



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

**DIE NEUE
HIGHTECH
STRATEGIE**
Innovationen für Deutschland

Deutschland druckt dreidimensional

Additive Fertigung revolutioniert die Produktion



Leitbild eines innovativen Deutschlands

Es sind die guten Ideen, aus denen in Deutschland neue Produkte und Dienstleistungen entwickelt werden. Sie sind weltweit gefragt und sichern unseren Wohlstand und unsere Lebensqualität. Auf viele drängende Fragen und Herausforderungen der Zukunft wurden bereits innovative Lösungen gefunden. In anderen Bereichen muss weiter geforscht und experimentiert werden. Hier setzt die neue Hightech-Strategie an: Sie betrachtet systematisch den ganzen Innovationsprozess – von der kreativen Idee bis zur Umsetzung in neue Produkte und Dienstleistungen. Die neue Hightech-Strategie konzentriert sich auf Forschungsthemen, die von besonderer Relevanz für die Gesellschaft sowie für Wachstum und Wohlstand sind:

- Informations- und Kommunikationstechnologien prägen nahezu alle unsere Lebens- und Wirtschaftsbereiche. Doch wie wollen wir in einer digitalen Welt leben, lernen und arbeiten?
- Wie gestalten wir Produktion und Konsum ressourcenschonender, umweltfreundlicher, sozialverträglicher und damit nachhaltiger?
- Wie sieht die Zukunft der Arbeit aus?
- Wie können wir Fortschritte für Gesundheit und Wohlbefinden erzielen?
- Wie verhindern wir Störungen oder Engpässe bei Energieversorgung, IT-Kommunikation, Mobilität oder Logistik?

Die neue Hightech-Strategie bringt alle Akteure des Innovationsgeschehens zusammen, um Kräfte zu bündeln und den Weg von der Idee in die Anwendung zu verbessern. Sie sorgt auch dafür, dass die Bedingungen in Deutschland innovationsfreudig bleiben. Dafür sind qualifizierte Fachkräfte ebenso notwendig wie eine bessere Finanzierung von Innovationen oder ein forschungsfreundliches Urheberrecht.

Mehr erfahren Sie auch unter
www.hightech-strategie.de



Inhaltsverzeichnis

Vorwort	3
<hr/>	
Deutschland druckt dreidimensional – Additive Fertigung revolutioniert die Produktion	4
<hr/>	
Mehr Gestaltungsfreiheit und ressourceneffiziente Herstellung vor Ort	6
<hr/>	
Additiv gefertigte Bauteile – haltbar und sicher (BadgeB)	6
3D-Drucken in der Großserienfertigung: Die Kombination macht's! (KitkAdd)	8
Automatisierte Herstellung von ästhetischem Zahnersatz (MYTHOS)	10
Softwaregestützter Produktentstehungsprozess für die additive Fertigung (OptiAMix)	12
<hr/>	
Technologiekompetenzen für die additive Fertigung ausbauen	14
<hr/>	
3D-Druck für Metallspiegel mit maßgeschneiderten Eigenschaften (AM-OPTICS)	14
Großflächige Bauteile aus faserverstärkten Materialien durch 3D-Drucken (ASM)	16
Hybrider 3D-Druck ermöglicht schnelle Herstellung komplexer Bauteile (HyAdd3D)	18
Variable Prozessparameter zur Qualitätssicherung additiv gefertigter Bauteile (IndiPro)	20
3D-Druck von Implantaten aus Metall mit Sensoren verbessern (InSensa)	22
Metall-Keramik-Verbundbauteile aus dem Drucker (MultiMat3D)	24
Industrialisierung des 3D-Drucks in allen Schritten der Prozesskette (Pr0F1T)	26
Hybride Fertigung von großen Hochleistungsbauteilen (ProLMD)	28
Variantenreicher 3D-Druck für hochfunktionale Stahlwerkstoffe (StaVari)	30
<hr/>	
Transnationale Zusammenarbeit in der additiven Fertigung im Rahmen von ERANET-MANUNET	32
<hr/>	
Chip aus dem 3D-Drucker – neue Methoden für die Verbindung von Elektrotechnik und Industriekeramiken (ERANET-MANUNET-AMPECS)	32
Hochqualitäts-3D-Druck benötigt kontrollierbare und exakte Pulvereigenschaften (ERANET-MANUNET-ConPAM)	34

Innovative Materialien zur additiven Fertigung	36
<hr/>	
Entwicklung neuer Werkstoffe für die Herstellung von Fertigungswerkzeugen mittels additiver Fertigung (AddMaTs)	36
Maßgeschneiderte Aluminiumwerkstoffe für die Automobilindustrie (CustoMat3D)	38
Designfreiheit durch neue Materialien für die additive Fertigung (FLATISA)	40
Additiv gefertigte Implantate zur natürlichen Heilung von Knochendefekten (HY2PRINT)	42
Materialien mit besseren Eigenschaften für den 3D-Druck (IA-UV-3D)	44
Herstellung von Bauteilen für extreme Anforderungen mittels additiver Fertigung (Lextra)	46
3D-Druck von keramischen Bauteilen mit komplexen Strukturen (MuSiK)	48
Neue Legierungen für additiv gefertigte Triebwerksbauteile (NextTiAl)	50
Weitere Informationen	52
<hr/>	
Impressum	53
<hr/>	

Vorwort

Maßgeblich für die Qualität deutscher Erzeugnisse und den wirtschaftlichen Erfolg ist unsere Innovationskraft. Neue Technologien, wie die additive Fertigung, ermöglichen Innovationen, etwa indem sich komplexe geometrische Objekte herstellen lassen, die sich mit gängigen Verfahren bislang nicht oder nur mit viel Aufwand verwirklichen ließen. Sie eröffnet vielfältige Anwendungsfelder, beispielweise in der Medizintechnik sowie im Automobil-, Flugzeug- und Maschinenbau. Für die additive Fertigung wird in den kommenden Jahren mit einer Wachstumsrate von mehr als 30 Prozent gerechnet. Wir wollen die deutsche Industrie dabei unterstützen, dieses große Potenzial zu heben.

Mit der Fördermaßnahme „Additive Fertigung – Individualisierte Produkte, komplexe Massenprodukte und innovative Materialien (ProMat_3D)“ unterstützt das Bundesministerium für Bildung und Forschung Unternehmen und Forschungseinrichtungen dabei, diese innovative Produktionsform weiterzuentwickeln. Die Maßnahme fügt sich in unsere Initiativen ein, mit denen wir insbesondere die Innovationsdynamik des Mittelstandes in Deutschland unterstützen.

Die Produktentwicklung sowie die Herstellung neuer und signifikant verbesserter Materialien für die additive Fertigung sollen weiter erforscht und entwickelt werden. Dazu werden neue Werkzeuge, Verfahren, Anlagen, Leitfäden und Konzepte für die industrielle Einführung und Anwendung der additiven Fertigung erarbeitet und pilothaft in die betriebliche Praxis überführt.

Diese Broschüre gibt mit Porträts der Verbundvorhaben von „ProMat_3D“ einen Überblick über aktuell geförderte Projekte aus der Material- und Produktionsforschung. Die Beispiele zeigen das breite thematische Spektrum sowie die branchenübergreifenden Vorgehensweisen und geben einen interessanten Einblick in die neuesten Entwicklungen dieser zukunftssträchtigen Technologie.

Ihr Bundesministerium für Bildung und Forschung

Deutschland druckt dreidimensional – Additive Fertigung revolutioniert die Produktion

Von der Hüftprothese über Windflügel bis zu Flugzeugturbinen – die Vielfalt an möglichen Anwendungen des industriellen 3D-Drucks ist beinahe grenzenlos. Jedoch stecken die Technologien für die sogenannte additive Fertigung vielfach noch in den Kinderschuhen. Bislang kommt sie nur in Kleinserien und der Unikatfertigung zum Einsatz. Ihre Bedeutung nimmt jedoch stetig zu: Die Branche verzeichnet seit Jahren Wachstumsraten von etwa 30 Prozent bei einem weltweiten Umsatz von 4,5 Milliarden Euro im Jahr 2015. Damit ist die additive Fertigung eine der wichtigsten Schlüsseltechnologien für Innovationen. Im Rahmen der neuen Hightech-Strategie 2020 verfolgt das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit der Fördermaßnahme „Additive Fertigung – Individualisierte Produkte, komplexe Massenprodukte, innovative Materialien (ProMat_3D)“ das Ziel, die Forschung und Entwicklung für geeignete innovative Methoden und Werkzeuge der Produktentwicklung und -fertigung sowie für neue oder entscheidend verbesserte Materialien zu stärken.

Mehr Gestaltungsfreiheit und ressourceneffiziente Herstellung vor Ort

Die additiven Verfahren unterscheiden sich essenziell von konventionellen, überwiegend subtraktiven (abtragenden) Fertigungstechnologien. Hier wird das Material Schicht für Schicht bis zum fertigen Produkt aufgetragen, wobei in der Regel keine Werkzeuge notwendig sind, die selbst zeit- und kostenintensiv hergestellt werden müssten. Aufgrund der hohen Gestaltungsfreiheit kann jedes Bauteil individuell gefertigt werden. Gezielt gedruckte Verstärkungsstreben erhöhen beispielsweise die Bauteilfestigkeit an mechanisch stark beanspruchten Stellen. Durch die einfache Herstellung von Leichtbaustrukturen kann eine Materialeinsparung von bis zu 60 Prozent erreicht werden.

Die additive Fertigung eröffnet in der Produktentstehung zusätzlich neue Möglichkeiten mittels kombinierbarer Werkstoffe sowie der Funktionsintegration. Es können zum Beispiel innen liegende Kühlkanäle oder elektrische Leiterbahnen hergestellt werden, die mit klassischen Fertigungsverfahren nicht oder nur sehr schwer realisierbar wären. Dazu sind neue Formen der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Forschungspartnern und der Industrie sowie zwischen Herstellern und Kunden notwendig.

Dabei wird ein ganzheitlicher Ansatz von der Idee bis zum Produkt verfolgt. Der Kunde mit seinen individuellen Anforderungen rückt in den Mittelpunkt der Produktentstehung. Mithilfe additiver Fertigungsverfahren können Kleinstserien bis hin zur Losgröße 1 ohne

größeren Aufwand hergestellt werden. Die dezentrale Fertigung von Bauteilen ist beispielsweise im Ersatzteilwesen von Bedeutung: Die benötigten Teile können zeitgerecht dort produziert werden, wo sie zum Einsatz kommen. Wo vorhandene Standards nicht ausreichen, sind neue Richtlinien und Normenvorschläge zu erarbeiten, um das Zusammenspiel mit Systemen und Komponenten zu gewährleisten.

Technologiekompetenzen für die additive Fertigung ausbauen

Die additive Fertigung läuft überwiegend automatisiert ab. Die Basis bilden Daten, die aufbereitet werden müssen, um das zu fertigende Produkt Schicht für Schicht herzustellen. Durch die endkonturnahe Fertigung reduzieren sich sämtliche Bearbeitungsschritte auf ein Minimum. Beispielsweise sind für Gussbauteile, wie komplexe Getriebegehäuse, mindestens vier, oft aber mehr Herstellungs- und Bearbeitungsschritte notwendig. Mit einer additiven Fertigung reduzieren sich diese auf ein bis zwei Arbeitsschritte.

Damit sind additive Fertigungsverfahren geeignet, bestehende Arbeitsabläufe in der Produktion zu verkürzen oder zu ergänzen. Bei individuellen Produkten reduziert sich mit entsprechend flexibler Datenaufbereitung der Aufwand für die Arbeitsplanung, Herstellung und Fertigungssteuerung signifikant. Um dieses Potenzial nutzen zu können, ist ein umfassendes Prozessverständnis zur Verbesserung von additiv gefertigten Produkten durch neue Fertigungsanlagen und Systemkomponenten zu erarbeiten. Innovative

Steuerungskonzepte für die Integration der Vor- und Nachbearbeitung der Bauteile mittels konventioneller Fertigungsmethoden sind hierzu notwendig.

Häufig weisen die gefertigten Produkte unterschiedliche Eigenschaften auf, obwohl diese mit demselben Datensatz gefertigt wurden. Die Reproduzierbarkeit, Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit der Produktion bei der Nutzung der additiven Verfahren müssen verbessert werden. Daher benötigt man im industriellen Alltag geeignete Prüfmethode, welche in additive Fertigungsabläufe integrierbar sind. Ebenfalls müssen Aspekte der Produktsicherheit und des Arbeitsschutzes, der Wiederverwertung sowie des Umweltschutzes berücksichtigt werden.

Innovative Materialien zur additiven Fertigung

Die überwiegend eingesetzten Werkstoffe in der additiven Fertigung sind Metalle, Kunststoffe, Verbundwerkstoffe und Keramiken. Denkbar sind viele Kombinationen und Rezepturen, je nachdem, welche Produkteigenschaften und Funktionalitäten erreicht werden sollen. Neu zu entwickelnde hochleistungsfähige Materialien, wie beispielsweise biogene Materialien für Implantate, sind unverzichtbare Wegbereiter für innovative Produkte.

Neben der Bereitstellung neuer Materialien und der dazu benötigten Anlagentechnik ist beispielsweise die pulvermetallurgische Aufbereitung der Werkstoffe ein noch bestehendes Nadelöhr für eine industrielle Anwendung der additiven Fertigung. Die Qualität, Partikelgröße und Kornverteilung des bereitgestellten Pulvers als Ausgangsmaterial haben einen merklichen Einfluss auf die spätere Bauteilqualität und müssen für die Verarbeitung in den entsprechenden additiven Verfahren optimiert und entwickelt werden.

Dazu sind hoch entwickelte komplexe Simulationsverfahren zu erarbeiten, die Fabrikationsprozesse virtuell darstellen, optimieren und Fehler bereits vor dem Druckbeginn erkennen und beseitigen. So lassen sich Werkstoffe, Gestalt des Bauteils und Prozessparameter optimal aufeinander abstimmen, noch bevor die Produktionsanlagen in Gang gesetzt werden. Auf diese Weise entstehen aus hochwertigen Werkstoffen auch maßgenaue Bauteile, die frei von Verzug sind, optimale minimale Eigenspannungen aufweisen und die erforderliche Oberflächengüte und notwendigen

Festigkeitswerte erreichen. Die Erkenntnisse lassen sich anschließend auf eine große Anzahl verschiedenartiger Werkstoffe anwenden. Damit wird deutlich, wie untrennbar Werkstoff und Produktionsprozess miteinander verzahnt sind.

Mit diesem innovativen Material- und Produktionswissen kann in Zukunft die additive Fertigung ihr volles Potenzial entfalten: Die additive Fertigung findet zukünftig ihre Anwendung nicht nur im maßgeschneiderten Prototypen- und Werkzeugbau, sondern auch bei komplexen Massenprodukten des Automobilbaus sowie bei sicherheitsrelevanten Bauteilen der Luft- und Raumfahrttechnik und in der Medizintechnik.

Verbundforschung vernetzt verschiedene Disziplinen

Die Forschungsarbeiten basieren auf den beiden Rahmenprogrammen „Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen“ und „Vom Material zur Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF). Als Projektergebnisse werden neue Methoden, Werkzeuge, Verfahren, Anlagen, Materialien, Richtlinien, Leitfäden und Konzepte für die industrielle Einführung der additiven Fertigung erarbeitet. Die Erprobung der Ergebnisse erfolgt an konkreten Demonstratoren in Pilotbereichen mit Referenzcharakter.

Die Möglichkeiten der internationalen Kooperation sind ebenfalls dargestellt. Die Einbindung internationaler Partner ermöglicht, neue verfahrensunterstützende Erkenntnisse der additiven Fertigung zu erarbeiten, von denen nicht nur einzelne Unternehmen, sondern ganze Branchen bzw. Forschungsfelder profitieren.

Die vorgestellten 23 Projekte mit 150 Partnern aus Industrie und Forschung werden bis 2020 vom BMBF mit rund 40 Millionen Euro gefördert.

Mehr Gestaltungsfreiheit und ressourceneffiziente Herstellung vor Ort

Additiv gefertigte Bauteile – haltbar und sicher

Ständig hoch belastete Bauteile, wie Fahrwerks- oder Hydraulikkomponenten für die Luftfahrt, stellen bei Versagen ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Additive Fertigungstechnologien bieten hier ein Verbesserungspotenzial. Diese Verfahren werden gegenwärtig durch das mangelnde Verständnis über die Wechselwirkung zwischen dem Werkstoff, der Prozessführung und der daraus resultierenden Betriebsfestigkeit bezüglich der Lebensdauer und Sicherheit der Bauteile limitiert.



Lasteinleitungsbeschlag Frachtraum

Ohne dieses Verständnis können solche Bauteile als lasttragende Endprodukte mit reproduzierbaren, prognostizierbaren Eigenschaften nicht additiv gefertigt werden.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts BadgeB ist die systematische Untersuchung der Wechselwirkung der erzielbaren mechanischen Eigenschaften von Bauteilen und der dazu notwendigen Prozessführung in der additiven Herstellung. Am Beispiel des selektiven Laserschmelzens wird anhand von Nickelbasislegierungen, Aluminiumlegierungen sowie für einen Metall-Kunststoff-

Verbund der Fertigungsprozess für lasttragende Endprodukte im realen Einsatz qualifiziert.

Technologie und Methodik

Dazu werden zunächst Probekörper aus verschiedenen Qualitäten der Ausgangspulver und mittels verschiedener Einstellungen der Prozessparameter, wie Bauteilausrichtung, Belichtungsstrategie und Laserstrahl-Parameter, gefertigt. Die sich daraus

ergebenden Oberflächen und Mikrostrukturen werden charakterisiert. Anschließend wird die Belastbarkeit dieser Probekörper, wie Lastwechsel und Lastniveau, experimentell ermittelt. Daraus wird ein Bemessungskonzept für die Auslegung der sicherheitsrelevanten Bauteile abgeleitet. Diese Kenntnisse werden verwendet, um ausgewählte Bauteile aus dem Automobilbau und der Luftfahrt auf möglichst geringes Gewicht bei einer geforderten Lebensdauer optimieren zu können.

Anwendungen und Ergebnisse

Die im Projekt erarbeiteten Erkenntnisse werden für den weltweit ersten Einsatz eines Bemessungskonzepts für sicherheitsrelevante Bauteile verwendet, welche mittels selektiven Laserschmelzens zuverlässig hergestellt werden können. Hierzu wird frühzeitig mit den entsprechenden Zulassungsbehörden zusammengearbeitet. Dies ermöglicht zukünftig, auf Kundenwünsche zugeschnittene Komponenten wirtschaftlich zu realisieren. Bei der Auslegung von hochbelastbaren Bauteilen und der anschließenden additiven Herstellung von Fahrwerks- und Tragstrukturen kann damit im Automobilbau, im Schienenverkehr und in der Luftfahrt zusätzlich Gewicht und somit Treibstoff eingespart werden.

Projektpartner und -aufgaben

- **Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Darmstadt**
Auslegung von Bemessungskonzepten für additiv gefertigte Bauteile
- **Airbus Space and Defense GmbH, Airbus Group Innovations, Taufkirchen**
Analyse der im Bauteil nutzbaren Werkstoffeigenschaften
- **C.F.K. CNC-Fertigungstechnik Kriftel, Kriftel/Taunus**
Prozessentwicklung und -optimierung für den Werkstoff Inconel
- **EDAG Engineering GmbH, Fulda**
Lebensdauergerichtetes Design additiv gefertigter Bauteile für den Automobilbau
- **EOS GmbH Electro Optical Systems, Krailling**
Optimierung des Laser-Pulverbett-Schmelzens
- **Heraeus Additive Manufacturing GmbH, Hanau**
Anpassung von Pulver und Materialien
- **Robert Bosch GmbH, Laser Material Processing & Joining Technology, Renningen**
Design und Fügen hybrider Werkstoffsysteme (Metall und Kunststoff)
- **Linde AG, Unterschleißheim**
Optimierung des Gasmanagements
- **Sogeti Deutschland GmbH, Sogeti High Tech, Hamburg**
Designoptimierung additiv gefertigter Bauteile für die Luftfahrt
- **TU Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW und Staatliche Materialprüfungsanstalt Darmstadt und Fachgebiet und Institut für Werkstoffkunde MPA-IfW, Darmstadt**
Anpassung des SLM-Prozesses und der SLM-Prozessparameter, Werkstoff- und Bauteilcharakterisierung

Projekt	Betriebsfestigkeit additiv gefertigter Bauteile (BagdeB)
Koordination	Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF Herr Dr.-Ing. Rainer Wagener Bartningstraße 47 64289 Darmstadt Tel.: 06151 705-444 E-Mail: rainer.wagener@lbf.fraunhofer.de
Projektvolumen	4.583 Tsd. Euro (davon 2.369 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.04.2017 bis 31.03.2020
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/BagdeB
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Frau Dr. Katharina Arnold Tel.: 0721 608-24721 E-Mail: katharina.arnold@kit.edu



Gitterstrebe für eine bionisch geformte Kabinen-Trennwand „Bionic Partition“

3D-Drucken in der Großserienfertigung: Die Kombination macht's!

Die additive Fertigung (3D-Druck) ermöglicht die Herstellung komplexer Bauteilstrukturen, die bislang nicht möglich waren. Es lassen sich beispielsweise bionische Gitterstrukturen in Zahnräder einbringen, die diese leichter und leiser machen. Aufgrund der noch hohen Herstellkosten werden die Fertigungsverfahren aktuell nur selten in der Serienproduktion angewandt. Hinzu kommt, dass aufgrund fehlender Konstruktionsempfehlungen das Potenzial nicht voll ausgeschöpft werden kann. Zudem führt die mangelnde Prozessfähigkeit der additiven Verfahren zu einem hohen Ausschuss.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts KitkAdd ist, durch Kombination der additiven Fertigung mit etablierten Fertigungsverfahren, wie Zerspanen, Sintern sowie Spritzgießen, den gesamten Herstellungsaufwand zu senken. Eine neuartige Prozessüberwachung mit Ultraschallsensorik soll zusätzlich den entstehenden Ausschuss minimieren.

Technologie und Methodik

Zunächst werden ausgewählte Bauteile der beteiligten Unternehmen herangezogen und analysiert. Dazu gehören Zahnräder, eine Turbinenschaufel für Gasturbinen, ein Hydraulikblock für Arbeitsmaschinen sowie Komponenten für Brennstoffzellen. Die Analyse

dient zur Identifikation der Bauteilbereiche, welche beispielsweise durch Gitterstrukturen eine deutliche Verbesserung der Produkteigenschaften durch eine additive Fertigung erreichen. Zur Gestaltung dieser Bauteile werden dabei Konstruktionsempfehlungen erarbeitet, welche die Angabe von möglichen Fertigungsgenauigkeiten und Konstruktionsrichtlinien beinhalten. Weitere Bauteilbereiche werden anschließend mit etablierten Fertigungsverfahren weiterbearbeitet. Die Qualitätssicherung wird durch ein innovatives Ultraschallmessprinzip verbessert, das eine Reduktion von Eigenspannungen im Bauteil während der Fertigung gewährleistet und somit Ausschuss minimiert. Für die betrachteten kombinierten Prozessketten werden anschließend zukünftige Fabrikkonzepte zur additiven Fertigung für Großserien entwickelt.

Anwendungen und Ergebnisse

Als Ergebnis liegt eine an die additive Fertigung angepasste Konstruktionsmethode vor, die dem Anwender erzielbare Fertigungsgenauigkeiten beschreibt. Produkte können damit so gestaltet werden, dass zum Beispiel durch das Einbringen von Gitterstrukturen ein deutlich höherer Produktnutzen erzielt wird. Für die betrachteten Bauteile werden industrielle Produktionskonzepte erstellt, die im Vergleich zur rein additiven Prozesskette eine wirtschaftlichere Herstellung ermöglichen. Die

Reduzierung des Ausschusses im additiven Fertigungsprozess durch das entwickelte Ultraschallmesssystem wird zu einer Etablierung der additiven Verfahren in weiteren Branchen, wie beispielsweise dem Fahrzeugbau sowie dem Maschinen- und Anlagenbau, beitragen. Die Projektergebnisse werden in verschiedene Standardisierungsgremien, wie z. B. die Fachausschüsse des „Vereins Deutscher Ingenieure“ (VDI), eingebracht.

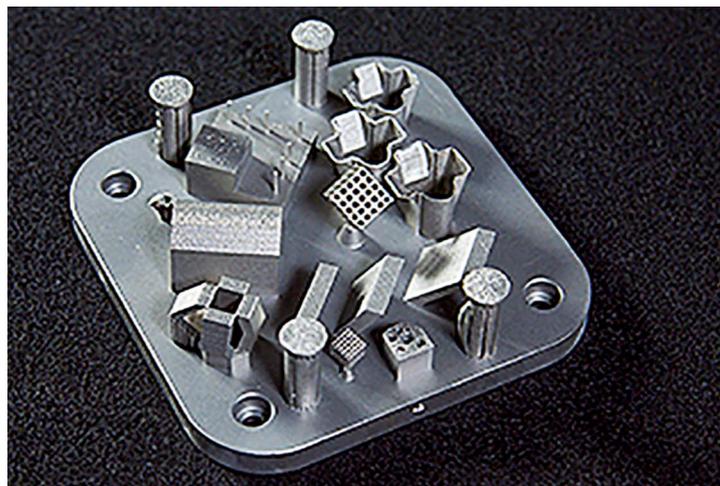


Additiv gefertigte Gasturbinenschaufeln werden für den Einsatz vorbereitet.

Projektpartner und -aufgaben

- Siemens AG, Berlin**
 Entwicklung kombinierter Prozessketten und innovativer Ultraschall-Messtechnik und Umsetzung anhand von Demonstratoren
- Eisenhuth GmbH & Co. KG, Osterode am Harz**
 Prozesskettenentwicklung mit integrierter Spritzgusstechnologie
- GKN Sinter Metals Engineering GmbH, Radevormwald**
 Prozesskettenentwicklung mit integrierter Sinter-technologie und Umsetzung für Demonstratorbauteile
- H&H Gesellschaft für Engineering und Prototypenbau mbH, Leopoldshöhe**
 Entwicklung und technisch-wirtschaftliche Bewertung von kombinierten Prozessketten
- John Deere GmbH & Co. KG, Mannheim**
 Prozesskettenentwicklung im Bereich Thermo- und Fluidodynamik und Umsetzung an Demonstratoren
- Karlsruher Institut für Technologie, Institut für Produktionstechnik wbk, Karlsruhe**
 Methodenentwicklung für kombinierte Prozessketten, Entwicklung der Ultraschallmesstechnik
- Schübel GmbH Primeparts, Talheim**
 Entwicklung von Konstruktionsmethoden und Umsetzung für Anwenderbauteile
- Universität Paderborn, Institut für Konstruktions- und Antriebstechnik KAT, Paderborn**
 Entwicklung einer Konstruktionsmethodik mit Konstruktionsrichtlinien und geometrischen Toleranzen

Projekt	Kombination und Integration etablierter Technologien mit additiven Fertigungsverfahren in einer Prozesskette (KitkAdd)
Koordination	Siemens AG Herr Martin Schäfer Siemensdamm 50 13629 Berlin Tel.: 030 386-23087 E-Mail: martin.schaefer@siemens.com
Projektvolumen	5.267 Tsd. Euro (davon 3.196 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.01.2017 bis 31.12.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/KitkAdd
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Stefan Scherr Tel.: 0721 608-25286 E-Mail: stefan.scherr@kit.edu



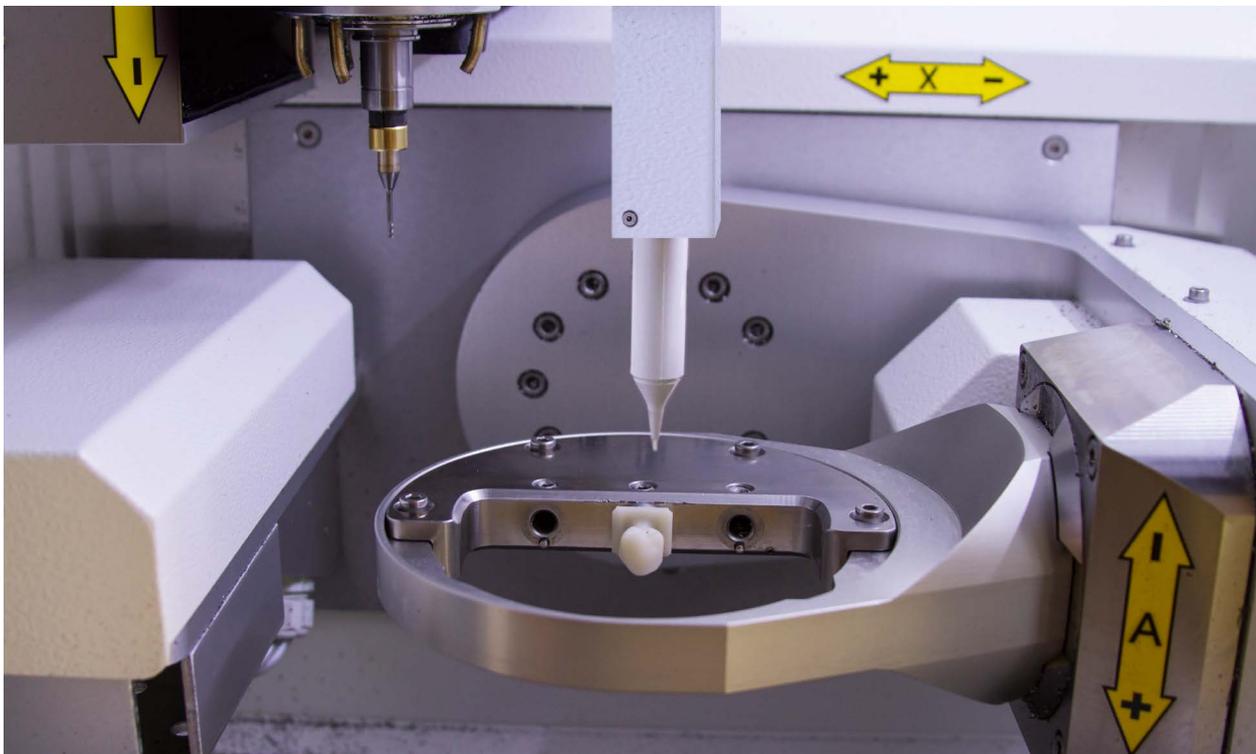
Der Formenvielfalt sind bei additiver Fertigung praktisch keine Grenzen gesetzt.

Automatisierte Herstellung von ästhetischem Zahnersatz

Die Herstellung von ästhetischem Zahnersatz basiert zu einem großen Teil auf Handarbeit. Diese führt zu langen Fertigungszeiten und verursacht schwankende Qualität. Dadurch entstehen den etwa 10.000 deutschen Dentallaboren zusätzliche Kosten. Zur Herstellung von Zahnersatz wird bislang ein hochfestes Zahngerüst aus Keramik geätzt. Auf dieses Gerüst werden mehrere farblich angepasste Verblendschichten manuell aufgebracht. Die additive Fertigung von äs-

Technologie und Methodik

Zunächst werden die Anforderungen an den Herstellungsprozess, wie Materialmix und Farbverlauf der Verblendung, festgelegt. Darauf erfolgt die Weiterentwicklung von Material und additivem Fertigungsverfahren. Anschließend wird ein Maschinenkonzept zur Herstellung des Zahnersatzes prototypisch entwickelt und aufgebaut. Dieser Maschinendemonstrator wird in der Lage sein, mehrere Schichten des keramischen



Automatisierter multimaterialer Materialauftrag MYTHOS

thetischem und funktionell hochwertigem Zahnersatz verspricht hierbei ein großes Verbesserungspotenzial. Dazu müssen die Grundlagen erforscht werden, um die pastösen Stoffgemische für die Verblendung in der erforderlichen Weise additiv verarbeiten zu können.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts MYTHOS ist die Entwicklung eines automatisierten Verfahrens zur additiven Herstellung von mehrfarbigen Verblendungen dentaler Gerüstwerkstoffe. Dabei steht die Übertragbarkeit auf weitere Branchen im Vordergrund.

Verblendmaterials auf das Zahngerüst aufzubringen und diese jeweils auszuhärten. Das für die Zahnherstellung bestehende CAD/CAM-System wird in die digitale Prozesskette integriert und erprobt.

Anwendungen und Ergebnisse

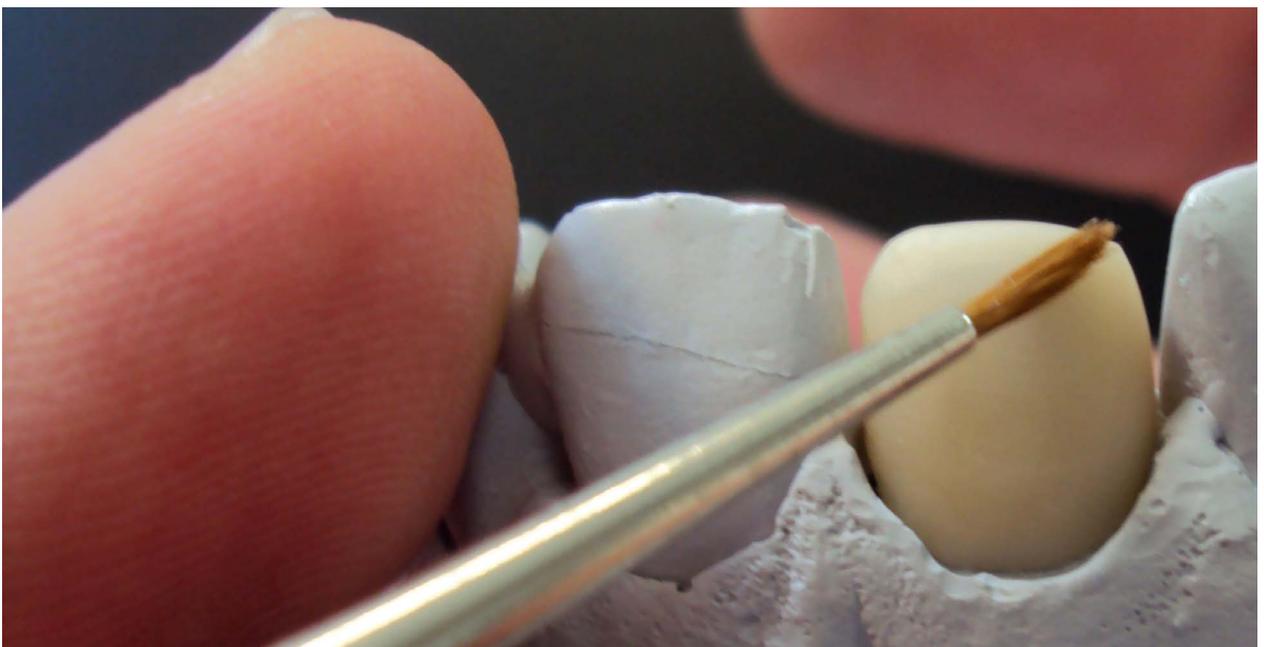
Im Erfolgsfall entsteht eine Maschine für die additive Herstellung von ästhetischem Zahnersatz einschließlich der dafür erforderlichen Software und der Prozesstechnik für die automatisierte Verblendung. Das automatisierte Verfahren lässt eine Reduktion der Herstellkosten für verblendeten Zahnersatz von etwa

einem Dittel erwarten. Darüber hinaus steigt die Präzision in der Fertigung, und die Herstellzeiten verkürzen sich. Die Technologie lässt sich auf weitere Anwendungen, wie beispielsweise die Herstellung von Schmuck oder die keramische Verblendung von Turbinenschaukeln, übertragen.

Projektpartner und -aufgaben

- **imes-icore GmbH, Eiterfeld**
Entwicklung der Maschinen für die additive Herstellung
- **SCHOTT SYSTEME GmbH, Gilching**
Erweiterung bestehender CAD/CAM-Systeme
- **VITA Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen**
Ermittlung und Weiterentwicklung der Material- und Prozessparameter
- **Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion DiK und Fachgebiet Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW, Darmstadt**
Erforschung der additiven digitalen Prozesskette, Entwicklung der multimateriellen hybriden Produktionstechnologie

Projekt	Multimateriale hybride Technologie für die additive Herstellung in dentalen Prozessketten (MYTHOS)
Koordination	imes-icore GmbH Herr M.Sc. Sebastian Ullrich Im Leibolzgraben 16 36132 Eiterfeld Tel.: 0667 2898-475 E-Mail: sebastian.ullrich@imes-icore.de
Projektvolumen	2.356 Tsd. Euro (davon 1.349 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.01.2017 bis 31.12.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/MYTHOS
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Ulf Zanger Tel.: 0721 608-25296 E-Mail: ulf.zanger@kit.edu



Der Auftrag von Suspensionen zur Verblendung von Zahnersatz erfordert Geschick.

Softwaregestützter Produktentstehungsprozess für die additive Fertigung

In der additiven Fertigung werden Bauteile schichtweise und ohne aufwendige Werkzeuge hergestellt. Aufgrund dieser Vorteile wecken die additiven Fertigungsverfahren zunehmend Interesse bei Industrie und Forschung, wie in der Luft- und Raumfahrttechnik. Limitierende Faktoren, wie das Fehlen von entsprechender Software für den Produktentstehungsprozess (PEP) sowie Methoden zur erfolgreichen Integration der additiven Fertigung im Unternehmen, schränken eine Verbreitung ein. Um die additiven Verfahren zu etablieren, müssen die Wirtschaftlichkeit sowie die Zuverlässigkeit durch eine ganzheitliche, digitale Unterstützung bereits im Produktentstehungsprozess berücksichtigt werden.

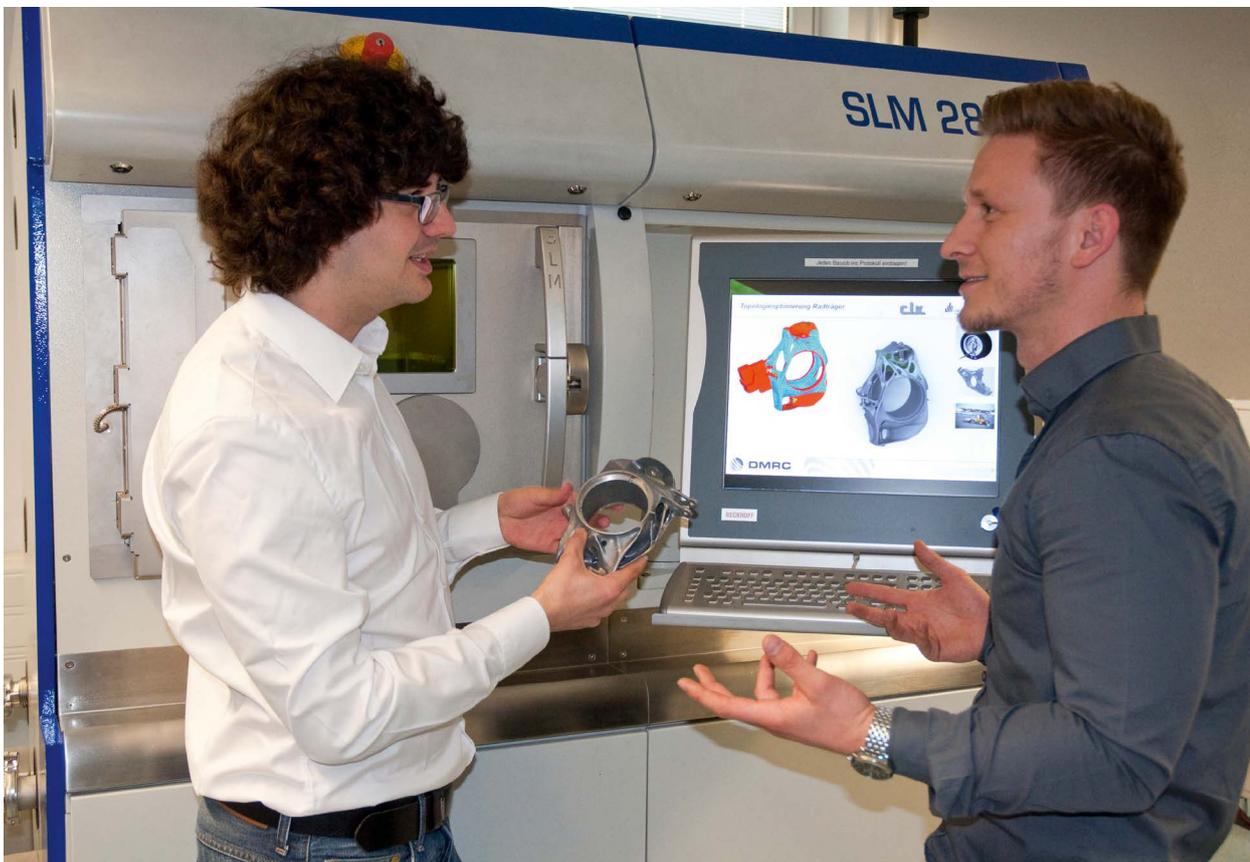
Aufgaben und Ziele

Das Ziel des Verbundprojekts OptiAMix ist die Entwicklung von Konstruktionsmethoden für additiv gefertigte Bauteile. Dieses konstruktionsunterstützen-

de Softwarewerkzeug erlaubt eine geeignete Auslegung von Bauteilen, die verschiedene Anforderungen, wie die Belastbarkeit, die Kosten und den Fertigungsaufwand, im Vorfeld gewichtet und automatisch berücksichtigt.

Anwendungen und Ergebnisse

Bei erfolgreicher Umsetzung steht ein Softwarewerkzeug bereit, mit dem die automatisierte Gestaltung von additiv gefertigten Bauteilen kosten-, nachbearbeitungs- und belastungsgerecht erfolgen kann. Dies verkürzt die Konstruktionszeiten erheblich. Die neuen Methoden erlauben den Konstrukteurinnen und Konstrukteuren bereits im frühen Entwicklungsstadium, den effizienten Einsatz von additiven Fertigungsverfahren zu planen. Die Anwendung der Ergebnisse auf weitere Branchen, wie beispielsweise die Medizintechnik, wird angestrebt.



Softwarebasierte Optimierung in der Produktionsentstehung eines Radträgers

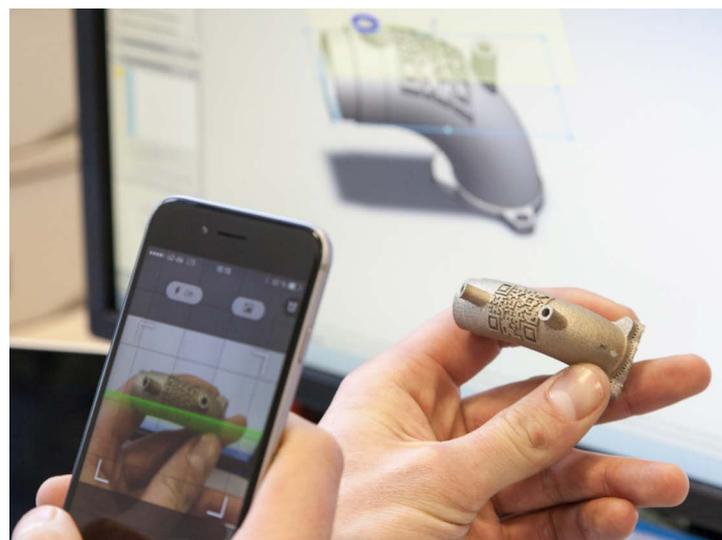
Technologie und Methodik

Hierbei wird der gesamte Ablauf des PEP betrachtet. Dazu werden Methoden und Werkzeuge zur strategischen Bauteilauswahl, -gestaltung und zur Ermittlung bauteilorientierter mechanischer Kennwerte, wie die Festigkeit und Oberflächenbeschaffenheit, entwickelt. Weiter werden optimierte Konstruktionsregeln methodisch und experimentell fundiert erarbeitet sowie die interdisziplinäre Zusammenarbeit der Unternehmensbereiche und der Produktschutz unterstützt. Eine Überprüfung der Projektergebnisse erfolgt anhand von Demonstratoren aus den Bereichen Automobiltechnik, Lebensmitteltechnik sowie dem Maschinen-, Anlagen- und Werkzeugbau.

Projektpartner und -aufgaben

- WP Kemper GmbH, Rietberg**
 Anforderungs- und Schnittstellendefinition für die interdisziplinäre Zusammenarbeit sowie die Bewertung der Ergebnisse
- EDAG Engineering GmbH, Wiesbaden**
 Überprüfung der Anwendbarkeit der erarbeiteten Softwaretools zur Optimierung und Kennzeichnung von AM-Karosseriebauteilen
- Hirschvogel Umformtechnik GmbH, Denklingen**
 Ermittlung branchenspezifischer Fertigungsrandbedingungen für die konventionelle Nachbearbeitung der additiven Bauteile
- Intes GmbH, Stuttgart**
 Anpassung aktueller Software für eine belastungsgerechte Konstruktion unter Berücksichtigung der Anforderungen additiver Fertigungsverfahren
- Krause DiMaTec GmbH, Bielefeld**
 Verallgemeinerung und Automatisierung des Auswahlverfahrens für Bauteilkandidaten unter Einfluss branchenspezifischer Faktoren
- Universität Paderborn, Lehrstuhl für Computeranwendung und Integration in Konstruktion und Planung CIK, Paderborn**
 Methodenentwicklung zur Teileauswahl, -optimierung und -markierung, Ermittlung von Konstruktionsregeln und mechanischer Kennwerte

Projekt	Mehrzieloptimierte und durchgängig automatisierte Bauteilentwicklung für additive Fertigungsverfahren im Produktentstehungsprozess (OptiAMix)
Koordination	WP Kemper GmbH Herr Dr. Michael Euler Lange Straße 8-10 33397 Rietberg Tel.: 05244 402-4232 E-Mail: michael.euler@wp-kemper.de
Projektvolumen	4.353 Tsd. Euro (davon 2.540 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.01.2017 bis 31.12.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/OptiAMix
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projekträger	Projekträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Stefan Scherr Tel.: 0721 608-25286 E-Mail: stefan.scherr@kit.edu



Additiv gefertigte QR-Codes als fertigungsintegrierte Maßnahme zur Bauteilmarkierung

Technologiekompetenzen für die additive Fertigung ausbauen

3D-Druck für Metallspiegel mit maßgeschneiderten Eigenschaften

Maßgeschneiderte Metallspiegel mit exzellenten Eigenschaften finden Anwendungen in Spektrometern, Scannern und Teleskopen. Die Optimierung dieser Metallspiegel erfolgt hinsichtlich optischer, mechanischer und thermischer Eigenschaften, wie übertragbarer Laserleistung, Formgenauigkeit, Steifigkeit, Gewicht oder Temperaturstabilität. Die additive Fertigung auf Grundlage des selektiven Laserschmelzens (SLM) ermöglicht, optische Komponenten, wie Spiegel und deren mechanische Halterung, mit zusätzlichen Funktionen auszustatten. Darüber hinaus können neue Geometrien erzeugt werden, die mit bisherigen Fertigungsverfahren nicht herstellbar sind. Zusätzlich kann Material und somit Gewicht eingespart werden. Dabei müssen die Metallspiegel die industriellen Anforderungen an Hochleistungsoptiken, wie Festigkeit, Oberflächenqualität oder Wärmeabfuhr erfüllen.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts AM-OPTICS ist die Weiterentwicklung eines reproduzierbaren SLM-Prozesses

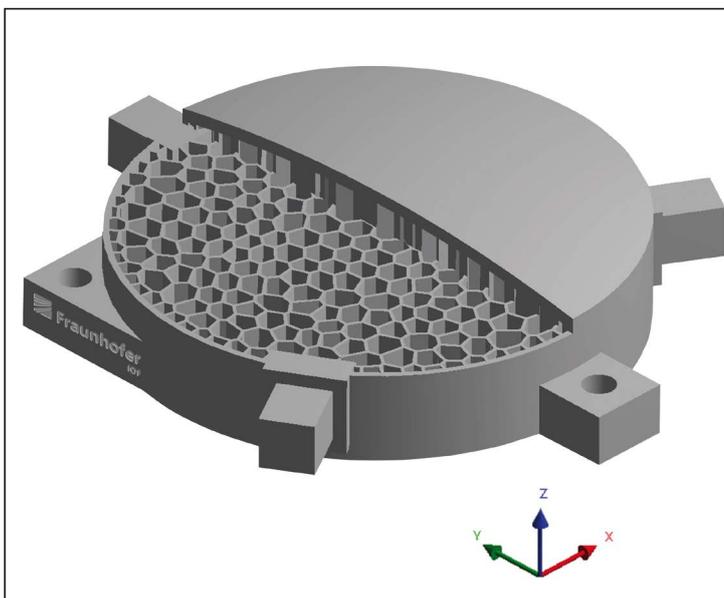
zur Herstellung optischer Komponenten, wie beispielsweise leichtgewichtige Metallspiegel für hochpräzise Anwendungen. Hierzu wird eine geschlossene Technologiekette unter Verwendung von Lasern mit kurzen Lichtpulsen aufgebaut und erprobt.

Technologie und Methodik

Beginnend beim Bauteildesign, der Materialanpassung über die Anlagen- und Prozesstechnik bis zur Nachbearbeitung durch Beschichtung oder Ultrapräzisionsdrehen mit Diamantwerkzeugen werden alle relevanten Schritte analysiert und entsprechend weiterentwickelt. Dazu wird eine SLM-Experimentalmaschine aufgebaut, um die hohen Ansprüche aller dazu notwendigen Prozessschritte optimal aufeinander abstimmen zu können. Die Erprobung erfolgt an drei exemplarischen Metallspiegeln: Ein hochdynamischer Scanspiegel soll laserstabil und gewichtsoptimiert sein. Ein ultraleichter Weltraumspiegel muss die hohen Anforderungen hinsichtlich Festigkeit für Raketenstarts und Formstabilität erfüllen. Ein gekühlter Laserspiegel soll durch integrierte Kühlkanäle die eingebrachte Strahlungswärme effizient abführen können.

Anwendungen und Ergebnisse

Erstmalig wird es möglich sein, das hohe Potenzial der SLM-Fertigung gezielt auf Komponenten, wie beispielsweise Metallspiegel für die Anwendung in der Hochleistungsoptik, anzupassen. Die hierzu benötigten Wandstärken und geforderten Oberflächenrauheiten der Bauteile können deutlich verbessert werden. Die Projektergebnisse sichern die Wettbewerbsvorteile deutscher Hightech-Unternehmen, ermöglichen die Entwicklung innovativer Produkte und unterstützen die Erschließung neuer Wachstumsmärkte in der Produktion, Lasermaterialbearbeitung sowie Luft- und Raumfahrt.



Spiegelmodell mit internen Leichtgewichtsstrukturen

Projektpartner und -aufgaben

- ARGES GmbH, Wackersdorf**
 Design, Aufbau und Erprobung der Experimentalmaschine am Beispiel hochdynamischer Scanspiegel
- Fraunhofer Institut für angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena**
 Design, Entwicklung selektives Laserschmelzen, Fertigungserprobung und Endbearbeitung
- Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Angewandte Physik IAP, Jena**
 Aufbau und Erprobung Experimentalmaschine für selektives Laserschmelzen mit Ultrakurzpuls laser
- Hentschel Harteloxal GmbH + Co. KG, Schorndorf**
 Entwicklung und Erprobung der Beschichtung und Funktionsschichten
- Jena-Optronik GmbH, Jena**
 Design und Erprobung des Demonstrators ultraleichter Spiegel
- optiX fab GmbH, Jena**
 Entwicklung der Vergütungsschichten, Erprobung des Demonstrators gekühlter Spiegel
- Pleiger Laseroptik GmbH & Co. KG, Witten**
 Auslegung der Vergütungsschichten, Aufbau der Experimentalmaschine

Projekt	Additive Fertigung optischer Hochleistungskomponenten (AM-OPTICS)
Koordination	ARGES GmbH Herr Patrick Stolarczyk Werk 4 92442 Wackersdorf Tel.: 09431 7984-167 E-Mail: stolarczyk@arges.de
Projektvolumen	3.460 Tsd. Euro (davon 2.014 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.02.2017 bis 31.07.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/AM-OPTICS
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Frau Dr. Katharina Arnold Tel.: 0721 608-24721 E-Mail: katharina.arnold@kit.edu



Leichtgewichtsspiegel auf Ultrapräzisionsbearbeitungsmaschine

Großflächige Bauteile aus faserverstärkten Materialien durch 3D-Drucken

Die Produktion mittels additiver Fertigung kann eine wirtschaftliche Alternative zu traditionellen Herstellungsverfahren für komplexe Produkte mit kleinen Stückzahlen sein. Beispielsweise können durch 3D-Druck individuelle und standortangepasste Maschinenbauteile für Windenergieanlagen zur Verbesserung der Aerodynamik gefertigt werden. Vorteil hierbei ist, dass keine teuren und aufwendigen Gussformen angefertigt werden müssen. Bislang sind mit additiven Verfahren hergestellte Bauteile noch überwiegend Labormuster, da diese den im Einsatz auftretenden Kräften

Technologie und Methodik

Im Projekt werden sowohl die notwendige Maschinenteknik als auch die passenden Materialien entwickelt. Die großvolumigen Bauteile werden durch das lagenweise Auftragen einzelner Schichten aus Schaumstoff oder aus mit Schnitffasern verstärkten Kunststoffen, beispielsweise Harze auf Basis von Epoxid und Polyurethan, hergestellt. Diese Bauteile können zusätzlich gezielt mittels Endlosfasern aus Carbon oder Glas verstärkt werden. Darüber hinaus wird eine Software für die additive Fertigung von faserverstärkten Produkten entwickelt, welche die individuelle Auslegung und Herstellung der Bauteile für den späteren Einsatz verbessert. Die entwickelten Systemkomponenten werden in eine Demonstrationsanlage integriert und mit definierten Testbauteilen erprobt. Ergänzend zu den material-, prozess- und anlagentechnischen Fragestellungen werden Messsysteme zur zerstörungsfreien Prüfung der Bauteilqualität eingesetzt. Dadurch wird sichergestellt, dass die so hergestellten Produkte einen hohen Qualitätsstandard erfüllen.



Demo-Center für 1:1-Prototypenfertigung ASM

nicht zuverlässig standhalten. Die gedruckten Bauteile müssen zukünftig eine höhere Stabilität aufweisen, um überhaupt eingesetzt werden zu können und einen Nutzungszeitraum von mehreren Jahren zu bieten. Erst dann stellt das 3D-Drucken eine echte Alternative zur traditionellen Herstellung dar.

Aufgaben und Ziele

Um den Einsatz von 3D-gedruckten Bauteilen aus faserverstärkten Materialien für industrielle Anwendungen zu etablieren, wird im Forschungsprojekt ASM ein neuartiges Druckverfahren entwickelt und getestet.

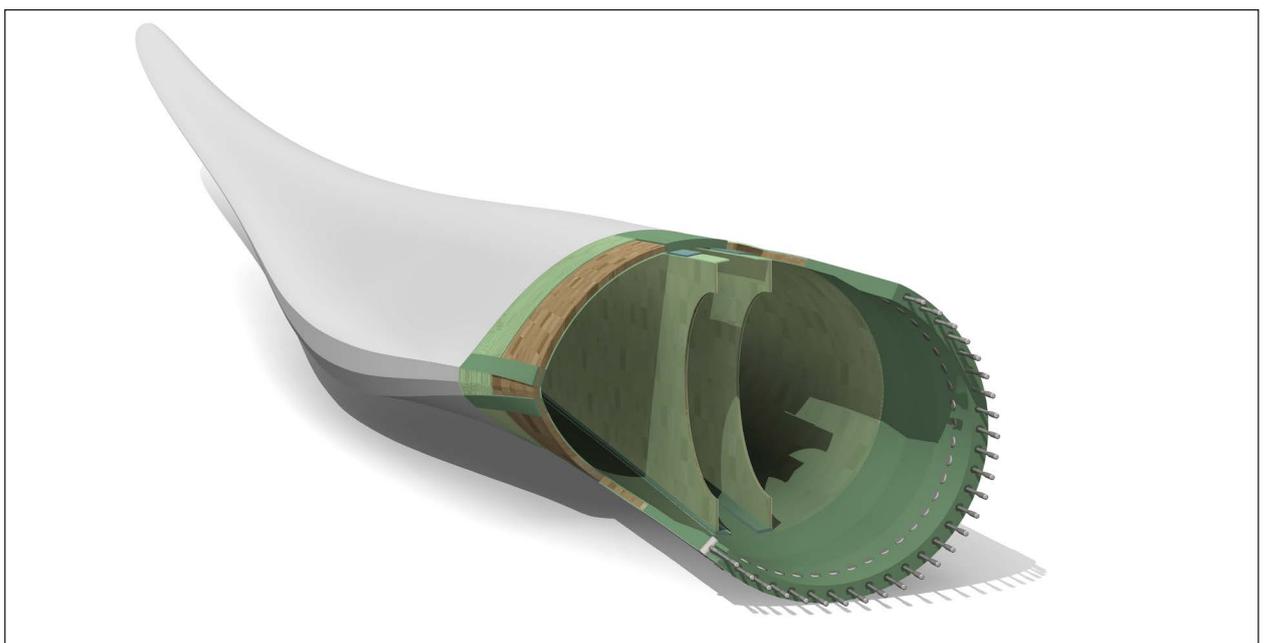
Anwendungen und Ergebnisse

Die im Projekt entwickelten Fertigungsverfahren, die Anlagentechnik sowie die entsprechenden Materialien werden eine Reduzierung der Produktionskosten von über 25 Prozent bei einer Verkürzung der Herstellzeiten von rund 30 Prozent ermöglichen. Die Anlagentechnik und der Produktionsprozess werden so ausgelegt, dass diese je nach Kundenwunsch in unterschiedlichen Größen und mit individuell angepassten Zusatzfunktionen, beispielsweise Fräsen und Schleifen, zur Verfügung stehen. Somit können insbesondere auch produzierende KMU, bei denen kleine bis mittlere Abnahmemengen üblich sind, flexibel auf die Erfordernisse ihrer Kunden eingehen.

Projektpartner und -aufgaben

- **EEW-Protec GmbH, Kiel**
Entwicklung Anlagen- und Maschinenteknik, Erprobung
- **Altropol Kunststoff GmbH, Stockelsdorf**
Entwicklung von faserverstärkten Kunststoffen für 3D-Druck
- **2 Komponenten Maschinenbau GmbH, Marienheide – Rodt**
Entwicklung von integrierten Dosier- und Mischsystemen für die neuen Materialien
- **Materialise GmbH, Bremen**
Entwicklung einer neuartigen Mehrachs-Druckstrategie-Software für faserverstärkte Werkstoffe
- **Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Bremerhaven**
Konzeption, Integration, Erprobung der CAD/CAM-Prozesskette, Bauteilentwicklung und -prüfung
- **GFaI Gesellschaft zur Förderung angewandter Informatik e. V., Berlin**
Umsetzung und Integration der Druckstrategie in die Maschinensteuerung

Projekt	Additive Sandwich Manufacturing – Innovative Prozesskette zur Herstellung faserverstärkter Funktionsbauteile auf Basis von Sandwichstrukturen mittels additiver Fertigung (ASM)
Koordination	EEW-Protec GmbH Herr Joachim Knapp Bunsenstraße 3 24145 Kiel Tel.: 0431 530050-00 E-Mail: jk@eew-protec.de
Projektvolumen	3.925 Tsd. Euro (davon 2.209 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.10.2016 bis 30.09.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/ASM
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Stefan Scherr Tel.: 0721 608-25286 E-Mail: stefan.scherr@kit.edu



Rotorblatt-Schema

Hybrider 3D-Druck ermöglicht schnelle Herstellung komplexer Bauteile

Verfahren der additiven Fertigung kommen in vielen Industriebereichen zur Anwendung. In der Automobilindustrie werden beispielsweise fast alle komplexen Kunststoffteile, wie das Armaturenbrett, zunächst als Muster gedruckt und später in Serie gegossen. Hemmnisse, wie die gegenwärtig eingeschränkte Anzahl an verarbeitbaren Werkstoffen für den 3D-Druck sowie die ungenügende Oberflächenqualität, behindern dabei einen breiteren industriellen Einsatz. Häufig sind zeit- und kostenintensive Nachbearbeitungsprozesse,

hohen Anforderungen einer Fertigung ohne Nachbearbeitung gerecht zu werden. Das Projekt umfasst die Entwicklung einer hybriden Verfahrenslösung, die neue Material- und Multimaterialkompositionen aus Kunststoffen mit funktionalen Zusatzstoffen verarbeiten kann.

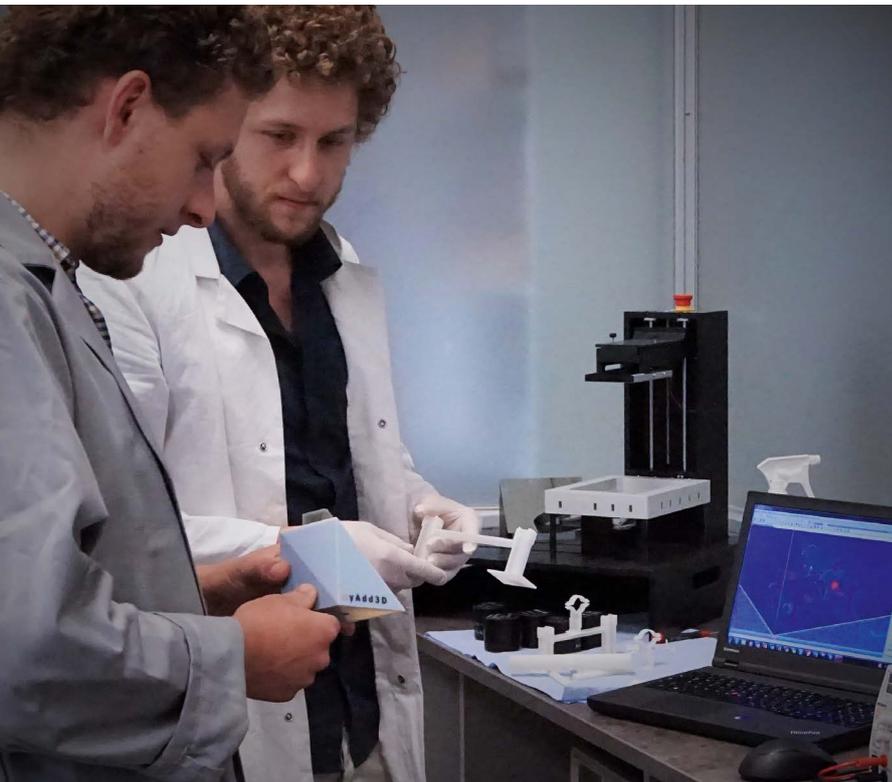
Technologie und Methodik

Dazu wird ein sich schrittweise wiederholender Druckprozess erarbeitet, bei welchem wenige tausendstel Millimeter dünne Schichten übereinander aufgebracht werden. Jede Schicht besteht aus einem innovativen Grundmaterial, das durch zu entwickelnde Druckköpfe farblich und physikalisch verändert wird. So können gezielt entsprechende Eigenschaften, wie elektrische Leitfähigkeit, erreicht werden. Nach dieser Bearbeitung wird jede Schicht durch punktuelle UV-Bestrahlung ausgehärtet. Auf diese Art soll es möglich sein, endformnahe Geometrien bis zu der Größe eines Schuhkartons wirtschaftlich zu fertigen. Die exemplarische Erprobung erfolgt durch einen Anlagendemonstrator am Beispiel verschiedener Produkte aus dem Automobil- und Maschinenbau. Anschließend wird das Verfahren auf industrielle Maßstäbe und große Bau-räume weiterentwickelt.

Anwendungen und Ergebnisse

Bei erfolgreicher Umsetzung ergibt sich eine deutliche Reduzierung der Nachbearbeitungsprozesse, da durch

den präzisen Schichtaufbau glatte Oberflächen erzeugt werden. Die Anlagentechnik ermöglicht neue Anwendungen und den Einsatz von Multimaterialkompositionen, wie beispielsweise intelligente Gehäuse für Hochpräzisionsmessgeräte oder die Fertigung innen liegender Kühlkreisläufe in Spritzgusswerkzeugen.



Hybrider 3D-Druck erlaubt neue Verfahrenslösungen.

wie das Sandstrahlen, Beschichten oder Lackieren, notwendig. Darüber hinaus ist es bislang nur begrenzt möglich, unterschiedliche Werkstoffe, wie beispielsweise Kunststoffe, Keramiken und Metalle, gleichzeitig zu verarbeiten.

Aufgaben und Ziele

Das Ziel des Forschungsprojekts HyAdd3D ist es, mittels einer neuen Anlagentechnik komplexe Bauteile additiv herzustellen und gleichzeitig den

Projektpartner und -aufgaben

- cirp GmbH, Heimsheim**
 Technologische Konzeption und Spezifikation, Test, Validierung und Optimierung des Anlagenprototyps, Demonstration an Kundenteilen
- Uwe Brick BURMS – Rapid Manufacturing Solutions, Jena**
 Entwicklung und Fertigung des Anlagenprototyps, Aufbau und Optimierung des LCD-basierenden Belichtungssystems
- Materialise GmbH, Bremen**
 Schnittstellen, Softwarelösungen zur Anlagensteuerung, Datenvorbereitung, Softwaremodul zur Prozess- und Materialentwicklung
- se ma Gesellschaft für Innovationen mbH, Coswig**
 Entwicklung und Synthese von Kunststoffen, geeigneten Initiatoren, Integration von Füllstoffen und Erweiterung auf industrielle Maßstäbe
- Glatt Ingenieurtechnik GmbH, Weimar**
 Erforschung neuer Konzepte für die Pulversynthese, Erarbeitung einer Verfahrens- und Anlagentechnologie für die Füllstoffherstellung und -funktionalisierung
- PORTEC Gesellschaft für Produktionsorganisation und rechnergestützte Technologien mbH, Zella-Mehlis**
 Vorgaben und Bewertung des HyAdd-3D-Verfahrens sowie deren Materialien für Folgeprozesse des Modell- und Formenbaus sowie Kunststoff- und Metallguss
- Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP, Potsdam**
 Materialentwicklung funktionaler Fotolacke, Synthese und Herstellung von Verbundwerkstoffen

Projekt	Hybrides Verfahren für die additive Multi-materialbearbeitung von individualisierten Produkten mit hoher Auflösung (HyAdd3D)
Koordination	cirp GmbH Herr Christian Seifarth Römerstraße 8 71296 Heimsheim Tel.: 0711 970-1790 E-Mail: seifarth@cirp.de
Projektvolumen	3.358 Tsd. Euro (davon 2.037 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.01.2017 bis 31.12.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/HyAdd3D
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Frau Dr. Katharina Arnold Tel.: 0721 608-24721 E-Mail: katharina.arnold@kit.edu

- Ernst-Abbe-Hochschule Jena University of Applied Sciences – Fachbereich SciTec, Jena**
 Entwicklung des Belichtungssystems, Entwicklung des optischen Systems, Konzeption Belichtungseinheit, Belichtungsstrategien
- TU Ilmenau, Fachgebiet Fertigungstechnik, Ilmenau**
 Modellbildung, Optimierung und Ermittlung von Eigenspannungen und Verzug, Aufstellen von Prognosemodellen

Variable Prozessparameter zur Qualitätssicherung additiv gefertigter Bauteile

Beim Laserstrahlschmelzen werden Bauteile durch Verschmelzen von schichtweise aufgetragenem Metallpulver hergestellt. Dieser komplexe Vorgang erfordert die Festlegung einheitlicher Prozessparameter, wie beispielsweise Laserleistung und Verfahrensgeschwindigkeit des Laserstrahls. Bauteile mit stark variierenden geometrischen Strukturen, wie filigrane oder aber massive Elemente, können bislang nicht qualitätsgerecht hergestellt werden, weil dafür die Prozessparameter während der Fertigung verändert werden müssen. Um das Laserstrahlschmelzen für die Massenfertigung anwendbar zu machen, bedarf es neuer Lösungen zur automatisierten Bestimmung variabler Prozessparameter.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts IndiPro ist die Entwicklung und Umsetzung von Methoden zur automatisierten Bestimmung von optimalen Prozessparametern für die Fertigung komplexer Geometrielemente. Der Fokus liegt dabei auf der Erhöhung der Bauteilqualität

und der gezielten Steuerung des Laserfertigungsprozesses, sodass in einem einzelnen Bauteil anforderungsgerecht verschiedene Eigenschaften erzeugt werden können. Dadurch soll eine deutliche Senkung der Herstellungskosten, insbesondere durch die Integration und Automatisierung verschiedener Schritte in der Fertigungsprozesskette, erreicht werden.

Technologie und Methodik

Im Projekt werden dazu Methoden zur Vorherbestimmung und Beschreibung lokaler Anforderungen an die Bauteileigenschaften erarbeitet. Diese werden mit der automatischen Analyse lokaler geometrischer Eigenschaften des Bauteils, wie beispielsweise Porenfreiheit und Oberflächenbeschaffenheit, kombiniert. Dazu werden innovative Steuerungs- und Überwachungsalgorithmen entwickelt. Die Anwendbarkeit und Leistungsfähigkeit der zu erarbeitenden Softwarewerkzeuge werden anhand der beispielhaften Fertigung von vier Bauteilen aus dem Automobilbau bzw. der Luft- und Raumfahrt demonstriert.

Anwendungen und Ergebnisse

Mit den Vorhabenergebnissen können die technologische Leistungsfähigkeit und das Anwendungsspektrum von Laserstrahlschmelzanlagen wesentlich erweitert werden. Die anforderungsgerechte Herstellbarkeit einzelner Funktionselemente an Bauteilen steigert die Möglichkeiten der industriellen Serienfertigung erheblich. Die deutlich verbesserte Bauteilqualität lässt die branchenübergreifende Anwendbarkeit der Projektergebnisse auch in den Bereichen Medizintechnik und Feinmechanik erwarten.



Additiv gefertigtes Funktionsbauteil mit lokal variierenden Bauteileigenschaften

Projektpartner und -aufgaben

- **EOS GmbH Electro Optical Systems, Krailling**
Maschinenintegration der bauteilindividuellen Fertigungsprozesssteuerung
- **InfraTec GmbH Infrarotsensorik und Messtechnik, Dresden**
Hardware für die bauteilindividuelle Fertigungsprozessüberwachung
- **Robert Bosch GmbH, Gerlingen**
Thermische Simulation, Steuerung und Überwachung der Massenfertigung
- **citim GmbH, Barleben**
Anwendungsverifizierung für die Automobilbranche und für kundenindividuelle Anforderungen
- **MTU Aero Engines AG, München**
Anwendungstests und Zertifizierungsprüfung für die Luft- und Raumfahrt
- **Universität Bremen, Airbus-Stiftungsprofessur ISEMP, Bremen**
Integration von thermischer Simulation, Bauteilsegmentierung und automatischer Geometrieanalyse
- **TU Darmstadt, Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen PTW, Darmstadt**
Prozessentwicklung und Verifizierung der Integration von Simulation, Bauteilsegmentierung und Geometrieanalyse

Projekt	Bauteilindividuelle Prozesssteuerung und -überwachung zur anforderungsgerechten additiven Massenfertigung (IndiPro)
Koordination	EOS GmbH Electro Optical Systems Herr Dr. Martin Otto Robert-Stirling-Ring 1 82152 Krailling Tel.: 089 89336-1702 E-Mail: martin.otto@eos.info
Projektvolumen	3.572 Tsd. Euro (davon 1.957 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.11.2016 bis 31.10.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/IndiPro
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Mischa Leistner Tel.: 0721 608-31429 E-Mail: mischa.leistner@kit.edu



3D-gedrucktes Servoventil und Querschnitt

3D-Druck von Implantaten aus Metall mit Sensoren verbessern

3D-Drucker, die aus Metallpulver komplex gestaltete Produkte fertigen, gewinnen stetig an Bedeutung. Verschiedene Branchen, wie die Luftfahrt, die Medizintechnik oder der Maschinenbau, setzen verstärkt auf diese Technologie. Durch die Möglichkeit, damit Leichtbaustrukturen schichtweise aufzubauen, sind diese Produkte häufig leicht und weisen bessere Funktionseigenschaften, wie beispielsweise Härte, auf. Bislang haben die 3D-Drucker jedoch unzureichende Möglichkeiten zur Fehlererkennung, da diese über zu wenige Sensoren zur Prozessüberwachung verfügen. Dadurch kann auf unvorhergesehene Störungen im Herstellungsprozess nicht ausreichend reagiert und die Bauteilqualität nicht zuverlässig gewährleistet werden. Das Verfahren hat eine vergleichsweise hohe Fehlerquote, was mit unnötigen Folgekosten einhergeht.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts InSensa ist die Entwicklung und Integration einer neuartigen Sensor- und Regelungstechnik für 3D-Druckanlagen zur Senkung der Fehlerquote. Bauteilfehler sollen bereits während des Produktionsprozesses erkannt und bei anschlie-

ßenden Druckvorgängen verhindert werden. Dies soll durch den Einsatz von Maschinenlernverfahren aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz gewährleistet werden, damit die Anlage selbst Fehler erkennt, abstellt und an vergleichbare Anlagen weitergibt.

Technologie und Methodik

Dazu werden verschiedene Sensoren weiterentwickelt und integriert, die den Zustand des Druckprozesses in der Anlage sicher erfassen. Strahlungssensoren, Topografiesensoren sowie Kamerasysteme für den sichtbaren und nicht sichtbaren Infrarotbereich sind hierfür vorgesehen. Dadurch können verschiedene Parameter, wie das Prozessleuchten, die Form der Bauteiloberfläche und die Bauteilabmessungen, beurteilt werden. Durch Kombination aller Messdaten wird ein umfassender Rückschluss auf die Qualität des Bauteils ermöglicht. Weiterhin werden Regelkreise zur Prozessüberwachung entwickelt, die schnell genug sind, um Unregelmäßigkeiten zu erkennen und zu kompensieren, beispielsweise durch Anpassung der Laserleistung. Die Funktionalität von Sensorik und Prozessregelung soll an speziell definierten Probekörpern, wie Implantaten, mit industriellem Charakter getestet werden.

Anwendungen und Ergebnisse

Es wird erwartet, dass sich durch die neue Sensortechnik die Fehlerquote von 30 auf 5 Prozent verringert. Dadurch können Bauteile in Zukunft wirtschaftlicher und effizienter hergestellt sowie deren Qualität erhöht werden. Das Projekt leistet einen wichtigen Beitrag, die Innovationsfähigkeit im metallischen 3D-Druck bei Anlagenherstellern, Komponentenentwicklern von Sensorik und Steuerungstechnik sowie Anwendern zu steigern. Darüber hinaus können die entwickelten Ergebnisse auf weitere Branchen, wie den Maschinen- und Anlagenbau, übertragen werden.



3D-gedrucktes patientenspezifisches Hüftimplantat aMace aus Titan

Projektpartner und -aufgaben

- **Materialise GmbH, Bremen**
Ganzheitliche Schnittstellenentwicklung, adaptive Prozessregelung mit modularem Echtzeitsteuerungs- und Regelungssystem
- **C.F.K. CNC-Fertigungstechnik Kriftel GmbH, Kriftel**
Spezialisierte Medizinprodukte, Validierung
- **ISRA Vision AG, Darmstadt**
Fehlererkennung mit Kamerasystemen
- **Optris GmbH, Berlin**
Infrarot-Sensorik für die Prozessüberwachung
- **Precitec GmbH & Co. KG, Gaggenau**
Robuste Sensorik durch kurzkohärente Interferometrie
- **Aconity GmbH, Herzogenrath**
Erprobung der kurzkohärenten Interferometrie und Erkennung von Schichtfehlern
- **TU Hamburg-Harburg, Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik iLAS, Hamburg**
Kategorisierung der Produktionsfehler, sensorbasierte Detektion von Prozessfehlern, Konzeptentwicklung für effektive Fehlererkennung
- **Universität Bremen, Institut für Messtechnik, Automatisierung und Qualitätswissenschaft BIMAQ, Bremen**
Echtzeitregelung mit integrierten Sensoren und intelligenten Methoden

Projekt	In-prozess Sensorik und adaptive Regelungssysteme für die additive Fertigung (InSensa)
Koordination	Materialise GmbH Herr Dr. Volker Schillen Mary-Somerville-Straße 3 28359 Bremen Tel.: 0421 944074-31 E-Mail: volker.schillen@materialise.de
Projektvolumen	2.779 Tsd. Euro (davon 1.559 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.05.2017 bis 30.04.2020
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/InSensa
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Frau Dr. Christine Ernst Tel.: 0721 608-24576 E-Mail: christine.ernst@kit.edu



Der Laser schmilzt die oberste Schicht.

Metall-Keramik-Verbundbauteile aus dem Drucker

Werkstoffverbünde aus Keramik und Metall sind für die Funktionsintegration vieler elektronischer Baugruppen von großer Bedeutung. Beispiele sind robuste elektronische Komponenten für Hochfrequenz- und Sensorikanwendungen, wie Abstandssensoren in der Automobilindustrie. Die Herstellung von Hybridbauteilen aus Keramik und Metall mit additiver Fertigung ist eine schwierige und noch nicht zufriedenstellend gelöste Aufgabe. Die Produktion komplexer und filigraner Bauteilstrukturen sowie notwendige Materialkombinationen und die Verarbeitbarkeit spröder bzw. harter Werkstoffe hemmen bislang den industriellen Einsatz.



Elektronikbaugruppen kommen zukünftig aus dem 3D-Drucker.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts MultiMat3D ist die Entwicklung eines 3D-Multimaterial-Siebdruckverfahrens für die industrielle Herstellung von Hybridbauteilen aus Keramik und Metall. Das Verfahren wird bei breiter Materialauswahl die Herstellung komplexer innerer Strukturen und Hohlräume mit Genauigkeit im Mikrometerbereich zulassen. Zusätzlich soll durch den angestrebten flexiblen Design- und Materialwechsel eine wirtschaftliche industrielle Anwendung ermöglicht werden.

Technologie und Methodik

Hierfür werden das bestehende 3D-Siebdruckverfahren und die Palette der verwendeten Pasten erweitert, um die notwendige Flexibilität, Stabilität und Automatisierung zu erhalten. Dazu wird ein Prüfstand für das Einsatzverhalten der Drucksiebe aufgebaut. Parallel dazu wird unter Verwendung numerischer Modelle sowohl für den 3D-Siebdruckprozess als auch für die Weiterverarbeitung durch Sintern eine neue Methode der Prozessanpassung und Optimierung entwickelt. Diese schließt das fertigungsgerechte Design ein. Alle Ergebnisse fließen in neue Konstruktionsrichtlinien sowie in ein Konzept für die industrielle Anwendung ein. Als Produktdemonstratoren dienen auf Keramik gedruckte und gesinterte Silberspulen sowie additiv gefertigte Wärmesenken und Rahmen für elektronische Baugruppen.

Anwendungen und Ergebnisse

Die additive Fertigung von Werkstoffverbänden aus Keramik und Metall und deren Strukturierung im Siebdruckverfahren ermöglichen neue Fertigungskonzepte und erlauben schnelle Bauteildesignwechsel. Durch den Wegfall von Prozessschritten ergeben sich Kostenvorteile von bis zu 20 Prozent bei gleichzeitiger Steigerung der Qualität. Die Integration neuer Funktionen und die Miniaturisierung der Bauteile ermöglichen die Herstellung neuer und leistungsfähiger Produkte, wie Kommunikations- und Messgeräte für die Raumfahrt und die Medizintechnik.

Projektpartner und -aufgaben

- VIA electronic GmbH, Hermsdorf**
 Bereitstellung von Designs für elektronische Bauteile wie Rahmen, Wärmesenken, Ko-Sinterung, Bauteiltests, Leitfähigkeit
- Micro Systems Engineering GmbH, Berg**
 Bereitstellung zusätzlicher Designs, wie Rahmen und Wärmesenken komplexer Geometrien, Spulen
- ASYS Group, EKRA Automatisierungssysteme GmbH, Bönnigheim**
 Modifikation 3D-Siebdruck-Anlagentechnik, besonders neue Druckregelung, Siebwechselsystem, kontrolliertes Heizregime, Inline-Kontrolle
- Heraeus Deutschland GmbH & Co. KG, Hanau**
 Entwicklung, Anpassung und Bereitstellung von Pasten für den 3D-Siebdruck
- Christian Koenen GmbH, Ottobrunn-Riemerling**
 Optimierung und Bereitstellung geeigneter Siebe, Untersuchung des Abrasions-, Auslöse- und Temperaturverhaltens der Siebe
- Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM, Freiburg**
 Modellentwicklung für den Druck- und Ko-Sinterprozess
- Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung IFAM, Dresden**
 Validierung der Pasten, der numerischen Modelle und der Anlagentechnik durch 3D-Siebdruckversuche

Projekt	Additive Fertigung von Multimaterial-Hybridbauteilen (MultiMat3D)
Koordination	VIA electronic GmbH Herr Dipl.-Min. Franz Bechtold Robert-Friese-Straße 3 07629 Hermsdorf Tel.: 036601 9298-101 E-Mail: bechtold@via-electronic.de
Projektvolumen	3.253 Tsd. Euro (davon 1.685 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.10.2016 bis 30.09.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/MultiMad3D
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projekträger	Projekträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Ulf Zanger Tel.: 0721 608-25296 E-Mail: ulf.zanger@kit.edu



Qualitätskontrolle des Siebdruckprozesses auf Keramikschaltungsträger

Industrialisierung des 3D-Drucks in allen Schritten der Prozesskette

Der 3D-Druck gilt als Schlüsseltechnologie, um künftig komplexe, individualisierte Produkte effizient herstellen zu können. Besonders die Herstellung im Pulverbett (ALM – Additive Layer Manufacturing), d. h. der Aufbau von Bauteilen Schicht für Schicht aus feinem Metallpulver, wird hier vermehrt in der Industrie angewendet. Produkte aus der Medizin und Luftfahrt, die besonders von der großen Designfreiheit des 3D-Drucks profitieren, sind hierfür erste Beispiele. Ein weiterer Vorteil liegt in der Digitalisierung der gesamten Prozesskette, also von der Konstruktionszeichnung bis hin zum fertigen Bauteil. Hierbei muss der Konstrukteur heute jedoch noch umständlich zwischen verschiedenen Softwarelösungen und Datenformaten wechseln, wobei Informationsgehalt verloren geht. Zudem ist die Prozesskette heute noch von vielen manuellen Arbeitsschritten geprägt. Auch wenn einzelne Produkte, wie Implantate oder Luftfahrtbauteile, bereits wirtschaftlich gefertigt werden können, bleibt ALM bisher ein breiter Zugang auch zu anderen Branchen verwehrt.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts ProFIT ist daher die Entwicklung einer durchgängigen digitalen Prozesskette, die eine Automatisierung der dem 3D-Druck vor- und nachgelagerten Prozesse ermöglicht. Technisches Ziel ist dabei die Bereitstellung eines IT-Werkzeugkastens, welcher von der Konstruktion bis zum fertigen Bauteil genutzt werden kann. Hierdurch werden neue Möglichkeiten eröffnet, die Verfahrensgeschwindigkeit und -qualität zu erhöhen. Ferner werden Automatisierungslösungen bereitgestellt, die einen einfachen Materialfluss ermöglichen.

Technologie und Methodik

Erreicht wird das Projektziel durch die Entwicklung eines neuen Datenformats, welches die Weitergabe aller relevanten Informationen – von der Konstruktion bis zur Herstellung der endgültigen Bauteilform, beispielsweise durch Fräsen – sicherstellt. Die gesamte Prozesskette wird hierbei untersucht und dazu ein IT-Werkzeugkasten entwickelt, der sich in Standard-



Zusammenstellung von Hüftpfannen

Konstruktionssoftware einbinden lässt. Durch die Automatisierung der vor- und nachgelagerten Fertigungsschritte werden Zeit- und Aufwandsvorteile erzielt. Durch effiziente Nutzung der aus dem IT-Werkzeug integrierten Bauteilinformationen kann die Demonstratoranlage so gesteuert werden, dass sich eine Beschleunigung der Bauteilherstellung ergibt.

Anwendungen und Ergebnisse

Es wird erwartet, dass bei der Arbeitsvorbereitung der Bauteile eine Zeitersparnis von bis zu 50 Prozent erreicht wird. Die Zeit- und Aufwandseinsparungen können in den Branchen Medizintechnik und Luftfahrt sowie im Maschinenbau und darüber hinaus genutzt werden.

Projektpartner und -aufgaben

- **implantcast GmbH, Buxtehude**
Additive Fertigung, spezialisierte Medizinprodukte, Qualitätssicherung
- **Cenit AG, Hamburg**
Entwicklung von CAM-Softwareprodukten, Datenintegration, Automatisierung
- **Concept Laser GmbH, Lichtenfels**
Additive Fertigung, Anlagentechnik, Maschinenbau
- **MBFZ toolcraft GmbH, Georgensgmünd**
Additive Fertigung, spanende Bearbeitung, Fertigungsplanung und Organisation, Qualitätssicherung
- **Quast Präzisionstechnik GmbH, Hamburg**
Werkzeugausrüstung, spanende Nachbearbeitung
- **Leibniz Universität Hannover, Institut für Fertigungstechnik und Werkzeugmaschinen IFW, Garbsen**
Nachbearbeitungsgerechtes Design, spanende Bearbeitung, Spannkonzeppte, CAx-Systeme
- **Technische Universität Hamburg-Harburg, Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik iLAS, Hamburg**
Optimierung und Bionik, additive Fertigung, Design für additive Fertigung, Qualitätssicherung

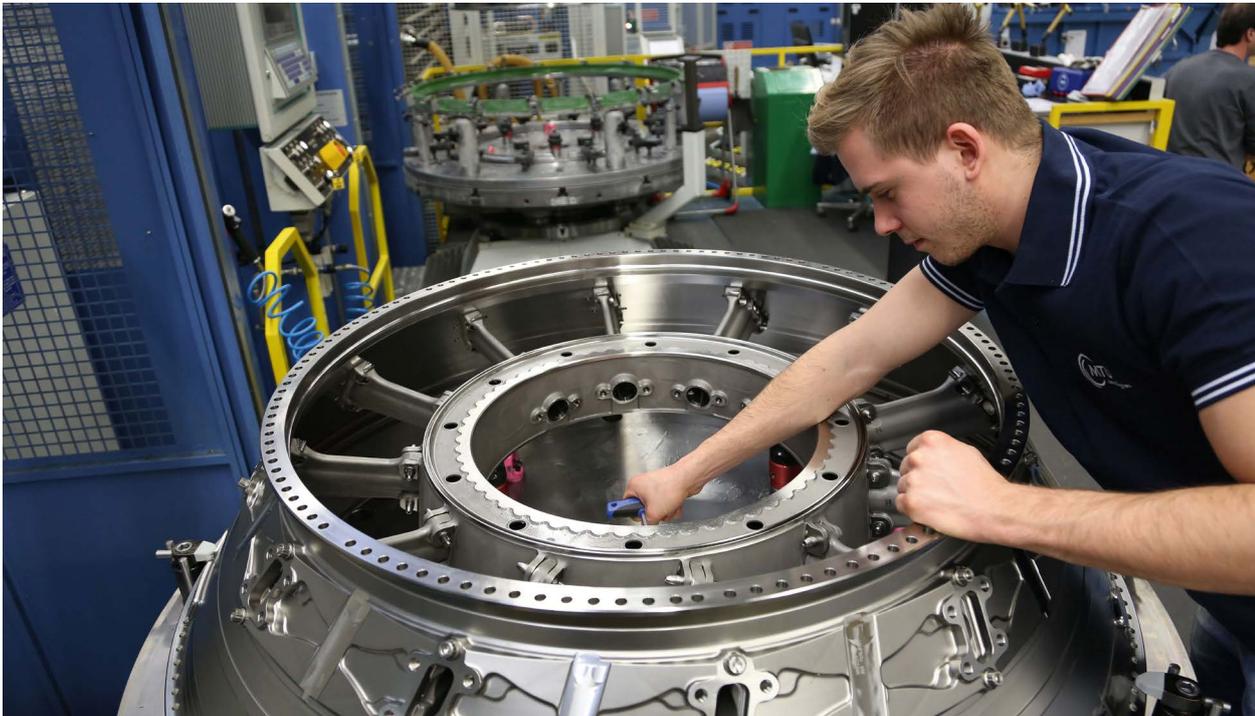
Projekt	Integration additiver Herstellverfahren in die industrielle Prozess-, Fertigungs- und IT-Kette (PrOF1T)
Koordination	implantcast GmbH Herr Dipl.-Ing. Philipp Glockner Lüneburger Schanze 26 21614 Buxtehude Tel.: 04161 744-183 E-Mail: p.glockner@implantcast.de
Projektvolumen	3.655 Tsd. Euro (davon 2.120 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.01.2017 bis 31.12.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/PrOF1T
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Frau Dr. Christine Ernst Tel.: 0721 608-24576 E-Mail: christine.ernst@kit.edu

Hybride Fertigung von großen Hochleistungsbauteilen

Bei der Fertigung von Hochleistungs- und Leichtbauteilen, wie im Flugzeugbau, werden heutzutage bis zu 90 Prozent des Rohmaterials abgetragen und müssen wieder aufbereitet werden. Die sogenannte hybride Fertigung stellt eine Alternative zu diesen abtragenden Verfahren dar. Sie nutzt konventionell hergestellte Rohteile, auf denen zusätzliche Geometrielemente additiv durch Laserauftragschweißen (LA) aufgebracht werden. Zudem müssen empfindliche Materialien beim LA durch Schutzgas vor Oxidation geschützt werden.

Technologie und Methodik

Hierbei wird eine neue Systemtechnik auf Basis von Industrierobotern entwickelt. Dies senkt Kosten und steigert die Flexibilität hinsichtlich Bauteilgeometrie und -größe. Ein flexibles Schutzgassystem wird erarbeitet, welches nur dort Schutzgas verwendet, wo es nötig ist. Neue Laserbearbeitungsköpfe, die sowohl mit Draht als auch mit Pulver als Zusatzwerkstoff arbeiten, sowie eine für die hybride Fertigung geeignete Software runden die Systementwicklung ab. Parallel



Turbinenzwischengehäuse in der Arbeitsvorbereitung

Der bisherige Ansatz, die ganze Anlage unter Schutzgasatmosphäre zu bringen, begrenzt die Bauteilgröße und ist kostenintensiv.

Aufgaben und Ziele

Ziel des Forschungsprojekts ProLMD ist die Entwicklung eines wirtschaftlichen Herstellungsverfahrens zur hybriden Fertigung von großen Hochleistungsbauteilen. Die entwickelte Systemtechnik und die erweiterten LA-Prozesse werden an Demonstratorbauteilen der beteiligten Industriepartner demonstriert.

werden für mehrere Werkstoffe, sowohl in Draht- wie auch Pulverform, LA-Prozesse erforscht. Als Basis für eine Verwendung in hoch belasteten Bauteilen werden ausführliche Materialuntersuchungen durchgeführt und eine geometrische Überprüfung der aufgebauten Bauteile mittels einer angepassten Messtechnik implementiert. Die Prozesskette wird an Anwendungen der Projektpartner am Beispiel von Triebwerksgehäusen, einer Bauteilverstärkung durch 3D-Verrippung und der Anpassung eines Presswerkzeugs in der Karosseriefertigung demonstriert.

Anwendungen und Ergebnisse

Es wird erwartet, dass bei erfolgreicher Umsetzung des Projektes über 10 Prozent der Kosten für die gesamte Prozesskette eingespart werden können. Die erhebliche Ressourcenschonung und die erhöhte Freiheit in der Produktentwicklung machen die Ergebnisse auch für weitere Branchen, wie Raumfahrt, Energieerzeugung und den durch KMU geprägten Werkzeugbau, wirtschaftlich und technologisch interessant.

Projektpartner und -aufgaben

- **KUKA Industries GmbH & Co. KG, Würselen**
Systemintegration von Roboter, Laser und Maschine
- **Airbus Defence and Space GmbH, Ottobrunn**
Werkstoffanalyse und -prüfung, Demonstrator 3D-Verrippung
- **BCT Steuerungs- und DV-Systeme GmbH, Dortmund**
Messtechnik, adaptive Bahnplanung, Datenschnittstelle
- **Daimler AG, Sindelfingen**
Werkstoffanalyse und -prüfung, Demonstrator Umformwerkzeug
- **Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen**
Prozess, Systemtechnik, Werkstoffanalyse, CAM-Modul
- **Laserline Gesellschaft für Entwicklung und Vertrieb von Diodenlasern mbH, Mülheim**
Prozess und Bearbeitungsköpfe
- **M. Braun Inertgas-Systeme GmbH, Garching**
Entwicklung Schutzgaslösungen
- **MTU Aero Engines AG, München**
Prozessentwicklung, Werkstoffanalyse und -prüfung, Demonstrator Triebwerksgehäuse

Projekt	Prozess- und Systemtechnik zur Hybrid-Fertigung großer Bauteile mit dem Laser Metal Deposition (LMD) Verfahren (ProLMD)
Koordination	KUKA Industries GmbH & Co. KG Herr Günter Neumann Sankt-Jobser-Straße 53 52146 Würselen Tel.: 02405 4546-815 E-Mail: guenter.neumann@kuka.com
Projektvolumen	4.314 Tsd. Euro (davon 2.243 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.01.2017 bis 31.12.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/ProLMD
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Stefan Scherr Tel.: 0721 608-25286 E-Mail: stefan.scherr@kit.edu



Industrieroboterbasierte Anlage für das Laserauftragschweißen

Variantenreicher 3D-Druck für hochfunktionale Stahlwerkstoffe

Die Produktvielfalt in der Automobilindustrie und die zunehmende Funktionsdichte in Geräten der Medizintechnik stellen höchste Ansprüche an die einzusetzenden Werkstoffe. Bei der Materialwahl wird in beiden Branchen Stahl aufgrund seiner breiten Verfügbarkeit, günstigen Klimabilanz sowie guten mechanischen Eigenschaften favorisiert. Moderne hochfeste Stahlwerkstoffe können jedoch meist nicht individualisiert und werkzeuglos mittels additiver Laserverfahren im 3D-Schichtaufbau zu komplexen Produkten verarbeitet werden. Eine entsprechende Prozess- und Anlagentechnik muss hierzu entwickelt werden.

Aufgaben und Ziele

Das Ziel des Forschungsprojekts StaVari ist die Entwicklung einer durchgängigen Prozesskette für die additive Fertigung von komplexen, variantenreichen und hochfunktionalen Produkten aus innovativen Stahlwerkstoffen. Mit neuartigen Fertigungsstrategien soll eine markante Produktivitäts- und Qualitätssteigerung erreicht werden. Für den Nachweis der industriellen Anwendbarkeit der angestrebten Lösungen wird prototypisch eine Fertigungszelle mit automatisierter Prozessüberwachung entwickelt.



Laseradditive Verarbeitung von Stahlwerkstoffen bei der Herstellung einer Rahmenstruktur

Technologie und Methodik

Ausgehend von praxisnahen Anforderungen aus dem Automobilbau und der Medizintechnik werden Material- und Herstellungskonzepte für das prozessgerechte Bauteildesign erarbeitet. Dazu werden Pulverwerkstoffe aus unterschiedlichen Stahlsorten mit bedarfsgerechten Werkstoffeigenschaften qualifiziert. Der additive Fertigungsprozess mittels Laser wird für die Anwendung in der Serienfertigung entwickelt und in eine zu erarbeitende Prozesskette einschließlich nachfolgender Fertigungsschritte integriert. Darüber hinaus wird für die Herstellung komplexer Produkte die Eignung verschiedener Fügeverfahren untersucht. Die Potenziale dieser innovativen additiven Fertigungsprozesskette werden an Beispielanwendungen des Fahrzeugbaus und der Medizintechnik demonstriert.

Anwendungen und Ergebnisse

Als Ergebnisse werden beispielhaft eine hochbelastbare, multifunktionale Fahrzeugstruktur und ein hochintegrierter Röntgengenerator mit einer angestrebten Gewichtsreduktion von bis zu 50 Prozent bei deutlich kleinerem Bauraum gefertigt. Diese aussagekräftigen Anwendungsbeispiele eröffnen ein breites Marktpotenzial für additive Fertigungsanlagen in weiteren Stahlverarbeitenden Industriebranchen, wie dem Maschinen- und Anlagenbau. Eine Verbreitung der Ergebnisse erfolgt beispielsweise durch Messeauftritte, Publikationen sowie Standardisierungs- und Normierungsaktivitäten.

Projektpartner und -aufgaben

- **EDAG Engineering GmbH, Wiesbaden**
Konzeption und Validierung der laseradditiven Prozesskette am Beispiel einer multifunktionalen und variantenintensiven Fahrzeugstruktur
- **Ziehm Imaging GmbH, Nürnberg**
Konzeption und Validierung der laseradditiven Prozesskette am Beispiel eines hochintegrierten Röntgengenerators

- **Salzgitter Mannesmann Forschung GmbH, Salzgitter**
Werkstoffadaptation/-modifikation und -charakterisierung von Stählen für die laseradditive Fertigung
- **Indutherm Gießtechnologie GmbH, Walzbachtal**
Prozessentwicklung der Pulververdüsung niedriglegierter Stähle für die laseradditive Fertigung
- **Concept Laser GmbH, Lichtenfels**
Prozessentwicklung für die laseradditive Fertigung von Stahlbauteilen inklusive Nachbehandlungsschritte
- **Carl Cloos Schweißtechnik GmbH, Haiger**
Prozessentwicklung der Füge Technologien und Qualitätssicherung für toleranzbehaftete additiv gefertigte Stahlbauteile
- **Hema electronic GmbH, Aalen**
Kameratechnik für qualitätsgesicherte Fügeprozesse an additiv gefertigten Stahlbauteilen und adaptive Prozesssteuerung
- **Stiftung Institut für Werkstofftechnik IWT, Bremen**
Prozessorientierte Werkstoffentwicklung für niedriglegierte Stahlpulver und Wärmebehandlungsstrategien für additive gefertigte Stahlbauteile
- **TU Hamburg-Harburg, Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik iLAS, Hamburg**
Füge Technologien und prozessgerechte Designkriterien für das Verbinden von additiv gefertigten Stahlbauteilen
- **TU Chemnitz, Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung SLK, Chemnitz**
Belichtungsstrategie, Designkriterien und Prozesse zur additiven Fertigung von Stahlbauteilen

Projekt	Additive Fertigungsprozesse für komplexe Produkte in variantenreicher und hochfunktionaler Stahlbauweise (StaVari)
Koordination	EDAG Engineering GmbH Herr Dr.-Ing. Martin Hillebrecht Reesbergstraße 1 36039 Fulda Tel.: 0661 6000-255 E-Mail: martin.hillebrecht@edag.de
Projektvolumen	4.286 Tsd. Euro (davon 2.320 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.10.2016 bis 30.09.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/StaVari
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projektträger	Projektträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Herr Dipl.-Ing. Mischa Leistner Tel.: 0721 608-31429 E-Mail: mischa.leistner@kit.edu



Die Laserschweißtechnik in Kombination mit dem prozessgerechten Bauteildesign ermöglicht ein hochpräzises Fügen von filigranen Leichtbaustrukturen bei minimalem Wärmeverzug.

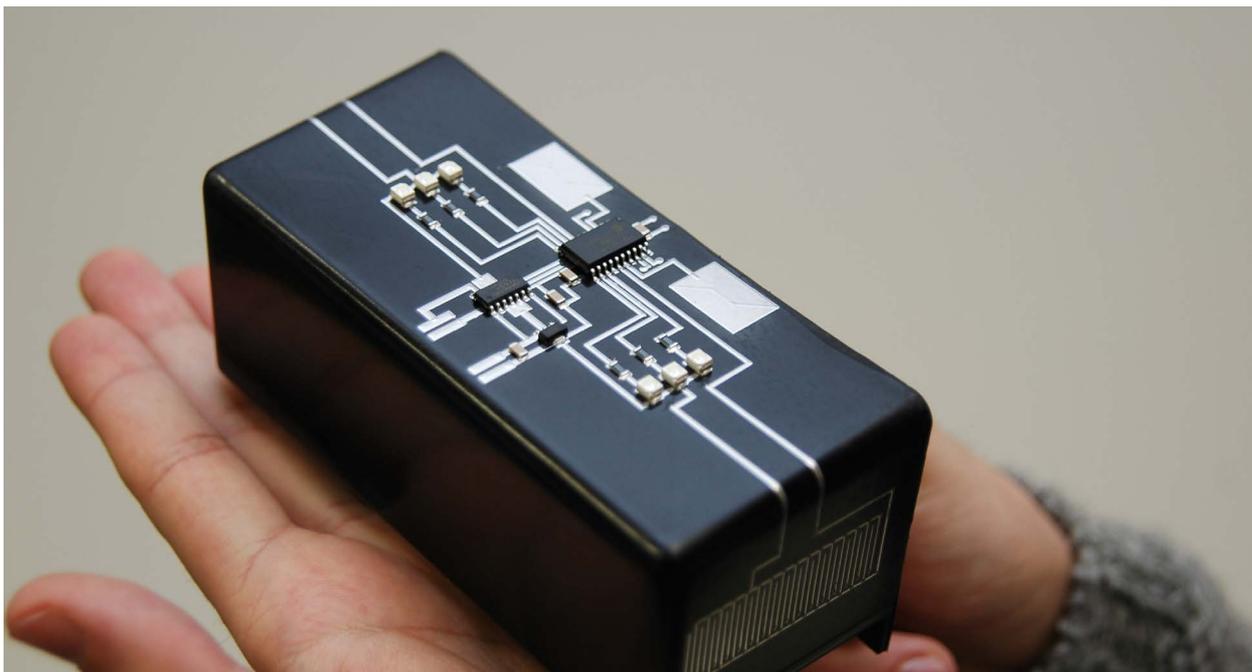
Transnationale Zusammenarbeit in der additiven Fertigung im Rahmen von ERANET-MANUNET

Chip aus dem 3D-Drucker – neue Methoden für die Verbindung von Elektrotechnik und Industriekeramiken

Keramik als Werkstoff ist wegen der hohen Temperaturbeständigkeit, Korrosions- und Verschleißfestigkeit gegenüber Metallen oder Kunststoffen oft entscheidend im Vorteil. Vor allem im Bereich der Mess- und Regeltechnik, Flug- und Raumfahrttechnik sowie in der Automobil- und Medizintechnik werden deshalb Hochleistungs-Keramikbauteile eingesetzt. Unabdingbar für diese Anwendungen ist allerdings die Integration von Elektronik, die man heutzutage in Smartphones, PCs oder in Haushaltsgeräten oder Fahrzeugen findet. In heute gängigen Verfahren werden die elektrischen Leiterbahnen nachträglich aufgetragen. Die Möglichkeit, die Vorteile von Keramik mit elektronischer Funktionalität in einem einzigen Verfahrensschritt kosteneffizient zu kombinieren und idealerweise eine hohe Flexibilität an Designmöglichkeiten zu erreichen, bedeutet einen Meilenstein hin zu innovativen, hochfunktionellen Bauteilen.

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsprojekt AMPECS wird ein leistungsfähiges, industrielles 3D-Druckverfahren entwickelt, um neuartige, miniaturisierte keramische Elektroniksysteme integriert herzustellen. In der serienflexiblen und auf die Anwendung maßgeschneiderten Fertigungsanlage für das neue 3D-Druckverfahren wird Elektronik auf und sogar innerhalb keramischer Bauteile aufgetragen. Die Vorteile des 3D-Drucks, wie das Design unterschiedlichster, komplexer Strukturen, hohe Materialeffizienz und wenig Abfall, führen zu einer breiten Palette von Bauteilen bei gleichzeitig geringen Herstellungskosten. Zudem ermöglicht die Kombination der Eigenschaften von Keramiken und Elektronik neue Funktionalitäten der für die Zielmärkte unverzichtbaren Komponenten.



3D-gedruckter Füllstandssensor

Technologie und Methodik

Basierend auf Kenntnissen zum Aufdrucken von elektrisch leitfähigem Material auf Plastikbauteilen wird im AMPECS-Projekt der Prozess als vollständiges 3D-Druckverfahren für Keramik entwickelt. Dies beinhaltet die Entwicklung keramischer Werkstoffkombinationen und entsprechender geeigneter Verarbeitungsprozesse. Weiter wird die Einbettung elektronischer Strukturen auf und in der Keramik erarbeitet sowie die Realisierung komplexer Designs. Die Analyse und Optimierung der mechanischen, geometrischen und elektrischen Eigenschaften der neuen Bauteile begleitet alle Entwicklungsschritte.

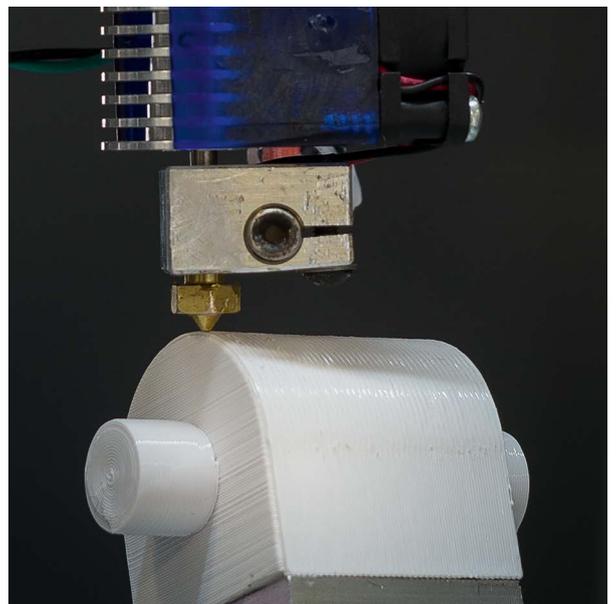
Anwendungen und Ergebnisse

Es wird erwartet, dass die Ergebnisse aus dem AMPECS-Projekt einen wichtigen Beitrag zur Vielfalt und Performance der Elektronikbauteile in den Hauptzielmärkten Fahrzeugtechnik, Leistungs- und medizinische Elektronik sowie im Endnutzerebereich leisten werden. Neben neuen Produktmöglichkeiten wird die Herstellungszeit verkürzt und das Verfahren damit auch kostenmäßig wettbewerbsfähig. In dem transnationalen Projekt im Rahmen der MANUNET-Initiative arbeiten zwei Unternehmen aus Spanien und Deutschland zusammen.

Projektpartner und -aufgaben

- **FRANCISCO ALBERO SAU (FAE), Barcelona, Spanien**
Entwicklung keramischer Werkstoffe und Prozesse sowie entsprechender 3D- und werkstoffgeeigneter Sinter- und Brennprozesse
- **Neotech AMT GmbH (NEO), Nürnberg, Deutschland**
Konzeption, Integration und Erprobung der 3D-Druckverfahren

Projekt	Development of a new additive manufacturing process for printing electronics on ceramic substrates (ERANET-MANUNET-AMPECS)
Koordination	FRANCISCO ALBERO SAU (FAE) Herr Francisco Ramos Pérez Carrer de Rafael Barradas 19, 08908 L'Hospitalet, Barcelona, Spanien Tel.: +34 932-618500 E-Mail: f.ramos@fae.es
Projektvolumen	799 Tsd. Euro (davon 273 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.06.2017 bis 31.05.2019
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/AMPECS
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projekträger	Projekträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Frau Dipl.-Ing. (FH) Dorothee Weisser Tel.: 0721 608-26150 E-Mail: dorothee.weisser@kit.edu



Räumlich gekrümmte Bauteilkonturen hergestellt durch additive Fertigung

Hochqualitäts-3D-Druck benötigt kontrollierbare und exakte Pulvereigenschaften

Pulverbettbasierte additive Fertigungsverfahren, wie etwa das selektive Laserschmelzen, erlauben die Herstellung geometrisch hochkomplexer metallischer Leichtbaukomponenten. Anwendungen mit großem Potenzial sind im Bereich der Luftfahrt, im Automobilbau sowie im Transport- und Bauwesen zu finden. Im Mittelpunkt der Betrachtung stehen eine hohe Materialqualität und die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Die Grundlage zur Erreichung dieser Ziele ist ein konstanter Ausgangszustand des verwendeten Pulvermaterials. Dabei kommt es auf zwei Schlüssel-



Additiv gefertigte Hochleistungskomponenten für Luft- und Raumfahrt

faktoren an: einen möglichst geringen Feuchtegehalt des Pulvermaterials sowie eine definierte und einstellbare Korngrößenverteilung.

Aufgaben und Ziele

Das Forschungsprojekt ConPAM entwickelt eine Anlage zur hochautomatisierten Pulverkonditionierung. Nach heutigem Stand der Technik werden ausschließlich Grobpartikel mithilfe eines Siebes abgeschieden. Die Möglichkeit der gezielten Konditionierung hat eine signifikante Erhöhung der Produktionsqualität zur Folge; dies wiederum bedeutet einen wesentlichen Wettbewerbsfaktor.

Technologie und Methodik

Kern der Entwicklungsarbeit sind die Trocknung des Metallpulvers auf ein definiertes Maß, die Entfernung zu großer und zu kleiner Partikel sowie die Möglichkeit einer automatisierten Komposition der erforderlichen Korngrößenverteilung. Mit dem Ziel, eine gleichbleibend hohe Pulverqualität zu garantieren, müssen die verschiedenen Teilprozesse verkettet werden. Zudem erfordert die Pulververarbeitung spezielle Bedingungen, um Verunreinigungen und Feuchtaufnahme zu vermeiden. Es wird ein modulares

Anlagenkonzept angestrebt, das eine auf Kundenbedürfnisse zugeschnittene Maschinenkonfiguration und eine kostengünstige Aufrüstung bestehender Anlagen erlaubt. So ist für Technologieeinsteiger oft nur ein Einzelsieb mit Entfeuchtung erforderlich, während für Anwender mit hohen Qualitätsstandards die Zusatzoption zur Korngrößeneinstellung unerlässlich ist. Final erfolgt die Integration der Anlage in eine bestehende Prozessumgebung zur Herstellung von Hochleistungskomponenten aus dem Raumfahrt- und Turbinenbereich.

Anwendungen und Ergebnisse

Der international wachsende Markt im Bereich der additiven Fertigung beschleunigt den Bedarf an automatisierten Pulversorgungs-lösungen. Es ist damit zu rechnen, dass die Innovation die Qualität von 3D-gedruckten Bauteilen enorm erhöht und damit durch reduzierte Ausschussmengen die Gesamtherstellungskosten um bis zu 30 Prozent verringert werden können. Die deutsch-schweizerische Zusammenarbeit wird im Rahmen der transnationalen Projektförderung MANUNET gefördert.

Projektpartner und -aufgaben

- **INSPIRE AG – icams, St. Gallen, Schweiz**
Einfluss Partikelgrößenverteilung auf SLM-Prozess, Homogenisierung, Pulvermischungen und Messkonzept
- **ULT AG, Löbau, Deutschland**
Feinstpartikelabscheidung und Schutzgasentfeuchtung
- **Technische Universität Chemnitz, Institut für Strukturleichtbau, Chemnitz, Deutschland**
Pulvertrocknung und Feuchteinfluss auf SLM-Prozess
- **assonic Mechatronics GmbH, Radevormwald, Deutschland**
Effiziente Auftrennung metallischer Pulver mit hoher Trennschärfe
- **IRPD AG, St. Gallen, Deutschland**
Erstanwender und Integration in industrielle Fertigungsumgebung
- **Gericke AG, Zürich, Schweiz**
Dosieren, Mischen und Homogenisieren, Integration Mess- und Steuertechnik und Industrialisierung der Anlage

Projekt	Entwicklung eines flexiblen und skalierbaren Systems zur Aufbereitung metallischer Pulver für additive Fertigungsverfahren (ERANET-MANUNET-ConPAM)
Koordination	INSPIRE AG – icams Herr Adriaan B. Spierings Lerchenfeldstraße 5 St. Gallen, Schweiz Tel.: +41 71274-7319 E-Mail: spierings@inspire.ethz.ch
Projektvolumen	2.814 Tsd. Euro (davon 942 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.05.2017 bis 30.04.2020
Projektlink	www.produktion-dienstleistung-arbeit.de/projekt/ConPAM
Programm	Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen
BMBF-Referat	Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovationsförderung; Industrie 4.0
Projekträger	Projekträger Karlsruhe (PTKA)
Ansprechpartner	Frau Dipl.-Ing. (FH) Dorothee Weisser Tel.: 0721 608-26150 E-Mail: dorothee.weisser@kit.edu



Additiv gefertigte Hochleistungskomponenten für die Halbleiterbranche

Innovative Materialien zur additiven Fertigung

Entwicklung neuer Werkstoffe für die Herstellung von Fertigungswerkzeugen mittels additiver Fertigung

Werkzeuge für die Werkstoffverarbeitung bilden das Herzstück der Formgebung durch Urformen, Umformen und Trennen. Bezüglich der schmelz- oder pulvermetallurgischen Herstellung erlauben bisher nur wenige Sonderverfahren die Realisierung von komplex geformten 3D-Strukturen. Somit steht am Ende der Werkzeugherstellung eine aufwendige Aufbereitung der Halbzeuge. Die Werkstoffbearbeitung führt zu hohen Kosten durch die Nachbearbeitung und bedingt einen höheren Rohstoffbedarf. Durch die Verwendung von additiven Fertigungsverfahren können kostenintensive Fertigungsschritte entfallen und der Einsatz teurer, teils kritischer Rohstoffe verbessert werden. Derzeit sind zwar die anlagenseitigen Voraussetzungen zur Nutzbarmachung dieser Verfahren im Werkzeugbau erfüllt, bisher wurden jedoch keine geeigneten Werkzeugwerkstoffe qualifiziert.

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben AddMaTs werden spezielle hartphasen- und hartstoffhaltige Eisenbasiswerkstoffe dahin gehend entwickelt, dass diese mit den additiven Fertigungsverfahren selektives Laserschmelzen und Elektronenstrahlschmelzen zu Werkzeugen verdichtet werden können.

Technologie und Methodik

Zur Qualifizierung der neuen Werkstoffe für die additive Fertigung müssen die Wechselwirkungen zwischen der Strahlquelle des jeweiligen Fertigungsverfahrens und dem Pulverbett detailliert untersucht werden. Insbesondere die auftretenden mikrostrukturellen Gefügeveränderungen werden eingehend charakterisiert und bilden die Basis der eng verzahnten Optimierung der Prozessparameter und Werkstoffpulver.



Im Rahmen des Vorhabens verwendete SLM-Maschine für die Ermittlung optimaler Prozessparameter für die Verdichtung von Werkzeugstahlpulver, hier: Entnahme der hergestellten Proben für die nachfolgende Gefügeuntersuchung

Anwendung und Ergebnisse

Neben der Herstellung von komplex geformten Demonstratorbauteilen mit innen liegenden Kühlkanälen soll zudem die Herstellung von Werkzeugverbunden und die Möglichkeit der Werkzeuginstandsetzung von verschlissenen Bauteilen betrachtet werden. Die Werkstoffentwicklung und die Findung geeigneter Verarbeitungsparameter erfolgen zunächst im Labor. Nachfolgend werden die erarbeiteten Ergebnisse in das industrielle Umfeld übertragen.

Projektpartner und -aufgaben

- **Dörrenberg Edelstahl GmbH, Engelskirchen**
Durchführung von Verdichtungsversuchen an den entwickelten Werkstoffen, Herstellung eines Demonstrators, Wärmebehandlung der Werkzeuge und Anpassung der erforderlichen Oberflächeneigenschaften
- **Deutsche Edelstahlwerke GmbH, Krefeld**
Pulverbereitstellung und Pulverkonditionierung, Anpassung der Gasverdüsung, Werkstoffentwicklung der Hartverbundwerkstoffe
- **Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), Dresden**
Qualifizierung der Werkstoffe, Erarbeitung der Pulverspezifikation, Parameteridentifizierung für die additiven Fertigungsverfahren, Nachweis der Machbarkeit der Verbindung einer additiven Fertigungsstruktur auf einem konventionell gefertigten Halbzeug
- **Ruhr-Universität Bochum**
Entwicklung neuer Materialien, Findung geeigneter Parameter zur Verarbeitung, Untersuchungen zum Verdichtungsverhalten, Untersuchungen zur Einstellung der Materialeigenschaften, Charakterisierung gefertigter Proben und Bauteile

Projekt	Entwicklung neuer hartphasen- und hartstoffhaltiger Werkstoffe für die Herstellung von Werkzeugen mittels additiver Fertigung (AddMaTs)
Koordination	Dörrenberg Edelstahl GmbH Herr Prof. Dr.-Ing. Christoph Escher Hammerweg 7 51766 Engelskirchen Tel.: 02263 79-367 E-Mail: christoph.escher@doerrenberg.de
Projektvolumen	1.837 Tsd. Euro (davon 941 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.02.2017 bis 31.01.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projektträger	Projektträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Frau Dr. Ulrike Mohr Tel.: 02461 61-3216 E-Mail: u.mohr@fz-juelich.de



Anwendung der Selective-Laser-Melting-Technologie (SLM) zur Fertigung funktionaler Oberflächengeometrien und innen liegender Kühlkanäle, hier: mittels SLM verdichteter Querschnitt eines Presshärte-werkzeugmodells

Maßgeschneiderte Aluminiumwerkstoffe für die Automobilindustrie

Die Komplexität und die Variantenvielfalt der Systeme in der Automobilindustrie steigen aufgrund der zunehmenden Vielfalt bei den Antriebssträngen, Karosserieaufbauten und Fahrassistenzsystemen als auch wegen der unterschiedlichen Anforderungen der Privat- und Firmenkunden immer weiter an. Der Einsatz der additiven Fertigung entlang der gesamten Wertschöpfungskette kann dabei helfen, sowohl die Produkteigenschaften zu verbessern als auch die Entwicklungs-, Fertigungs- und Betriebskosten nachhaltig zu senken. Die zum aktuellen Zeitpunkt mangelnde Verfügbarkeit von bezahlbaren und in ihren Eigenschaften an die jeweilige Anwendung angepassten und für den automobilen Einsatz qualifizierten metallischen Werkstoffsystemen ist ein großes Hindernis für die Implementierung von additiv gefertigten Bauteilen in hoch beanspruchten Karosserieanwendungen.

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben CustoMat3D wird die simulationsgestützte Entwicklung von maßgeschneiderten Aluminiumwerkstoffen für die laseradditive Fertigung (LAM) in der Automobilindustrie erforscht. Dazu sollen Aluminiumlegierungen entsprechend den branchen-

bedingten Anforderungen modifiziert und entlang der Wertschöpfungskette qualifiziert werden. Vorhabenziele sind insbesondere eine Reduzierung der Pulverherstellkosten sowie eine deutliche Steigerung der Festigkeit gegenüber heute üblichen Aluminiumlegierungen.

Technologie und Methodik

Die Ziele sollen durch eine durchgehende werkstoff-spezifische Optimierung der additiven Fertigungsprozesskette erreicht werden. Ausgehend von der Entwicklung maßgeschneiderter Aluminiumwerkstoffe für die Fertigung, der Entwicklung eines Softwaretools zur Simulation des Werkstoff-/Erstarrungsverhaltens sowie der Optimierung der werkstoffspezifischen LAM-Prozesskette erfolgt die Werkstoffvalidierung in der LAM-Prozesskette am Beispiel von hochfunktionalen Fahrzeugstrukturen.

Anwendung und Ergebnisse

Bei Erreichen der technischen Ziele ist ein großes Potenzial für additive Fertigungsanlagen in Aluminium verarbeitenden Industriebranchen, insbesondere in der Entwicklungs- und Fertigungsprozesskette der Automobilindustrie, vorhanden. Die Ergebnisse werden im



Komplexe Bauteile erfordern die Zusammenarbeit unterschiedlicher Fachdisziplinen.

besonderen Maß geeignet sein, die Herausforderungen Leichtbau und Leistungssteigerung, Komplexitätszunahme und Variantenvielfalt im Bereich Automotive zu begegnen.

Projektpartner und -aufgaben

- **EDAG Engineering GmbH, Fulda**
Konzeption und Simulation von hochfunktionalen LAM-Aluminiumbauteilen für Karosserieanwendungen
- **Daimler AG, Ulm**
Entwicklung neuartiger hochbelastbarer bionischer Strukturbauteile mittels 3D-Druck
- **Concept Laser GmbH, Lichtenfels**
Prozessqualifizierung für die laseradditive Fertigung von Aluminiumlegierungsbauteilen inklusive Nachbehandlung
- **MAGMA Gießereitechnologie GmbH, Aachen**
Implementierung und Validierung neuer Modelle zur Werkstoff- und Prozesssimulation von additiven Fertigungsverfahren
- **FKM Sintertechnik GmbH, Biedenkopf**
Optimierung der LAM-Fertigung von automobilen Strukturbauteilen unter industriellen Bedingungen
- **ECKA Granules Germany GmbH, Velden**
Materialspezifischer Verdünnungsprozess im Industriemaßstab
- **Stiftung Institut für Werkstofftechnik IWT, Bremen**
Prozessorientierte Werkstoffentwicklung und Verdünnung von LAM-Aluminiumwerkstoffen und Wärmebehandlungsstrategien für LAM-Bauteile
- **TU Hamburg-Harburg, Institut für Laser- und Anlagensystemtechnik, Hamburg**
Prozessqualifizierung maßgeschneiderter Aluminiumwerkstoffe für additive Fertigungsprozesse und Schweißtechnik
- **Fraunhofer-Institut für Techno- und Wirtschaftsmathematik (ITWM), Kaiserslautern**
Entwicklung einer Prozesssimulation zur schnellen Erstarrung bei additiven Fertigungsprozessen

Projekt	Maßgeschneiderte LAM-Aluminiumwerkstoffe für hochfunktionale, variantenreiche Strukturbauteile in der Automobilindustrie (CustoMat3D)
Koordination	EDAG Engineering GmbH Herr Dr.-Ing. Martin Hillebrecht Reesbergstraße 1 36039 Fulda Tel.: 0661 6000-255 E-Mail: martin.hillebrecht@edag.de
Projektvolumen	4.337 Tsd. Euro (davon 2.314 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.02.2017 bis 31.01.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projekträger	Projekträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Herr Dr. Christoph Deiser Tel.: 02461 61-4243 E-Mail: c.deiser@fz-juelich.de



Getriebekomponenten können mittels additiver Fertigung individuell hergestellt werden.

Designfreiheit durch neue Materialien für die additive Fertigung

Das Potenzial der additiven Fertigung liegt in den neuen Möglichkeiten zur kostengünstigen Herstellung von Komponenten mit funktionellen Designs sowie in der Individualisierung von Komponenten im Rahmen von Kleinserien. Die heutigen Verfahren und hierbei eingesetzten Polymerwerkstoffe (Kunststoffe) sind aus technischer und ökonomischer Sicht nicht ausreichend, um die Anforderungen an eine nachhaltige Produktion in der Luftfahrt-, in der Schienenfahrzeug- sowie in der Elektro- und Elektronikindustrie zu gewährleisten. Benötigt werden hier geeignete flammhemmende, temperaturbeständige Materialien, teilweise mit Verstärkung durch Endlosfasern, die sich additiv fertigen lassen. Unter den Kunststoff verarbeitenden additiven Fertigungsverfahren nutzen nur das Laser-Sintern (LS) und das Fused Layer Modeling (FLM) Standardthermoplaste. Diese Verfahren weisen somit das größte Potenzial für den Einsatz als Serienverfahren auf. Verfügbar ist jedoch nur eine im Vergleich zum

Spritzguss kleine Zahl an Materialien mit einem noch unzureichenden Eigenschaftsprofil.

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben FLATISA werden neue, für additive Verfahren bislang nicht oder nur in unzureichender Qualität verfügbare Polyamidwerkstoffe für den Einsatz im LS- und FLM-Verfahren (zwei verfahrenstechnisch sehr unterschiedlichen Verfahren) verfügbar gemacht.

Technologie und Methodik

Der Fokus liegt auf einer anforderungsgerechten Funktionalisierung der Werkstoffe durch geeignete Additive und Füllstoffe zur Einstellung einer notwendigen Flammbeständigkeit und der Generierung einer gezielten Verstärkungswirkung durch Glasfüllstoffe bzw. Kohlenstoff-Endlosfasern. Hierbei erfolgt auch eine Optimierung der entwickelten Pulversysteme für das Laser-Sintern durch Optimierung der Herstellbedingungen. Bei der Verarbeitung werden insbesondere die Bauteileigenschaften (Zugfestigkeit und Bruchdehnung) in Aufbaurichtung, durch geeignete Auswahl der Grundmaterialien sowie durch eine mittels statistischer Versuchsplanung robust eingestellte Prozessführung optimiert. Dabei soll es beim FLM-Verfahren durch ein neu entwickeltes voll 3D-fähiges Verfahren ermöglicht werden, insbesondere auch in Aufbaurichtung, eine Verstärkungswirkung mit quasi endlosen Verstärkungsfasern zu erzeugen. Des Weiteren sollen die herausgearbeiteten Demonstratorbauteile hinsichtlich ihrer Bauteilstruktur an die additive Fertigung angepasst werden. So soll bei der Umkonstruktion gezielt auf eine bionische bzw. topologieoptimierte Struktur geachtet werden und die Bauteilstruktur entlang der 3D-Lastpfade mit Fasern verstärkt werden.

Anwendung und Ergebnisse

Im Erfolgsfall führt das Vorhaben zu neuen Kunststoffmaterialien, die für den industriellen Serieneinsatz von additiven Fertigungsverfahren geeignet sind. Hierdurch sollen die hohen Anforderungen an Serienbauteile in der Luftfahrt-, in der Schienenfahrzeug- sowie in der Elektronikbranche erfüllt und neue Einsatzmöglichkeiten für diese Branchen erschlossen werden.



Probenentnahme aus einer Laser-Sinter-Anlage

Projektpartner und -aufgaben

- **Airbus Operations GmbH, Hamburg**
 Festlegung der Material- und Bauteilspezifikationen (Luftfahrt), Entwicklung einer Faser-Ablegestrategie für das FLM, Kennwertermittlung, Prüfung der Brandeigenschaften (Luftfahrt)
- **Siemens AG, Erlangen**
 Entwicklung und Charakterisierung von Polymer-compounds für das Laser-Sintern LS und FLM, Festlegung der Demonstratoren, Brandschutzprüfungen (Elektronik, Schienenfahrzeuge), Entwicklung neuer Düsensysteme und Designprinzipien für den FLM-Prozess (Simulation, Modellierung)
- **Airbus Defence and Space GmbH – Airbus Group Innovations, Taufkirchen**
 Entwicklung von FLM-Materialien auf Basis von Strahlenvernetzern sowie eines Online-/Offline-Qualitätssicherungskonzepts, Charakterisierung der Grundmaterialien
- **VEW Vereinigte Elektronik Werkstätten GmbH, Bremen**
 FLM-Prozessentwicklung, Kinematik und Anlagensteuerung
- **AM Polymer Research UG, Krefeld**
 Anpassung der Anlagentechnik des LS-Prozesses einschließlich Entwicklung geeigneter Anlagenkomponenten und Aufbauten, Herstellung der LS-Demonstratoren

Projekt	Flammgeschützte, temperaturbeständige Thermoplaste für den industriellen Serieneinsatz von Additiven Fertigungsverfahren (FLATISA)
Koordination	Airbus Operations GmbH Herr Dr. Dirk Kastell Kreetslag 10 21129 Hamburg Tel.: 040 743-84071 E-Mail: dirk.kastell@airbus.com
Projektvolumen	4.841 Tsd. Euro (davon 2.626 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	08.05.2017 bis 07.04.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projektträger	Projektträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Frau Dr. Eva Gerhard-Abozari Tel.: 02461 61-8705 E-Mail: e.gerhard-abozari@fz-juelich.de

- **Rowak AG, Klettgau-Griessen**
 Entwicklung, Herstellung und Charakterisierung der thermoplastischen Pulver für LS-Prozess
- **FASERINSTITUT BREMEN e.V., Bremen**
 Weiterentwicklung des FLM-Prozesses, Aufbau der Demonstrator-Anlage
- **Universität Duisburg-Essen, Duisburg**
 Inline-Prozessanalyse des LS-Prozesses, Charakterisierung der Pulver, Verrundung der Partikel

Additiv gefertigte Implantate zur natürlichen Heilung von Knochendefekten

In Folge von Unfällen oder durch Krebserkrankungen kann es zu großen Knochendefekten kommen. Die klinische Versorgung der Patienten mit solchen Knochendefekten ist auch heute noch kritisch, da das menschliche Knochenwachstum ab einer gewissen Defektgröße nicht ausreicht, um diese selbstständig zu verschließen. Jede technische Lösung, die das Einwachsen von Knochen beschleunigt, hilft, die Versorgung der Patienten zu verbessern. Mithilfe der additiven Fertigung können Produkte hergestellt werden, die in der Vergangenheit so nicht oder nur mit sehr hohen Kosten erzeugt werden konnten. In der Medizintechnik eignen sich diese Verfahren u. a., um patientenspezifische Implantate zu drucken oder die Funktion von bestehenden Implantaten beträchtlich zu erweitern (z. B. poröse Strukturen für das bessere Einwachsen von Knochen).

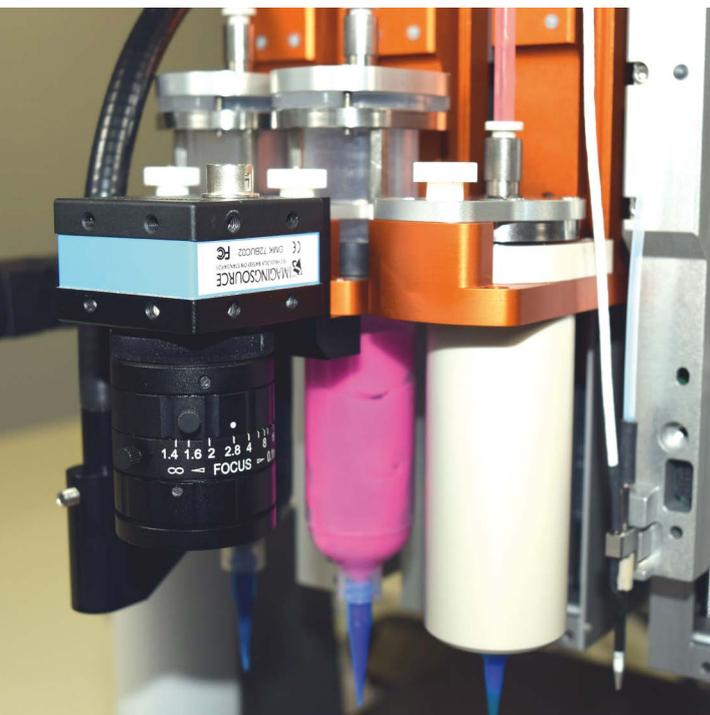
Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben HY2PRINT werden Hydrogele mit bestehenden Titan-Implantaten mittels additiver Fertigung kombiniert und diese im Schädelbereich zum Schließen von Defekten eingesetzt. Hierzu werden

unterschiedliche Schichten der Hydrogele gefertigt, die jeweils andere biologische und biomechanische Eigenschaften aufweisen müssen. Die Struktur der unterschiedlichen Schichten sollen das biologische Vorbild des Schädelknochens und der darunterliegenden Gehirnhaut aufgreifen. Die reproduzierbare Herstellung eines Schicht- und Hybridmaterials basierend auf bestehenden Titan-Implantaten mithilfe der additiven Fertigung für die medizintechnische Anwendung ist der Neuheitsgrad dieses Vorhabens.

Technologie und Methodik

Zu Beginn des Projekts werden die medizinischen Anforderungen genau definiert und anschließend die entsprechenden Materialien und Technologien entwickelt. Dazu werden die Materialien zur Herstellung des Hybridmaterials (Metall und Hydrogel), die Gelierung und die Haftfestigkeit der Hydrogele an der Grenzschicht zum Titan optimiert sowie die biomechanischen Eigenschaften für die unterschiedlichen Implantatschichten eingestellt. Die Struktur der unterschiedlichen Schichten sollen das biologische Vorbild des Schädelknochens und der darunterliegenden Gehirnhaut aufgreifen. Die zum Einsatz kommenden biologisch funktionalen Materialien sind v. a. Alginat, Gelatine sowie Knochenzement und bioaktive Gläser. Diese werden je nach Schicht unterschiedlich kombiniert, sodass ein mechanisch und anatomisch/biologisch an das Zielgewebe weitestgehend angepasstes Implantat entsteht. Dies ist nur möglich, indem unterschiedliche funktionale Schichten übereinander dreidimensional aufgebaut werden. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der anatomischen Schichten soll die Herstellung ohne weitere kostenintensive Verfahrensschritte erfolgen. Diese Schritte sollen in einem Implantat münden, mit dem es möglich ist, großflächige Defekte des Schädelknochens abzudecken. Im Anschluss werden die neu entwickelten Implantat-Prototypen in vitro bezüglich ihrer Biokompatibilität evaluiert und in weiterführenden präklinischen, in-vivo-ähnlichen Zellmodellen getestet und ggf. Modifikationen vorgenommen. Darüber hinaus müssen die Anlagen zur additiven Fertigung und die Messtechnik erarbeitet, verbessert und angepasst werden.



Kartuschen sowie Kameraüberwachung für den Druck

Anwendung und Ergebnisse

Die entwickelten Implantate werden einen schnelleren, sicheren und günstigeren Verschluss von Knochendefekten ermöglichen. Revisionsoperationen bei diesen Defekten sollen aufgrund der sehr guten Passform und des einfachen Nachwachsens des Knochens mit den neuen Implantaten stark gesenkt bzw. vermieden werden. Von den Implantaten profitieren somit nicht nur die Patienten und Anwender (wie z. B. Ärzte, Pfleger durch ein einfacheres Handling), sondern auch Kliniken und Krankenversicherungen aufgrund geringerer Kosten. Zusätzliche Möglichkeiten zur weiteren Nutzung der erarbeiteten Materialien und Technologien zeichnen sich bereits ab (z. B. Wirbelkörper). Bisher gibt es keine Lösungen, die gleichzeitig körperähnliche Eigenschaften und eine ausreichende Festigkeit besitzen. So könnten die zu entwickelnden Implantate auch das Potenzial bieten, komplette Röhrenknochen zu ersetzen.

Projektpartner und -aufgaben

- **Stryker Leibinger GmbH & Co. KG, Freiburg**
Integration medizinischer Anforderungen in die gesamte Prozesskette, Durchführung mechanischer Tests
- **GeSiM – Gesellschaft für Silizium-Mikrosysteme mbH, Großhermannsdorf**
Entwicklung der Anlagentechnik
- **Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen**
Biomaterial- sowie Technologieentwicklung
- **Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (IIS), Fürth**
Entwicklung der Messtechnik
- **Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg**
Definition der klinischen Anforderungen, Durchführung klinischer Tests

Projekt	Generative Herstellung von Implantaten mit Hybridstrukturen für den Schädelbereich (HY2PRINT)
Koordination	Stryker Leibinger GmbH & Co. KG Herr Sven Kuhn Bötzingen Straße 41 79111 Freiburg Tel.: 0716 4512-4048 E-Mail: sven.kuhn@stryker.com
Projektvolumen	1.956 Tsd. Euro (davon 1.091 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.04.2017 bis 31.03.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projektträger	Projektträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Frau Dr.-Ing. Jessica Ritter Tel.: 02461 61-9746 E-Mail: j.ritter@fz-juelich.de



Drucker für die Hydrogele

Materialien mit besseren Eigenschaften für den 3D-Druck

Die bisher für die additive Fertigung von Kunststoffbauteilen verwendeten Materialien basieren auf Substanzen, die aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften zu funktionellen Einschränkungen, wie beispielsweise Schrumpfung, Verzug und/oder mangelnder Temperaturstabilität, führen. Vor allem Funktionsbauteile, die höheren Temperaturen ausgesetzt sind, können bisher nicht mit den bekannten Materialien und Verfahren hergestellt werden.



Glaskolben mit Flüssigkeit

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben IA-UV-3D werden neuartige, radikalisch härtende, biogene Polymerharze für photopolymerbasierte Harze ohne funktionelle Einschränkungen für die drei additiven Fertigungsverfahren

Stereolithografie (SLA), Digital Light Processing (DLP) und Multijet-Modelling (MJM) entwickelt.

Technologie und Methodik

Die derzeit verwendeten Materialien auf Acrylsäure- oder Methacrylsäure-Basis werden durch Materialien auf Itaconsäure-Basis, die biotechnologisch aus Nebenprodukten der Zuckerproduktion hergestellt werden, ersetzt. Mit ihnen lassen sich UV-härtende Kunststoffe realisieren, die aufgrund ihres veränderten Vernetzungsverhaltens verbesserte Eigenschaften gegenüber den herkömmlichen 3D-Druck-Materialien aufweisen. So sollen z. B. Bauteile realisiert werden, die über eine deutlich höhere Temperaturbeständigkeit (> 130 °C) und geringere Versprödung verfügen. Am Ende des Projekts werden erste Materialmuster mit den entwickelten Verfahren und der entsprechenden Anlagentechnologie gefertigt. Anhand der produzierten Bauteile wird das Potenzial der Materialien in verschiedenen Anwendungen evaluiert.

Anwendung und Ergebnisse

Die im Erfolgsfall vorgesehenen Einsatzbereiche im Bereich Automotive sind die Serienfertigung einzelner Interieur- und Exterieur-Bauteile, die Herstellung nicht mehr verfügbarer Teile sowie Sonderserien mit hohem Individualisierungsgrad. Eine erfolgreiche Umsetzung des Projektes wird somit zu einer Steigerung der industriellen Nutzung additiver Fertigungsverfahren in Deutschland aufgrund optimierter Materialeigenschaften beitragen.

Zudem wird ein Beitrag zur Nachhaltigkeit geleistet, da im Erfolgsfall ein 3D-Druck-Materialsystem basierend auf biologisch nachwachsenden Rohstoffen für die industrielle additive Fertigung zur Verfügung steht.

Projektpartner und -aufgaben

- **Marabu GmbH & Co. KG, Tamm**
Formulierung UV-härtender Materialien, Untersuchungen zur Umsetzbarkeit im Technikumsmaßstab, Charakterisierung der Polymer- und Materialeigenschaften

- BMW AG, München**
 Verbesserung des MJM-Fertigungsprozesses, Testdrucke im MJM-Verfahren, Nachbehandlung der Bauteile, Alterungstests
- Schultheiss GmbH, Heimsheim**
 Entwicklung der DLP-Anlagentechnik, Verbesserung des DLP-Fertigungsprozesses, Testdrucke im DLP-Verfahren
- CIRP GmbH, Heimsheim**
 Verbesserung des SLA-Fertigungsprozesses, Testdrucke im SLA-, DLP- und MJM-Verfahren, Nachbehandlung der Bauteile
- Fraunhofer-Institut für Holzforschung – Wilhelm-Klauditz-Institut (WKI), Braunschweig**
 Synthese von Polymeren auf Itaconsäure-Basis, Charakterisierung der Materialeigenschaften

Projekt	Neuartige Materialien für UV-härtende Verfahren der additiven Fertigung (IA-UV-3D)
Koordination	Marabu GmbH & Co. KG Herr Martin Hauck Asperger Straße 4 71732 Tamm Tel.: 07141 691-231 E-Mail: hau@marabu.com
Projektvolumen	1.959 Tsd. Euro (davon 1.035 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.02.2017 bis 31.01.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projektträger	Projektträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Frau Dr. Katrin Witten Tel.: 02461 61-85317 E-Mail: k.witten@fz-juelich.de



Flüssiger Lack in Weißblechdose

Herstellung von Bauteilen für extreme Anforderungen mittels additiver Fertigung

Dem Einsatz innovativer Werkstoffe in der Industrie sind häufig Grenzen durch die Fertigungstechnik gesetzt. Dies gilt insbesondere für hochschmelzende und/oder spröde Werkstoffe, aus denen mit konventionellen Verfahren, wie Gießen und Schmieden, Bauteile gar nicht oder nur mit großem Aufwand gefertigt werden können. Hierzu zählen u. a. auch intermetallische Legierungen. Additive Fertigungsverfahren wie das laserstrahlbasierte Pulverbettverfahren (SLM) und das Laser-Pulver-Auftragschweißen (LMD) bieten hier einzigartige neue Möglichkeiten einer endkonturnahen Fertigung mit gezielter Einstellung feiner Gefügestrukturen oder auch chemisch gradiertes Werkstoffe.

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben Lextra werden intermetallische Werkstoffe auf Basis von Eisen-Aluminium-, Molybdän-Silizium- und Vanadium-Silizium-Legierungen für extreme Anforderungen (Temperatur,

Verschleiß, Korrosion) für additive Fertigungsverfahren entwickelt. Dabei wird die gesamte Prozesskette von der Pulverherstellung bis zum fertigen Bauteil adressiert.

Technologie und Methodik

Betrachtet wird die Prozesskette von der Pulverherstellung über die additive Verfahrenstechnik bis hin zu einer Wärmenachbehandlung zur Einstellung gewünschter Gefügestrukturen. Die hergestellten Probekörper werden hinsichtlich Makro- und Mikrogefüge untersucht, und an ausgewählten Zusammensetzungen erfolgen Prüfungen der Festigkeit sowie der Korrosions- und Oxidationsbeständigkeit. In einer iterativen Vorgehensweise werden die Verfahrensparameter zur Herstellung defektfreier Volumenkörper mit den gewünschten Eigenschaften angepasst. Am Ende des Projektes werden die Ergebnisse anhand der Herstellung von zwei Demonstratoren (Schaufel für stationäre Turbinen und Werkzeugeinsätze für das Heißpressen) validiert.



Montage einer Turbine

Anwendung und Ergebnisse

Im Erfolgsfall stehen neue Werkstoffe mit herausragenden Eigenschaften für die additive Fertigung zur Verfügung, mit deren Hilfe bisher nicht realisierbare Bauteile gefertigt werden können. Für die adressierte Pilotanwendung kann eine Erhöhung des Wirkungsgrads von Turbinensystemen erreicht und somit die Energieeffizienz erhöht werden.

Projektpartner und -aufgaben

- **Siemens AG, Berlin**
Verarbeitung von innovativen intermetallischen Werkstoffen mittels additiver Fertigung, Verständnisaufbau zu Prozess-Eigenschafts-Relationen
- **Citim GmbH, Barleben**
Selective Laser Melting (SLM), Verarbeitung von innovativen intermetallischen Werkstoffen
- **NANOVAL GmbH, Berlin**
Pulverdüsung, Etablierung eines industriellen Verdüsungsprozesses
- **Dr. Kochanek Entwicklungsgesellschaft, Neustadt an der Weinstraße**
Verständnisaufbau zu Prozess-Eigenschafts-Relationen in Bezug auf Heißpresswerkzeuge, SLM
- **Institut für Korrosions- und Schadensanalyse Dr.-Ing. Sabine Schultze, Magdeburg**
Werkstoffprüfung, Verständnis über das Eigenschaftsprofil der untersuchten Legierungen

Projekt	Laserbasierte additive Fertigung von Bauteilen für extreme Anforderungen aus innovativen intermetallischen Werkstoffen (Lextra)
Koordination	Siemens AG Herr Dr. Christoph Heinze Siemensdamm 50 13629 Berlin Tel.: 030 386-21740 E-Mail: christoph.heinze@siemens.com
Projektvolumen	3.264 Tsd. Euro (davon 1.726 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.02.2017 bis 31.01.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projektträger	Projektträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Herr Dr. Christoph Deiser Tel.: 02461 61-4243 E-Mail: c.deiser@fz-juelich.de

- **Fraunhofer-Institut für Lasertechnik (ILT), Aachen**
Verarbeitung von innovativen intermetallischen Werkstoffen mittels Laser Metal Deposition (LMD)
- **Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Magdeburg**
Gefügeanalyse und Werkstoffprüfung, Generierung von Werkstoffdaten der untersuchten Legierungen

3D-Druck von keramischen Bauteilen mit komplexen Strukturen

Mit der gezielten Herstellung von Bauteilen durch additive Fertigungstechniken bietet sich für die Industrie ein flexibles und innovationsträchtiges Fertigungsverfahren. Zurzeit noch nicht weit verbreitet ist die additive Fertigung von Bauteilen aus technischer Keramik, welche jedoch aufgrund ihrer ausgezeichneten physikalischen Eigenschaften in den unterschiedlichsten Industriezweigen zum Einsatz kommen. Besonders die elektrischen und mechanischen Eigenschaften unter höchsten Temperaturen mit gleichzeitig hoher

setzter Rohstoffe anwendungsgerecht innerhalb eines Bauteiles variiert werden können. Dies bedeutet, dass während des Druckvorgangs die Mischung der Ausgangsstoffe veränderbar ist und dennoch eine stabile Struktur erzeugt wird.

Technologie und Methodik

Neben der Erforschung und Aufbereitung prozesskompatibler Ausgangsstoffe umfasst das Vorhaben die Entwicklung geeigneter Verarbeitungs- und Druckprozesse und eine prozessbegleitende Qualitätssicherung. Insbesondere das Zusammenwirken bzw. die Kompatibilität der eingesetzten Rohstoffkomponenten im Hinblick auf Formbarkeit, Strukturfestigkeit und den definierten Aufbau von gradierten Materialgefügen sind wissenschaftlich-technische Herausforderungen, die im Rahmen des Projektes untersucht und erforscht werden. Der Nachweis der Machbarkeit erfolgt über die Entwicklung und Herstellung von zwei anwendungsbezogenen Prototypen und deren anschließende Erprobung. Die zu entwickelnden Prototypen sind zum einen ein Widerstandselement (ein sogenannter Widerstandsheizer) für Analysezwecke und zum anderen ein keramischer Heißgaswärmetauscher für Fluggasturbinen in der Luftfahrt.



Druckerinnenraum mit 3D-Druckkopf

Verschleiß- und Korrosionsbeständigkeit zeichnen die Bauteile aus diesen Werkstoffen aus. Sie bieten entscheidende Vorteile, wo andere Materialien an ihre Grenzen stoßen. Als Bestandteile von hochwertigen Systemgruppen erfüllen technische Keramikbauteile dadurch oft funktionsentscheidende Aufgaben.

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben MuSiK wird die additive Fertigung von kohlenstoff-(C-), silizium-(Si-) und siliziumkarbid-(SiC-)haltigen Keramiken erforscht. Ziel des Vorhabens ist die Schaffung einer neuen, noch nicht am Markt etablierten Multimaterial-Drucktechnik für C-, Si- und SiC-haltige Keramiken mittels filamentbasierter FDM-Technik und suspensionsbasierten Robocasting. Der Vorteil dieser Drucktechnik ist, dass die Eigenschaften der entstehenden Keramik durch gezielte lokale Ablage unterschiedlich zusammenge-

Anwendung und Ergebnisse

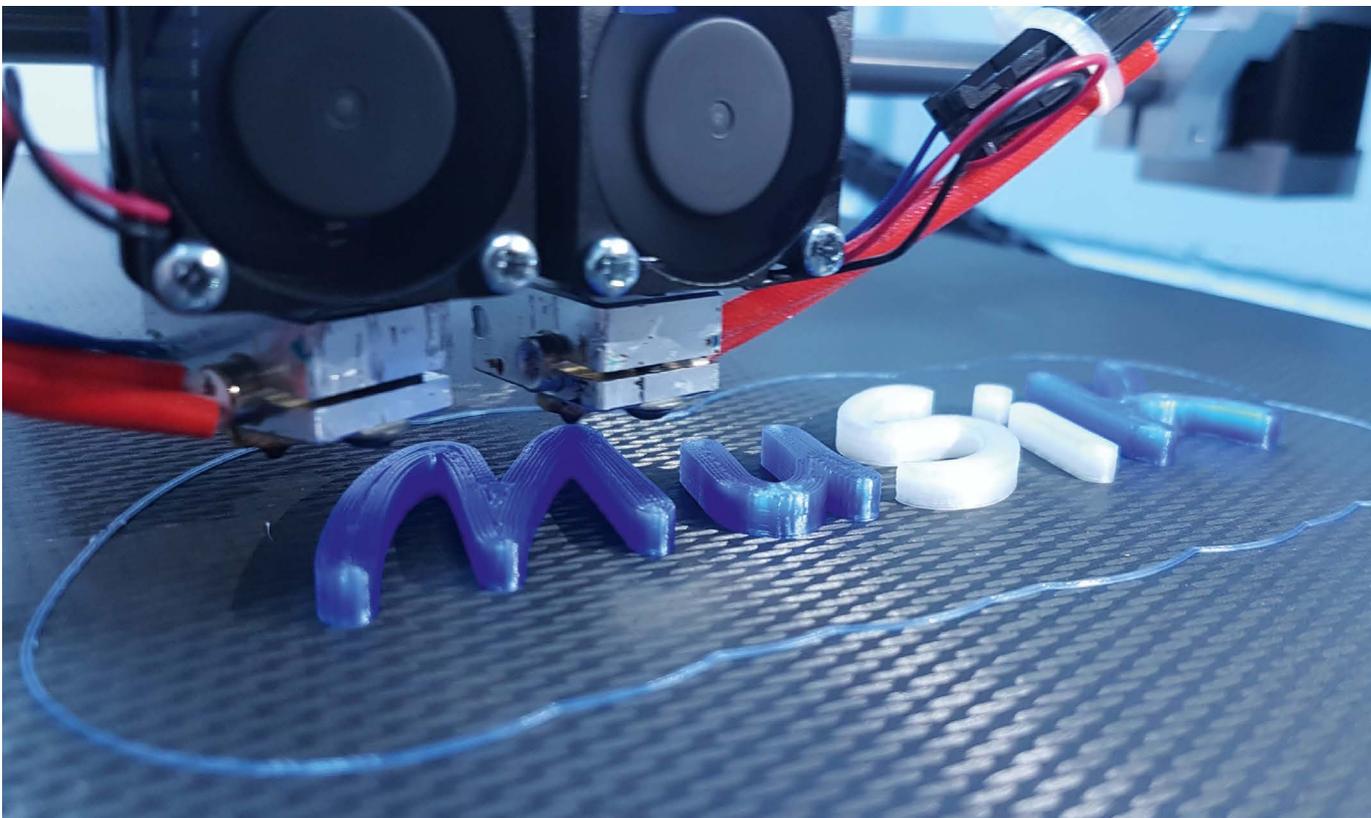
Mit dem angestrebten Multimaterialdruck werden neuartige keramische Bauteile realisierbar, die nur über die komplexe Formgebung mittels additiver Fertigung möglich sind. Dabei ergeben sich wirtschaftliche und technische Vorteile durch kürzere Herstell- und Lieferzeiten, Erhöhung der Produkt-/Chargenqualität und der Prozesszuverlässigkeit sowie eine Verkürzung von Entwicklungszyklen und der Verbesserung der Designflexibilität. Darauf aufbauend soll bei Keramikbauteilen der generelle Leichtbaugedanke mittels Materialeinsparung durch die Erzeugung komplexer Hohlraumstrukturen, neuer Werkstoffklassen sowie einer optimierten additiver Formgebung weiterverfolgt werden.

Projektpartner und -aufgaben

- **Schunk Kohlenstofftechnik GmbH, Heuchelheim**
Binder- und Füllstoffaufbereitung, Entbinderung und Keramisierung

- **Airbus Defence and Space GmbH, Taufkirchen**
Charakterisierung und Bewertung der Materialien, Druckprozesse und Bauteile hinsichtlich industrieller Anwendung
- **Pedex GmbH, Wald-Michelbach**
Filamentherstellung
- **Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. (DLR), Stuttgart**
Compoundentwicklung, Pyrolyse und Metallinfiltration
- **Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Erlangen**
Druckprozess (Robocasting)
- **GEWO-Feinmechanik GmbH, Hörlkofen**
Anlagentechnik für den Druckprozess

Projekt	Multimaterialdruck von C/Si/SiC-Keramiken (MuSiK)
Koordination	Schunk Kohlenstofftechnik GmbH Herr Gotthard Nauditt Rodheimer Straße 59 35452 Heuchelheim Tel.: 0641 608-1931 E-Mail: gotthard.nauditt@schunk-group.com
Projektvolumen	4.257 Tsd. Euro (davon 2.236 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.05.2017 bis 30.04.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projektträger	Projektträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Frau Dr.-Ing. Jessica Ritter Tel.: 02461 61-9746 E-Mail: j.ritter@fz-juelich.de



Drucken mit mehreren Materialien

Neue Legierungen für additiv gefertigte Triebwerksbauteile

Titanaluminide (TiAl) sind seit Jahren Gegenstand der Forschung, da sie die Vorteile geringer Dichte, hoher spezifischer Festigkeit sowie guter Korrosions- und Kriechbeständigkeit bis zu Einsatztemperaturen von ca. 750 °C vereinen. Diese Eigenschaften sind abhängig von der Legierungszusammensetzung sowie der Mikrostruktur, die durch Wärmebehandlung gezielt einstellbar ist. Da Titanaluminide aufgrund ihrer Struktur spröde und schwer bearbeitbar sind, ist bei der Herstellung ein enges Prozessfenster zu beachten, welches den Einsatz dieses mit ausgezeichneten Hochtemperatureigenschaften versehenen Werkstoffes bisher stark eingrenzt. Durch den Einsatz additiver Fertigungsverfahren, insbesondere des Elektronenstrahlschmelzens, besteht aber das Potenzial zur Verringerung der Herstell- und Bearbeitungsschritte, womit ein wichtiger Schritt hin zu wirtschaftlich herstellbaren formkomplexen Bauteilen mit nahezu unbegrenzter Geometriefreiheit erreicht werden kann.

Aufgaben und Ziele

Im Forschungsvorhaben NextTiAl wird ausgehend vom Stand der Technik die Kriechfestigkeit von Titanaluminid weiter gesteigert und die Einsatztemperatur auf über 850 °C erhöht. Dadurch wird das Einsatzspektrum von Bauteilen aus TiAl für die Anwendung in Flugtriebwerken erweitert. Entsprechend wird ein konsequenter Leichtbau ermöglicht und ein Beitrag zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauches geleistet.

Technologie und Methodik

Die zu entwickelnden hochtemperaturstabilen und kriechfesten Titanaluminide sind mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht verarbeitbar. Durch den Einsatz des Elektronenstrahlschmelzens wird aber eine additive Fertigung formkomplexer Bauteile ermöglicht. Die Prozesskettenentwicklung – von Vormaterialherstellung über Pulververdüsen bis zur Bauteilgenerierung – ist dabei die technologische Herausforderung.



Getriebefan-Triebwerk PW 1100G-JM für Airbus A320neo mit TiAl-Beschafelung der letzten Niederdruckturbinenstufe auf der Montagelinie

Insbesondere sind die Prozessfenster zu definieren und spezifizieren, der EBM-Prozess durch Simulation zu optimieren sowie Grundwerkstoff und Bauteile mechanisch zu charakterisieren.

Anwendung und Ergebnisse

Die zu erwartenden Forschungsergebnisse werden dazu beitragen, durch signifikante Gewichteinsparungen den spezifischen Kraftstoffverbrauch und die Effizienz von Flugtriebwerken weiter signifikant zu verbessern. Die Ergebnisse werden in die Entwicklung der nächsten Generation von Getriebefan-Triebwerken einfließen.

Projektpartner und -aufgaben

- **MTU Aero Engines AG, München**
Werkstoffentwicklung, -charakterisierung, Erarbeitung der Prozessparameter, Simulation, Demonstratorherstellung/-prüfung
- **Neue Materialien Fürth GmbH, Fürth**
Pulvercharakterisierung, Simulation des Konsolidierungsprozesses und verknüpfter Verdampfung
- **GfE Fremat GmbH, Freiberg**
Untersuchungen der Seigerungsneigung im Vormaterial und des schmelzmetallurgischen Referenzzustandes, Pulvercharakterisierung
- **GfE Metalle und Materialien GmbH, Nürnberg**
Entwicklung/Herstellung geeigneter Vormaterialien (EIGA-Elektroden) zur Pulverherstellung
- **TLS Technik GmbH, Bitterfeld**
Methodenentwicklung zur TiAl-Pulverherstellung für Verarbeitung mit EBM-Verfahren, Pulvercharakterisierung, Pulververdüsung und -fraktionierung
- **Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik und Angewandte Materialforschung (IFAM), Dresden**
Pulvercharakterisierung, Parameterstudien, Ermittlung des Prozessfensters, Herstellung von Prüfkörpern und Demonstratoren mittels EBM

Projekt	Maßgeschneiderte TiAl-Legierungen für die additive Fertigung mittels Elektronenstrahlschmelzen (NextTIAL)
Koordination	MTU Aero Engines AG Herr Dipl.-Ing. Dietmar Engel Dachauer Straße 665 80995 München Tel.: 089 1489-4556 E-Mail: dietmar.engel@mtu.de
Projektvolumen	3.682 Tsd. Euro (davon 1.913 Tsd. Euro BMBF-Förderung)
Projektlaufzeit	01.02.2017 bis 31.01.2020
Programm	Vom Material zur Innovation
BMBF-Referat	Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
Projektträger	Projektträger Jülich (PtJ)
Ansprechpartner	Herr Dr. Christoph Deiser Tel.: 02461 61-4243 E-Mail: c.deiser@fz-juelich.de



Entnahme von Bauteilen, die durch additive Fertigung hergestellt wurden

Weitere Informationen

**Bundesministerium für Bildung und Forschung
Referat Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung;
Innovationsförderung; Industrie 4.0**

Herr Dr. Helmut Bossy
E-Mail: 521@bmbf.bund.de

Referat Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT

Herr Dr.-Ing. Joachim P. Kloock
E-Mail: 523@bmbf.bund.de

www.bmbf.de

Projektträger Karlsruhe (PTKA)

Produktion, Dienstleistung und Arbeit

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

Herr Dipl.-Ing. Stefan Scherr
Telefon: +49 (0)721 608-25286
E-Mail: stefan.scherr@kit.edu

www.produktion-dienstleistung-arbeit.de

Projektträger Jülich (PtJ)

**Geschäftsbereich Neue Materialien und Chemie
(NMT)**

Forschungszentrum Jülich GmbH
Frau Dr.-Ing. Jessica Ritter
Telefon: +49 (0)2461 61-9746
E-Mail: j.ritter@fz-juelich.de

www.werkstofftechnologien.de

Impressum

Herausgeber

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
 Referat Werkstoffinnovationen, Batterie; HZG, KIT
 Referat Zukunft von Arbeit und Wertschöpfung; Innovations-
 förderung; Industrie 4.0
 11055 Berlin

Bestellungen

schriftlich an
 Publikationsversand der Bundesregierung
 Postfach 48 10 09
 18132 Rostock
 E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
 Internet: www.bmbf.de
 oder per
 Tel.: 030 18 272 272 1
 Fax: 030 18 10 272 272 11

Stand

aktualisierte Auflage, Februar 2019

Text

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)
 Projektträger Jülich (PtJ)
 Projektträger Karlsruhe (PTKA)

Gestaltung

W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld; Christiane Zay

Druck

Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co. KG,
 Frankfurt am Main

Bildnachweise

Titel: Realizer GmbH
 S. 3: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung,
 Steffen Kugler: Vorwort (Porträt Prof. Dr. Johanna Wanka)
 S. 6, 7: Airbus Group
 S. 8, 9, 46: www.siemens.com/press
 S. 10: imes-icore® GmbH
 S. 11: Form for Function GmbH, VITA Zahnfabrik H. Rauter
 GmbH & Co. KG, imes-icore® GmbH
 S. 12: Universität Paderborn – DMRC
 S. 13: Universität Paderborn, Arbeitsgruppe Computeranwendung
 und Integration in Konstruktion und Planung (C.I.K.)
 S. 14, 15: Fraunhofer IOF
 S. 16, 17: Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energie-
 systemtechnik IWES
 S. 18: BURMS
 S. 20, 28, 50: MTU Aero Engines AG
 S. 21: Bauteil: Bosch, Foto: Jürgens/ISEMP
 S. 22, 23: Materialise GmbH
 S. 24, 25: VIA Electronic GmbH
 S. 26: implantcast GmbH
 S. 28: Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, ILT
 S. 30: EDAG, Concept Laser, iLAS, BLM
 S. 31: Ilas TUHH/EDAG
 S. 32, 33: Neotech AMT GmbH
 S. 34: TU Chemnitz, IRPD AG
 S. 35: Inspire AG
 S. 36: Ruhr-Universität Bochum

S. 37: Lehrstuhl Werkstofftechnik, Ruhr-Universität-Bochum
 S. 38: EDAG Engineering GmbH, Daimler AG, FKM Sintertechnik
 GmbH
 S. 39: HARR120N/istock
 S. 40: AM Polymer Research UG
 S. 42, 43: Fa. GeSIM mbH
 S. 44, 45: Fraunhofer WKI, M. Lingnau
 S. 48: GEWO Feinmechanik GmbH
 S. 49: Schunk Kohlenstofftechnik GmbH
 S. 51: Neue Materialien Fürth GmbH

Diese Publikation wird als Fachinformation des Bundesminis-
 teriums für Bildung und Forschung kostenlos herausgegeben.
 Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahl-
 werbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.

