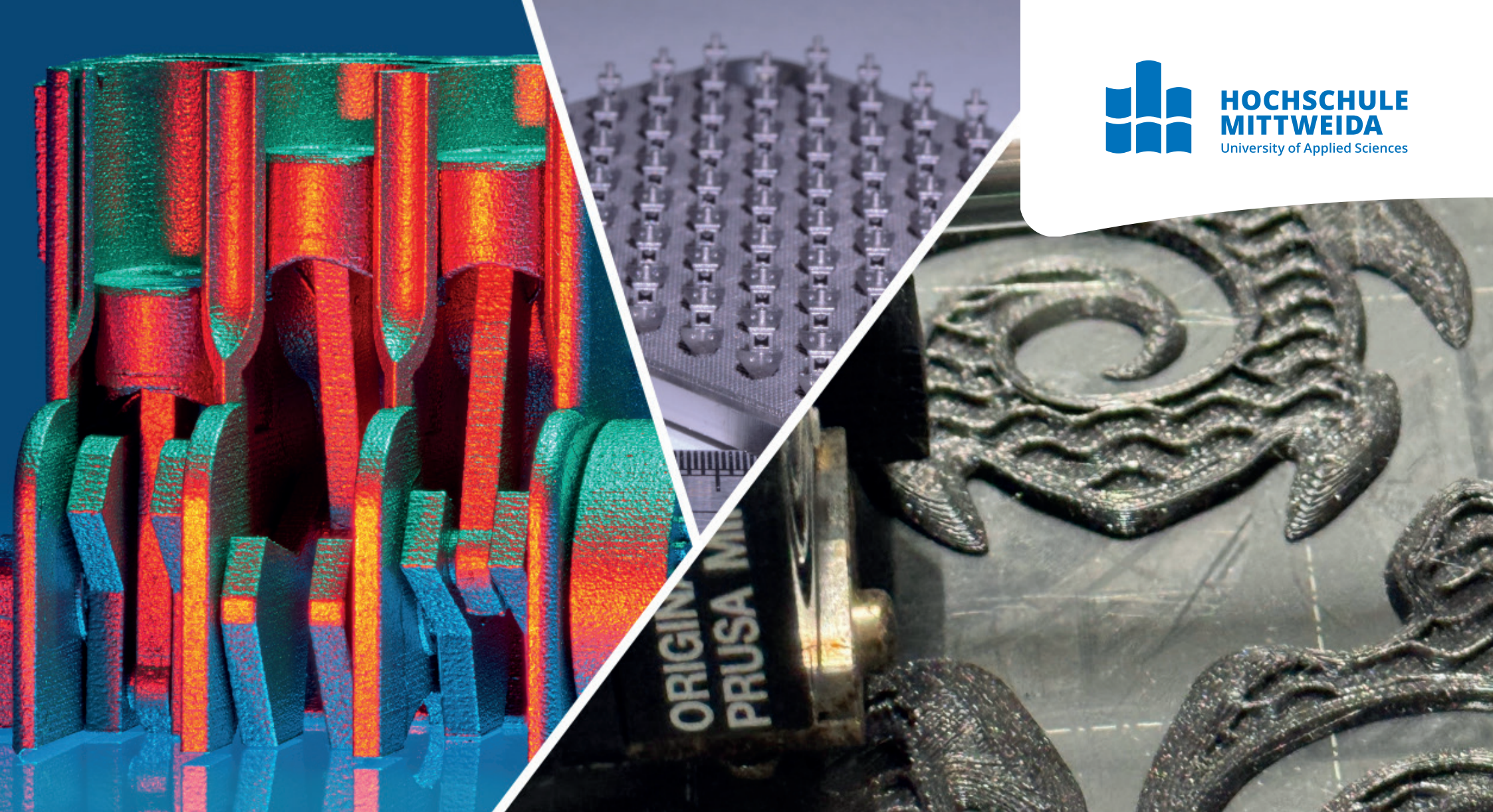




**HOCHSCHULE
MITTWEIDA**
University of Applied Sciences



Tagungsunterlagen

12. Mitteldeutsches Forum „3D-Druck in der Anwendung“ am 15. Oktober 2025 an der Hochschule Mittweida

Herzlich willkommen an der HSMW

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,
ich begrüße Sie herzlich zum 12. Mitteldeutschen Forum „3D-Druck in der Anwendung“ – einer Plattform, die sich seit Jahren als bedeutendes Netzwerk- und Wissensforum für die additive Fertigung in Mitteldeutschland etabliert hat. Die rasante Entwicklung des 3D-Drucks eröffnet immer neue Möglichkeiten in Industrie, Forschung und Bildung. Was einst als experimentelle Technologie begann, ist heute ein fester Bestandteil moderner Produktionsprozesse und Innovationsstrategien. Unser Forum bringt Expertinnen und Experten, Anwenderinnen und Anwender sowie Interessierte zusammen, um aktuelle Trends, praxisnahe Lösungen und zukünftige Potenziale zu diskutieren.

In diesem Jahr stehen besonders die Themen Nachhaltigkeit, Materialvielfalt und Digitalisierung im Fokus.

Die Vorträge, Workshops und Ausstellungen bieten Ihnen wertvolle Einblicke in konkrete Anwendungen und laden zum fachlichen Austausch ein.

Ich danke allen Mitwirkenden, Referierenden und Partnern, die mit ihrem Engagement zum Gelingen dieser Veranstaltung beitragen. Mein besonderer Dank gilt auch Ihnen, liebe Teilnehmerinnen und Teilnehmer, für Ihr Interesse und Ihre Bereitschaft, gemeinsam mit uns die Zukunft des 3D-Drucks aktiv zu gestalten. Ich wünsche Ihnen eine inspirierende Tagung, spannende Gespräche und viele neue Impulse.

Prof. Jörg Matthes

Tagungsleiter des 12. Mitteldeutschen Forums „3D-Druck in der Anwendung“

Impressum

Herausgeber:

Hochschule Mittweida | Prorektor Forschung | Technikumplatz 17 | 09648 Mittweida

Kontakt:

Tel.: +49 (0) 3727 / 58-1264 | www.forschung.hs-mittweida.de | forschung@hs-mittweida.de

Bilder:

soweit nicht anders gekennzeichnet, alle Bilder: Hochschule Mittweida

Druck:

JVA Waldheim

Das vorliegende Programm wurde am 02.10.2025 erstellt.

Änderungen können nicht ausgeschlossen werden.

Für den Inhalt der einzelnen Beiträge sind die Autor:innen verantwortlich.

Bitte informieren Sie sich über aktuelle Änderungen im Tagungsbüro.



Impressum

Herzlich willkommen

Tagungsüberblick

Tagungsorganisation

Organisatorische Hinweise

Sessions

Opening Session

- Eröffnung / Grußworte
- Keynote
- Kurz & Knapp

Session Block A

- Innovative Verfahren und Funktionalisierung
- Materialinnovationen und hybride Lösungen
- Metallbasierte Additive Fertigung für Hochleistungsanwendungen
- Prozessüberwachung und Qualitätssicherung

Workshops

Laborführungen

Session Block B

- Zukunftsfähige Strategien in der Additiven Fertigung
- Neue Dimensionen im 3D-Druck
- Innovative Polymer-AM: Von Hochleistung bis Mikropräzision
- Prozesse und Qualitätssicherung

Closing Session

- Abschlusskeynote
- Schlusswort und Staffeltabübergabe

Poster

Firmenpräsentation

Danke

See you in Jena 2026

Forum 3D-Druck am15.10.2025 an der Hochschule Mittweida

Keynote Vortragszeit 30min zzgl. 10 min Diskussion
Panel Vortragszeit: 20 min zzgl. 5 min Fragen

08:30	Ankommen				Posterpräsentation
09:00	Opening Session Moderation: Jörg Matthes, Hochschule Mittweida Eröffnung / Grussworte Hochschulleitung Landesregierung OB Mittweida		Raum 5 -120		
09:30	Der 3D-Hype - sind die fetten Jahre schon vorbei? Stefan Roth, HS Schmalkalden				
10:10	Kurz & Knapp Vorstellung der Firmen und Poster				
10:40	PAUSE				
	Innovative Verfahren und Funktionalisierung Moderation: Jörg Matthes Raum 5-120	Materialinnovationen und hybride Lösungen Moderation: Jens Bliedtnr Raum 5-214 A	Metallbasierte Additive Fertigung für Hochleistungsanwendungen Moderation: André Streek Raum 5-215A	Prozessüberwachung und Qualitätssicherung Moderation: Klaus Krüger Raum 5-308A	
	Air Technologies for Additive Manufacturing Stefan Jakschick (ULT AG)	Untersuchung der Kunststoff-Metall-Haftung bei der additiven Fertigung hybrider Spritzgussformen Alexander Dierle (HAW Offenburg)	Wolfram-Inertgas-Schweißen additiv und konventionell gefertigter Halbzeuge Daniel Krug (Günter-Köhler-Institut Jena)	Überwachung des 3D-Druckprozess (FFF) mittels Ultraschall Johannes Zawatzky (SONOTEC GmbH)	
	Additiv hergestellter Stich- und Schnittschutz auf textiler Basis Fabian Jonas Müller (Hochschule Mittweida)	Additive Fertigung der nächsten Stufe: Neue Materialien und Technologien bei Stratasys Michael Anton (Stratasys)	Entwicklung additiv gefertigter Mikro-Wärmetauscher mit TPMS-Geometrien aus Inconel 718 Florian Heinrich (LHM)	Intrinsische Markierung additiv gefertigter Bauteile zur Verifizierung und Identifizierung von Originalbauteilen Oliver Neudert (GMBU e.V.)	
	Funktionalisierung additiv gefertigter Bauteile mittels Wire Encapsulation Additive Manufacturing (WEAM) Valentin Mauersberger (Fraunhofer IWU)	Untersuchungen zum selektiven Laserstrahlschmelzen von Aluminiumoxid für die direkte Herstellung oxidkeramischer Bauteile Laura Römer (LHM)	Additive Fertigung hochbelastbarer Leichtbau-Drucktanks aus amorpher Metalllegierung im PBF-LB-Verfahren Maximilian Streinz (Günter-Köhler-Institut Jena)	Zusammenhänge zwischen der Morphologie, den Verarbeitungsparametern und der mechanischen Performance additiv gefertigter Kunststoffe Ralf Lach (Polymer Service GmbH Merseburg)	
	Können mechanisch gefertigte Bauteile wirklich durch 3D-gedruckte Bauteile ersetzt werden? Joachim Kasemann (Mark 3D GmbH)	3D-Druck mit Wasserglas – Ein nachhaltiger Ansatz zur laserbasierten additiven Fertigung Robin Hassel-Schmidt (EAH, TUJ)	3D-Laserdruckverfahren zur Herstellung von porösen wasserabführenden Verlaufsstrukturen Lucas Naumann (LHM)	Metallpulver als Einflussfaktor auf die Bauteilqualität Andreas Pelz (m4p material solutions GmbH)	
12:40	MITTAGSPAUSE	Workshops	Laborbesichtigungen	MITTAGSPAUSE	Experimentelle Analyse ausgewählter Hatchingstrategien auf Mikrostruktur, mechanisches Verhalten und Eigenspannungsverteilungen in LPBF-gefertigten AlSi10Mg-Bauteilen Sebastian Gersch (Hochschule Anhalt) Additive Fertigung wasserstoffführender Komponenten: Konzeptionelle Entwicklung einer hochwarmfesten Aluminiumlegierung Sebastian Gersch (Hochschule Anhalt)
	Zukunftsfähige Strategien in der Additiven Fertigung Moderation: Marco Götz Raum 5-120	Neue Dimensionen im 3D-Druck Moderation: Peter Schulze Raum 5-214 A	Innovative Polymer-AM: Von Hochleistung bis Mikropräzision Moderation: Günther Ganß Raum 5-215A	Prozesse und Qualitätssicherung Moderation: Ines Dani Raum 5-308A	Untersuchung zur Korrelation von Pulverrheologie und Bauteilfestigkeit im Powder Bed Fusion (PBF) Lukas Kube (HTWK Leipzig)
14:10	Vom Reststoff zum Prototyp – nachhaltige additive Fertigung im Reallabor SAMSax Leif Bretschneider (IMKF)	Wenn das CAD an die Grenzen stößt. Antonius Köster (Antonius Köster GmbH & Co. KG)	Optimierung der Materialeigenschaften für 3D gedruckte polymere Spritzgusswerkzeuge Valentin Wiesner (Technologie-Transferzentrum Oberfranken)	KI-basierte Überwachung der Schichtinformation im großvolumigen Schmelzschichtverhalten Toni Wille (EAH Jena)	Mit Additiver Fertigung zur Kreislaufwirtschaft im Theaterküllissenbau – Potentiale und Herausforderungen des MEX-CRB mit Holzreststoffen Leif Bretschneider (TU Bergakademie Freiberg)
14:35	Recycling im Resin 3D-Druck Joschka Röben (Röben UG)	Polyurethane in einer neuen Dimension Andreas Eiden-Bell (Synthese SAS)	Experimentelle und numerische Analyse von UD-Tape-verstärktem Polycarbonat-FLM-Druck Hagen Bankwitz (Hochschule Mittweida)	Sichere Qualifizierung im 3D-Druck Amador Miano (Replique GmbH)	ISO GPS zur Beschreibung systemspezifischer geometrischer Abweichungen additiver Fertigungssysteme Anna Sorgatz (TU Chemnitz)
15:00	Ist die additive (Wieder)Herstellung von Ersatzteilen lohnenswert? Marcus Witt (METROM Mechatronische Maschinen GmbH)	3D-Druck in der Praxis: Chancen, Grenzen und Erkenntnisse aus dem Mittelstand Marucus Geßner (Rapidoject GmbH)	Additive Fertigung monodisperser und anzahlgenauer Mikroplastik-Referenzpartikel durch Mikroextrusion Maurice Hauße (Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden)	Bildbasierte Fehler- und Prozessanalyse im Extrusions-3D-Druck Björn Kunz (TU Chemnitz)	
15:25	KAFFEEPAUSE				
16:00	Closing Session Moderation: Jörg Matthes, Hochschule Mittweida Visionen drucken. Zukunft gestalten - Wie wir mit Robotik und Design lokale Ressourcen nutzen und globale Systeme neu denken können Ada Matthes, Designerin		Raum 5 -120		
16:40	Schlusswort, Staffeltab-Übergabe, Verabschiedung				

F I R M E N S C H A U

Tagungsleitung

Jörg Matthes, Hochschule Mittweida

Tagungskomitee

- Jens Bliedtner, EAH JenaInes Dani, HTWK Leipzig
- Robby Ebert, Hochschule Mittweida
- Günter Ganß, Ingenieurbüro für Kunststofftechnik Suhl
- Marco Götze, Hochschule Merseburg
- Lukas Kube, HTWK Leipzig
- Klaus Krüger, GMBU e.V.
- Uwe Mahn, Hochschule Mittweida
- Jörg Matthes, Hochschule Mittweida
- Kerstin Michalke, EAH Jena
- Constance Möhwald, EAH Jena
- Peter Schulze, HTWK Leipzig

Organisationsteam (alle Hochschule Mittweida)

- Jörg Matthes
- Annett Kober
- Ines Lange
- Claudius Petzold
- Michael Pfeifer

Foto- und Medienhinweis

Wir weisen darauf hin, dass bei unseren Veranstaltungen fotografiert und gefilmt wird und diese Bilder und Videos zur Berichterstattung und für Marketingzwecke veröffentlicht werden. Wir gehen von einer stillschweigenden Einverständniserklärung aller Besucher der Veranstaltung aus, die sich fotografieren und filmen lassen. Sollten sich dennoch Personen dadurch gestört fühlen, dass sie auf einzelnen Bildern und Videosequenzen deutlich zu erkennen sind, so bitten wir um Hinweise an den Fotografen und Filmenden, BEVOR Fotos und Videos erstellt werden. Hiermit informieren wir über das Recht des Widerrufs der stillschweigend erteilten Einwilligung. Hinweise und Rechte, die sich hierzu aus der Datenschutzgrundverordnung ergeben, sowie die Daten des Verantwortlichen und des Datenschutzbeauftragten sind beim Fotografen bzw. Filmenden einsehbar.

Garderobe

Garderoben stehen Ihnen im Foyer des Tagungsgebäudes sowie in den Hörsälen zur Verfügung. Für Garderobe wird keine Haftung übernommen.

Parken

Parkplätze stehen Ihnen auf dem gesamten Campusgelände zur Verfügung. Wir haben eine Parkfläche auf dem Schotterplatz an der Lessingstraße reserviert, diese ist ausgeschildert.

Tagungsband

Der Tagungsband mit allen Beiträgen, die auf der Veranstaltung präsentiert werden, ist online auf den Webseiten derTagung verlinkt.

Tagungsbüro

Das Tagungsbüro befindet sich im Foyer des Hauses 5 und ist zu folgenden Zeiten besetzt:
15.10.2025 08:00 Uhr - 17:00 Uhr
Für evtl. telefonische Rückfragen wenden Sie sich bitte an Annett Kober unter der Rufnummer 03727 / 581070.

Tagungsort

Hochschule Mittweida – Haus 5 – Gerhard-Neumann-Bau
Technikumplatz 17 | 09648 Mittweida
Besucheradresse: Technikumplatz 17 a | 09648 Mittweida

WLAN

SSID: Fo3D-Druck
PW:3D-Druck-2025

Session: Opening Session

Zeit: 09:00 Uhr - 10:40 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-120 | Moderation: Jörg Matthes, Hochschule Mittweida

Eröffnung und Grußworte

- Hochschule Mittweida
Der Prorektor Forschung, Prof. Dr.-Ing. Uwe Mahn
- Stadt Mittweida
Oberbürgermeister der Stadt Mittweida, Ralf Schreiber
- Landesregierung des Freistaates Sachsen

Plenarvortrag

Der 3D-Hype - sind die fetten Jahre schon vorbei?

Referent: Stefan Roth, Hochschule Schmalkalden

Die Additive Fertigung hat in den letzten zwei Jahrzehnten einen ungeahnten Aufschwung erfahren. Unzählige Verfahren und Hersteller haben den Markt bereichert und die Technologie ausreifen lassen und so bezahlbar gemacht. Dadurch konnten viele Anwendungsbereiche durch additiv gefertigte Lösungen erschlossen werden. Dabei haben sich jedoch nicht alle Hoffnungen erfüllt. Der Vortrag betrachtet die Entwicklung des Additive Manufacturing der letzten Jahre – vom Boom über die Konsolidierungsphase bis hin zur Etablierung von Technologien und deren Anwendung. Dabei soll auch ein Ausblick auf die Potenziale gegeben werden, die die Additive Fertigung nach wie vor für die Zukunft bereithält.

Kurz & Knapp

Posterausstellende und ausstellende Firmen stellen sich in Kurz-Pitches vor.

Session A1: Innovative Verfahren und Funktionalisierung

Zeit: 11:00 Uhr - 12:40 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-120 | Moderation: Jörg Matthes, Hochschule Mittweida

11:00 Uhr

Air Technologies for Additive Manufacturing

Stefan Jakschick
ULT AG

11:25 Uhr

Additiv hergestellter Stich- und Schnitenschutz auf textiler Basis

Fabian Jonas Müller
Hochschule Mittweida

11:50 Uhr

Funktionalisierung additiv gefertigter Bauteile mittels Wire Encapsulation Additive Manufacturing (WEAM)

Valentin Mauersberger
Fraunhofer IWU

12:15 Uhr

Können mechanisch gefertigte Bauteile wirklich durch 3D-gedruckte Bauteile ersetzt werden?

Joachim Kasemann
Mark 3D GmbH

Air Technologies for Additive Manufacturing

Stefan Jakschik
ULT AG Am Göpelteich 1 02625 Bautzen

Deutsch:

In der additiven Fertigung mit metallischem 3D-Druck können luftgetragene Schadstoffe wie Metallstäube und Prozessnebenprodukte auftreten. Diese Schadstoffe wirken sich auf den Fertigungsprozess, die Bedienung der Anlage sowie die Nachbearbeitung aus und stellen ein Gesundheits- und Sicherheitsrisiko dar. Die VDI 3505 Blatt 6.1 liefert wichtige Hinweise zur Bewertung und Minimierung dieser Risiken. Sie beschreibt Maßnahmen zur sicheren Handhabung, geeignete Schutzvorkehrungen und organisatorische Anforderungen im Umgang mit luftgetragenen Schadstoffen.

English:

In metal additive manufacturing (3D printing), airborne contaminants such as metal powders and process by-products can be released. These can affect the printing process, equipment operation, and post-processing, posing health and safety risks. VDI 3505 Part 6.1 provides key guidance on assessing and minimizing these hazards. It includes measures for safe handling, appropriate protective equipment, and organizational requirements to manage airborne contaminants effectively.

Additiv hergestellter Stich- und Schnittschutz auf textiler Basis

Fabian Jonas Müller
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Im Rahmen eines Forschungsprojekts wurde mithilfe des 3D-Drucks ein textilbasiertes Schutzsystem gegen Stich- und Schnittwaffen entwickelt. Unter Anwendung des FLM-Verfahrens entstand ein Schutzsystem, bei dem eine speziell konzipierte Geometrie aus PP-GF direkt auf ein UHMWPE-Textil gedruckt wird. Die resultierende Struktur weist eine hohe Haftung zum Textil auf und bietet im Vergleich zu herkömmlichen Schutzsystemen eine deutlich höhere Flexibilität. Mit dieser Struktur können zudem die Anforderungen der Leistungsstufe 4 der Durchstichfestigkeit gemäß DIN EN 388 erfüllt werden. Als nächster Schritt ist die Zertifizierung nach der Prüfrichtlinie VPAM KDIW 2004 zur Abwehr von Injektionsnadeln vorgesehen.

In this research project, a novel textile-based protective system against stab and cut threats was developed using additive manufacturing. A specially designed geometry made of PP-GF was applied directly onto UHMWPE fabric via Fused Layer Modeling. The resulting structure demonstrates strong adhesion to the textile substrate and significantly improved flexibility compared to conventional protective systems. Moreover, the system meets the requirements of performance level 4 for puncture resistance in accordance with DIN EN 388. As a next step, certification according to the VPAM KDIW 2004 guideline for protection against hypodermic needle attacks is targeted.

Vor dem Hintergrund eines deutlich gestiegenen Gewaltaufkommens gegenüber Einsatzkräften wurden im Jahr 2023 laut Polizeilicher Kriminalstatistik über 46.000 Angriffe mit mehr als 105.000 betroffenen Personen registriert [1]. Damit wird der Bedarf an leistungsfähiger und zeitgemäßer persönlicher Schutzausrüstung (PSA) zunehmend dringlicher. Insbesondere flexible Körperbereiche wie Gelenke, Leiste oder Hals sind bei bestehenden Stichschutzsystemen häufig unzureichend geschützt. Konventionelle Lösungen basieren zudem meist auf starren Materialien, die die Beweglichkeit einschränken [2] und bei Angriffen mit spitzen Gegenständen wie Injektionsnadeln an ihre Grenzen stoßen. Ziel dieses Forschungsprojekts war daher die Entwicklung eines neuartigen, leichten und flexiblen Stichschutzsystems auf textiler Basis mittels additiver Fertigung. Unter Anwendung des Fused Layer Modeling (FLM) wurde eine speziell konzipierte Geometrie aus PP-GF direkt auf ein UHMWPE-Textil aufgebracht. Der Entwicklungsprozess umfasste eine systematische Materialvorauswahl, die Optimierung prozessrelevanter Parameter sowie die Konstruktion und Validierung schutzwirksamer Geometrien. Die besten Ergebnisse lieferte eine hexagonale Struktur mit Überhängen, die eine vollständige Flächenabdeckung, hohe Flexibilität und eine Steigerung der Durchstichfestigkeit um 54 % im Vergleich zum reinen Textil aufwies. Die Anforderungen der Leistungsstufe 4 gemäß DIN EN 388 wurden erfüllt. Durch gezielte Anpassung der Prozessparameter, insbesondere der Düsentemperatur und des Z-Offsets, konnte zudem die Haftkraft der Struktur signifikant erhöht werden. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial, additiv gefertigte Schutzstrukturen funktional und dauerhaft in textile Flächen zu integrieren. In einem nächsten Schritt wird die Zertifizierung gemäß VPAM KDIW 2004 zur Abwehr von Nadelstichen angestrebt.

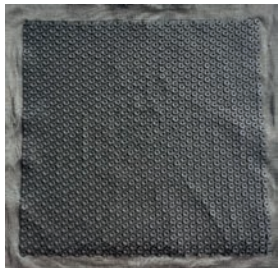


Abb. 1: Schutzstruktur auf UHMWPE Textil

- [1]Bundeskriminalamt, Bundeslagebild 2023, [online]https://www.bka.de/SharedDocs/Downloads/DE/Publikationen/JahresberichteUndLagebilder/GewaltGegenPVB/GewaltGegenPVBBundeslagebild2023.pdf?__blob=publicationFile&v=2pdf [15.07.2025].
[2]Armadillo Tex GmbH, „armadillo-tex.com,“ [online] <https://www.armadillo-tex.com/shop-default/produkt/stichschutzweste-profi/> [15.04.2025].

Funktionalisierung additiv gefertigter Bauteile mittels Wire Encapsulation Additive Manufacturing (WEAM)

Valentin Mauersberger, Johannes Knecht
Fraunhofer IWU, Nöthnitzer Straße 44, 01187 Dresden

Das Fertigungsverfahren WEAM ermöglicht die Integration elektrischer Leiter beliebigen Materials und in beliebiger Geometrie in additiv gefertigte Bauteile. Neben dem Aufbau einfacher Leitersätze ermöglicht dies die Generation sensorierter Bedienelemente, Antennenstrukturen zur Datenübertragung, beheizter Flächen und vielem mehr. Durch die Adaption des Fertigungsprozesses in bestehende Bewegungssysteme mit Werkzeugwechsel, können komplexe Baugruppen vollautomatisiert gefertigt werden. Dies wird exemplarisch anhand einer Knöchelorthese mit integrierten Heizdrähten zur wiederholten reversiblen Verformung dargestellt.

Wire Encapsulation Additive Manufacturing (WEAM)

Das Fertigungsverfahren WEAM dient der additiven Integration von Leiterstrukturen aus metallischen Drähten und Litzen sowie Lichtleitern. Dazu wird, in einem Fused Filament Fabrication (FFF) ähnlichen Prozess, eine Thermoplast Druckspur auf den Grundbauteil aufgebracht. In diese Druckspur wird in Bewegungsrichtung das Funktionsmaterial (Ø 0,05-0,8mm) eingelegt und vom Thermoplast umspritzt (Abb. 1). Durch das Umspritzen wird der Draht, Litze oder Lichtleiter an das Grundbauteil angebunden und gleichzeitig von der Umgebung mechanisch und elektrisch isoliert. Im Gegensatz zu anderen Verfahren bei welchem Draht ummantelt mit Polymer als Prepreg zugeführt wird, führt WEAM beide Materialien getrennt zu und vereint die Materialströme erst unter der Düse des Polymers. Dadurch können Standarddrähte und Filamente mit niedrigen Materialkosten in beliebiger Kombination eingesetzt werden. Des Weiteren sind höhere Prozessgeschwindigkeiten möglich (Mauersberger et al., *Materials* 2025, 18(1), 41.). Die freie Wahl der Funktionsmaterialien und Mantelpolymeren ermöglicht es eine große Zahl unterschiedlicher elektrischer Funktionen (z.B. Sensoren, Aktoren, Antennen, Heizstrukturen) in Bauteile unterschiedlichsten Materials zu integrieren. Durch einen Trennmechanismus sowie Kontaktierungsstrategien entsteht ein vollständig automatisierter Prozess, welcher im Zusammenspiel mit herkömmlichen FFF Druckköpfen sowie Pick und Place Werkzeugen zur Fertigung kompletter Baugruppen ohne manuelle Bearbeitung oder Montage eingesetzt wird.



Abb. 1: WEAM-Druckkopf mit Ø 0,2 mm Heizdraht

Thermisch angeformte Knöchelorthese mittels WEAM (Projekt AdaptBrace)

- Im Forschungsprojekt AdaptBrace wurde das WEAM-Verfahren gemeinsam mit dem Multimaterialdruck für die Generierung einer angepassten Knöchelorthese mit integrierten Heizdrähten zur wiederholbaren Anformung an den Patienten eingesetzt. Aufbauend auf der individuellen Orthetik wurde ein zweischichtiger Aufbau aus geschäumten TPU (ColorFabb Varioshore), zur Verringerung des Wärmetransports zum Patienten, sowie einem strukturellen Backbone (PLA, Facilan™ C8 und Facilan™ Ortho Filament) mit integrierten Heizdrähten (Ø 0,2 mm Nickel-Chrom) entwickelt. Durch gezielte Bestromung können einzelne Bereiche der Orthese separat erwärmt und somit an den Patienten angeformt werden. Ein sonst übliches sehr schnelles Arbeiten während der Anformung der Orthese durch die Abkühlung des Thermoplast ist durch die integrierte Erwärmung nicht mehr nötig. Das reversible Umarbeiten der Orthese wird ermöglicht. Durch das Drucken der Orthese in flachem Zustand (siehe Abb. 2) ist der Schichtaufbau im später angeformten Zustand in Belastungsrichtung orientiert. Gleichzeitig sind die flachen Orthesen besser transportabel.



Abb. 2: Knöchelorthese mit integrierten Heizdrähten. Links in flachen gedruckten und rechts in angeformten Zustand

Können mechanisch gefertigte Bauteile wirklich durch 3D-gedruckte Bauteile ersetzt werden?

Joachim Kasemann
Mark3D GmbH, Rodenbacher Straße 15, 35708 Haiger

Mit Materialien wie PA6, Glasfaser, Carbon, Werkzeugstahl, Edelstahl oder reinem Kupfer lassen sich heute Bauteile additiv fertigen, die bislang ausschließlich mechanisch hergestellt werden konnten. Durch den veränderten Fertigungsprozess entstehen neue Möglichkeiten: Viele Bauteile lassen sich einfacher und schneller herstellen, oft sogar ohne speziell additivgerechtes Design.

Additive Fertigungsverfahren sind besonders geeignet, hochkomplexe, last- und gewichtsoptimierte Strukturen zu realisieren, die konventionell nicht oder nur sehr aufwendig herstellbar wären.

In der Hybridbauweise werden unterschiedliche Materialien intelligent kombiniert – immer mit Blick auf die jeweilige Anforderung. So lassen sich:

- der Materialeinsatz reduzieren,
- gleichzeitig die Struktureigenschaften verbessern und
- die Anzahl der Komponenten deutlich verringern.

Die richtige Material- und Prozesskombination ermöglicht eine flexible, wirtschaftliche und leistungsfähige Herstellung komplexer Bauteile, die gleichzeitig hohen mechanischen Belastungen standhalten.

Die additive Fertigung eröffnet damit völlig neue Wege, um Produkte effizient, automatisiert und mit hoher Gestaltungsfreiheit umzusetzen – von der Einzelanfertigung bis zur Serie.

Session A2: Materialinnovationen und hybride Lösungen

Zeit: 11:00 Uhr - 12:40 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-214A | Moderation: Jens Bliedtner, EAH Jena

11:00 Uhr

Untersuchung der Kunststoff-Metall-Haftung bei der additiven Fertigung hybrider Spritzgussformen

Alexander Dierle

HAW Offenburg

11:25 Uhr

Additive Fertigung der nächsten Stufe: Neue Materialien und Technologien bei Stratasys

Michael Anton

Stratasys Inc.

11:50 Uhr

Untersuchungen zum selektiven Laserstrahlschmelzen von Aluminiumoxid für die direkte Herstellung oxidkeramischer Bauteile

Laura Römer

Laserinstitut Hochschule Mittweida

12:15 Uhr

3D-Druck mit Wasserglas – Ein nachhaltiger Ansatz zur laserbasierten additiven Fertigung

Robin Hassel-Schmidt

EAH Jena

Untersuchung der Kunststoff-Metall-Haftung bei der additiven Fertigung hybrider Spritzgussformen

Thomas M. Wendt, Alexander Dierle
Offenburg University of Applied Sciences, Badstraße 24, 77652 Offenburg

Zur Herstellung hybrider Spritzgussformen wird die Haftung verschiedener 3D-Druck-Filamente auf Metallmodulen untersucht. Mit einem modifizierten FFF-Drucker und roboterbasierter Abzugsprüfung wird die Verbindung bewertet. PA12+CF15 zeigte die besten mechanischen Eigenschaften und haftet am besten in Kombination mit Metallkleber auf Polychloropren Basis. Zukünftig soll das Verfahren auf ein robotergestütztes Mehrachs-System übertragen und um einen mechanischen Haftungsmechanismus ergänzt werden, um temperaturbedingte Haftkraftverluste auszugleichen.

Einleitung

Die werkzeugsseitige Umsetzung kleiner Spritzgussserien erfordert flexible, schnelle und kostengünstige Herstellungsverfahren, um eine wirtschaftliche Fertigung variabler Werkzeuggeometrien zu gewährleisten. Ein Ansatz besteht in der Kombination modularer Metallkomponenten mit additiv aufgetragenem Kunststoff zur Formgebung. Dafür ist eine zuverlässige Verbindung beider Materialien als auch hohe mechanische und thermische Beständigkeit des 3D-Druck Materials grundlegende Voraussetzung.

Methodik

Zur Untersuchung der Haftungseigenschaften wird ein FFF (Fused Filament Fabrication) 3D-Drucker angepasst, sodass Kunststoff gezielt auf vorbereitete Metalloberflächen aus Wärmearbeitsstahl 1.2343 extrudiert werden kann. Verschiedene Filamente (PETG, ASA, PA12+CF15), Oberflächenstrukturen (poliert, geschliffen, gewalzt) und Haftvermittler (Klebstoffe, Plasmaaktivierung) werden getestet, um die Einflüsse auf die Adhäsion zu analysieren. Zur quantitativen Bewertung der Haftung wird eine roboterbasierte Abzugsprüfung durchgeführt. Damit die Temperaturabhängigkeit der Haftkraft analysiert werden kann, wird die Abzugskraft bei 23 °C und 100 °C bestimmt.

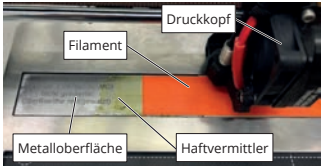


Abb. 1: Probenherstellung zur Analyse der Haftkraft

Ergebnisse

PETG zeigt auf polierten Oberflächen eine Haftung von max. 9,9 N bei 23 °C, verlor diese aber bei 100 °C. ASA haftete ohne zusätzliche Maßnahmen nicht an der Metalloberfläche. PA12+CF15 weist die höchste mechanische Stabilität mit einer Zugfestigkeit von 120 MPa [1] als auch durch die höchste Temperaturbeständigkeit von bis zu 170 °C [1] im Vergleich zu den anderen Filamenten auf. Eine Adhäsion auf der Metalloberfläche tritt, unabhängig von der Oberflächenstruktur, nicht auf. Zur Verbesserung der Verbindung werden verschiedene Haftvermittler getestet. Die höchsten Haftkräfte werden mit einem Metallkleber auf Polychloropren Basis erreicht (bis 160,6 N mit PA12+CF15). Sprühkleber erreicht eine maximale Haftkraft von 120,3 N in Kombination mit ASA und 2K-Epoxydharz-Kleber maximal 35,1 N, kombiniert mit PA12+CF15. Eine Plasmaaktivierung steigerte die Anfangshaftung, konnte jedoch keine dauerhaft belastbare Verbindung gewährleisten. Insgesamt sich chemisch unterstützte Verbindungen effektiver als eine alleinige mechanische Anhaftung.

Ausblick

Im nächsten Schritt wird das Verfahren auf ein robotergestütztes Mehrachs-System übertragen und für komplexe Geometrien weiterentwickelt. Zudem soll ein mechanischer Haftungsmechanismus realisiert werden, um temperaturbedingte Haftkraftverluste zu kompensieren und eine dauerhaft belastbare Verbindung zu ermöglichen.

Referenzen

[1] Fiberlab S.A., „Technical Data Sheet Nylon PA12+CF15“. Zugriffen: 7. April 2025. [Online]. Verfügbar unter: https://fiberlogy.com/wp-content/uploads/2022/12/FIBERLOGY_NYLON_PA12CF15_TDS.pdf

Additive Fertigung der nächsten Stufe: Neue Materialien und Technologien bei Stratasys

Michael Anton
Stratasys Inc.

Schwerpunkte:

- 1. Vorstellung
- 2. Stratasys Technologie-Überblick
- 3. Neue Entwicklungen und Materialien 2025 - Technologien - Anwendungen - Software

Untersuchungen zum selektiven Laserstrahlschmelzen von Aluminiumoxid für die direkte Herstellung oxidkeramischer Bauteile

Laura Römer, Adrian Forkert, Martin Erler, André Streek
Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Technische Keramiken zeichnen sich durch herausragende mechanische, thermische und chemische Eigenschaften aus und finden daher in zahlreichen Industriebereichen, darunter die Automobilindustrie, Elektroindustrie und Medizintechnik, breite Anwendung. Mit der steigenden Nachfrage nach komplexen keramischen Bauteilen, deren Herstellung mit konventionellen Fertigungsverfahren zunehmend an technologische Grenzen stößt, rückt die additive Fertigung in den Fokus der Forschung. Zum derzeitigen Stand existieren mehrere additive Fertigungsverfahren, welche die Herstellung keramischer Bauteile mit hoher Designfreiheit ermöglichen. Die meisten dieser Verfahren, wie beispielsweise das Binder Jetting oder die Stereolithografie, erfordern jedoch einen zeitaufwendigen mehrstufigen Prozess mit nachgelagerter Sinterung zur Erzielung der gewünschten mechanischen Bauteileigenschaften. Das selektive Laserstrahlschmelzen (SLM) ermöglicht durch vollständiges Aufschmelzen des Ausgangsmaterials prinzipiell die direkte Herstellung keramischer Bauteile in einem einstufigen Prozess. Eine große Herausforderung stellen dabei im Prozess auftretende hohe Temperaturgradienten dar, welche zur Rissbildung und somit zur Beeinträchtigung der mechanischen Eigenschaften der Bauteile führen. Ansätze zur Rissvermeidung aus der Literatur sind beispielsweise das starke Vorheizen des Materials, welches mit einer kostenintensiven Anlagentechnik einhergeht, oder die Verwendung eutektischer Stoffgemische zur Senkung der Schmelztemperatur. Insbesondere Untersuchungen zur Herstellung von Bauteilen aus reinem Aluminiumoxid (Al₂O₃) mittels SLM sind bisher begrenzt und stellen deshalb den Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit dar.

Die Prozessentwicklung für die direkte Herstellung von Al₂O₃-Bauteilen erfolgte mit dem Ziel, eine möglichst hohe Bauteildichte zu realisieren. Hierzu wurden zunächst geeignete Prozessparameter durch Einzel- und Mehrsprununtersuchungen unter Verwendung von CO₂-Laserstrahlung ermittelt. Anschließend wurde der Einfluss des Energieeintrages, sowie verschiedener Scanstrategien auf die Rissbildung analysiert. Durch gezielte Optimierung der Prozessparameter gelang erfolgreich die Herstellung komplexer Bauteile aus Aluminiumoxid.

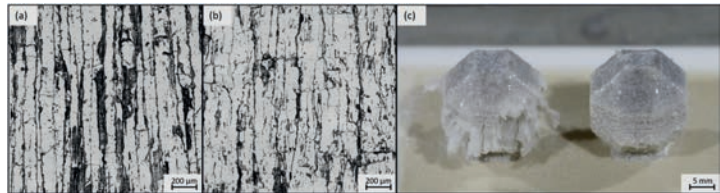


Abb. 1: Einfluss der Volumenenergiedichte auf die Rissbildung ($E_v = 500 \text{ J/mm}^3$ (a), $E_v = 167 \text{ J/mm}^3$ (b)) und Vermeidung von Spannungsrissen durch optimierte Prozessparameter (c).

3D-Druck mit Wasserglas – Ein nachhaltiger Ansatz zur laserbasierten additiven Fertigung

Robin Hassel-Schmidt¹, Andrea Barz¹, Jens Bliedner¹, Edda Rädlein²
¹Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena
²Technische Universität Ilmenau, Gustav-Kirchhoff-Straße 6, 98693 Ilmenau

Im Rahmen aktueller Untersuchungen wird ein additives Fertigungsverfahren zur schichtweisen Erzeugung von Formkörpern aus flüssigen Alkali-Silicat-Lösungen (Wassergläsern) erforscht. Durch gezielte, laserinduzierte Dehydratation soll eine selektive Verfestigung ermöglicht werden, wodurch ein 3D-Druckprozess auf Basis anorganischer, funktionalisierbarer Materialien realisierbar wird. Mittels CO₂-Laserstrahlung ($\lambda = 10,6 \mu\text{m}$) und geeigneter Scankonzepte lassen sich homogen verfestigte Strukturen erzeugen; zugleich wurde die Abhängigkeit des Energiebedarfs vom Feststoffgehalt nachgewiesen. Aktuelle Herausforderungen betreffen die Auflösung, Maßhaltigkeit und Reproduzierbarkeit der Formkörper sowie unerwünschte Nebenreaktionen mit Umgebungs-CO₂. Lösungsansätze umfassen die Entwicklung einer automatisierten Anlagentechnik sowie die Erprobung alternativer Laserwellenlängen im nahen Infrarot, um Präzision und Prozessstabilität zu verbessern. Der Ansatz verspricht kostengünstige, recyclingfähige und chemisch wie thermisch resistente Bauteile für neue Einsatzgebiete.

As part of ongoing research, an additive manufacturing process is being developed for the layer-by-layer fabrication of components from liquid alkali silicate solutions (water glass). Through selective, laser-induced dehydration, localized solidification is achieved, enabling a 3D printing process based on inorganic, functionalizable materials. Using CO₂ laser radiation ($\lambda = 10.6 \mu\text{m}$) and suitable scanning strategies, homogeneously solidified structures can be produced; in addition, the energy demand has been shown to depend on the solid content of the material. Present limitations concern resolution, dimensional accuracy and reproducibility of printed parts, as well as undesired side reactions with atmospheric CO₂. Proposed solutions include the development of automated system technology and the investigation of alternative laser wavelengths in the near-infrared range to improve precision and process stability. This approach offers the potential for cost-effective, recyclable, and chemically as well as thermally resistant components for a wide range of new applications.

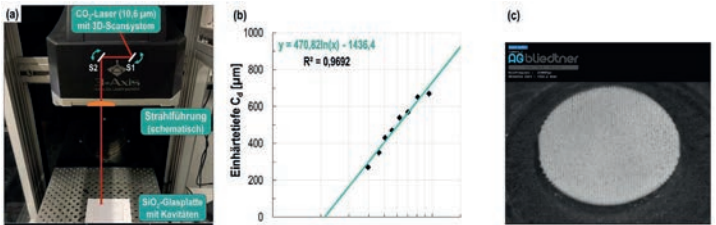


Abb. 1: a) Derzeitiger Versuchsaufbau, b) Schichtdicken in Abhängigkeit der Flächenenergie für Natriumwasserglas 40/42, c) Bild aus HighSpeed-Kameraaufnahmen

Session A3: Metallbasierte Additive Fertigung für Hochleistungsanwendungen

Zeit: 11:00 Uhr - 12:40 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-215A | Moderation: André Streek, Hochschule Mittweida

11:00 Uhr

Wolfram-Inertgas-Schweißen additiv und konventionell gefertigter Halbzeuge

Daniel Krug (Günter-Köhler-Institut Jena)

11:25 Uhr

Entwicklung additiv gefertigter Mikro-Wärmetauscher mit TPMS-Geometrien aus Inconel 718

Florian Heinrich

Laserinstitut Hochschule Mittweida

11:50 Uhr

Additive Fertigung hochbelastbarer Leichtbau-Drucktanks aus amorpher Metalllegierung im PBF-LB-Verfahren

Maximilian Streinz

Günter-Köhler-Institut, Jena

12:15 Uhr

3D-Laserdruckverfahren zur Herstellung von porösen wasserabführenden Verlaufsstrukturen

Lukas Naumann

Laserinstitut Hochschule Mittweida

Wolfram-Intergas-Schweißen
additiv und konventionell gefertigter Halbzeuge

Daniel Krug, M.Eng., SFI (IWE); Robert Prowaznik; Dr.-Ing. Johannes Günther
Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung GmbH, Ernst-Ruska-Ring 3, 07745 Jena

Im Forschungsprojekt „HyWeld“ wurde das Fügen additiv und konventionell gefertigter Halbzeuge mittels WIG-Schweißens ohne Zusatzwerkstoff untersucht. Trotz identischer Schweißparameter gegenüber den konventionellen Proben traten bei den hybriden Verbindungen Unregelmäßigkeiten gemäß ISO 6520-1 auf. Ursachenanalysen zeigten, dass insbesondere der Gehalt an oberflächenaktiven Elementen eine Umkehr der Schmelzbadströmung verursacht. Spektralanalysen der Grundwerkstoffe bestätigten signifikante Differenzen im Schwefelgehalt der Proben, die als Ursache identifiziert wurden. Versuche mit einem magnetisch abgelenkten WIG-Lichtbogen zeigten eine deutliche Verbesserung der Nahtsymmetrie und eine Reduktion des Wurzelversatzes.

Analyse der Schweißversuche

Beim hybriden Lichtbogenschweißen wurden zunächst Parameter zum Fügen von konventionellem Halbzeug aus dem Werkstoff AISI 316L (1.4404) verifiziert. Als Fügeprozess wurde das Wolfram-Inertgasschweißen (WIG) mit Hyperpuls ohne Zusatzwerkstoff (Einlagenschweißung) gewählt (ISO 4063 – 142). Mit denselben Parametern wurden anschließend additiv erzeugte Proben gefügt. Die additiven Proben wurden mit den Verfahren DED-LB(w/p), DED-Arc (MSG) und PBF-LB hergestellt. Bei der Analyse der Proben wurden Unregelmäßigkeiten gemäß ISO 6520-1 festgestellt. Mittels Hochgeschwindigkeitskamera (Bildrate: 3600 fps) konnte eine asymmetrische Fließbewegung des Schmelzbades zum konventionell gefertigten Grundwerkstoff während des Schweißprozesses beobachtet werden.

Metallografische Analyse

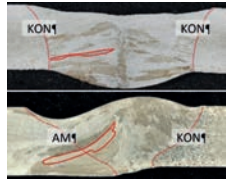


Abb. 1: hybrides WIG-Schweißen

Bei Eisenbasislegierungen besitzen nach Marincek [MAR51] insbesondere Elemente der VI. Hauptgruppe des Periodensystems eine erhöhte Affinität zu Eisenatomen, wodurch die inneren Bindungskräfte geschwächt werden. Gautschi [GAU57] leitete aus diesen Erkenntnissen ab, dass oberflächen-spannungsreduzierende Stoffe (inaktiv) die inneren Bindungskräfte schwächen, während kapillaraktive Substanzen diese inaktiven Stoffe aus der Oberfläche verdrängen. Im Rahmen der Sekundärmetallurgie bei der Rohmaterialherstellung kann die Oberflächenspannung bei Eisenbasislegierungen durch die Behandlung der Schmelze mit Desoxidations- (Elemente Al, Ca und Si) bzw. Entschwefelungsmitteln (Elemente Ca und Mn) gezielt verändert werden [GAU57]. Gleichzeitig zeigt sich, dass ein gewisser Anteil dieser Elemente für die Verarbeitung von Schweißzusatzwerkstoffen relevant ist. Wie von Mills und Keene [MK90, MKB98] beschrieben und von Wei et al. [WPM15] bestätigt, führt eine niedrige Oberflächenspannung zu einer hohen Schweißbeindringtiefe. Ein höherer Gehalt an Elementen der VI. Hauptgruppe im ppm-Bereich zeigt hier eine positive Wirkung. Beim WIG-Schweißen stellen Mills und Keene eine asymmetrische Ausbildung der Schweißnaht fest [MK90, MKB98]. Bestätigt wird dies von Tinkler et al. [TGM83] beim Verbindungsschweißen zweier Stahlplatten mit Schwefelgehalten von 30 ppm bzw. 90 ppm: Die Schweißnaht war stets zur schwefelärmeren Seite hin exzentrisch ausgebildet. Zum gleichen Ergebnis führte das hybride Verbindungsschweißen am ifw Jena (siehe Abb. 1). Spektralanalysen der Proben wiesen einen deutlichen Unterschied im Schwefelgehalt nach (additiv 63 ppm, konventionell 6 ppm). Nach Mills und Keene wird der Kippunkt des entscheidenden Schwefelgehaltes bei 40 ppm ausgemacht [MK90, MKB98]. Auch bei der Vergleichsprobe mit Inconel 718 (2.4668) ist ein deutlicher Wurzelversatz aufgetreten. Hier verweisen Mills und Keene auf Untersuchungen von Savage et al., wobei neben Schwefel insbesondere Silizium einen hohen Einfluss auf die Oberflächenspannung bei Nickelbasislegierungen hat [MK90, SNG77].

Prozessstabilisierung durch magnetische Lichtbogenablenkung

Durch die Lichtbogenablenkungen mittels Dauermagneten (B = 39,4 mT, Magnetpositionierung auf dem additiven Grundwerkstoff, 22 mm Luftspalt zur Wolfram-Elektrode) war es möglich eine symmetrische Schweißnaht ohne Unregelmäßigkeiten gemäß ISO 6520-1 zu erzeugen. Nach Wang et al. [WCZ17] beeinflusst die elektromagnetische Lichtbogenablenkung die Ausbildung zellulärer Dendriten. Während bei den hybriden Schweißverbindungen ein gerichtetes Dendritenwachstum vorlag, ist dieser Effekt unter Einsatz des Dauermagneten reduziert worden.

Primärliteratur

[GAU57] – GAUTSCHI, R.:

Die Oberflächenspannung des flüssigen Gusseisens und ihr Einfluss auf die Graphitform. Eidgenössische technische Hochschule in Zürich, Verlag P. G. Keller Winterthur, 1957.

[MK90] – MILLS, K. C.; KEENE, B. J.:

Factors affecting variable weld penetration.

The Institute of Metals and ASM International, International Materials Reviews, Vol. 35, No. 4, 1990.

[MKB98] – MILLS, K. C.; KEENE, B. J.; BROOKS, R. F., CHIRALO, A.:

Maragoni effects in welding.

Centre for Materials, Measurement and Technology, National Physical Laboratory, Teddington UK,

In: Philosophical transactions of the Royal Society, No. 356, 1998.

[WCZ17] – WANG, CH.; CHEN, H.; ZHAO, Z.; CAO, L.; JIANG, P.; MI, G.:

Influence of axial magnetic field on shape and microstructure of stainless steel laser welding joint.

In: The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Springer Verlag, 2017.

[WPM15] – WEI, H. L.; PAL, S.; MANVIKAR, V.; LIENERT, T. J.; DEBROY, T.:

Asymmetry in steel welds with dissimilar amounts of sulfur. The Pennsylvania State University, 2015.

Sekundärliteratur

[MAR51] – MARINCEK, B.:

Beitrag zur Herstellung von Gusseisen mit Kugelgraphit.

In: Gesellschaft der Ludwig-von-Roll'schen Eisenwerke, Von-Roll-Mitteilungen 10, 14/44, 1951.

[SNG77] – SAVAGE, W. F.; NIPPES, W. F.; GOODWIN, G. M.:

Effect of minor elements of hot-cracking tendencies of Inconel 600.

In: Welding Journal, vol. 56, S. 126, 1977.

[TGM83] – TINKLER, M. J.; GRANT, I.; MIZUNO, G.; GLUCK, C.:

Welding 304L stainless steel tubing having variable penetration characteristics.

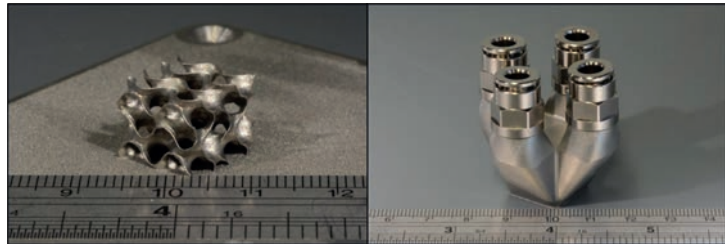
The Welding Institute, Abington Cambridge, Paper 29, 1983.

Entwicklung additiv gefertigter Mikro-Wärmetauscher mit TPMS-Geometrien aus Inconel 718

Florian Heinrich, André Streek

Laserinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Am Laserinstitut der Hochschule Mittweida wurde in den vergangenen zehn Jahren das Mikro-SLM-Verfahren entwickelt, das sich wesentlich vom konventionellen Selektiven Laserschmelzen (SLM) unterscheidet – insbesondere durch eine deutlich höhere Auflösung mit minimal realisierbaren Strukturgrößen unter 50 µm. In Kombination mit den bekannten Vorteilen additiver Fertigung, wie der Realisierung komplexer Geometrien, eröffnet das Mikro-SLM neue Anwendungsmöglichkeiten im Bereich hochpräziser Bauteile. Ein besonders vielversprechendes Einsatzfeld stellt die Fertigung hocheffizienter Mikro-Wärmetauscher dar. Durch die Integration topologisch optimierter TPMS-Strukturen, die sich durch ein hohes Oberflächen-Volumen-Verhältnis auszeichnen, und der Erweiterung der einsetzbaren Werkstoffe auf das hochtemperaturbeständige Inconel 718, soll die Leistungsfähigkeit zukünftiger Wärmetauscher signifikant gesteigert werden. Hierzu wurden grundlegende Prozessparameter ermittelt, auf die Herstellung dünnwandiger TPMS-Strukturen übertragen und die thermische Performance eines ersten Prototypen-Wärmetauschers untersucht.



Additive Fertigung hochbelastbarer Leichtbau-Drucktanks aus amorphen Metalllegierung im PBF-LB-Verfahren

Streinz, Maximilian, Guhl, Leonard

Günter-Köhler-Institut für Fügetechnik und Werkstoffprüfung, Ernst-Ruska-Ring 3, 07749, Jena

Amorphe Metalle weisen aufgrund ihrer ungeordneten atomaren Struktur außergewöhnlich gute mechanische Eigenschaften wie sehr hohe Festigkeiten, hohe Elastizität und Oberflächenqualität auf. Sie sind gut für die additive Verarbeitung im PBF-LB-Verfahren geeignet, da bei diesem Fertigungsverfahren hohe lokale Abkühlgeschwindigkeiten auftreten, welche für eine amorphe Erstarrung der komplexen Materialzusammensetzung nötig sind. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden optimale Parameter zur Umsetzung sowohl sehr dünnwandiger, als auch dickwandiger Strukturen mit sehr hoher Festigkeit, niedriger Restkristallinität und hoher Oberflächenqualität entwickelt. Dadurch wurden wichtige Grundlagen für Anwendungen in Luft- und Raumfahrt geschaffen.

Im Rahmen des Forschungsprojekts stellten zylinderähnliche Drucktanks für wasserstoffbetriebene Drohnen, sowie kubische Drucktanks für CubeSat-Satelliten die Zielanwendungen dar. Für diese Anwendungen sollten leichte, hochbelastbare Lösungen durch den innovativen Einsatz einer Zr-basierten amorphen Legierung erreicht werden. Bei wasserstoffbetriebenen Drohnen erlaubt eine längliche, zylinderähnliche Form des Wasserstofftanks eine Reduktion der Stirnfläche und damit des Luftwiderstands, bringt aber ein höheres Gewicht bei gleicher Speicherkapazität im Vergleich zu einem kugelförmigen Tank mit sich. Im Rahmen des Projekts konnte gezeigt werden, dass durch die Kombination einer speziellen „erdnussähnlichen“ Form mit variablen Wandstärken in Kombination mit optimierten Parametern leichte (Wandstärken zwischen 0,4 und 0,7 mm), hochbelastbare Tanks mit einem Berstdruck von über 300 bar umgesetzt werden können. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber Tanks aus anderen Werkstoffen wie z.B. kohlenstofffaserverstärkten Kunststoffen besteht dabei in der einfachen Möglichkeit der Funktionsintegration durch Integralbauweise. Dadurch ist die Integration des Druckanschlusses an den Tank, sowie auch eine tragende Funktion des Tanks selbst zur Sicherstellung der mechanischen Stabilität der Drohne möglich. Dadurch könnten zukünftig wesentlich leichtere Drohnen mit höheren Reichweiten umgesetzt werden, z.B. für Anwendungen wie der Verkehrsüberwachung oder für Medikamentenlieferungen an schwierig erreichbare Orte. Kubische Tanks für CubeSats können im PBF-LB-Verfahren aus der Titanlegierungen Ti64 hergestellt werden. Sie erreichen durch topologieoptimierte Innenstrukturen eine hohe Belastbarkeit trotz Wandstärken deutlich unter 1 mm. [2] Durch den Einsatz der Zr-basierten amorphen Metalllegierung wurde bei Verarbeitung im PBF-LB-Verfahren eine um ca. 60% höhere Zugfestigkeit von 1,6 GPa im Vergleich zu ca. 1 GPa für Ti64 [3] erreicht. Es wurden jeweils optimale Parameter für die relativ dicken, lasttragenden inneren Verstärkungsstreben der Tanks, sowie für die dünnen Wandabschnitte entwickelt. Hinsichtlich der Verstärkungsstreben wurden vor allem hohe Zugfestigkeiten bei relativ dickem Querschnitt angestrebt, während bei den dünnen Wandabschnitten hinsichtlich der Bauparameteroptimierung ein größerer Schwerpunkt auf eine möglichst niedrige Oberflächen-Rauheit gelegt wurde. Die Parameter wurden dabei im weiteren Verlauf des Projekts speziell für die verwendete Bauausrichtung des Tanks, welche ohne zusätzliche innere Supportstrukturen auskommt, optimiert. Insbesondere hinsichtlich der Oberflächenqualität an den in Richtung Bauplattform zeigenden Flächen („Downskin-Flächen“) konnte durch Parameterstudien unter sorgfältiger Analyse der Bauprozess-Eigenschaftsbeziehungen ein sehr gutes Ergebnis (Sq unter 8 µm) erzielt werden, welches der Oberflächenqualität der anderen Flächen des Bauteils kaum nachstand. Auf diese Weise war es möglich einen Demonstrator für eine Tankstruktur mit einer deutlichen Gewichtsersparnis (über 10 %) im Vergleich zum Stand der Technik umzusetzen.



Abb. 1: Kubischer Drucktank, hergestellt im PBF-LB-Verfahren aus amorphem Metall

[1] Kroll, E. Buchris, E.: „Weight-reduction of 3D printed cylindrical and toroidal pressure vessels through shape modification“, Procedia Manuf. 21 (2018), pp. 133-140, Elsevier 2018, <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.02.103>

[2] University of Sheffield: „AM nanosatellite fuel tank design could be game changer“, www.amrc.co.uk

[3] m4p GmbH, Datenblatt m4p Ti64 grade 23.03, www.metals4printing.com

3D-Laserdruckverfahren zur Herstellung von porösen
wasserabführenden Verlaufsstrukturen

Matthias Horn, Lucas Naumann, Jörg Schille, Udo Löschner
Lasereinstitut Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

In diesem Beitrag wird ein neues laserbasiertes 3D-Metalldruckverfahren zur Herstellung von porösen und dadurch definiert wasserabführenden Verlaufsstrukturen vorgestellt. Im Unterschied zum konventionellen 3D-Metalldruck, bei dem eine relative Dichte > 99 % des Vollmaterials sowie vergleichbare mechanische Eigenschaften angestrebt werden, zeichnet sich das neue Verfahren durch die Bereitstellung von metallischen Funktionsschichten mit einer definiert einstellbaren Porosität bzw. Dichtegradienten aus. Dazu werden im Laserdruckverfahren durch die Variation der Füllalgorithmen kleine kapillarwirkende Öffnungen im Gefüge erzeugt. Es wird gezeigt, dass sich die wasserabführende Wirkung der lasergedruckten Funktionsschichten über die Strukturkenngrößen Porengröße sowie Porendichte definiert einstellen lässt. Als ein erstes Anwendungsfeld mit hohem Innovationspotenzial wird der Einsatz von porösen wasserabführenden Funktionsschichten in formgebenden Werkzeugen zur Herstellung von Industriekeramiken vorgestellt. Hierbei bestand die besondere Herausforderung, einerseits das beim Pressen von wasserhaltigem Ton rückständig verbleibende Wasser ausreichend abzuführen; gleichzeitig aber auch die Porenfreiheit der Funktionsfläche des Abformwerkzeugs sowie eine geringe Rauigkeit des Formlings zu gewährleisten.

Für die Untersuchungen stand eine Industrieanlage SLM 280 HL von der Firma SLM Solution AG zur Verfügung. Als Ausgangswerkstoff für das Pulverbett wurden ein Edelstahlpulver (316L, Rosswag GmbH) sowie eine Aluminiumlegierung AlSi10Mg (m4p material solutions GmbH) gewählt. Es handelte sich um Pulver sphärischer Kornform mit typischen Korngrößen zwischen 15 - 60 µm. Die Herstellung von metallischen porösen Verlaufsstrukturen wurde innerhalb zwei unterschiedlicher Ansätze verfolgt: (1) Die Erzeugung von Poren bzw. Kanälen durch bereits konstruktiv in die zu druckende Funktionsschicht eingebrachte Durchgangslöcher. Mit dieser Methode ließen sich in AlSi10Mg bis zu 110 µm (Konstruktion 500 µm) kleine Poren erzeugen. In 316L betrugen die kleinsten gedruckten Porendurchmesser ca. 170 µm (Konstruktion 300 µm). Insbesondere beim Aluminium war eine Verkleinerung der tatsächlichen Konturen durch Schmelzanhaftungen zu beobachten. (2) Alternativ gelang es, durch mehrfache Belichtung eines Kreuzrasters mit variablen Linienabständen und Drehwinkeln, Funktionsschichten mit stochastischer Porenverteilungen mit deutlich kleineren Kapillargrößen (30 µm) innerhalb des Gefüges zu erzeugen. Diese Methode stellte sich als besonders zielführend für das Laserdrucken von definiert wasserabführenden Funktionsschichten heraus.

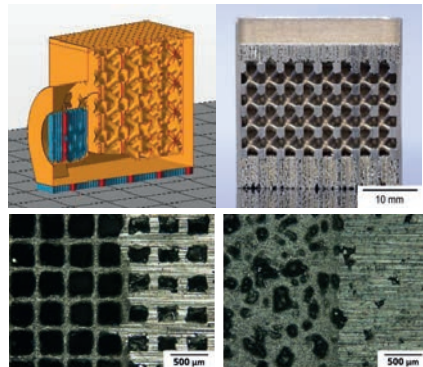


Abb. 1: (a) CAD-Modell eines 3D-lasergedruckten porösen Funktionskörpers in Schnittansicht mit Anschlussstutzen zur Wasserabführung; (b) Querschnittansicht eines 3D-lasergedruckten Funktionskörpers definierter Porengröße; (c) mit Kreuzrasterstraffung in 316L lasergedruckte Funktionsoberfläche, die Kreuzrasterstruktur wurde nachträglich gefräst und Glasperlengestrahlt; (d) stochastische Porenverteilung nach Mehrfachbelichtung unter Variation der Schraffurparameter, die Funktionsoberfläche wurde nachträglich gefräst und Glasperlengestrahlt.

Session A4: Prozessüberwachung und Qualitätssicherung

Zeit: 11:00 Uhr - 12:40 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-308A | Moderation: Klaus Krüger, GMBU e.V.

11:00 Uhr
Überwachung des 3D-Druckprozess (FFF) mittels Ultraschall
Johannes Zawatzky
SONOTEC GmbH)

11:25 Uhr
Intrinsische Markierung additiv gefertigter Bauteile zur Verifizierung und Identifizierung von Originalbauteilen
Oliver Neudert
GMBU e.V.

11:50 Uhr
Zusammenhänge zwischen der Morphologie, den Verarbeitungsparametern und der mechanischen Performance additiv gefertigter Kunststoffe
Ralf Lach
Polymer Service GmbH Merseburg

12:15 Uhr
Metallpulver als Einflussfaktor auf die Bauteilqualität
Andreas Pelz
m4p material solutions GmbH

Überwachung des 3D-Druckprozess (FFF) mittels Ultraschall

Johannes Zawatzki
SONOTEC GmbH, Thüringer Straße 33, 06112 Halle (Saale)

Die industrielle Anwendung additiver Fertigungsverfahren wie dem Fused Filament Fabrication (FFF) wird derzeit noch durch das Fehlen umfassender qualitätssichernder Maßnahmen in der Prozesskette eingeschränkt. Das Verbundvorhaben „AddiQ“ verfolgt das Ziel, qualitätsgesicherte Methoden für die additive Fertigung zu entwickeln. Innerhalb dieses vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten RUBIN-Projekts konzentriert sich die SONOTEC GmbH auf die Erforschung und Entwicklung neuer Verfahren und Geräte unter Einsatz der Ultraschalltechnologie. Dies umfasst die akustische Materialprüfung, die Überwachung des Druckprozesses und die zerstörungsfreie Prüfung des Endprodukts mit dem Ziel, Fehler und die Ausschussrate entlang der gesamten Wertschöpfungskette signifikant zu reduzieren.

The industrial application of additive manufacturing processes such as fused filament fabrication (FFF) is currently still limited by the lack of comprehensive quality assurance measures in the process chain. The joint project “AddiQ” aims to develop quality-assured methods for additive manufacturing. Within this RUBIN project, which is funded by the German Federal Ministry of Education and Research, SONOTEC GmbH is focusing on researching and developing new processes and devices using ultrasound technology. This includes acoustic material testing, monitoring of the printing process and non-destructive testing of the end product with the aim of significantly reducing defects and the reject rate along the entire value chain.

Die industrielle Anwendung additiver Fertigungsverfahren wie dem Fused Filament Fabrication (FFF) wird derzeit noch durch das Fehlen umfassender qualitätssichernder Maßnahmen in der Prozesskette eingeschränkt. Das Verbundvorhaben „AddiQ“ verfolgt das Ziel, qualitätsgesicherte Methoden für die additive Fertigung zu entwickeln. Innerhalb dieses vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten RUBIN-Projekts konzentriert sich die SONOTEC GmbH auf die Erforschung und Entwicklung neuer Verfahren und Geräte unter Einsatz der Ultraschalltechnologie. Dies umfasst die akustische Materialprüfung, die Überwachung des Druckprozesses und die zerstörungsfreie Prüfung des Endprodukts mit dem Ziel, Fehler und die Ausschussrate entlang der gesamten Wertschöpfungskette signifikant zu reduzieren.

Ein wesentlicher Schwerpunkt im Vorhaben von SONOTEC liegt auf der Entwicklung der Sensorik zur Prozesskontrolle während des 3D-Drucks. Dabei wird die kontinuierliche Messung akustischer Emissionen, sowohl als Körperschall (KS) als auch als Luftultraschall (LUS), untersucht. Ziel ist es, Druckprozesse, die fehlerhafte Teile erzeugen, anhand ihrer charakteristischen akustischen Emissionen zu identifizieren und von korrekten Prozessen zu unterscheiden. Die Entwicklungsarbeiten umfassen die Spezifizierung des optimalen Frequenzbereichs (20 - 80 kHz) für die Messung und die Trennung von Nutz- und Störgeräuschen.

Ein konkretes Ziel ist die Erkennung spezifischer Prozessfehler wie bspw. Warping, verstopfte Düse u.a. direkt während des Drucks. Die aus diesen Messungen gewonnenen Daten sind entscheidend für die Ableitung von Kriterien und Grenzwerten zur Prozessanpassung oder zum Abbruch des Drucks bei signifikanten Fehlern. Dies soll eine Reduzierung von Ausschuss und Material ermöglichen. Das entwickelte Sensormodul zur Prozesskontrolle wird modular gestaltet, um eine einfache Nachrüstung und Integration in bestehende Maschinensysteme zu gewährleisten.

Intrinsische Markierung additiv gefertigter Bauteile zur Verifizierung und Identifizierung von Originalbauteilen

Stephan Eckstein¹, Andreas Krombholz¹, Oliver Neudert¹, Johannes Zawatzki²
¹ GMBU e.V., Erich-Neuß-Weg 5, 06120 Halle (Saale)
² SONOTEC GmbH, Thüringer Straße 33, 06112 Halle (Saale)

Im Vortrag werden Ansätze zur intrinsischen, versteckten Markierung additiv gefertigter Bauteile mittels gezielt eingebrachter Strukturen (Marker) vorgestellt. Die Marker dienen der Prävention von Produktpiraterie sowie der Qualitätssicherung im Falle eines Bauteilversagens. Sie sind über computertomographische Verfahren (CT) oder akustische Verfahren auslesbar und können außer einer hersteller- oder bauteilspezifischen Kennung zusätzlich Informationen über den Herstellungsprozess codieren.

Am Beispiel von FFF-Bauteilen wird gezeigt, welche Materialien geeignet sind und wie diese mit marktüblichen 3D-Druckern in Bauteile integriert werden können. Für akustische Ausleseverfahren wurden ein- und zweidimensionale Markerstrukturen in FFF- und SLS-Bauteilen integriert und mittels Impuls-Echo-Verfahren ausgelesen.

The lecture will present approaches for the intrinsic, hidden marking of additively manufactured components by means of specifically inserted structures (markers). The markers are used to prevent product piracy and for quality assurance in the event of component failure. They can be read using computed tomography (CT) or acoustic methods and, in addition to a manufacturer or component-specific identifier, can also encode information about the manufacturing process.

The example of FFF components is used to show which materials are suitable and how these can be integrated into components using commercially available 3D printers. For acoustic readout methods, one- and two-dimensional marker structures were integrated into FFF and SLS components and read out using the pulse-echo method.

Im Vortrag werden Ansätze zur intrinsischen, versteckten Markierung additiv gefertigter Bauteile mittels gezielt eingebrachter Strukturen (Marker) vorgestellt. Die Marker dienen der Prävention von Produktpiraterie sowie der Qualitätssicherung im Falle eines Bauteilversagens. Sie sind über computertomographische Verfahren (CT) oder akustische Verfahren auslesbar und können außer einer hersteller- oder bauteilspezifischen Kennung zusätzlich Informationen über den Herstellungsprozess codieren.

Am Beispiel von FFF-Bauteilen wird gezeigt, welche Materialien geeignet sind, wie diese mit marktüblichen 3D-Druckern in Bauteile integriert werden können und wie die Strukturgröße minimiert werden kann. Marker für CT-basierte Ausleseverfahren erreichen dabei Auflösungen von maximal 1 Bit/mm innerhalb der Druckebene und maximal 5 Bit/mm senkrecht zur Druckebene.

Für akustische Ausleseverfahren wurden ein- und zweidimensionale Markerstrukturen in FFF- und SLS-Bauteilen integriert und mittels Impuls-Echo-Verfahren ausgelesen. Hiermit können Markierungsaufösungen von etwa 0,15 Bit/mm in der Druckschichtebene und etwa 1 Bit/mm senkrecht zur Druckebene erzielt werden. Im Rahmen der akustischen Untersuchungen wurden außerdem verschiedene Transducermodelle erprobt und der Einfluss fertigungsbedingter Mikroporositäten und simulierter Druckfehler untersucht.

Zusammenhänge zwischen der Morphologie, den Verarbeitungsparametern und der mechanischen Performance additiv gefertigter Kunststoffe

Ralf Lach, Wolfgang Grellmann, Katrin Reincke
Polymer Service GmbH Merseburg, Geusaer Straße 81f, 06217 Merseburg

Dieser Beitrag stellt Ergebnisse zum (bruch)mechanischen Kurz- und Langzeitverhalten mittels SLS und FFF additiv gefertigter Kunststoffbauteile vor, die auf der Basis einachsiger Zug- und Druckversuche, des Double- Cantilever-Beam-Tests, der registrierende Mikroindringprüfung und der Stepped-Isothermal-Methode erhalten wurden. Dabei wurde der Einfluss der Probenorientierung, der Lage in der Baukammer, der Verarbeitungstemperatur, der Druckrichtung und weiterer Parameter auf die Morphologie und die mechanische Performance systematisch analysiert. Insbesondere bruchmechanische Parameter zeigen dabei eine große Sensitivität hinsichtlich der Werkstoffstruktur und der Verarbeitungsparameter.

Additive Verfahren zur Herstellung von Bauteilen, auch solchen aus Polymeren, werden seit mehreren Jahrzehnten eingesetzt. Generell kann man zwischen pulverbasierten, extrusionsbasierten, flüssigkeitsbasierten und anderen Verfahren unterscheiden. Selektives Lasersintern (SLS) und Fused Filament Fabrication (FFF) können als Beispiele für pulverbasierte bzw. extrusionsbasierte Verfahren dienen. Alle diese als Rapid Technologies bezeichneten Techniken lassen sich zusammenfassend in Rapid Prototyping, Rapid Tooling und Rapid Manufacturing (RM) einteilen. RM gewinnt für die Kleinserienfertigung von Teilen in industriellen Anwendungen zunehmend an Bedeutung, da es eine kostensparende und zeitsparende Alternative zum Spritzgießen darstellt. Allerdings liegen bisher nur relativ wenige Informationen über das mechanische Verhalten von additiv gefertigten Kunststoffteilen vor, was insbesondere für das Rissfortschrittsverhalten und das mechanische Langzeitverhalten gilt. In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Probenorientierung, der Lage in der Baukammer, der Verarbeitungstemperatur, der Druckrichtung und weiterer Parameter auf die Morphologie und das mechanische Verhalten systematisch untersucht. Neben konventionellen Prüfverfahren wie dem einachsigen Zug- und Druckversuch wurden auch weiterentwickelte Prüfverfahren wie bruchmechanische Methoden (z. B. der Double- Cantilever-Beam-Test, DCB-Test), die registrierende Mikroindringprüfung und die Stepped-Isothermal-Methode (SIM, zur Analyse des Langzeit-Kriechverhaltens) eingesetzt.

Der zur Quantifizierung der interlamaren Bruchzähigkeit eingesetzte DCB-Test ergab, dass für Polylactid (PLA) die kritische Energiefreisetzungsrates G_{IC} (und der hier nicht dargestellte kritische Spannungsintensitätsfaktor K_{IC}) bei Risseinleitung mit zunehmender Drucktemperatur (FFF-Verfahren) stark zunehmen (Abb. 1), jedoch nicht von der Anzahl der gleichzeitig gedruckten Teile abhängig sind, da die Abkühlbedingungen bei dem amorphen Werkstoff PLA keinen Einfluss haben. Interessant ist, dass G_{IC} bei einer Baurichtung von +45°/-45° (bezogen auf die Prüfkörperlängsachse) für eine Drucktemperatur von 230 °C deutlich höher ist als bei einer Baurichtung von 0°/90°. Eine derartige Abhängigkeit der bruchmechanischen Parameter von der Baurichtung (+45°/-45° im Vergleich zu 0°/90°) wurde auch bereits in vorhergehenden Untersuchungen an Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS) und – untergeordnet – an Polycarbonat (PC) gefunden [1], wobei die Rissausbreitung hier allerdings senkrecht durch die Drucklagen verlief. Während die registrierende Mikroindringprüfung nicht sensitiv für eine effektive Qualitätssicherung ist, eignet sich die Stepped-Isothermal-Methode uneingeschränkt auch für additiv gefertigte Kunststoffe zur schnellen Analyse des Langzeit-Kriechverhaltens.

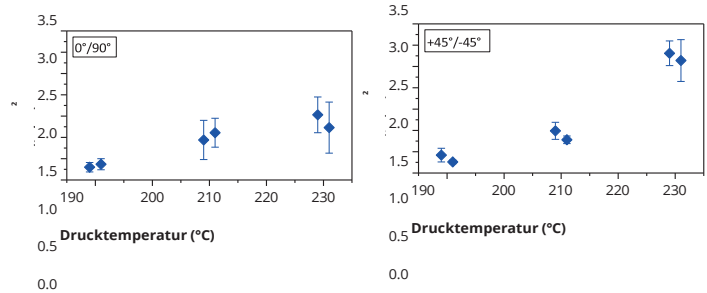


Abb. 1: Bruchzähigkeit von PLA in Form der kritischen Energiefreisetzungsrates G_{IC} bei Risseinleitung in Abhängigkeit von der Drucktemperatur (190–230 °C), der Druckrichtung (0°/90° und +45°/-45°) und der gleichzeitig im Bauraum gedruckten Platten.

Danksagung

Dem BMFT wird für die finanzielle Unterstützung des Projekts “Bauteilsicherheit von generativ gefertigten Produkten” (innerhalb von AddiQ, Förderkennzeichen: 03RU3U033E) und des Projekts “Entwicklung eines Greifroboters mit Tastsinn” (3dms, Förderkennzeichen: 16KN112729) gedankt.

Literatur

[1] R. Lach, A. Schmidtke, L. Castro Key, B. Langer, W. Grellmann: Fracture mechanics performance of 3D printed amorphous thermoplastic polymers at impact and quasi-static loading. Procedia Structural Integrity 42 (2022) 3–8.

Metallpulver als Einflussfaktor auf die Bauteilqualität

Andreas Pelz
m4p material solutions GmbH

Die Qualität additiv gefertigter Metallbauteile wird entscheidend durch das eingesetzte Metallpulver beeinflusst. Als Hersteller und Entwickler von Metallpulvern tragen wir maßgeblich dazu bei, dass laserbasierte Pulverbettverfahren (LPBF) zuverlässig reproduzierbare, hochqualitative Ergebnisse liefern. Dieser Vortrag beleuchtet zentrale Aspekte entlang der Qualitätskette – von der digitalen Transformation im Qualitätsmanagement über technologische Grenzen bis hin zur Prüfpraxis.

Der Vortrag wird in einem ersten Teil das **Qualitätsmanagement in Zeiten der Digitalisierung** thematisieren. Moderne Fertigungsprozesse erfordern vernetzte Systeme, die Daten in Echtzeit erfassen und bewerten, digitale Rückverfolgbarkeit und Transparenz gewährleisten, um höchste Standards im additiven Umfeld zu erreichen.

Der zweite Abschnitt widmet sich dem Spannungsfeld der **Metallpulverqualität versus Einsatzgrenzen laserbasierter Pulverbettverfahren** und betrachtet die metallurgischen Randbedingungen auf die Bauteilqualität. Abschließend werden **besondere Kriterien in der Qualitätsprüfung von Metallpulvern betrachtet, welche neben** klassischen Verfahren (z. B. Partikelgrößenanalyse, ICP, etc.) auch innovative Ansätze zur Pulvercharakterisierung erörtern und zur tatsächlichen Performance im Prozess gegenüberstellen.

Session B1: Zukunftsfähige Strategien in der Additiven Fertigung

Zeit: 14:10 Uhr - 15:25 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-120 | Moderation: Marco Götze, Hochschule Merseburg

14:10 Uhr

Vom Reststoff zum Prototyp – nachhaltige additive Fertigung im Reallabor SAMSax

Leif Bretschneider

TU Bergakademie Freiberg

14:35 Uhr

Recycling im Resin 3D-Druck

Joschka Röben

Röben UG

15:00 Uhr

Ist die additive (Wieder)Herstellung von Ersatzteilen lohnenswert?

Marcus Witt

METROM Mechatronische Maschinen GmbH

Vom Reststoff zum Prototyp – nachhaltige additive Fertigung im Reallabor SAMSax

Leif Bretschneider, Henning Zeidler
TU Bergakademie Freiberg, IMKF-AF, Agricolastraße 1, 09599 Freiberg

Die additiven Fertigungsverfahren Binder Jetting (BJT) und Pastenextrusion (MEX-CRB) zeigen sich als vergleichsweise materialoffene Technologien. Statt konventionellen, meist petrochemischen, 3D-Druck-Materialien, lassen sich so auch Reststoffe aus industrieller und landwirtschaftlicher Produktion verarbeiten. Das Reallabor SAMSax (Sustainable Additive Manufacturing in Saxony) an der TU Bergakademie Freiberg lädt seit Frühjahr 2022 kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) aus Sachsen ein, ihre Reststoffe hinsichtlich deren Eignung für die additive Fertigung zu untersuchen. Seitdem wurden mehr als 50 Reststoffe analysiert und innovative Use-Cases entwickelt. Dieser Beitrag erläutert Prozesse und Ausstattung des Reallabors und gibt Einblicke in die Fertigung ausgewählter Prototypen.

The additive manufacturing processes binder jetting (BJT) and paste extrusion (MEX-CRB) are proving to be comparatively material-open technologies. They allow residual materials from industrial and agricultural production to be processed as an alternative to conventional, mostly petroleum-based 3D printing materials. Since spring 2022, the SAMSax (Sustainable Additive Manufacturing in Saxony) living lab at the TU Bergakademie Freiberg has been inviting small and medium-sized enterprises (SMEs) from Saxony to have their residual materials tested for their suitability in additive manufacturing. Since then, more than 50 residual materials have been analysed and innovative use cases were developed. This article explains the processes and equipment of the living lab and provides insights into the development of selected prototypes.

Das simul+ geförderte Reallabor „SAMSax“ („Sustainable Additive Manufacturing in Saxony“) bietet sächsischen KMUs einen offenen Innovationsprozess, um regional anfallende Reststoffe mittels additiver Fertigung in neue, nachhaltige Produkte zu überführen. Das Reallabor dient dabei als Schnittstelle zwischen Forschung und industrieller Praxis, indem es wissenschaftliche Erkenntnisse in den Bereichen Additive Fertigung (AM) und Kreislaufwirtschaft mit den konkreten Anforderungen der Industrie zusammenbringt.



Abb. 1: Binder Jetting im Reallabor SAMSax (© Crispin Mokry).

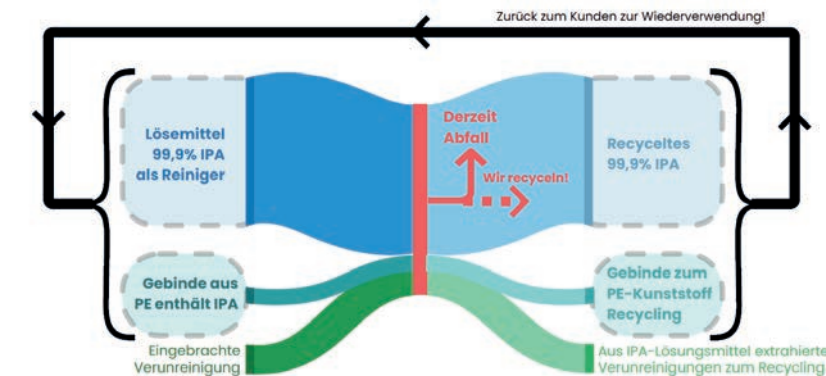
Im Reallabor an der TU Bergakademie Freiberg (TUBAF) werden die i.d.R. pulverförmigen Reststoffe der interessierten Unternehmen zunächst analysiert. Neben der stofflichen Zusammensetzung sind für die fokussierten AM-Verfahren vor allem die Partikeleigenschaften relevant. Daher werden Partikelgrößenverteilungen und -form sowie Schütt- und Klopfdichten bestimmt. Gewonnene Informationen dienen zur Auswahl der geeigneten AM-Technologien. Für das Binder Jetting (siehe Abb. 1), ein Pulverbettverfahren bei dem Flüssigbinder oder Lösungsmittel per Inkjet-Druckkopf schichtweise aufgetragen werden, sind vor allem die Fließfähigkeit des Reststoffpulvers sowie die Partikelgrößenverteilung zur Auswahl der Schichtstärke relevant. In der Pastenextrusion, bei der eine Paste aus Reststoff, Binder und Lösungsmittel, analog zum Filamentdruck, durch eine Düse abgelegt wird, gibt die Partikelgrößenverteilung den Düsendurchmesser vor. Trotz Pulveranalysen sind Verarbeitungsversuche zur finalen Beurteilung der Eignung eines jeweiligen Reststoffs unersetzlich. Diese dienen auch zur Bestimmung der mechanischen Eigenschaften sowie weiterer individueller Anforderungen der industriellen Partner. Nach dieser Methodik wurden seit dem Frühjahr 2022 über 50 Reststoffe untersucht und erprobt.

Mit Reststoffen, welche sich als geeignet erwiesen haben, wurden anschließend Prototypen für mögliche Anwendungsfälle gedruckt. Hierfür steht an TUBAF seit kurzem ein derweil einzigartiger BJT-Drucker zur Verfügung, welcher durch einen Bauraum >1 m³ die Realisierung großer Objekte ermöglicht. Im Reallabor konnten bereits zahlreiche Prototypen, darunter Theaterkulissen und Lautsprechergehäuse aus Holzstaub, Exponatträger für die terra mineralia aus Miscanthus-Gras und Leichtbauplatten aus Jeansreststoff, realisiert werden. SAMSax leistet hiermit einen Beitrag dazu, dass die additive Fertigung, über etablierte Werkstoffe hinaus, im Sinne einer nachhaltigen Kreislaufwirtschaft weiterentwickelt wird.

Recycling im Resin 3D-Druck

Joschka Röben
Röben UG

Zusammenfassung: Das Lösungsmittel Isopropanol (IPA) wird in der additiven Fertigung als Reinigungsmittel für 3D-Druck Erzeugnisse auf Basis des „Resin 3D-Drucks“ (auch SLA, Stereolithographie) genannt, genutzt. Dabei verschmutzt es, verändert sich chemisch aber nicht, sodass es recycelbar ist. Viele Verwender aus dem Klein- und Mittelstand haben nun das Problem, das ihre Mengen gewerblicher Natur sind, aber zu klein für große Entsorger sind. Fa. Röben bietet einen Kreislauf aus Neuversand und anschließender Rücknahme mit Recycling an. Aus einem bislang linearen Produkt, erschaffen wir somit ein zirkuläres Produkt. Die Verwandlung des Isopropanol in ein Kreislaufprodukt spart bis zu 70% CO2 ein. Hierbei besteht für Fragen der Umweltbilanz und laufender Verbesserung der Verfahrenstechnik eine Kooperation mit der TU-Clausthal und dem Clausthaler Umwelttechnik-Institut.



Entwicklung und Recycling im 3D-Druck: Bei der Firma Röben ist aus der Entwicklung und Herstellung von Oldtimerersatzteilen mittels 3D-Druck das Recycling im 3D-Druck entstanden. Nachdem dies erst intern verfolgt wurde, wird dies auch deutschlandweit externen Firmen, welche „Resin 3D-Druck“ auf Basis UV-aktiver Flüssigharze verwenden, angeboten. Unsere Zielgruppe sind hierbei KMU-Unternehmen, welche aus wirtschaftlichen Gründen keine Sammelentsorger beauftragen können.

Das Recycling im Resin 3D-Druck: Fa. Röben spezialisiert sich hierbei auf das Recycling des Lösungsmittel Isopropanol, welches im 3D-Druck als Reinigungsmittel der hergestellten Bauteile verwendet wird. Dieses verschmutzt und wird, wenn ordentlich, maximal nur der Müllverbrennung zugeführt. Bei uns aber wird es recycelt und stoffrein als 99,9% Isopropanol wieder in den 3D-Druck Kreislauf eingeführt. Ebenso werden die anderen PE- und Resin-Stoffströme so hochwertig wie möglich recycelt. Weiter stellt dieses Verfahren keine Entsorgung, sondern ein Recycling dar. Durch die Wandlung eines bisher linearen Produktes in eine zirkuläres Produkt können die im gesamten Prozess entstehenden CO2-Emissionen um 40-70% gesenkt werden.

Ist die additive (Wieder)Herstellung von Ersatzteilen lohnenswert?

Marcus Witt
METROM Mechatronische Maschinen GmbH, Schönaicher Straße 6, 09232 Hartmannsdorf

Seit die Zuverlässigkeit weltweiter Lieferketten immer mehr infrage gestellt werden muss, bekommen die additive Fertigung und die Wiederherstellung von Bauteilen wieder mehr in den Vordergrund. An 2 Fallbeispielen soll dabei die Herangehensweise für die Herstellung und auch das sogenannte Remanufacturing von der ersten Idee bis zur Realisierung gezeigt werden. Eine wirtschaftliche Bewertung stellt hierbei jedoch auch dar, unter welchen Voraussetzungen sich die Ersatzteilerstellung überhaupt lohnt und es wird hinterfragt ob trotz höherer Kosten zukünftig bestimmte Bauteilgruppen lohnenswert werden könnten.

With people questioning how reliable global supply chains are, additive manufacturing and remanufacturing components are becoming more important again. We'll use two case studies to show how to make and remake things from the start to finish. But an economic assessment will also show the conditions under which it's worth producing spare parts. We'll also have to think about whether certain component groups could be worth it in the future, even if it costs more.



Abb. 1: mittels Laserauftragschweißen wiederhergestellte Verzahnung an einer Welle

Session B2: Neue Dimensionen im 3D-Druck

Zeit: 14:10 Uhr - 15:25 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-214 A | Moderation: Peter Schulze, HTWK Leipzig

14:10 Uhr

Wenn das CAD an die Grenzen stößt.

Antonius Köster

Antonius Köster GmbH & Co. KG

14:35 Uhr

Polyurethane in einer neuen Dimension

Andreas Eiden-Bell

Synthene SAS

15:00 Uhr

3D-Druck in der Praxis: Chancen, Grenzen und Erkenntnisse aus dem Mittelstand

Marucs Geßner

Rapidobject GmbH

Wenn das CAD an die Grenzen stößt

Antonius Köster
Antonius Köster GmbH & Co. KG

Um die Potentiale der additiven Fertigung auszuschöpfen, werden neue Werkzeuge benötigt.
Stückzahl 1, individuelle Designs auf Körper, medizinische Objekte, organische Formen, sind für die meisten Konstrukteure eine Herausforderung.
Antonius Köster wird alternative Modellierungssysteme vorstellen, die im Zusammenspiel mit 3D-Scannern und/oder CT-Daten eine produktive Lösung darstellen.
Die Anwendungen mit dem größten Wachstumschancen lassen sich auch heute schon wirtschaftlich umsetzen.

Anhand von praktischen Beispielen wird Köster Herausforderungen und Lösungswege präsentieren, sowie Tipps und Tricks verraten, die Köster und sein Team in über 30 Jahren Praxis gesammelt haben.

Polyurethane in einer neuen Dimension

Andreas Eiden-Bell
Synthene SAS

- Verkürzte Produktionszeiten von komplexen Teilen durch 3D-Druck, da kein Formenbau notwendig ist
- Hohe thermische und chemische Beständigkeit entsprechend der SYNTHENE Vakuum-Gießharze
- Verfügbarkeit unterschiedlicher Härtegrade von weich bis halbhart
- Sehr hohe mechanische Widerstandsfähigkeit

3D-Druck in der Praxis: Chancen, Grenzen und Erkenntnisse aus dem Mittelstand

Marcus Geßner
Rapidobject GmbH, Weißenfeller Straße 84, 04229 Leipzig

Während Forschung und Entwicklung den 3D-Druck stetig vorantreiben, zeigt sich im betrieblichen Alltag oft ein anderes Bild: zwischen Innovation und Anwendung liegen Hürden, Erfahrungen und pragmatische Lösungen. Der Vortrag gibt Einblicke aus der Perspektive eines mittelständischen Anwenders und zeigt, wo Theorie und Realität aufeinandertreffen – und voneinander lernen können.

Session B3: Innovative Polymer-AM: Von Hochleistung bis Mikropräzision

Zeit: 14:10 Uhr - 15:25 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-215A | Moderation: Günter Ganß, Ingenieurbüro für Kunststofftechnik Suhl

14:10 Uhr
Optimierung der Materialeigenschaften für 3D gedruckte polymere Spritzgusswerkzeuge
Valentin Wiesner
Technologietransferzentrum Oberfranken

14:35 Uhr
Experimentelle und numerische Analyse von UD-Tape-verstärktem Polycarbonat-FLMDruck
Hagen Bankwitz
Hochschule Mittweida

15:00 Uhr
Additive Fertigung monodisperser und anzahlgenauer Mikroplastik-Referenzpartikel durch Mikroextrusion
Maurice Hauffe
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Optimierung der Materialeigenschaften für 3D gedruckte polymere Spritzgusswerkzeuge

Valentin Wiesner, Markus Stark, Alexander Rost, Marcel Trier
Technologietransferzentrum Oberfranken: Digitale Intelligenz am Standort Lichtenfels,
Angerstraße 85, 96231 Bad Staffelstein

Die wirtschaftliche Fertigung von Spritzguss-Kleinserien wird durch hohe Werkzeugkosten erschwert. Additiv gefertigte Werkzeugeinsätze aus Photopolymeren bieten eine mögliche Lösung, können jedoch zu sprödem Materialverhalten aufweisen. Ziel der Studie ist es, die Bruchdehnung durch Beimischung elastischerer Harze zu erhöhen, ohne die Zugfestigkeit stark zu verringern. Getestet wurden Harzmischungen auf BASF-Basis mit Anycubic ABS-Like Pro2 und Loctite IND147. Die besten Ergebnisse lieferte Loctite mit 30 % Anteil: höhere Zugfestigkeit ($\bar{R}_m = 70,20 \text{ MPa}$) und gesteigerte Bruchdehnung ($\bar{A} = 1,26 \%$). Alle Mischungen zeigten gute Verträglichkeit. Die Ergebnisse belegen die gezielte Optimierbarkeit mechanischer Eigenschaften durch Harzmischung.

The economical production of small series of injection moulded parts is hampered by high tooling costs. Additively manufactured tool inserts made of photopolymers offer a possible solution, but can exhibit brittle material behaviour. The aim of the study is to increase the elongation at break by adding more elastic resins without significantly reducing the tensile strength. Resin mixtures based on BASF were tested with Anycubic ABS-Like Pro2 and Loctite IND147. Loctite delivered the best results with a 30% share: higher tensile strength ($\bar{R}_m = 70,20 \text{ MPa}$) and increased elongation at break ($\bar{A} = 1,26 \%$). All mixtures showed good compatibility. The results prove that mechanical properties can be specifically optimised through resin mixing.

Abstract

Die wirtschaftliche Herstellung von Spritzgussbauteilen in Kleinserien stellt eine Herausforderung dar, insbesondere im Hinblick auf Werkzeugkosten und -verfügbarkeit. Ein vielversprechender Ansatz ist der Einsatz additiv gefertigter Werkzeugeinsätze aus Photopolymeren. Einige dieser technischen Werksstoffe weisen Materialeigenschaften wie beispielsweise eine geringe Bruchdehnung von $\leq 1 \%$ auf, welche in der Anwendung nachteilig sein können.

Die Frage stellt sich, ob die Bruchdehnung polymerer Werkzeugeinsätze ohne nennenswerten Verlust an Zugfestigkeit durch die Mischung kommerziell verfügbarer Harze gesteigert werden kann?

Ziel der Studie ist die Mischbarkeit und Druckbarkeit von Harzen experimentell zu bestimmen. Bewertet wird dies durch Ergebnisse aus dem Zugversuch wobei gezielt die Bruchdehnung und die Zugfestigkeit optimiert werden. Für die Anwendung als Werkzeugeinsätze ist im Anschluss der Einfluss der Testmetriken auf die Standzeit im Spritzgussprozess zu untersuchen. Die Testreihe besteht aus den Harzen BASF Ultracure RG 3280, Anycubic ABS-Like Pro2 sowie Loctite IND147. Das Material BASF dient als Basis da es laut Datenblatt die höchste Zugfestigkeit von 85 MPa und Wärmeformbeständigkeit von 284 °C bei 0,45 MPa der drei Harzen aufweist. Eine vermutlich nachteilige Eigenschaft ist die gemessene Bruchdehnung von $\leq 1 \%$. Das spröde Materialverhalten kann bei induzierten Spannungsspitzen in der mechanischen Vorbereitung der Werkzeuge und im Spritzgussprozess zum vorzeitigen Versagen führen. Abhilfe soll die Beimischung elastischerer Harze schaffen. Es wurde der Einfluss des kostengünstigen Harzes Anycubic ABS-Like Pro2 mit hoher Bruchdehnung von 30 %, aber im Vergleich geringeren mechanischen Eigenschaften, mit dem technischen Harz von Loctite, mit einer Bruchdehnung von 2% und mittleren mechanischen Eigenschaften, verglichen. Die Harze wurden stufenweise der BASF Basis mit 10 – 50 % Vol. beigemischt. Durch den Zugversuch nach ASTM 638 wurden



Abb. 1: Spritzgussformen: 100% BASF links, 20% Anycubic mittig, 30% Loctite rechts

die mechanischen Eigenschaften, E-Modul Zugfestigkeit und Bruchdehnung als Vergleichskriterien ermittelt. Untersucht wurde auch der Einfluss der Nachttemperierung im Wärmeofen zwischen 100°C und 150°C.

Die Testergebnisse zeigen eine grundsätzlich homogene Mischbarkeit. Die getesteten mechanischen Eigenschaften sind eine Zugfestigkeit von $\bar{R}_m = 65,17 \text{ MPa}$ bei purem BASF Ultracure RG 3280. Allerdings wird das spröde Verhalten mit $\bar{A} = 0,851 \%$ bestätigt. Die vielversprechendsten Alternativen sind die Zugabe von 20 % des kostengünstigen Anycubic ABS Like Pro2, wobei die Zugfestigkeit auf $\bar{R}_m = 59,52 \text{ MPa}$ sinkt, allerdings die Bruchdehnung auf $\bar{A} = 1,18 \%$ steigt. Das Werkzeugformenharz Loctite IND 147 weist bei 30 % Zugabe sogar eine höherer Zugfestigkeit von $\bar{R}_m = 70,20 \text{ MPa}$ und eine höhere Bruchdehnung von $\bar{A} = 1,26 \%$ auf.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Mischung von Harzen die mechanischen Eigenschaften gezielt beeinflusst werden. Somit wird hierdurch auch die Eignung für den Spritzgießprozess verändert. Eine Unverträglichkeit der Harze konnte nicht festgestellt werden. Darauf aufbauend soll der Zusammenhang zwischen Materialeigenschaften und Standzeit im Spritzgussprozess für die verwendeten Materialien hergestellt werden (siehe Abb. 1).

Experimentelle und numerische Analyse von UD-Tape-verstärktem Polycarbonat-FLM-Druck

Dr.-Ing. Hagen Bankwitz, Prof. Dr.-Ing. Jörg Matthes
Hochschule Mittweida, Technikumplatz 17, 09648 Mittweida

Die additive Fertigung mittels Fused Layer Modeling (FLM) ermöglicht die Herstellung komplexer Polymerbauteile. Gleichzeitig sind diese Bauteile durch stark ausgeprägte anisotrope mechanische Eigenschaften limitiert, insbesondere durch geringe Festigkeiten in der Schichtrichtung (Z-Richtung). Ziel des Projekts ist die Entwicklung hybrider Strukturen durch die Kombination von FLM-gedrucktem Polycarbonat mit unidirektional ausgerichteten, kohlefaser-verstärkten thermoplastischen UD-Tapes. Durch die lastpfadorientierte Integration der Tapes sollen hochbelastete Bereiche gezielt verstärkt und Defizite in der Z-Richtung gezielt ausgeglichen werden. Zur Validierung werden experimentelle Zug- und 3-Punkt-Biegeversuche durchgeführt. Parallel dazu erfolgt die numerische Modellierung mittels orthotroper FEM-Modelle unter Anwendung des Hashin-Versagenskriteriums in ANSYS ACP. Die Ergebnisse zeigen eine Verbesserung der Festigkeit und Steifigkeit, insbesondere in der Z-Richtung. Das Projekt unterstreicht das Potenzial hybrider Fertigungskonzepte zur gezielten mechanischen Optimierung additiv gefertigter Bauteile.

Additive manufacturing using Fused Layer Modeling (FLM) enables the production of complex polymer components. However, these parts are limited by pronounced anisotropic mechanical properties, particularly low strength in the build (Z) direction. The goal of this project is to develop hybrid structures by combining FLM-printed polycarbonate with unidirectionally oriented, carbon fiber-reinforced thermoplastic UD tapes. Through load-path-oriented integration of the tapes, highly stressed areas are selectively reinforced, and deficiencies in the Z-direction are specifically compensated. For validation, experimental tensile and three-point bending tests are conducted. In parallel, numerical modeling is performed using orthotropic finite element models applying the Hashin failure criterion in ANSYS ACP. The results show improvements in strength and stiffness, especially in the Z-direction. The project highlights the potential of hybrid manufacturing concepts for targeted mechanical optimization of additively manufactured components.

Additive Fertigung monodisperser und anzahlgenauer Mikroplastik-Referenzpartikel durch Mikroextrusion

Maurice Hauße (M. Sc.), Lucas Kurzweg (M. Sc.), Robert Möhn (M. Sc.), Tilmann Priebe (M. Sc.), Prof. Dr. rer. Nat. Kathrin Harre, Prof. Dr.-Ing. Thomas Himmer
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTWD), Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

Stichworte: 3D-Druck, Mikroextrusion, Mikroplastik-Referenzpartikel, Kalibrierstandards, Thermoplaste

Wenn man über die Verarbeitung von Kunststoffen nachdenkt, muss man auch an das wachsende Problem der Mikroplastikverschmutzung denken. Zur Erfassung von Mikroplastik in der Umwelt existieren eine Vielzahl von Techniken zur Probenaufbereitung und Analyse. Was jedoch fehlt, sind standardisierte Kunststoffpartikel, welche zur Validierung dieser Methoden und zur Kalibrierung von Analysegeräten eingesetzt werden können und somit erst eine effektive Mikroplastikdetektion aus der Umwelt ermöglichen. Genau hier kann eine bekannte Methode zur Kunststoffverarbeitung ansetzen – der 3D-Druck. Die HTW Dresden hat aufbauend auf einem 3D-Drucksystem mit speziell angepassten Düsen, einen patentierten Mikroextrusionsprozess entwickelt, mit welchem es möglich ist, in ihrer Größe monodisperse und auch anzahlgenaue Kunststoffpartikel herzustellen. Diese Mikropartikel im Größenbereich von 150 bis 1000 µm können aus nahezu allen thermoplastischen Kunststoffen erzeugt und als Kalibrierstandards und Mikroplastik-Referenzpartikel eingesetzt werden.

Die Umwelt Risiken von Mikroplastik werden durch ihre Aufnahme in die REACH-Verordnung von 2023 und weitere EU-Beschränkungen hervorgehoben. Zwar gibt es Analysemethoden zum Nachweis von Mikroplastik, doch mangelt es entscheidend an geeigneten Referenzmaterialien zur Standardisierung und Validierung dieser Methoden.

Die Herstellung von Mikroplastik-Referenzmaterialien basiert in erster Linie auf kryogenem Mahlen und Siebfraktionierung, was mit mehreren Herausforderungen verbunden ist. Dazu gehören beispielsweise die Verwendung von flüssigem Stickstoff und die Tatsache, dass diese Methode nur zu dispergierten Fraktionen mit begrenzter Größenkontrolle führt. Darüber hinaus ist es besonders wichtig, die Partikelanzahl zu kennen, zumal herkömmliche Techniken nur das Fraktionsgewicht bestimmen. Die Verteilung über mehrere Partikelgrößen verhindert eine direkte Korrelation zwischen Masse und Partikelanzahl, sodass für genaue Zahlen eine zeitaufwändige manuelle Zählung erforderlich ist. Die synthetische Herstellung von Mikroplastik-Referenzen steht vor ähnlichen Problemen hinsichtlich der Größenverteilung und der unbekannten Partikelanzahl, während sie auf wenige Polymertypen beschränkt ist. All diese Einschränkungen unterstreichen die Notwendigkeit verbesserter Methoden zur Herstellung von Mikroplastik-Referenzen.

Daher stellen wir eine kostengünstige und routinemäßig anwendbare Methode zur Herstellung von Mikroplastik-Referenzen unter Verwendung eines additiven Fertigungsverfahrens durch Mikroextrusion vor. Dieses beruht auf einem modifizierten 3D-Drucksystem mit speziell angefertigten Extrusionsdüsen. Die Mikroplastikpartikel können in exakter Anzahl sowie in homogener Größe und Form hergestellt werden.

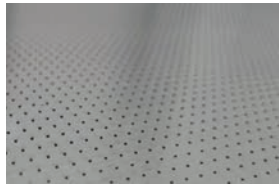


Abb. 1: PLA-Partikel (300 µm) auf einer Glasdruckplatte

Das Verfahren eignet sich für nahezu alle Thermoplaste. Daher ermöglicht unsere Methode erstmals den Vergleich von massen- und zahlenbasierten Analysemethoden. 10.000 Partikel können innerhalb weniger Stunden problemlos hergestellt werden. Wir planen, den Prozess vollständig zu automatisieren und eine Inline-Prozesssteuerung zu implementieren. Die geringe Fehler- und Ausschussrate bedeutet, dass die Herstellungszeit verkürzt und Ressourcen eingespart werden können. Bislang haben wir Partikel in einem Größenbereich von 150 bis 1000 µm aus PLA, PCL, PMMA, PE, PP und PA reproduzierbar hergestellt. Ein weiteres Ziel ist es, die minimale Partikelgröße auf unter 100 µm zu reduzieren und die Palette der Polymere zu erweitern.

Session B4: Prozesse und Qualitätssicherung

Zeit: 14:10 Uhr - 15:25 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-308A | Moderation: Ines Dani, HTWK Leipzig

14:10 Uhr

KI-basierte Überwachung der Schichtinformation im großvolumigen Schmelzschichtverhalten

Toni Wille
EAH Jena

14:35 Uhr

Sichere Qualifizierung im 3D-Druck

Amador Miano
Replique GmbH

15:00 Uhr

Bildbasierte Fehler- und Prozessanalyse im Extrusions-3D-Druck

Björn Kunz
TU Chemnitz

KI-basierte Überwachung der Schichtinformationen im großvolumigen Schmelzschichtverfahren

Toni Wille^a, Daniel Linke^a, Jens Bliedtner^a, Wang Liao^b, Chen Zhang^b, Gunther Notni^b
^aErnst-Abbe-Hochschule, Carl-Zeiss-Promenade 2, 07745 Jena
^bTechnische Universität Ilmenau, Gustav-Kirchhoff-Platz 2, 98693 Ilmenau

Das großvolumige Schmelzschichtverfahren zählt nach DIN EN ISO 52900 zur additiven Verfahrensgruppe der Materi- alextrusion (MEX). Die dreidimensionale Formgebung erfolgt hierbei durch das schichtweise Auftragen einzelner Kunst- stoffstränge, welche thermisch plastifiziert und durch eine Düse extrudiert werden. Basierend auf dem Prinzip der bereits weitreichend etablierten Filamentextrusion findet das großvolumige Schmelzschichtverfahren zunehmend Einzug in verschiedene Bereiche wie Formenbau, Möbelbau oder Prototyping. Das Verfahren unterscheidet sich dabei nicht nur hin- sichtlich des Ausgangsmaterials, sondern auch bezüglich der entstehenden Strukturgrößen von der Filamentextrusion. Während bei der Filamentextrusion Kunststofffilamente durch kleine Düsen extrudiert werden, werden beim großvolumigen Schmelzschichten Granulate in Schneckenextrudern verarbeitet. Die verwendeten Düsendurchmesser können hierbei um einen Faktor von 5-10 größer sein. Hieraus ergeben sich deutlich gesteigerte Strangvolumina, welche sich insbesondere hinsichtlich des Abkühlverhaltens gegenüber der Filamentextrusion unterscheiden. Während die Prozessführung in der Filamentextrusion bereits vielfach untersucht und hinreichend optimiert wurde, besteht in der Beschreibung der großvolumigen Materialextrusion weiterhin Forschungsbedarf. Insbesondere Parameter, welche die Abkühlung der großvolumigen Strukturen beeinflussen, sind für die Herstellung von formgenauen Bauteilen von großer Relevanz. Da die komplexen Wechselwirkungen der einzelnen Prozessparameter in der Regel nur schwierig theoretisch beschreibbar sind, ist der Ansatz der in-Prozess-Regelung bestimmter Parameter für das großvolumige Schmelzschichten sehr vielversprechend. Für dieses Anwendungsszenario bietet die Verknüpfung von Künstlicher Intelligenz (KI) mit multidimensionalen Bildinformationen neue Ansätze für die Qualitätssicherung und Prozesskontrolle im großvolumigen Schmelzschichtverfahren. Bei der 2D-Analyse erlaubt die Kombination aus hochauflösender Bildgebung und semantischer Segmentierung mittels Deep Learning die schnelle Detektion unterschiedlicher Oberflächenfehler in der aktuellen Schicht sowie die Ableitung von Korrelationsmodellen zu relevanten Prozessparametern. Die schichtweise Erfassung der Bauteilgeometrie mittels Stereobildverarbeitung oder Streifenlichtprojektion liefert präzise metrische 3D-Informationen, die nicht nur eine Bewertung der Formgenauigkeit ermöglichen, sondern auch den direkten Abgleich mit dem Soll-CAD-Modell aus der Konstruktionsphase erlauben. Dies ermöglicht eine frühzeitige Erkennung von Abweichungen im Fertigungs- prozess und die Durchführung entsprechender Anpassungen. Bei Vorarbeiten im Filament-Bereich wurde die Machbarkeit dieses Verfahrens erfolgreich nachgewiesen. Bei fortlaufendem Druckprozess wurden die Geometriedaten jeder einzelnen Schicht mithilfe eines In-Prozess-2D- und 3D-Bilderfassungssystems erfasst. Anschließend erfolgte eine automatische Defekterkennung und -klassifikation wie z.B Stringing und Warping mittels Deep Learning. Diese Erkenntnisse schaffen eine fundierte Basis für den Einsatz des Verfahrens im großvolumigen Schmelzschichtverfahren.

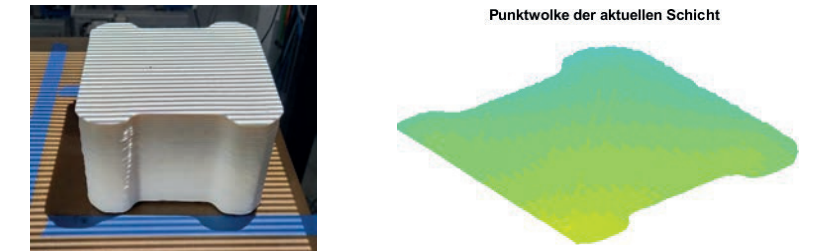


Abb. 1: links: Streifenprojektion zur aktiven Stereo-3D-Rekonstruktion; rechts: Beispiel für die Punktwolke der aktuellen Schicht

Sichere Qualifizierung im 3D-Druck

Amador Miano
Replique GmbH, Julius-Hatry-Straße 1, 68163 Mannheim

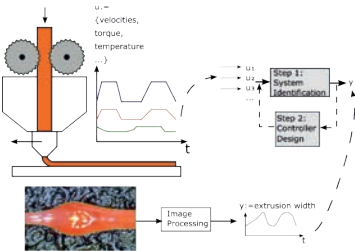
Der 3D-Druck hat sich längst von einer exotischen Nischentechnologie zu einer etablierten industriellen Ferti- gungsmethode entwickelt. Eine zentrale Voraussetzung für qualitativ hochwertige und reproduzierbare Ergeb- nisse ist die gezielte Qualifizierung entlang des gesamten Wertschöpfungsprozesses. Dieser Beitrag zeigt auf, welche Maßnahmen erforderlich sind – von der Auswahl geeigneter Bauteile über die Technologie- und Materialentscheidung bis hin zur Umsetzung und Qualitätssicherung. Ziel ist es, die Anforderungen industrieller Anwendungen zuverlässig zu erfüllen und eine nachhaltige Prozess- sicherheit zu gewährleisten.



Bildbasierte Fehler- und Prozessanalyse im Extrusions-3D-Druck

Björn Kunz
TU Chemnitz, Prof. Elektrische Energiewandlung u. Antriebe, Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz

Der extrusionsbasierte 3D-Druck bietet eine große Materialvielfalt, die jeweils unterschiedliche Anforderungen an den Extrusionsprozess stellt. Die Materialzufuhr wird in der Regel offen gesteuert; eine Regelung mit Rück- kopplung ist bislang nicht implementiert, da geeignete Sensoren zum Schließen eines Regelkreises entweder zu teuer oder technisch schwer realisierbar sind. Diese Arbeit stellt eine neuartige, bildbasierte Methode vor, mit der die Extrusionsbreite als zentrale Kenngröße präzise gemessen werden kann. Hierzu werden Mikroskopauf- nahmen des Extrudats erfasst und mithilfe eines neuronalen Netzwerks (U-Net) automatisiert ausgewertet. Die gemessene Extrusionsbreite wird anschließend mit den Geschwindigkeiten von Druckkopf und Vorschub korre- liert, um Fehler quantitativ zu erfassen und das Ein-Ausgangsverhalten der Druckmechanik zu analysieren. Auf diese Weise entsteht die Grundlage für modell- oder KI-basierte Regelstrategien, die eine modellbasierte Echt- zeitregelung des Volumenstroms ermöglichen und die Druckqualität nachhaltig verbessern können.



Session: Closing Session

Zeit: 16:00 Uhr - 17:00 Uhr | Ort: Haus 5 Raum 5-120 | Moderation: Jörg Matthes, Hochschule Mittweida

Abschluss-Keynote

Visionen drucken. Zukunft gestalten - Wie wir mit Robotik und Design lokale Ressourcen nutzen und globale Systeme neu denken können

Referentin: Ada Matthes, Designer

About Ada Matthes:

Ich bin Produktdesignerin und entwerfe aktivistische Objekte für eine optimistische Zukunft. Ich glaube daran, dass Design ein Motor für ökologische Innovation sein kann – und dass wir für unsere Umwelt gestalten können statt gegen sie. Dafür möchte ich die Art und Weise, wie wir Dinge herstellen, neu denken und Abfall in Wert verwandeln, indem ich Kunst, Design und Technologie miteinander verschmelze.

In meiner Arbeit experimentiere ich mit natürlichen Materialien wie Pilzmycelium, um zirkuläre Systeme zu entwickeln und Reststoffe sinnvoll nutzbar zu machen. Ich bin überzeugt, dass Robotik und additive Fertigung uns befähigen, lokale Materialien effektiver zu nutzen und dezentrale Systeme zu schaffen, die ökologischen wie ökonomischen Mehrwert bieten und widerstandsfähiger gegen Krisen sind. Mit 3D-Druck erschaffe ich poppige, skulpturale Objekte, die als Demonstratoren für größere Ideen dienen und auf eine Solarpunk-Vision aufmerksam machen. Jedes meiner Objekte ist ein Artefakt dieser optimistischen Zukunft, die ich mit meinen Arbeiten entwerfe.

Aktuell arbeite ich in Brandenburg und Berlin und habe 2025 meinen Bachelor in Produktdesign an der FH Potsdam abgeschlossen. Meine Arbeiten durfte ich bereits bei Ausstellungen wie den Kölner Design Passagen, der Milan Design Week und der Interzum in Köln präsentieren. Zurzeit bin ich als freiberufliche Designerin im Bereich Large-Scale 3D Print tätig.

Schlusswort und Staffelstabübergabe an die EAH Jena

Posterpräsentation

Zeit: während der gesamten Tagung

Experimentelle Analyse ausgewählter Hatchingstrategien auf Mikrostruktur, mechanisches Verhalten und Eigenspannungsverteilungen in LPBF-gefertigten AlSi10Mg-Bauteilen

Sebastian Gersch
Hochschule Anhalt

Additive Fertigung wasserstoffführender Komponenten: Konzeptionelle Entwicklung einer hochwarmfesten Aluminiumlegierung

Sebastian Gersch (
Hochschule Anhalt

Untersuchung zur Korrelation von Pulverrheologie und Bauteilfestigkeit im Powder Bed Fusion (PBF)

Lukas Kube
HTWK

Mit Additiver Fertigung zur Kreislaufwirtschaft im Theaterkulissenbau – Potentiale und Herausforderungen des MEX-CRB mit Holzreststoffen

Leif Bretschneider
TU Bergakademie Freiberg

ISO GPS zur Beschreibung systemspezifischer geometrischer Abweichungen additiver Fertigungssysteme

Anna Sorgatz
TU Chemnitz

Experimentelle Analyse ausgewählter Hatchingstrategien auf Mikrostruktur, mechanisches Verhalten und Eigenspannungsverteilungen in LPBF-gefertigten AlSi10Mg-Bauteilen

Sebastian Gersch (M.Eng.), Prof. Dr. Carsten Schulz, Prof. Dr. Jörg Bagdahn
Hochschule Anhalt, Bernburger Straße 55, 06366 Köthen

Diese Arbeit untersucht den Einfluss unterschiedlicher Hatchingstrategien auf die mikrostrukturelle Ausprägung, das mechanische Verhalten und die Eigenspannungsentwicklung von AlSi10Mg-Bauteilen, gefertigt mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF). Neben Rotations- und Orthogonalstrategien wurde insbesondere die Parallelstrategie mit systematisch variierenden Hatchingabständen (50µm bis 170µm) analysiert. Die Proben wurden auf einer Nikon SLM 280 HL bei einer Schichtdicke von 30µm hergestellt. Metallografische Untersuchungen mittels Auflichtmikroskopie zeigten Hatching-überlagerungsbedingte Gefügeinhomogenitäten. Mechanisch wurden Zugproben sowie cantileverbasierte Verformungsuntersuchung durchgeführt, wobei ein direkter Zusammenhang zwischen abnehmendem Hatchingabstand und steigendem Verformungspotenzial festgestellt wurde. Die experimentell ermittelten Verformungsoffsets dienten der Kalibrierung der Inherent-Strain-Methode in Simufact Additive, wodurch eine differenzierte numerische Bewertung der hatchinginduzierten Eigenspannungsverteilungen ermöglicht wurde.

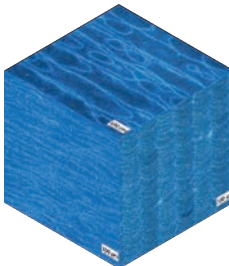


Abb. 1: Schlißbild Parallelstrategie

Die gezielte Modifikation von Hatchingstrategien im LPBF-Prozess eröffnet Potenziale zur werkstoffgerechten Einstellung mechanischer Eigenschaften und prozessinduzierter Eigenspannungszustände. Ziel dieser Studie ist die systematische Analyse des Einflusses unterschiedlicher Hatchingmuster auf AlSi10Mg unter besonderer Berücksichtigung von Mikrostruktur, Festigkeit und Eigenspannungspotential.

Zur experimentellen Umsetzung wurden drei Hatchingstrategien (vgl. Abb. 1) realisiert: Rotation, Orthogonal sowie Parallel. Nur innerhalb der Parallelstrategie wurden definierte Hatchingabstände von 50µm, 80µm, 110µm, 140µm und 170µm variiert. Die Probenfertigung erfolgte auf einer Nikon SLM 280 HL mit einer Schichtdicke von 30µm.

Die mechanische Charakterisierung umfasste Zugversuche zur Ermittlung von Streckgrenze und Zugfestigkeit. Parallel erfolgten metallurgische Analysen mittels Auflichtmikroskopie zur Bewertung der Schmelzspurüberlappung und der daraus resultierenden Gefügestrukturen. Ergänzend wurden cantileverbasierte Prüfgeometrien gefertigt, um das strategiebasierte Verformungsverhalten als indirektes Maß prozessbedingter

Eigenspannungen zu erfassen. Es zeigte sich ein signifikanter Anstieg des Verformungspotenzials bei abnehmendem Hatchingabstand – mit einem Maximum bei 50µm.

Die gemessenen Verformungen der Cantileverstrukturen wurden zur Kalibrierung der Inherent-Strain-Methode in Simufact Additive herangezogen. Auf Basis dieser numerischen Modelle konnten die Eigenspannungsverteilungen in Abhängigkeit der gewählten Hatchingstrategie simulativ erfasst und vergleichend bewertet werden. Besonders innerhalb der Parallelstrategie ergaben sich teils lineare Korrelationen zwischen Hatchingabstand und Eigenspannungsausprägung.

Das übergeordnete Ziel besteht in der Ableitung einer prozessorientierten, metallurgisch fundierten Hatchingstrategie mit gezielt erhöhtem Eigenspannungspotenzial zur Verbesserung der Dauerschwingfestigkeit LPBF-gefertigter AlSi10Mg-Bauteile.

Additive Fertigung wasserstoffführender Komponenten: Konzeptionelle Entwicklung einer hochwarmfesten Aluminiumlegierung

Sebastian Gersch, Sebastian Molano, Prof. Dr. Jörg Bagdahn
Hochschule Anhalt, Bernburger Straße 55, 06366 Köthen

Diese Konzeptstudie befasst sich mit der Entwicklung einer hochwarmfesten Aluminiumlegierung zur additiven Fertigung wasserstoffführender Komponenten mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF). Die Legierung soll durch gezielte Mischung von Reinstoffpulvern erzeugt werden, wobei aktuell der Fokus auf der digitalen Auslegung und Bewertung geeigneter Mischsysteme liegt. Ziel ist eine homogene Pulververteilung zur Sicherstellung verlässlicher Materialeigenschaften im additiven Prozess. Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf simulationsgestützten Analysen möglicher Mischkonzepte und bilden die Grundlage für die spätere experimentelle Umsetzung. Aufgrund der wachsenden industriellen Nachfrage nach wasserstofftauglichen Leichtmetallkomponenten leistet diese Studie einen relevanten Beitrag zur werkstoffseitigen Vorbereitung künftiger H₂-Antriebstechnologien.

Im Rahmen einer konzeptionellen Studie wird die Entwicklung einer hochwarmfesten Aluminiumlegierung für wasserstoffführende Komponenten zur additiven Fertigung mittels Laser Powder Bed Fusion (LPBF) untersucht. Die neuartige Legierung soll aus Reinstoffpulvern durch gezielte Mischung erzeugt werden, mit dem Ziel, eine homogene Pulververteilung und reproduzierbare Ausgangseigenschaften zu gewährleisten. Der aktuelle Fokus liegt auf der digitalen Auslegung geeigneter Mischsysteme zur Pulverhomogenisierung. Die Bewertung erfolgt bislang auf konzeptioneller Ebene unter Berücksichtigung strömungsmechanischer und verfahrenstechnischer Aspekte; numerische Simulationen (z. B. CFD, FEM) sind vorgesehen, aber bislang nicht durchgeführt.

Ziel ist die Bereitstellung einer legierungstechnischen Basis, die eine zuverlässige Verarbeitung im LPBF-Verfahren erlaubt und zugleich den Anforderungen an Wasserstoffbeständigkeit, Temperaturstabilität und mechanische Belastbarkeit genügt. Nachfolgend sollen erste Proben aus den erzeugten Pulvermischungen auf einer SLM 280HL gefertigt werden. Diese dienen der werkstofftechnischen Charakterisierung mittels metallurgischer Analysen (Auflichtmikroskopie, EDX, EBSD) sowie mechanischen Prüfungen (Zugversuch bei Raum- und Hochtemperatur, Wasserstoffversprödungstests, Dauerschwingversuche zur Ableitung von Wöhlerlinien).

Langfristiges Ziel ist die Herstellung funktionsrelevanter Bauteile, die unter realitätsnahen Bedingungen in H₂-Verbrennungsmotoren eingesetzt werden können. Die Relevanz der Studie ergibt sich aus dem stark zunehmenden Bedarf der Industrie an wasserstofftauglichen, leichten und gleichzeitig hochbelastbaren Werkstoffen. Die vorgestellte Konzeptstudie stellt damit einen wichtigen werkstofftechnischen Beitrag zur Entwicklung nachhaltiger, H₂-basierter Antriebssysteme dar.

Untersuchung zur Korrelation von Pulverrheologie und Bauteilfestigkeit im Powder Bed Fusion (PBF)

Lukas Kube, Simon Hamblyn, Franziska Schlimpert, Ingo Reinhold
Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur (HTWK) Leipzig, Center for Additive Multi-Material Manufacturing, Karl-Liebknecht-Straße 132, 04277 Leipzig

Ziel der Studie ist es, einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Prozessverhalten und den Bauteileigenschaften von Pulvern in unterschiedlichen Zuständen im Powder Bed Fusion-Verfahren zu untersuchen. Dazu wurden in insgesamt zehn aufeinanderfolgenden Baujobs Polyamid 12 (PA 12) Pulverproben entnommen. Innerhalb jedes Baujobs wurden Prüfkörper nach ISO 527-2, Typ 1BB, im regulären Betriebsmodus gefertigt. Dabei wurde die Ausrichtung der Bauteile im Bauraum systematisch variiert. Zudem wurde das Fließverhalten des PA12-Pulvers mithilfe eines Rheometers mit Pulverscherverzelle analysiert, um die Veränderung der Rheologie infolge der thermischen Beanspruchung zu charakterisieren. Die gedruckten Prüfkörper wurden zudem einer Zugprüfung unterzogen, um mechanische Eigenschaften zu erfassen und diese mit dem Fließverhalten der Pulver in Beziehung zu setzen.

The aim of this study is to investigate a potential correlation between the process behavior and the resulting part properties of powders in different states within the Powder Bed Fusion process. For this purpose, polyamide 12 (PA 12) powder samples are collected from a total of ten build jobs. Within each build job, test specimen were produced under standard operating conditions according to ISO 527-2, Type 1BB. The orientation of the parts within the build chamber was systematically varied to evaluate its influence. Subsequently, the rheological behavior of the PA12 powder is analysed using a rheometer equipped with a powder shear cell in order to characterise the change with increasing thermal cycling. The printed test specimen were subjected to tensile testing in order to determine their mechanical properties and correlate these with the observed flow behavior of the powders.

Mit Additiver Fertigung zur Kreislaufwirtschaft im Theaterkulissenbau – Potentiale und Herausforderungen des MEX-CRB mit Holzreststoffen

Leif Bretschneider, Henning Zeidler
TU Bergakademie Freiberg, IMKF-AF, Agricolastraße 1, 09599 Freiberg

Gegenwärtig werden im Theaterkulissenbau häufig petrochemische Materialien, wie Polystyrol, eingesetzt. Die Requisiten werden nach Ablauf der Spielzeit in der Regel entsorgt. Dieser wenig nachhaltigen Praxis soll durch das MEX-CRB, auch als Pastenextrusion bekannt, mit Holzreststoffen, die in der Theaterwerkstatt selbst anfallen, eine Alternative geboten werden. Diese Arbeit benennt die Potentiale des Vorhabens, beschreibt derzeitige Herausforderungen sowie deren Lösungsansätze und zeigt die Ergebnisse mehrerer Versuchsreihen. Der Einfluss verschiedener bio-basierter Bindemittel auf Oberflächenqualitäten und mechanische Eigenschaften wird erläutert. Zudem werden Recyclingstrategien benannt und deren Einfluss auf die Materialeigenschaften gezeigt.

Theatre props are currently often made from petrochemical materials such as polystyrene. The props are usually disposed of at the end of the season. MEX-CRB, also known as paste extrusion, offers an alternative to this unsustainable practice by using wood waste generated in the theatre workshop itself. This work identifies the potential of the approach, describes current challenges and possible solutions, and presents the results of several test series. The influence of various bio-based binders on surface qualities and mechanical properties is explained. In addition, recycling strategies are identified and their influence on material properties is demonstrated.

Im Theaterkulissenbau werden, vor allem bei geometrisch herausfordernden Skulpturen oder Zierelementen, Polystyrol und andere petrochemische Materialien genutzt, um die gewünschten Requisiten herzustellen. Gleichzeitig gibt es in der Branche eine große Motivation nachhaltigere Materialien einzusetzen sowie ein internes Recycling im Sinne einer Kreislaufwirtschaft zu etablieren. In einem gemeinsamen DATipilot Innovationssprint, gefördert durch das Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt, arbeiten die Professur für Additive Fertigung der TU Bergakademie Freiberg und das Städtische Theater Chemnitz an einem Ansatz Holzreststoffe aus der Theaterwerkstatt mittels MEX-CRB für den Druck neuer Requisiten einzusetzen. Dieses innovative Konzept soll ermöglichen, dass eigene Reststoffe nicht im Müll enden, sondern als Ersatz für petrochemische Werkstoffe im Rahmen einer digitalen Fertigung genutzt werden können.

Die in der Holzverarbeitung anfallenden Reststoffe (Schleifstäube, Säge- und Hobelspäne) lassen sich aufbereiten und durch Zugabe von Bindemittel und Wasser zu einer pastösen Masse verarbeiten. Im MEX-CRB-Verfahren können diese Pasten verarbeitet werden, um schichtweise Geometrien zu erzeugen. Derzeitige Einschränkungen der Technologie sind jedoch eine begrenzte Bauhöhe, bedingt durch die Viskosität der Paste, eine Trocknungsdauer von mehreren Tagen, die Schrumpfung infolge der Trocknung sowie Rissbildung.



Abb. 1: Gedruckte und nachbearbeitete Theaterrequisiten.
(©Daniel Horvath)

Für alle genannten Hemmnisse gibt es jedoch Lösungsansätze: Die begrenzte Bauhöhe lässt sich durch Materialanpassungen steigern. Zudem ermöglicht eine entwickelte Slicing-Strategie die Segmentierung von Requisiten in druckbare Elemente, die sich anschließend zusammenfügen lassen. Zur Reduzierung der Trocknungsdauer wurden Konzepte für einen gezielten Wärmeeintrag im Düsenbereich entwickelt. Die Schrumpfung kann durch präzise Dosierung von Bindemittel und Pastenfeuchtigkeit reduziert und reproduzierbar eingestellt werden. Eine vorhersagbare Schrumpfung kann mit der entwickelten Slicing-Strategie kompensiert werden. Die Rissbildung kann durch die Auswahl und den Anteil des biobasierten Bindemittels reduziert werden. Hierzu wurden mehrere Bindemittel, darunter Alginat, Culminal® und Zelluloseleim erprobt und verglichen. Darüber hinaus eignen sich Pasten auf Basis der genannten Bindemittel auch für die Nacharbeit gedruckter Requisiten, sodass unvermeidbare Risse zugespachtelt werden können. Die in Abb. 1 gezeigten Skulpturen wurden mit der erwähnten Slicing-Strategie sowie Alginat als Bindemittel hergestellt und nachgearbeitet.

Das Recycling der Requisiten kann durch das Zerkleinern und/oder Auflösen mittels Wasser erfolgen. Nach ausreichender Einweichdauer entsteht eine Paste, die nach der erneuten Verarbeitung nahezu gleichbleibende mechanische Eigenschaften (Biegefestigkeit und Bruchdehnung) besitzt. Somit scheint eine Kreislauffähigkeit möglich.

ISO GPS zur Beschreibung systemspezifischer geometrischer Abweichungen additiver Fertigungssysteme

Anna Sorgatz, Sophie Gröger
TU Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Professur Fertigungsmesstechnik,
Reichenhainer Str. 70, 09126 Chemnitz

Die additive Fertigung gewinnt zunehmend an Bedeutung, was sich in einer wachsenden Anzahl von Normen und Richtlinien widerspiegelt. In Bezug auf Qualitätssicherung und Zertifizierung fordern Kunden oft die etablierten Normen konventioneller Verfahren, einschließlich Abnahme- und Bestätigungsprüfungen auch für additive Systeme. Der vorgestellte Ansatz analysiert geometrische Abweichungen im gesamten Fertigungsprozess gemäß den Spezifikations- und Verifikationsstrategien von ISO GPS. Dadurch ist es möglich, systemspezifische Eigenschaften der Fertigungssysteme zu definieren und sie anschließend in der Produkt- und Prozessplanung zu berücksichtigen.

Die additive Fertigung hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen, was sich auch in der steigenden Anzahl von Normen und Richtlinien widerspiegelt, wobei trotz dieser Entwicklungen die Anzahl der Normen im Vergleich zu herkömmlichen Fertigungsverfahren nach wie vor begrenzt ist.

In der Praxis zeigt sich, dass viele Kunden mit den etablierten Normen für konventionelle Verfahren vertraut sind und diese auch in der additiven Fertigung fordern. Dazu zählen zum Beispiel auch Abnahme- und Bestätigungsprüfungen für additive Fertigungssysteme. In diesem Zusammenhang bereits bestehende Richtlinien bzw. Normen sind die VDI 3405 Blatt 3.2 und DIN EN ISO 17296-3, die sich auf die Systemgrenzen, wie etwa minimal mögliche Abstände, Formen oder Neigungswinkel ohne Stützstrukturen, konzentrieren, jedoch die funktionalen Eigenschaften des gefertigten Werkstücks außer Acht lassen.

Eine alternative Betrachtungsweise ist die Beurteilung des gefertigten Werkstücks unter Berücksichtigung der in der Geometrischen Produktspezifikation (ISO GPS) beschriebenen Spezifikations- und Verifikationsstrategien. Das ISO GPS-System ist ein umfassendes Normensystem, das nicht nur die Spezifikation eines Werkstücks, d. h. die geometrischen Anforderungen und Toleranzen, sondern auch die Regeln für die Verifikation, d. h. die Qualitätssicherung des Werkstücks, beschreibt. Der im Vortrag vorgestellte Ansatz zur Ermittlung und Bewertung geometrischer Abweichungen betrachtet diese als Gesamtbudget und berücksichtigt ihre Entstehung über den gesamten Fertigungsprozess hinweg. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Betrachtung sind die jeweiligen Fertigungssysteme mit ihren spezifischen Eigenschaften wie Verfah- und Positionierungsgenauigkeiten. Die o. g. Normen und Richtlinien lassen aufgrund von Uneindeutigkeiten im beschriebenen Vorgehen der messtechnischen Erfassung und Auswertung Interpretationsspielräume zu, sodass es zu unterschiedlichen Ergebnissen der Untersuchungen kommen kann. Im Gegensatz dazu ermöglicht die Nutzung des ISO GPS-Systems durch die Verwendung von Geometrieelementen zur Spezifikation und Verifikation eine eindeutige Zuordnung und Interpretation der Messergebnisse. Somit soll es für die Anwender möglich sein, die systemspezifischen Eigenschaften zu definieren und sie anschließend in der Produkt- und Prozessplanung zu berücksichtigen.

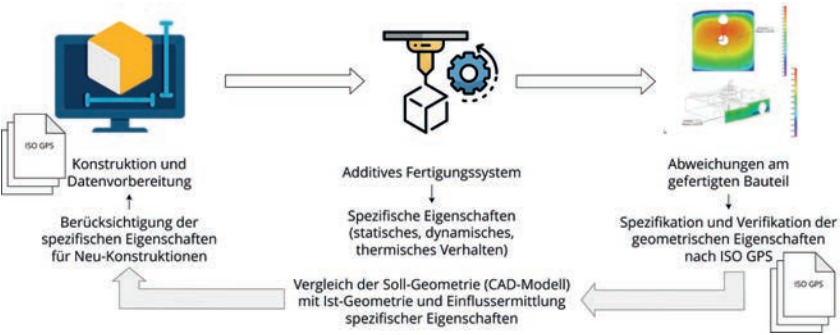


Abb. 1: Definition der systemspezifischen Eigenschaften mittels ISO GPS

Firmenpräsentation



Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig





AM Pioneers Deutschland GmbH

Wir sind führender Partner bei der Beratung und Implementierung von 3D-Druck-Technologien in der

industriellen Fertigung. AM Pioneers wurde im Jahr 2021 mit dem Ziel gegründet, produzierende Unternehmen bei der Integration von Additiver Fertigung (3D-Druck) in ihre bestehenden Fertigungsprozesse zu unterstützen. Eine rasante technologische Entwicklung ermöglicht es Unternehmen heute, konventionelle durch additive Fertigungsverfahren zu ersetzen oder in Form einer hybriden Fertigung mehrwertstiftend einzusetzen, was zu einer signifikanten Steigerung der Effizienz, Flexibilität und Kosteneffektivität führt. Als Reseller führender Hersteller und Full-Service-3D-Druck-Dienstleister bieten wir maßgeschneiderte Lösungen für die gesamte Prozesskette. Mit Hauptsitz in Esslingen, Deutschland agieren wir weltweit und verfügen über weitere Standorte in Österreich und Rumänien. Wir arbeiten eng zusammen mit den führenden Herstellern von 3D-Drucksystemen und fokussieren uns dabei auf die Technologien Metal Binder Jetting (Desktop Metal), Keramik SLA (3D Ceram) und Projection Micro Stereolithography (BMF).

Kontakt:
Frederik Nussbaumer | Head of Sales
frederik.nussbaumer@am-pioneers.com
Tel: +49 1724059105
<https://am-pioneers.com/>



Building 3D e.V.

Building 3D e.V. ist ein 2019 gegründetes Netzwerk für Verfahren, Anlagen, Materialien und Geschäftsmodelle entlang der

Wertschöpfungskette der additiven Fertigung. Der Verein vernetzt mittelständische Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Verbände. Ziel des Vereins ist es, neue Anwendungsfelder für die additive Fertigung zu erschließen und die Potenziale der Technologien für Unternehmen aufzuzeigen. Seit Januar 2024 kooperieren wir mit neo.NET aus der Lausitz. Beide Vereine unterstützen Unternehmen dabei, additive Fertigungstechnologien anzuwenden und weiterzuentwickeln.

Kontakt:
Schillerstraße 5 | 04109 Leipzig | Tel. + 49 341 60016251
info@building-3d.de
<https://building-3d.de/>

DP Solutions GmbH

<https://www.dp-solutions.de/>



Der SL Profi

Das Familienunternehmen hat sich auf die Fertigung komplizierter kleiner Bauteile spezialisiert, die sich durch hohe Präzision, Passgenauig-

keit und Funktionalität auszeichnen. Mit einer breiten Palette verschiedener Stereolithographie-Werkstoffe können verschiedene Serienwerkstoffe simulieren werden. Die 30-jährige Erfahrung, eine vielfältige Werkstoffauswahl und Anlagentechnik ermöglicht uns es, auf verschiedene Anforderungen und Wünsche unserer Kunden einzugehen. Dadurch ist es möglich, schnell auf Wünsche zu reagieren und diese umzusetzen.

Auch die Fertigung Ihrer Teile innerhalb von 24 Stunden ist möglich. Die Einfärbung unserer Teile ist mit unseren eigenentwickelten, patentierten Verfahren möglich.

2017 DINO - Distinguished Innovator Operators Award - AMUG

Der SL PROFI - Jörg Grießbach
Bielablick 3 | 09526 Olbernhau | Deutschland
Telefon+49 37360 794840 | Fax+49 37360 794849
eMail info@der-sl-profi.de
<https://www.der-sl-profi.de/>



EQUIPP3D GmbH

<https://equipp3d.de/>



Ernst-Abbe-Hochschule Jena

An der EAH Jena sind die additiven Technologien seit vielen Jahren ein zentraler Forschungsschwerpunkt.

Im Mittelpunkt stehen dabei neben dem Filament- sowie Granulatbasierten Materialextrusionverfahren (MEX) auch die badbasierte Photopolymerisation sowie die Entwicklung von neuartigen Prozessen und Verfahren. Über die klassischen Materialien hinaus werden auch Glas und Keramik verarbeitet oder Kunststoffe mit verschiedenen Zusätzen modifiziert. Der Stand der EAH Jena präsentiert dazu verschiedene Exponate, die in Forschungsprojekten gemeinsam mit Unternehmen entwickelt wurden und das Forschungsspektrum des Fachgebiets abbilden. Darüber hinaus werden Transferaktivitäten zu additiven Themen vorgestellt, darunter die Modellfabrik Virtualisierung als ein Standort im Mittelstand-Digital Zentrum Ilmenau, das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert wird.



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

Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig

Die Hochschule für Technik,
Wirtschaft und Kultur Leipzig

(HTWK Leipzig) wurde 1992 gegründet und ist mit rund 6.500 Studierenden eine der größten Hochschulen für angewandte Wissenschaften in Deutschland. Unser regionales Alleinstellungsmerkmal ist ein breites ingenieurwissenschaftlich-technisches Profil: Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler entwickeln nachhaltige Lösungen für neue und sanierungsbedürftige Gebäude, Brücken und Straßen, bringen durch ihre Forschung die Energiewende voran und schaffen Voraussetzungen für einen klugen Einsatz der Digitalisierung. Zusammen mit den Bereichen Ökonomie, Sozialwissenschaften und Medizintechnik bietet die HTWK Leipzig an ihren sechs Fakultäten ein vielfältiges Lehr- und Forschungsangebot.

Kontakt:

Professur für Generative Fertigungstechnik HTWK Leipzig

Fakultät Ingenieurwissenschaften

Karl-Liebknecht-Str. 134 | 04277 Leipzig

Prof. Dr. rer. nat. Ines Dani

Tel. + 49 341 3076-4142 | ines.dani@htwk-leipzig.de



**HOCHSCHULE
MITTWEIDA**
University of Applied Sciences

**Hochschule Mittweida
Laserinstitut Hochschule
Mittweida**



Laserinstitut
Hochschule Mittweida

Das Laserinstitut Hochschule Mittweida (LHM) gehört zu den führenden Forschungseinrichtungen im Bereich der Lasertechnik in Deutschland mit weltweit anerkannten Forschungsergebnissen zu mehreren innovativen Verfahren. Es ist eine zentrale wissen-

schaftliche Einrichtung der Hochschule Mittweida. Der Schwerpunkt der anwendungsorientierten Forschung und Entwicklung am LHM liegt in den Technologiebereichen Lasermikrobearbeitung, Laser-Bionik, Laserbasierte Additive Fertigung, Laserpulsabscheidung (PLD), Laserbearbeitung (Makro), Lasermesstechnik, Modellierung und Simulation von Laserprozessen, Laseranlagen- und -prozess-technik, Digitale Optik und EUV-Bildgebung sowie Biophotonik. Speziell im Bereich der laserbasierten additiven Fertigung von Metallbauteilen stellen zwei Verfahren besondere Entwicklungshighlights dar: das Mikro-SLM und das Makro-SLM. Beide Technologien sind Weiterentwicklungen des etablierten selektiven Laserstrahlschmelzens (auch SLM oder L-PBF), die über die Grenzen dieses Verfahrens hinaus neue Größenordnungen erschließen. Das Mikro-SLM ermöglicht die Fertigung hochpräziser Bauteile mit Strukturauflösungen von bis zu 30 µm und Schichtdicken von nur 5 µm. Das Makro-SLM adressiert den entgegengesetzten Größenbereich und dient der Fertigung großvolumiger Bauteile mit hohen Aufbauraten. Die Strukturauflösungen liegen hier im Millimeter- statt im Mikrometer-Bereich, wodurch eine sehr hohe Aufbaurrate von bis zu 10 kg/h möglich ist.

Michael Pfeifer | Tel: +49 (0) 3727 58 - 1396

E-Mail: pfeifer@hs-mittweida.de

www.laser.hs-mittweida.de/



**mp4 material solution
GmbH**

Die m4p material solutions GmbH ist ein führender Spezialist für Metallpulver in der additiven Fertigung. Das Unternehmen ist seit zehn Jahren am Markt

und aus einem gleichnamigen Unternehmen mit Standort in Magdeburg und einem Unternehmen aus Feistritz im Rosenthal, Österreich hervorgegangen. Mit einem agilen Werkstoffportfolio, hoher Liefergeschwindigkeit und konsequenter Qualitätsorientierung hat sich die m4p als zuverlässiger Partner für Industrie und Forschung etabliert.

Mit einem Kundenstamm im dreistelligen Bereich und einer dynamischen Geschäftsentwicklung steht m4p für maßgeschneiderte Pulverlösungen – von Standardlegierungen über Entwicklungsprodukte bis hin zu individuell abgestimmten Spezialwerkstoffen. Besonders hervorzuheben sind Innovationen wie die hochtemperaturbeständiges Aluminium für den 3D Druck oder vielseitig einsetzbare Eisenbasislegierungen, die neue Anwendungen in Luftfahrt, Automobilbau und Energie eröffnen.

Die Kernkompetenz von m4p liegt in der kontinuierlichen Absicherung der Pulverqualität. Über branchentypische Standards hinaus entwickelt das Unternehmen eigene Prüfmethoden, unter anderem zur industrietauglichen Detektion von potentiellen Kontaminationen. Enge Toleranzen bei Partikelcharakteristika und Legierungszusammensetzung sichern eine gleichbleibend hohe Bauteilqualität – ein entscheidender Faktor beim Übergang von Prototyping zu Serienfertigung.

Damit positioniert sich die m4p material solutions GmbH als verlässlicher Enabler für reife, industrielle AM-Prozesse – mit dem Anspruch, gemeinsam mit seinen Kunden die additive Fertigung auf das nächste Niveau zu heben.

<https://www.metals4printing.com>



Mark 3D GmbH

Mark3D ist Ihr Partner für industriellen 3D-Druck mit Markforged im DACH-Raum sowie in den Benelux-Ländern und

Dänemark. Mit der einzigartigen Endlosfasertechnologie entstehen Bauteile, die so stabil sind wie Aluminium – bei Gewicht und Kosten von Kunststoff.

Unsere Kunden aus Maschinenbau, Automatisierung, Robotik und vielen weiteren Branchen nutzen die Technologie, um Betriebsmittel, Vorrichtungen, Ersatzteile oder Prototypen direkt im eigenen Haus zu fertigen. So lassen sich Stillstandzeiten verkürzen, Kosten senken und Entwicklungsprozesse deutlich beschleunigen.

Als zuverlässiger Partner liefern wir die passenden Systeme, Materialien und Software – und unterstützen dabei, die additive Fertigung nahtlos in bestehende Prozesse zu integrieren. Praxisnahe Anwendungen und Erfolgsgeschichten zeigen, wie einfach und zuverlässig der industrielle 3D-Druck heute schon ist.

Besuchen Sie uns und entdecken Sie, wie auch Ihr Unternehmen von flexiblen Produktionslösungen und unabhängigen Lieferketten profitieren kann. Drucken Sie die Bauteile, die Sie heute noch zerspanen müssen – aber eigentlich nicht wollen!

Ansprechpartner: Joachim Kasemann

Telefon: +49 7361 63396 02 | E-Mail: jk@mark3d.de

Rodenbacher Straße 15 | 35708 Haiger ext

<https://www.mark3d.com/de>

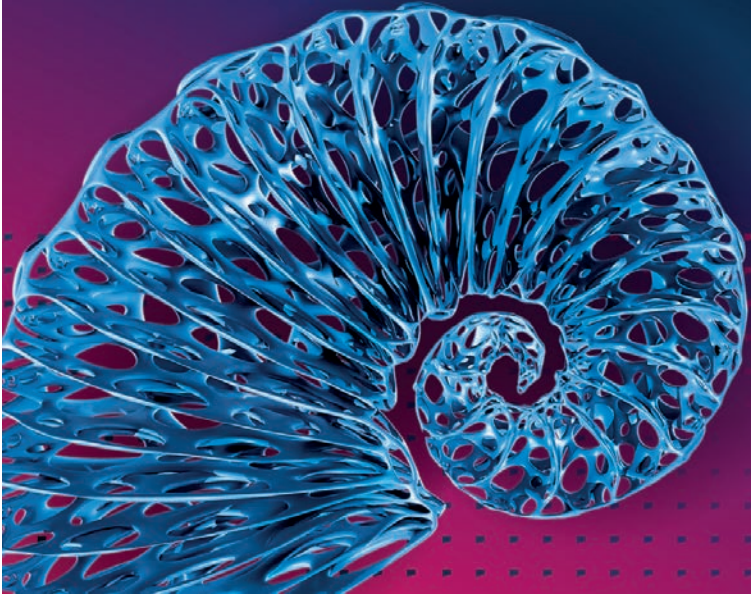
rapid.tech3D

ADDITIVE MANUFACTURING CON

05.– 07. MAI 2026

SAVE THE DATE

MESSE ERFURT



<https://www.rapidtech-3d.de/de>



METROM Mechatronische Maschinen GmbH

METROM entwickelt und fertigt Maschinen auf Basis einer 5-Streben- Parallelkinematik (Pentapod). Wichtigste Produkte

sind Bearbeitungszentren und mobile Sondermaschinen, die eine effektive Bearbeitung verschiedenster Werkstoffe wie Titan, Stahl, Aluminium oder Keramik gewährleisten. Der modulare Aufbau ermöglicht eine kostengünstige und schnelle Anpassung an Kundenanforderungen. Hierbei entstehen Kombinationen aus Auftragsschweißen und Fräsen oder Kunststoff - 3D-Druck und Fräsen.

<https://metrom.com/de/>

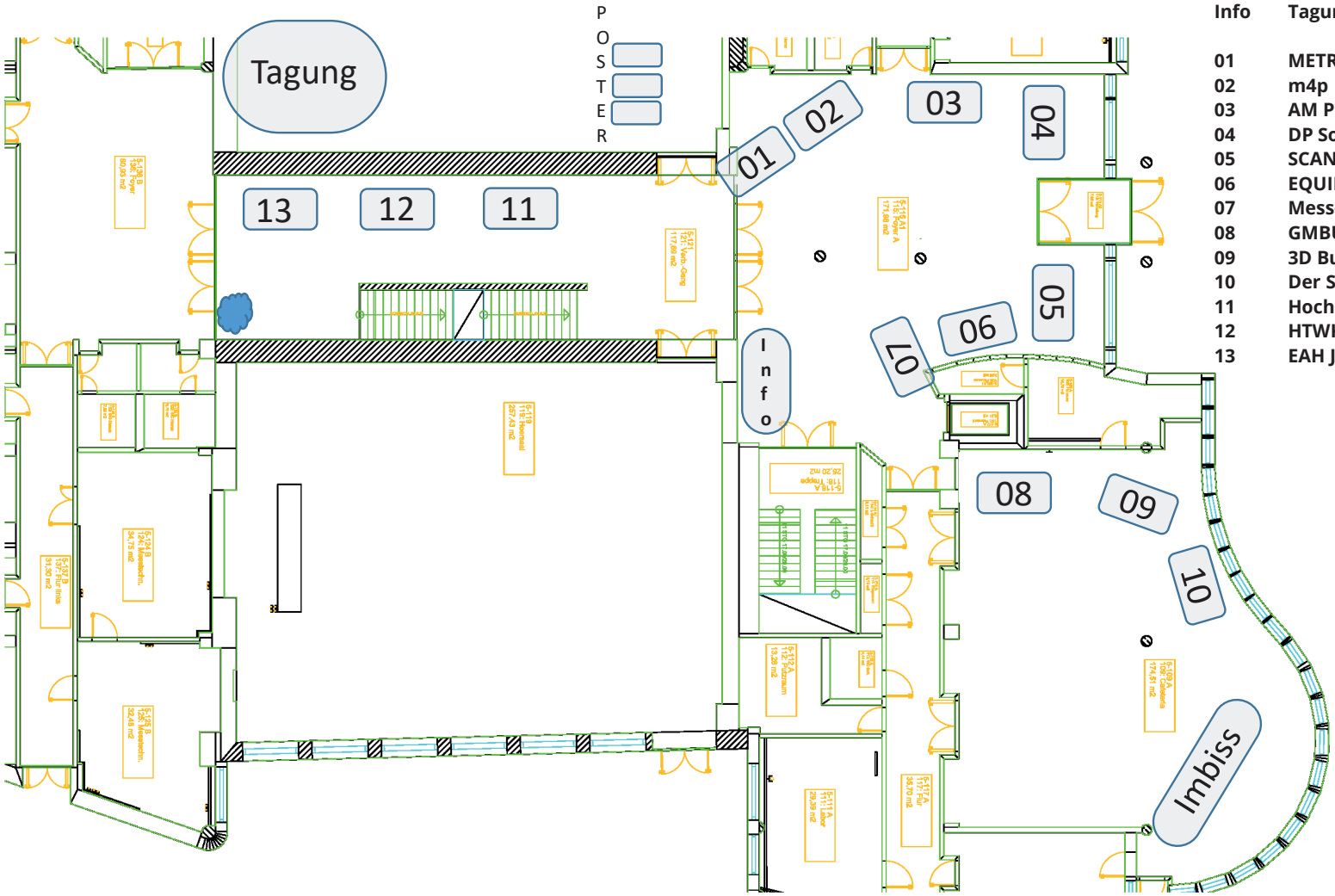


SCANTECH DIGITAL GmbH

Mit Sitz in Stuttgart bietet SCANTECH DIGITAL GmbH unseren europäischen Kunden hochpräzise, tragbare und intelligente 3D-Mess-techniklösungen. Unser Portfolio

umfasst industrielle 3D-Laser-Scanner und automatisierte Messlösungen, die in Branchen wie Automobil, Luft- und Raumfahrt, Maschinenbau und Additive Fertigung eingesetzt werden. Mit lokaler technischer Unterstützung, kurzen Reaktionszeiten und Schulungen vor Ort helfen wir unseren Kunden, ihre Qualitätssicherung zu optimieren und die digitale Transformation voranzutreiben.

<https://www.3d-scantech.com/>



Info	Tagungsbüro
01	METROM
02	m4p
03	AM Pioneers
04	DP Solutions
05	SCANTECH
06	EQUIPP3D
07	Messe Erfurt
08	GMBU
09	3D Building
10	Der SL-Profi
11	Hochschule Mittweida /LHM
12	HTWK Leipzig
13	EAH Jena

Stand 02.10.2025



Vielen Dank an alle, die vor und hinter den Kulissen dazu beigetragen haben, dass das 12. Mitteldeutsche Forum „3D-Druck in der Anwendung“ stattfinden konnte.

Danke an das Programmkomitee für ein vielseitiges und interessantes Programm.

Danke an das Organisationsteam für die „Fäden in der Hand“.

Danke an alle Mitarbeitenden im Referat Forschung, dem Dezernat Facility Management und der Hochschulkommunikation.

Danke an das Laserinstitut Hochschule Mittweida und an die Fachgruppe Konstruktion.

Danke an die Hochschulbienen und den Imker für den Campushonig.

Wir danken der **Hans Bernd Vetter Stiftung** für ihre großzügige Unterstützung des diesjährigen Forums 3D-Druck an der Hochschule Mittweida.

Mit ihrem Engagement trägt die Stiftung maßgeblich dazu bei, den Austausch zwischen Wissenschaft, Forschung und angewandter Praxis zu fördern. Besonders wertvoll ist dabei die Ausrichtung auf Ingenieurberufe in den Bereichen Feinmechanik, Mechatronik und Elektronik, die im Kontext additiver Fertigung von großer Bedeutung sind. Durch diese Förderung können aktuelle Entwicklungen sichtbar gemacht und neue Impulse für Forschung und Anwendung gesetzt werden. Im Namen aller Teilnehmenden und Mitwirkenden sprechen wir der Hans Bernd Vetter Stiftung unseren herzlichen Dank aus.