unternehmen ist heute ein Komplettanbieter in der Spanntechnik und gehört weltweit zu den Marktführern. Durch eine globale Marktpräsenz haben die Mitarbeiter stets ein Ohr für die Probleme der Kunden. Daraus entwickelt AMF mit hoher Lösungskompetenz, kompetenter Beratung, intelligenter Ingenieurleistung und höchster Fertigungsqualität immer wieder Projektanfertigungen und Speziallösungen für Kunden sowie Standardlösungen, die sich am Markt durchsetzen. Mit mehr als 5.000 Produkten sowie zahlreichen Patenten gehören die Schwaben zu den Innovativsten ihrer Branche. Erfolgsgaranten sind bei der Andreas Maier GmbH & Co. KG Schnelligkeit, Flexibilität und 240 gut qualifizierte Mitarbeiter. 2022 erzielte AMF knapp 50 Mio. Euro Umsatz.

AMF ANDREAS MAIER GMBH & CO. KG, Waiblinger Straße 116, D-70734 Fellbach, www.amf.de

FLEX @HTWK Leipzig - Forschen, Lehren und Experimentieren.

Wir sind ein junges, dynamisches Team mit dem Fokus auf Technik und Innovation. Mit Herz und Leidenschaft entwickeln wir zukunftsorientierte Antworten auf die großen Fragen der Gesellschaft. Aktuellen Problemstellungen begegnen wir mit Kreativität und Flexibilität. Denn FLEX ist mehr als Forschung, Lehre und Experiment: Wir sind interdisziplinär. Wir sind lösungsorientiert. Und wir sind gemeinsam am stärksten.

Wir als FLEX haben uns der Digitalisierung und Parametrisierung im Bauwesen spezialisiert. Mit einem Team aus 13 Mitarbeitern setzen wir drittmittel- oder direkt finanzierte Projekte mit Partnern aus der Wissenschaft und Wirtschaft um. Einen großen Fokus haben wir dabei auf den Holzbau und parametrische Bauweisen gelegt.

Eines dieser Projekte ist „Additive Manufacturing in Construction“ (Additive Fertigung im Bauwesen), oder kurz: **AMiCo**.

Generative Fertigungsverfahren bieten die Möglichkeit, individuelle Geometrielösungen auf der Basis dreidimensionaler Geometriemodelle automatisiert herzustellen. AMiCo thematisiert in diesem Sinne die Entwicklung einer innovativen, durchgängig automatisierten digitalen Prozesskette geometrisch individueller Knotenelemente aus Stahl. Damit sollen einlagige Stabwerke für Fassaden- und Dachkonstruktionen perspektivisch ressourceneffizienter gebaut werden können. Ziel der Entwicklung ist die Beschreibung einer parameterbasierten Lösung zur automatisierten Generierung druckfähiger Daten unter Berücksichtigung konstruktiver, statischer und fertigungstechnischer Randbedingungen. Diese bilden die informationstechnische Grundlage für wirtschaftlich effiziente (Vor-)Fertigungsprozesse.

ARC Solutions GmbH

Beschreibung der Tätigkeitsfelder

Die ARC Solutions GmbH, ist ein am Erfolg seiner Kunden orientiertes Software-Systemhaus für Entwicklung, Fertigung, Standardisierung und Instandhaltung.

In vertrauensvoller Partnerschaft mit den Kunden gestalten wir integrierte, zukunftssichere Lösungen für den Produktlebenszyklus (PLM) einschließlich strategischem Teile- und Stammdaten-Management, sowie für die Entwicklung der Smart Factory den Digital Twin.

Die Kunden schätzen das offene, zielorientierte und kompetente Handeln der Spezialisten – notwendige Voraussetzung für Qualität und nachhaltigen Nutzen.

ARC Solutions GmbH ist nach DIN EN ISO 9001 zertifiziert.

Unsere Forschungsschwerpunkte konzentrieren sich auf die additive-hybride Fertigung, der Robotik und der Entwicklung webbasierter Systeme.

DAVOSCAN GmbH

1. Optische Vermessung von Bauteilen mit GOM/ZEISS

- Nahezu alle Materialien und Oberflächen möglich
- Genauigkeiten bis 0,005mm möglich
- industrielle Bauteile ab wenigen Millimetern bis ca. 20m möglich
- Inhouse-Messung / Vor-Ort-Messung / Automatisierte Vermessung

2. Reverse Engineering – Der schnellste Weg zum CAD

Reverse Engineering ermöglicht es, ohne Konstruktionsdaten mittels einer Flächenrückführung das fehlende CAD - Modell zu generieren.

3. 3D-Druck von kohlefaserverstärkten Funktionsbauteilen

Für uns ist 3D-Druck nicht die eierlegende Wollmilchsau. Wir bei DAVOSCAN sehen 3D-Druck als zusätzliches, vollwertiges Fertigungsverfahren, welches, eingesetzt an der richtigen Stelle, mit den richtigen Parametern, enorme Vorteile bietet.

DermaPurge GmbH

Vortrag: Kunststoffpulver aus Arbeitsschutzperspektive: ein blinder Fleck im SLS?

Referent Herr Erik Wöller (MA)

DermaPurge GmbH entwickelt und produziert Dekontaminations- und Hautreinigungsmittel für den Arbeitsschutz auf dem neuesten Stand der Technik: ob als Erste-Hilfe-Anwendung oder im täglichen Gebrauch, die Produkte sind effektiv und dabei frei von Tensiden, Seifen, Lösungsmitteln und Penetrationsverstärkern – um bei der Hautreinigung von Gefahrstoffen die natürliche Hautbarriere nicht zu schädigen. Die patent-gestützte Forschung und Produktentwicklung in diesem Bereich steht im Fokus.

DermaPurge ist eine Technologie-Ausgründung vom Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden. Auslöser für die Entwicklung war ein Laborunfall: eine studentische Hilfskraft hatte trotz vorgeschriebener persönlicher Sicherheitsausrüstung (PSA) eine Cadmiumselenid-Quantendot-Nanopartikelösung auf die Haut bekommen. Da zu jenem Zeitpunkt keine Mittel verfügbar waren, um Partikel kleiner als 20 µm wirksam von der Haut zu entfernen, haben die Firma powder-ex entwickelt.

Dieses ist optimiert für den täglichen Einsatz im Arbeitsalltag zur effektiven und schonenden Hautreinigung von staub- und pulverförmigen Materialien. Die Kunden haben im Alltag Umgang mit metallischen-, Kunststoff- oder keramischen Pulver, Schleifstaub, Fräsresten, oder Stäube von Baustoffen. powder-ex entfernt selbst kleinste Partikel von der Haut, ohne die Hautbarriere zu beeinträchtigen – ein großer Vorteil beim täglichen Einsatz gegenüber Seifen und Waschmitteln mit Reibekörpern.

DBFZ – Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH

Forschungsfelder und Dienstleistungen

Das DBFZ entwickelt vielfältige Konzepte zur ökonomisch tragfähigen, ökologisch unbedenklichen und sozial verträglichen energetischen und ferner stofflichen Nutzung von Biomasse. Ziel ist es, potenzielle Konfliktfelder zwischen den verschiedenen Zielen frühzeitig zu analysieren und Gestaltungsansätze vorausschauend zu entwickeln. In diesem Zusammenhang zu bearbeitende Fragen sind u.a. die Integration von Biomasse in ein sich veränderndes Energiesystem, die Verbesserung der Energieeffizienz, die Vermeidung von Nutzungskonkurrenzen oder die Vermeidung von Emissionen in Boden, Wasser und insbesondere in die Luft. Mit der Arbeit des DBFZ soll das Wissen um die Möglichkeiten und Grenzen einer energetischen (und zunehmend stofflichen) Nutzung der Biomasse insgesamt erweitert und die herausragende Stellung des Industriestandortes Deutschland in diesem Sektor abgesichert werden.

Forschungsfelder:

Systembeitrag von Biomasse; Anaerobe Verfahren; Biobasierte Produkte und Kraftstoffe; Intelligente Biomasseheizsysteme; Katalytische Emissionsminderung

Dienstleistungen:

Forschung mit Unternehmen; Politikberatung; Wissenschaftliche DL (Marktanalyse, Datenbereitstellung, technische, ökologische und ökonomische Bewertung, Konzept- und Verfahrensentwicklung, wissenschaftliche Begleitung von F&E-Vorhaben); technisch-wissenschaftliche Dienstleistungen (biochemische /thermochemische Konversion, Bioraffinerien, Analytiklabor); Innovationszentrum für Bioenergie

Ernst-Abbe-Hochschule Jena

Die Ernst-Abbe-Hochschule Jena gilt als größte Hochschule ihrer Art im Land Thüringen. Aktuell studieren hier etwa 4.400 junge Menschen in den Bereichen Technik, Wirtschaft, Soziales und Gesundheit. Die EAH gilt als forschungsstarke Hochschule. Eine der größten Arbeitsgruppen, geleitet von Prof. Dr.-Ing. Jens Bliedtner, beschäftigt sich mit den Themengebieten der Fertigungstechnik und Automatisierung. Die drei Grundsäulen der Forschung bilden sich aus der Optiktechnologie, der Lasermaterialbearbeitung und der additiven Fertigung. Neben der Forschungsarbeit stehen auch die Ausbildung von Studierenden, sowie der Wissenstransfer in die Wirtschaft im Vordergrund des Tätigkeitsbereichs. Derzeit arbeiten ca. 40 wissenschaftliche Mitarbeiter, sowie ca. 15 Studierende an etwa 15 verschiedenen, geförderten Forschungsprojekten.

GEFERTEC GmbH

Beschreibung der Tätigkeitsfelder

GEFERTEC entwickelt unabhängig von konventionellen Fertigungsmethoden neue Verfahren für die Herstellung von metallischen Bauteilen, die Designern, Ingenieuren und Unternehmen einzigartige Möglichkeiten bieten.

GEFERTEC ist weltweit das erste und einzige Unternehmen, das dem Markt die revolutionäre 3DMP-Technologie® auf Basis moderner Lichtbogentechnologie in Form von Produktionsmaschinen und Prozess Know-How sofort verfügbar macht.

Mit der arc-Maschinenreihe steht sowohl metallverarbeitenden Unternehmen als auch Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen das perfekte Fertigungstool zur Verfügung.

Institut für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie an der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Das Institut für Pharmazeutische Technologie und Biopharmazie an der Heinrich-Heine-Universität in Düsseldorf ist Teil der ‚Wissenschaftlichen Einrichtung Pharmazie‘ und besteht aus vier Arbeitskreisen (Prof. Dr. P. Kleinebudde, Prof. Dr. J. Breitzkreutz (Institutsdirektor), Prof. Dr. Anne Seidlitz und Jun.-Prof. Dr. Michael Hacker). Das Institut deckt ein breites Spektrum an pharmazeutischen Forschungsschwerpunkten ab und die Arbeitsgruppen arbeiten in folgenden Fokusgruppen zusammen: „Advanced Analytics, Drug Printing, Extrusion/ Coating, Granulation/ Compaction, Special Patients und Biomaterials und Biofabrication“.

Institut für Betonbau der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig (HTWK)

Das Institut für Betonbau (kurz: IfB) sieht sich als Partner für Industrie und Forschung in der gemeinsamen Bearbeitung von Themen rund um den facettenreichen Betonbau.

Bei unserer Arbeit stehen die mechanischen Eigenschaften des Betons im Vordergrund. Verschiedene Bewehrungsarten, leichte bis hochfeste Betone, Fundament als auch Fassade, Neubau sowie Bestand – Untersuchungen und Simulationen von der Werkstoffebene bis hin zum komplexen Bauwerk.

Zahlreiche Praxispartner bereichern die Forschung und Lehre am Institut. Gemeinsam werden aktuelle Forschungsergebnisse sowohl in das Planungsbüro als auch direkt auf die Baustelle transferiert.

Laserinstitut Hochschule Mittweida

Die Hochschule Mittweida ist eine forschungs- und transferstarke Hochschule für Angewandte Wissenschaften mit einer über 150-jährigen Tradition in der Ingenieurausbildung. Die Forschung und Entwicklung ist insbesondere durch Anwendungsorientierung und Interdisziplinarität gekennzeichnet. Das Laserinstitut Hochschule Mittweida (LHM) als zentrale wissenschaftliche Einrichtung gehört zu den führenden Forschungseinrichtungen im Bereich der Lasertechnik in Deutschland mit weltweit anerkannten Forschungsergebnissen zu innovativen Verfahren. Der Schwerpunkt der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung am LHM liegt in den Bereichen Lasernano- und -mikrobearbeitung, Hochrate-Laserbearbeitung, Additive Fertigung, Laserpulsabscheidung (PLD) und Lasermakrobearbeitung. Weitere Forschungsfelder sind die Lasermesstechnik, die Modellierung und Simulation von Laserprozessen, die Laseranlagen- und -prozessentwicklung sowie die Biophotonik.

Anschrift:

Laserinstitut Hochschule Mittweida
Technikumplatz 17
D-09648 Mittweida
Tel.: +49 (0) 3727 / 58-1242
E-Mail: lhm@hs-mittweida.de
Web: www.laser.hs-mittweida.de

Mittelstand –Digital Zentrum Ilmenau

Die Modellfabrik „Virtualisierung“ im Fachgebiet Fertigungstechnik und Fertigungsautomatisierung an der Ernst-Abbe-Hochschule Jena ist einer von vier Standorten im [Mittelstand-Digital Zentrum Ilmenau](#).

Aufgabe des Zentrums ist es, kleine und mittlere Unternehmen bei der Digitalisierung, Vernetzung und Einführung von digitalen Anwendungen zu unterstützen.

Die Jenaer Modellfabrik begleitet Unternehmen bei der Digitalisierung von Produktionsprozessen in den Bereichen 3D-Druck und Laseranwendungen. Das umfasst u.a. die Auswahl geeigneter Verfahren und Materialien, die Aufbereitung und Verarbeitung von 3D-Daten sowie das Management aller produktionsrelevanten Informationen.

Das Team der Modellfabrik ist auch Ansprechpartner für den Bereich Digitale Arbeitswelten, zeigt wie AR- und VR-Lösungen im Produktionsumfeld eingesetzt werden können und hilft bei der Konzeption Virtueller Rundgänge.“

Das „Mittelstand-Digital Zentrum Ilmenau“ (im Text in blau) kannst du gerne noch verlinken mit unserer Zentrumswebseite: www.kompetenzzentrum-ilmenau.de

OSCAR PLT GmbH

Gewerbegebiet Klipphausen, Hamburger Ring 11, 01665 Klipphausen

Die OSCAR PLT ist die Forschungsgesellschaft der Kjellberg-Stiftung. Unser Unternehmenszweck ist die Erforschung und Entwicklung neuer innovativer Plasma- und Lasertechnologien zum Schneiden, Schweißen und der additiven Fertigung, sowie Lösungen zur Digitalisierung im Industrieumfeld. Ein Beispiel für die Innovationskraft ist unsere Lasersystemtechnik ProFocus, welche im Bereich der Beschichtung, der Reparatur und dem 3D-Generieren von metallischen Maschinenbauteilen ihren industriellen Einsatz findet.



TU Bergakademie Freiberg

Beschreibung der Professur für Additive Fertigung

An der Professur für Additive Fertigung an der TU Bergakademie Freiberg forschen, entwickeln und lehren wir zur gesamten Prozesskette der additiven Fertigung (AM). Mit dem Professur Inhaber Prof. Dr.-Ing. Henning Zeidler liegt seit 2017 der Hauptschwerpunkt im Bereich der additiven Fertigung.

Forschungsschwerpunkte liegen im Bereich Materialentwicklungen für die additive Fertigung (Glas, Geopolymere, nachwachsende Rohstoffe, etc.), großvolumiges Binder Jetting und Materialextrusion, Maschinenentwicklung von AM-Geräten sowie Plasma-elektrolytischem Polieren.

Seit der Einführung des Bachelorstudienganges „Additive Fertigung“ im Wintersemester 2019 wird das umfangliche vorhandene AM-Wissen erfolgreich an unsere Studenten weitergegeben. Ein Masterstudiengang ist bereits in Planung.

SAMSax

Das simul+ Modellprojekt **Sustainable Additive Manufacturing in Saxony** (dt. Nachhaltige additive Fertigung in Sachsen), kurz **SAMSax**, hat das Ziel, eine nachhaltige und ökologische Wende in der sächsischen Industrie zu ermöglichen. Das Reallabor setzt auf die Wiederverwertung von biobasierten, natürlichen sowie industriellen Reststoffen und Nebenprodukten. Durch den Einsatz der additiven Fertigung werden diese Stoffe entweder zu neuen Anwendungen verarbeitet oder bestehende Prozesse durch neuartige und innovative Materialien ersetzt.

Das gemeinsame Pilotprojekt der drei Technischen Universitäten in Sachsen (TU Bergakademie Freiberg als Projektkoordinator, TU Chemnitz sowie TU Dresden) strebt danach, die Vernetzung und den Wissenstransfer mit Hilfe digitaler Technologien zu ermöglichen und gleichzeitig ein Reallabor zur nachhaltigen additiven Fertigung als physisches Experimentierfeld zu etablieren. Im Fokus des Reallabors liegen dabei Verbindungen von kleinen und mittelständischen Unternehmen sowohl als Quelle/Anbieter für Reststoffe als auch Abnehmer/Anwender der neuen Materialien und Technologien.

Es konnten bereits einige potentielle Reststoffe, ihre Anwendbarkeit für die additive Fertigung sowie für neue Produkte bzw. Anwendungen identifiziert werden. Neben industriellen Reststoffen, wie z.B. Papierstaub, Holzstaub oder recycelte Kunststoffe, werden auch industrielle Nebenprodukte, wie Brechsand, Textil- und Agrarreststoffe (z.B. Erntereststoffe, Kaffeehäutchen) analysiert, aufbereitet und im SAMSax-Reallabor erprobt. Aufbauend auf diesem Wissen können im Reallabor nachhaltige Produkte gefertigt und als Prototypen den Anwendern bereitgestellt werden. Erste angedachte Anwendungen liegen im Bereich von individualisierten Produkten, Verpackungen aller Art sowie Restaurations- und Architekturmodellen. Darüber hinaus steht unsere kostenlose Weiterbildungs- und Kooperationsplattform bereits mit den ersten Kursen zu Reallaboren sowie verschiedensten Verfahren der additiven Fertigung zur Verfügung.

Utrecht University

Established in 1636, Utrecht University has evolved into a leading modern comprehensive research university with growing international reputation. On the 2022 Shanghai Academic Ranking of World Universities, Utrecht University ranks first in the Netherlands, 13th in Europe and 54th in the world. UU has state-of-the-art research facilities and excellent research training through its graduate schools. More than 8,500 employees and over 39,000 students are affiliated with UU. The current annual budget is 1.1 billion euro. Its seven faculties collectively span the entire academic spectrum in teaching and research.

Located on Utrecht Science Park (USP), the Faculty of Science is home to over 7500 students and 1700 staff, including PhD candidates. The Faculty consists of six departments: Biology, Chemistry, Pharmaceutical Sciences, Mathematics, Physics, and Information & Computing Sciences. Research conducted in the Faculty of Science is carried out within eleven institutes. Within the Utrecht Institute for Pharmaceutical Sciences (UIPS), the Department of Pharmaceutics is one of five research departments and focuses on the design and pre-clinical testing of tailor-made drug delivery systems for site-specific, time- and/or rate-controlled delivery of small molecular weight drugs, therapeutic proteins, nucleic acids (including DNA and siRNA), and antigens.

SAVE the DATE!

Das **11. Mitteldeutsche Forum 3D-Druck in der Anwendung** wird am **16. Oktober 2024** von **9:00 bis 17:00 Uhr** von der Hochschule Merseburg ausgerichtet und bietet interessierten Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Hochschulen die Möglichkeit sich über aktuelle Trends und das Potential des 3D-Drucks für Ihre Anwendungsbereiche zu informieren.

Impressum

Herausgeber:

Hochschule Merseburg

Eberhard-Leibnitz-Straße 2

06217 Merseburg

Ausgabe:

Erstellt für das 10. Mitteldeutsche Forum 3D-Druck in der Anwendung am 14.06.2023

DOI: 10.25673/103306

Inhalt:

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