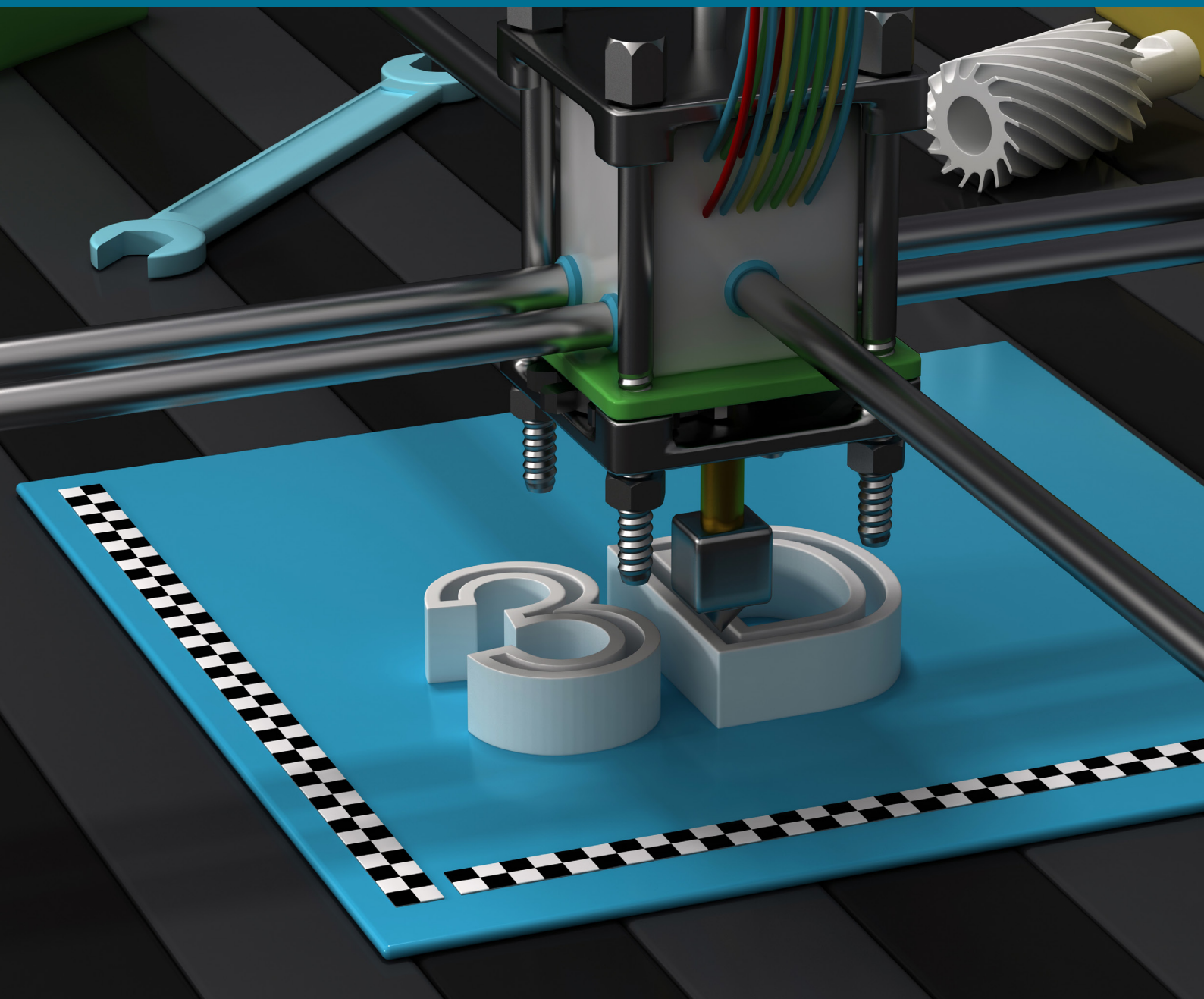




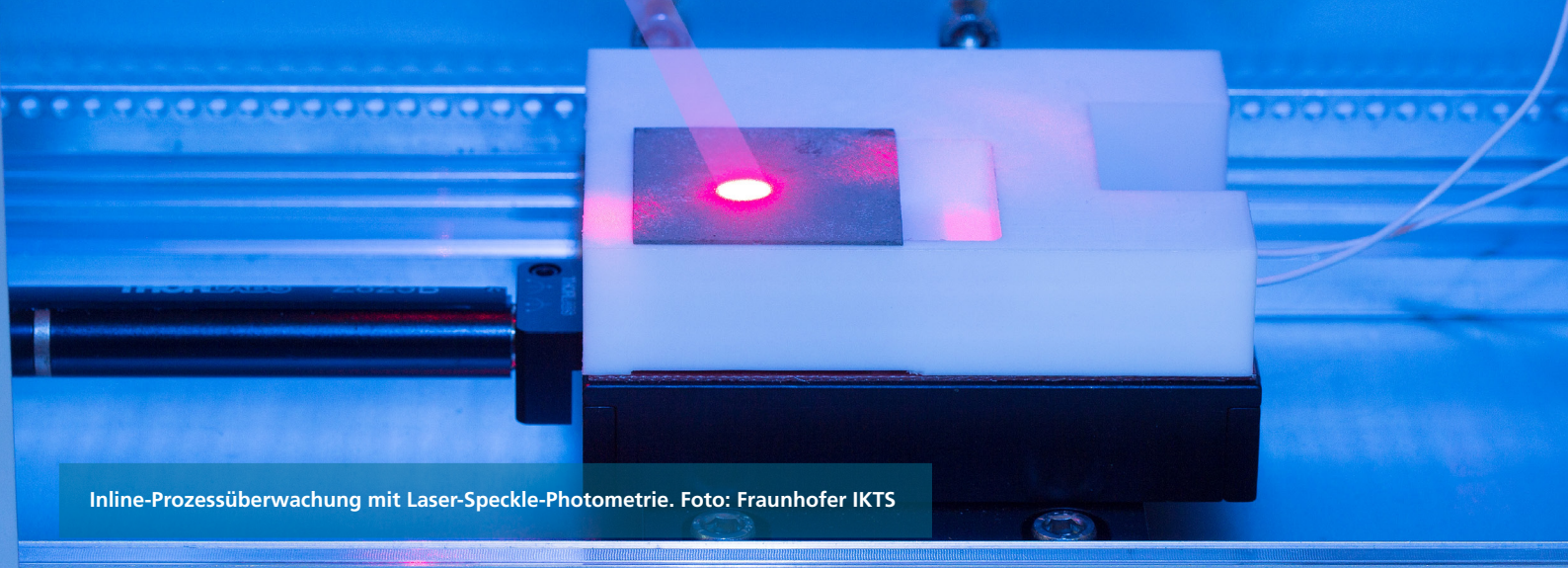
**Fraunhofer**  
MATERIALS

**MATERIALIEN FÜR DIE ADDITIVE FERTIGUNG**  
**POSITIONSPAPIER**



# HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

1. Das Spektrum der für die Additive Fertigung nutzbaren Materialien muss sowohl um eine Vielzahl prozessorientiert optimierter bzw. neu entwickelter Monomaterialien (Metalle, Polymere, Keramik, Biomaterialien) als auch um Multimaterialsysteme erweitert werden.
2. Die starke Wechselwirkung von Material und Prozess und ihr Einfluss auf die (lokalen) Bauteileigenschaften erfordert eine prozessgerechte Materialentwicklung sowie analog dazu eine materialgerechte Prozessoptimierung Hand in Hand. Dies gilt insbesondere für Multimaterial-Kombinationen.
3. Durch gezieltes Design der Materialeigenschaften (bspw. gradierte Materialien, smarte Materialien, Multimaterialsysteme etc.) einhergehend mit gesteigerten Freiheitsgraden in der Geometrie (funktionale und / oder bionischen Architekturen) werden verbesserte funktionelle Produkte mit neuen Eigenschaften realisiert.
4. Durchgängige, Prozessstufen übergreifende Auslegungs- und Simulationsmethoden zur Vorhersage der Bauteileigenschaften werden zwingend benötigt und müssen entwickelt werden.
5. Zur Erfassung und zur Qualitätssicherung der prozessbedingten Material- und Bauteileigenschaften müssen geeignete Prüf- und Qualitätssicherungsmethoden entwickelt und standardisiert werden. Dabei muss ein ganzheitlicher Ansatz verfolgt werden.
6. Die Verknüpfung prozessspezifischer Daten im Rahmen digitaler Materialzwillinge ermöglicht und erleichtert die integrierte Material- und Prozessoptimierung.
7. Bei einer anwendungsgerechten, produktbezogenen Materialentwicklung und –herstellung unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus trägt die Additive Fertigung maßgeblich zur ressourceneffizienten Produktion und zu einer generationengerechten Zukunft bei.
8. Das Anwendungs- und Marktpotenzial der Additiven Fertigung in bereits bekannten sowie in vielversprechenden neuen Feldern, insbesondere im Leichtbau, in der Biomedizintechnik und bei Industrie 4.0 ist bei weitem noch nicht ausgeschöpft und sollte durch gezielte Forschung und Entwicklung, etwa in Form von Demonstrationsprojekten, exploriert werden.



Inline-Prozessüberwachung mit Laser-Speckle-Photometrie. Foto: Fraunhofer IKTS

## Motivation

Die Notwendigkeit zur Ressourceneffizienz auf der einen Seite und der Verbraucherwunsch nach individualisierten Produkten auf der anderen Seite stellen das produzierende Gewerbe in zahlreichen Branchen vor neue Herausforderungen.

Aufgrund der wachsenden ökonomischen Bedeutung fortschrittlicher Materialien, Fertigungs- und Produktionsmethoden für das produzierende Gewerbe in Deutschland und ganz konkret aufgrund der Möglichkeit, mit Methoden der Additiven Fertigung neuartige Bauteilgeometrien und Funktionalitäten zu erzeugen sowie Prototypen und Kleinserien ohne hohe Werkzeugkosten zu fertigen, rückten Verfahren der Additiven Fertigung in den vergangenen Jahren verstärkt in das Interesse der Industrie.

Inzwischen existieren eine Vielfalt sehr gut entwickelter Verfahren (SLA, DLP, SLS, SLM, EBM, FFF und viele mehr) und ein entsprechend breites Angebot an leistungsfähigen Anlagen am Markt. Dabei sind die Verfahren und Anlagen jeweils für ein meist enges Spektrum an verwendbaren Materialien ausgelegt bzw. darauf spezialisiert. Jedoch werden Bauteil- und Produkteigenschaften neben den Fertigungsverfahren maßgeblich auch durch die verwendeten Materialien definiert. Im Zusammenspiel von maßgeschneiderten Materialien und

spezialisierten Verfahren der Additiven Fertigung liegt daher ein großes, bislang aber noch kaum ausgeschöpftes technologisches und wirtschaftliches Potenzial. Die Erschließung und Entwicklung von neuen Materialien für die Additive Fertigung, einhergehend mit der Weiterentwicklung entsprechender Verfahren und Anlagen, stellen daher hervorragende Hebel zur Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit des produzierenden Gewerbes, insbesondere auch der mittelständischen Unternehmen in Deutschland, dar.

Durch die zunehmende Digitalisierung sowohl in der Produktion (Industrie 4.0) als auch bei der Werkstoffentwicklung (Werkstoffe 4.0, Materials Data Space®) bieten sich dafür über die Additive Fertigung aktuell ausgezeichnete Chancen. Aufgrund der mit der Additiven Fertigung und der Digitalisierung einhergehenden Optionen zur dezentralen, kosteneffizienten Fertigung auch in geringen Stückzahlen (bis Losgröße 1) und zur Individualisierung von Produkten sind diese Chancen gerade für KMU und Start Up-Unternehmen sehr gut nutzbar. Daher sind Forschung und Entwicklung dringend gefordert, nachfolgend dargestellte Themenfelder zu bearbeiten.

Durch enge Vernetzung von Wirtschaft und Wissenschaft und damit durch bedarfsgerechte, fokussierte FuE kann hier für die deutsche Industrie ein langfristiger Wettbewerbsvorteil gesichert werden. Die in Deutschland sowohl in der Breite als auch in der Tiefe in ausgezeichneter Weise vorhandene Werkstoffkompetenz bietet beste Voraussetzungen dafür.

### Verwendete Abkürzungen

SLA	Stereolithographie
DLP	Digital Light Processing
SLS	Selektives Lasersintern
SLM	Selektives Laserschmelzen
EBM	Elektronenstrahlschmelzen
FFF	Fused Filament Fabrication



Für 3D-gedruckte Bauteile fehlen häufig noch werkstoffgerechte Prüfverfahren sowie angepasste Normen und Regelwerke zur Qualitätssicherung. Foto: Fraunhofer IMWS

## Aktuelle Situation

In einigen Marktsegmenten sind additiv gefertigte Komponenten bereits in einem marktfähigen Stadium. Sie weisen einen aussichtsreichen Pfad für eine neue Generation von Bauteilen und Baugruppen auf, für deren Realisierung die inhärenten Vorteile additiver Verfahren (insbesondere geometrische Komplexität, Individualität, Ressourceneffizienz, Leichtbau) gezielt genutzt werden.

Durch den aktuell starken Fokus auf thermoplastische Polymere und ausgewählte Metalle ist das Potenzial für die computergestützte Baugruppenfertigung derzeit noch kaum ausgeschöpft. Wettbewerbsvorteile durch additive Fertigungsverfahren hinsichtlich intrinsischer Funktionalität, Eigenschaftsvielfalt und Ressourceneffizienz bei der Produktentwicklung und -herstellung werden somit bis dato nur ansatzweise erschlossen und kaum genutzt. Gründe hierfür liegen in der Fokussierung von Industrie und Wissenschaft auf hochspezialisierte Werkstoffsysteme (die oft sogar



Filigrane Bauteile aus Keramik, die mittels stereolithographischem 3D-Druck hergestellt wurden. Foto: HTL

### Materials Data Space®

Für eine erfolgreiche Implementierung von Innovationen innerhalb von Industrie 4.0 ist die Berücksichtigung der Werkstoffe essentiell. Deshalb hat der Fraunhofer-Verbund MATERIALS mit seiner Initiative Materials Data Space® den Aufbau einer gleichnamigen Plattform angestoßen. Diese wird die durchgehende und vernetzte Digitalisierung von Materialien, Werkstoffen und Bauteilen («digitaler Zwilling») in den relevanten Prozessen im Rahmen von Industrie 4.0 ermöglichen, ebenso wie die ökonomische Optimierung und Bewertung. Durch die Vernetzung innerhalb eines sicheren Datenraums werden kürzere Entwicklungszeiten und lernende Fertigungsverfahren möglich, zudem ergeben sich enorme Potenziale für Materialeffizienz, Produktionseffizienz und Recycling. Werkstoffe beziehungsweise werkstoffintensive Wertschöpfungsketten werden durch diese im Idealfall unternehmensübergreifende Plattform Industrie-4.0-fähig. Die Digitalisierung von Materialien und Werkstoffen über ihre gesamte Wertschöpfungskette erzeugt einen zusätzlichen Mehrwert, indem nicht nur der Werkstoff selbst, sondern auch seine digitale Repräsentation Gegenstand von Geschäftsmodellen werden kann. Der Ansatz, zu dem derzeit Use Cases unter anderem für metallische Werkstoffe in Hochtemperaturanwendungen sowie für ein Standardpolymer erarbeitet werden, trifft auf großes Interesse bei Unternehmen.

ursprünglich für andere Fertigungsverfahren entwickelt wurden) sowie im fehlenden, übergreifend vernetzten Wissen um die werkstoffseitigen Voraussetzungen zur integrierten additiven Herstellung komplexer Bauteile (z.B. gradiertes Bauteile, Bauteile mit integrierten sen-



Für die Medizintechnik (hier keramischer Knochenersatz mit gedruckter Knochenhülle und geschäumter Knochenstruktur) eröffnet additive Fertigung neue Möglichkeiten. Foto: Fraunhofer IKTS

sorischen/aktorischen Funktionen und multifunktionaler Sensor-Aktor-Einheiten).

Außerdem lassen sich Anforderungen an moderne Produkte in der Regel nur durch den flexiblen Einsatz mehrerer Werkstoffe erfüllen. Dem kann mit bisherigen additiven Technologierouten nur unzureichend entsprochen werden. Die Anzahl verarbeitungsfähiger Materialien für komplexe Anwendungen mit mehreren Werkstoffen sowie auch das Wissen um deren Wechselwirkungen untereinander während der Fertigung und während des Einsatzes sind derzeit noch limitiert. Dieser Technologiedomäne sind dadurch gegenwärtig enge Grenzen gesetzt.

Gleichzeitig fehlen konsistente Strategien zur Qualitätssicherung, die über den gesamten Zyklus von der Konstruktion bis zum Einsatz die besonderen Herausforderungen inhomogener Werkstoffsysteme berücksichtigen und maßgeschneiderte Bauteileigenschaften mit vergleichbaren Qualitätsmerkmalen wie bei konventionellen Verfahren ermöglichen. (In besonderer Weise gilt dies für die Verwendung biobasierter oder biokompatibler Materialien im Hinblick auf medizinische Einsatzbereiche.) Zudem fehlen für werkstoffgerechte Prüfungen vielfach die speziell für additiv gefertigte Bauteile entsprechend angepassten Normen und Regelwerke.

Während der eigentliche Prozess der additiven Fertigung für sich allein betrachtet also bereits einen hohen Effizienzgrad erreicht hat, zeigt ein Blick auf die gesamte Kette der notwendigen Arbeitsschritte vor und nach der Fertigung (z.B. Qualitätssicherung der Ausgangsmaterialien, Nachbehandlung von Bauteilen und Oberflächen usw.), dass es sich bislang lediglich um eine Aneinanderreihung von größtenteils isolierten, autonomen Prozessen mit oft unscharfen und meist manuellen Schnittstellen handelt. Die Betrachtung und Nutzung der wechselseitigen Verknüpfungen aller Fertigungsschritte hinsichtlich der gewünschten Materialei-




Die lokale Variation von Werkstoffen, etwa mit unterschiedlichen Leitfähigkeiten, ist ein vielversprechendes Anwendungsfeld im Bereich Elektronik. Foto: MEV-Verlag

genschaften ist daher – neben der Automatisierung der entsprechenden Prozessketten – eine der wichtigsten Herausforderungen für eine breitere Anwendung dieser Fertigungstechnik.

## Märkte und Chancen

Für eine stärkere Durchdringung der verarbeitenden Industrie mit additiven Fertigungsverfahren (insbesondere in den Branchen **Elektronik, Energie-, Medizin- und Verfahrenstechnik**, aber auch in der **Luft- und Raumfahrt, im Maschinen- und Fahrzeugbau** sowie in der **Sicherheitstechnik**) ist die Entwicklung eines breiten Portfolios an Materialien und Halbzeugen elementar, die es erlauben, die Möglichkeiten der AM-Anlagentechnik voll auszuschöpfen. Dazu ist zunächst die Verbreiterung des bekannten Werkstoffportfolios mit auch auf Bauteilebene vorhersagbaren bzw. lokal genau einstellbaren Eigenschaften erforderlich.

In Ergänzung dazu ist die Weiterentwicklung bestehender additiver Fertigungstechnologie zu einem



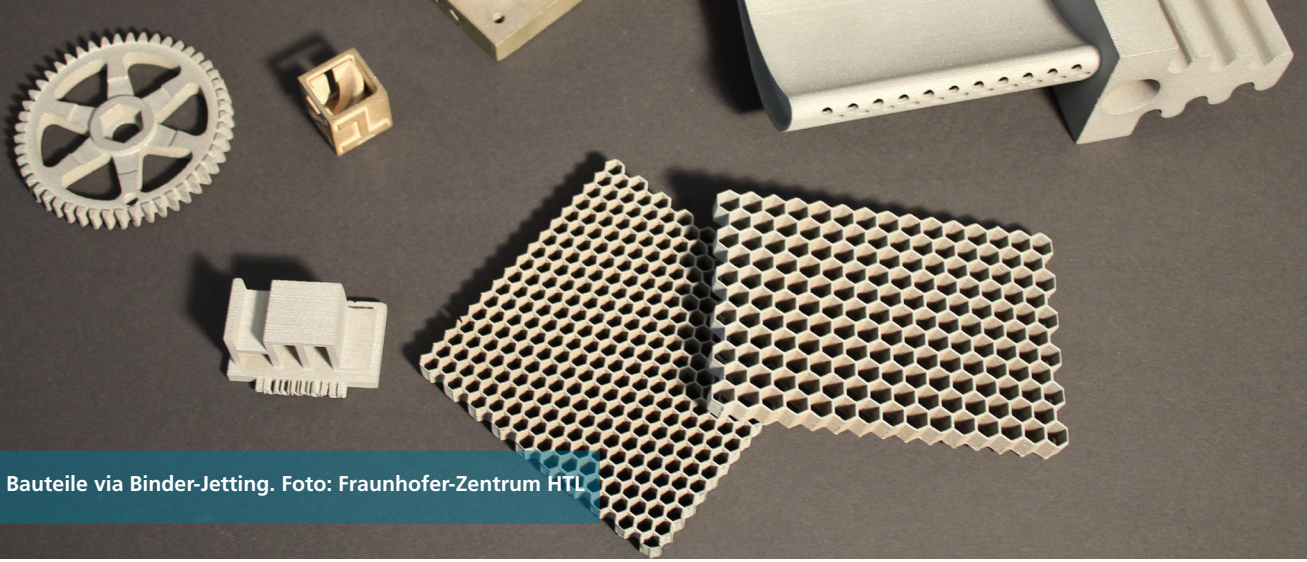
Scaffoldstruktur für Gewebezüchtung. Foto: Fraunhofer ISC

integrierten Multi-Material-Ansatz zwingend notwendig. Erst auf dieser Basis lassen sich maßgeschneiderte hybride Bauteilkonzepte realisieren, die sich exakt am lokalen Anforderungsprofil des Bauteils orientieren (mechanisch, elektrisch, optisch, chemisch, biologisch) und diesem durch eine funktionsangepasste Variation der Werkstoffeigenschaften (z.B. Steifigkeit, elektrische und thermische Leitfähigkeit, etc.) in allen drei Bauteildimensionen gerecht werden. Ausschlaggebend für eine breitere Nutzung der Additiven Fertigung ist dann ein bedarfsgerecht integrierter konstruktiver, prozesstechnischer und werkstofflicher Ansatz zur Variation von Eigenschaften auf Bauteilebene.

Die additive Fertigung verfügt über das einzigartige Potenzial, eigenschaftsgradierte oder Multi-Material-Bauteile in eine wirtschaftlich darstellbare Anwendung zu überführen. Mit der (Weiter-)Entwicklung einer solchen Schrittmacher-Technologie sowie insbesondere mit der Weiterentwicklung der dafür notwendigen Werkstoffkombinationen können klassisch vor- und nachgelagerte Fertigungsschritte (Formgebung, Funktionalisierung und Montage) in einen einzigen Prozess integriert werden. Damit kann sich in einer Vielzahl von Branchen eine überdurchschnittliche ökonomische Hebelwirkung durch verkürzte Entwicklungs- und Produktionszeiten, höhere Durchsätze, höhere Produktionsflexibilisierung sowie effizienteren Ressourceneinsatz entfalten. So bietet z.B. in der **Elektronik** die lokale Variation von Werkstoffen mit unterschiedlichen Dielektrizitätskonstanten, magnetischen Eigenschaften oder elektrischen Leitfähigkeiten einen geeigneten Ansatz, um ein Integrationsoptimum bei der Fertigung komplexer Baugruppen (Widerstand, Kondensator, Induktivität) mit eingebetteten Funktionen zu realisieren. Die existierenden Grenzen planarer Fertigungsansätze könnten damit bei leistungselektronischen Komponenten mit elektromagnetischen Werkstoffen überwunden werden.



Die Additive Fertigung eröffnet einen realistischen Weg, um auch komplexe mechatronische Baugruppen wie beispielsweise ganze Elektromotoren, Mikroturbinen oder Sensor-Aktor-Einheiten in einem Schritt zu fertigen (**Mechatronik, Smarte Systeme**). Die Integration von Funktionen ermöglicht es, komplexere Produkte mit insgesamt weniger Arbeitsschritten und weniger Einzelkomponenten herzustellen. Bei Verwendung von für den Einsatzzweck optimierten Materialien bzw. Materialkombinationen an den »richtigen« Stellen kann eine höhere Produktzuverlässigkeit und eine bessere Performance erreicht werden (weniger Bauteile, weniger Fügestellen). So könnte z.B. auch in **Medizintechnik** der Weg für einen breiteren Einsatz smarterer mechatronischer



3D-gedruckte Bauteile via Binder-Jetting. Foto: Fraunhofer-Zentrum HTL

Implantate geignet werden. Die Medizintechnik könnte außerdem von wirtschaftlichen Verfahren profitieren, die es ermöglichen, belastungsadaptierte biomimetische Strukturen (porös/dicht) für skeletale und dentale Implantate aus Keramiken, Polymerkompositen und Metallen individualisiert zu fertigen. Bei Implantaten könnten die Materialeigenschaften zukünftig lokal angepasst werden oder sogar steuerbar sein. Polymere Strukturen können hier speziell in Bereichen mit niedrigem Lasteintrag zum Einsatz kommen (z.B. Weichteilimplantate wie bei Augenlinsen).

Unter Einsatz der entsprechenden Materialien eröffnen sich durch die Additive Fertigung neue Potenziale für smarte Sensoranwendungen. Z.B. würde es die gezielte funktionale Integration sensorischer Elemente in besonders komplexen, nicht zugänglichen, mikroverfahrenstechnischen keramischen Komponenten erlauben, mit entsprechender **Messtechnik** ortsaufgelöst Daten aufzunehmen und die komplexen (bio-)chemischen Verfahrensschritte zu erfassen und zu optimieren.

Die kontinuierliche Variation von sonst kaum kombinierbaren Werkstoffeigenschaften in einem Bauteil wäre der Schlüssel für Bauteile mit lokal gradierten Eigenschaften z.B. für die **Luftfahrttechnik**. Beispielsweise werden bei Turbinen hohe Wärmeleitfähigkeit und Korrosionsschutzeigenschaften der verwendeten Materialien an unterschiedlichen Stellen in optimaler Weise benötigt.

Durch gradierten Druck ließen sich höhere Betriebstemperaturen realisieren, welche bisher nur über komplexe und kostspielige, mehrstufige Prozesse erreicht werden konnten. In der **Energietechnik** besteht ein Bedarf nach Werkstoffen, die höhere Einsatztemperaturen und damit bessere Wirkungsgrade z.B. von Turbinenbauteilen wie Schaufeln usw. ermöglichen. Mit derartigen Werkstoffen würde das Einsatzgebiet additiv gefertigter Komponenten deutlich erweitert.

Bei der großskaligen Fertigung von z.B. Photovoltaik-Modulen und Energiespeichern könnten in der Zukunft gemäß einer »Predictive Maintenance«-Philosophie Verschleißteile durch eine intelligente Verknüpfung mit Fertigungsanlagen unmittelbar vor dem Ausfall reproduziert werden und so die Kosten, beispielsweise durch eine geringere Ausfallzeit einer Anlage, deutlich reduziert werden. In diesem Kontext bestehen klare Wettbewerbsvorteile gegenüber konventionellen Fertigungsmethoden. Die ressourcenschonende Herstellung von leichten 3D-gedruckten Komponenten ermöglicht zudem weitere, signifikante Differenzierungsmöglichkeiten und eine weitere Senkung der Herstellungskosten unter ökologischen Aspekten.

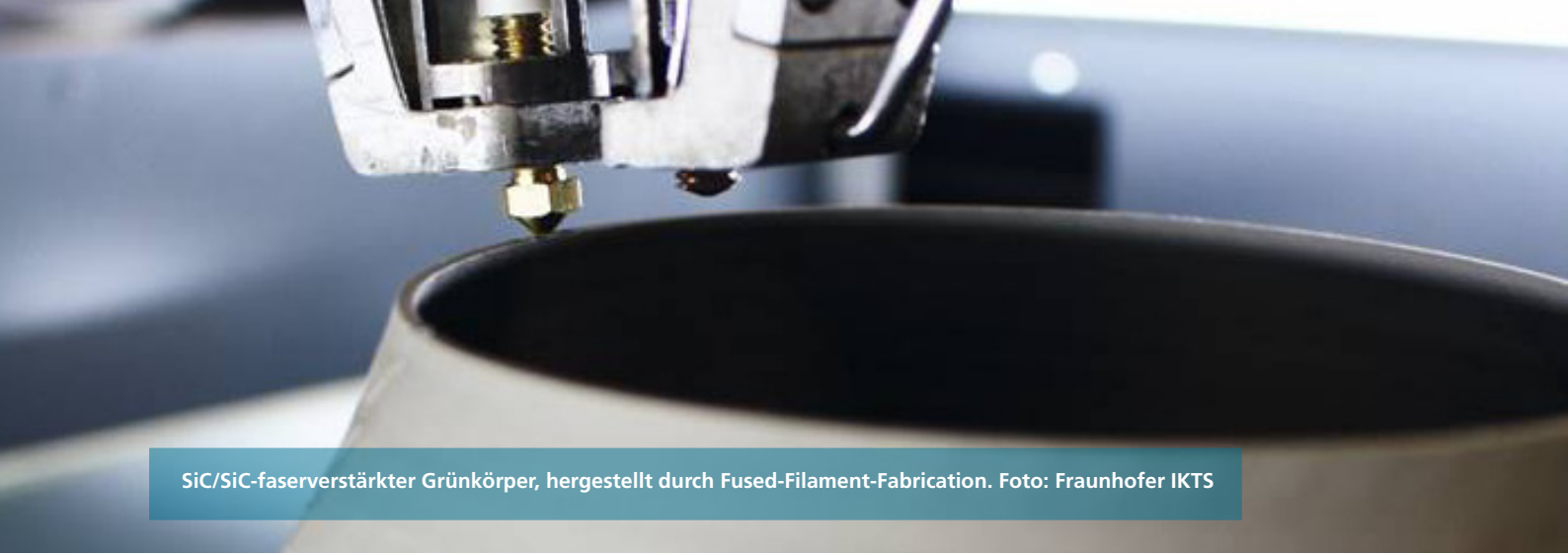
## Herausforderungen

Um deutschen Unternehmen eine solche Schlüsseltechnologie zu sichern, müssen die bisher stark auf den Formgebungsprozess konzentrierten Arbeiten um adäquate Strategien zur **Erweiterung der nutzbaren Werkstoffpalette** (Einzelwerkstoffe) sowie zu Entwicklung neuer, **verarbeitungsfähiger Multimaterialsysteme** ergänzt werden.

Dies umfasst Methoden zu deren Herstellung, Prozessierung, Verarbeitung und Bewertung entlang des gesamten Produktlebenszyklus. Vor allem geht es aber auch darum, nicht nur den Druckprozess selber digital und automatisiert zu gestalten, sondern den gesamten



Beispiele für 3D-Filamentdruck, links: nach dem Druck, rechts: rein metallisches Bauteil nach Wärmebehandlung, Foto: Fraunhofer IFAM



SiC/SiC-faserverstärkter Grünkörper, hergestellt durch Fused-Filament-Fabrication. Foto: Fraunhofer IKTS

Prozess einschließlich aller Vor- und Nacharbeiten. Nur bei Digitalisierung der gesamten Produktionskette können die Vorteile der adaptiven Fertigung auch für größere Stückzahlen realisiert werden. Dies ist auch eine Herausforderung für Materialien, die entsprechend gestaltet werden müssen. Beispielsweise müssen die entstehenden Oberflächen ohne manuelle Reinigungsprozesse lackier- oder klebbar sein. Beim Druck von Multimaterialbauteilen müssen die verschiedenen Materialien so miteinander verbunden sein als sei es ein monolithisches Bauteil. Dies gelingt heute noch nicht. Mit Blick auf weitere Materialgruppen besteht etwa im Bereich der strahlbasierten Verfahren (z.B. Laser- und Elektronenstrahlschmelzen, Auftragsschweißen), ein hoher Bedarf für die Entwicklung **prozessoptimierter metallischer Werkstoffe**, die in besonderer Weise die thermische Geschichte der Prozessroute (Erstarrungsgeschwindigkeit, gerichtete Erstarrung) abbilden bzw. möglichst Heißbriss-unempfindlich sind. Ersteres kann zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften genutzt werden, Letzteres kann zur Vereinfachung der Druckstrategien genutzt werden sowie zur Einsparung von Stützstrukturen und damit zur Verbesserung der Material-effizienz und Prozessökonomie. Im Hinblick auf die häufig notwendigen Nachbehandlungsverfahren (z.B. Wärmebehandlung, Glätten, Korrosionsschutz) besteht ein hoher Bedarf an maßgeschneiderten und effizienten Verfahren, die speziell auf die neuen, additiv hergestellten metallischen Werkstoffe angepasst sind. Von Nutzerseite werden hier vorrangig Aluminiumlegierungen, Werkzeugstähle und Titanwerkstoffe sowie Nickelbasis-Superlegierungen verlangt.

Durch den spezifischen Herstellungsweg beim AM-Schmelzverfahren ergeben sich wiederum ganz andere Anforderungen an die Werkstoffentwicklung. Hier entstehen Bauteil und Werkstoff quasi gleichzeitig, bei den Solid-State- oder binderbasierten Verfahren jedoch

voneinander entkoppelt. Für binderbasierte Verfahren resultieren daraus die folgende Anforderungen:

- Entwicklung von **kostengünstigen Bindersystemen**, die eine unkomplizierte Formgebung im Druckprozess ermöglichen und sich möglichst einfach und umweltfreundlich rückstandsfrei aus dem Bauteil entfernen lassen
- Entwicklung von **Bindersystemen auf Basis nachwachsender Rohstoffe**
- Entwicklung von Sauerstoff- und Kohlenstoff-toleranten Legierungen mit guten mechanischen und Sinter-Eigenschaften
- Entwicklung von **ko-sinterbaren Werkstoffpaarungen für Eigenschaftskombinationen**, z.B. elektrisch leitend / nichtleitend oder magnetisch / nicht-magnetisch.

Bei beiden Verfahren ist die Entwicklung maßgeschneiderter, kostengünstiger Metallpulver ein Bedarf. Als Entwicklungsziele können hier genannt werden:

- **Optimierung der Partikelgestalt** zur Verbesserung der Fließfähigkeit, der Packungs- und der



Die Mikrostruktur von Werkstoffen (hier eine Implantat-Knochen-Grenzfläche) ist auch bei additiver Fertigung entscheidend für die Leistungsfähigkeit des Materials.

Foto: Fraunhofer IMWS





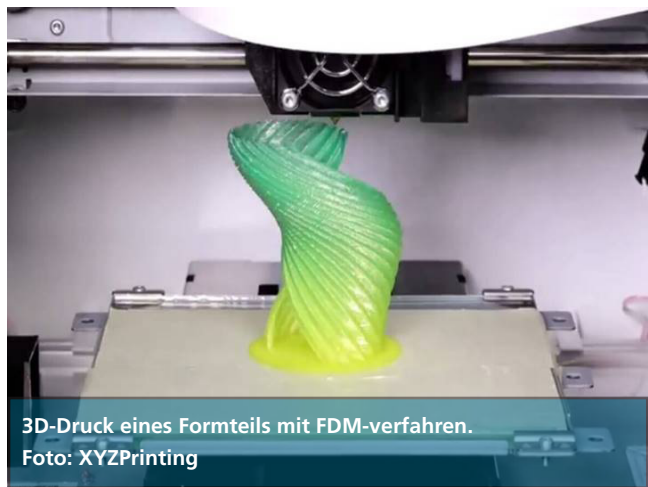
Granulat, Filament und 3D-gedruckter Demonstrator (Steckerabdeckung) aus 100% Recyclingmaterial. Foto: Fraunhofer ICT

Sinterdichte (z.B. satellitenfrei, möglichst sphärisch, möglichst keine hohlen Partikeln)

- Bei der Hybridisierung **gezielte Beeinflussung der Sinteraktivität** durch Veränderung der Partikelform und durch die Erzeugung metastabiler Phasen z.B. durch Hochenergiemahlen

Bei der additiven Fertigung von Kunststoffbauteilen steht bisher die Entwicklung und Verwendung von **3D-druckfähigen Hochleistungskunststoffen** sowie von faser- und partikelverstärkten Kunststoffen im Fokus des Nutzerinteresses. Jedoch besteht auch hier erhebliches Potenzial, durch gezielte Materialentwicklung die Materialvielfalt und Bauteilqualität deutlich zu steigern. Durch ein erweitertes Portfolio prozessierbarer Multi-Material-Kombinationen werden schließlich auch gradierte und komplexe, additiv gefertigte Bauteile und Bauteilgruppen wirtschaftlich interessant. Eine zentrale FuE-Anforderung besteht darin, Wechselwirkungen (beispielsweise Wärmeausdehnungskoeffizienten, Schwindungsverhalten, Reaktionen an Grenzflächen) inhomogener Werkstoffsysteme bereits während des Preprocessing zu beachten, während der Aufbauphase zu erfassen und im Ergebnis zu bewerten, um sie danach in Strategien zur adaptiven und lernfähigen Steuerung der Fertigungssysteme umzusetzen. Der Einsatz von **Industrie-4.0-fähigen Werkstoffen**, das heißt das Mitführen von digitalen Zwillingen über den gesamten Wertschöpfungsprozess, stellt hierbei einen erleichternden und entscheidend beschleunigenden Faktor dar. Um die Akzeptanz bei Herstellern und Anwendern sicherzustellen, müssen konsistente Ansätze zur Zusammenführung der generierten Single- und Multi-Material-Datensätze entwickelt und in **multiparametrische Versagens- und Prädikationsmodelle** überführt werden.

Schließlich sind auch Technologieentwicklungen für Wiederaufarbeitung, Reparatur und Recycling von



3D-Druck eines Formteils mit FDM-verfahren. Foto: XYZPrinting

Multimaterial- und funktionsintegrierten, additiv gefertigten Bauteilen beziehungsweise Systemen erforderlich, um die breite Anwendung in der Industrie mit den bekannten **Nachhaltigkeitszielen** zu verbinden. Dies gilt insbesondere für die Integration von Funktionsmaterialien, bei welchen eine Wiederverwertung nicht nur ökologisch, sondern auch wirtschaftlich sinnvoll ist.

## Bestehende Fördermaßnahmen

Die dargestellten Herausforderungen adressieren ein Themenfeld, das im Rahmen aktueller Förderbekanntmachungen weitgehend unberücksichtigt bleibt (namentlich transnationale Verbundvorhaben innerhalb des ERA-NET »M-era.Net II« »Materialwissenschaft und Werkstofftechnologien« – Themenschwerpunkt »Materialien für die Additive Fertigung« – in den Rahmenprogrammen »Vom Material zur Innovation« und »Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen« sowie Werkstoffplattform »Hybride Materialien – Neue Möglichkeiten, Neue Marktpotenziale«). Während innerhalb des ERA-NET »M-era.Net II« die Entwicklungen zu Materialien für die additive Fertigung explizit



3D-siebgedrucktes Bauteil aus einer Wolfram-Legierung. Foto: Fraunhofer IFAM

gefördert werden, wird die komplexe Herausforderung in der Identifizierung und Verarbeitung von Werkstoffsystemen, die mehrere Materialien einschließen (inkl. hybride Materialien) nicht berücksichtigt. Programme im Rahmen der Werkstoffplattform Hybride Materialien schließen dagegen Vorhaben, die sich im Schwerpunkt mit additiver Fertigung befassen, explizit aus. Die daraus resultierende Lücke bedarf einer besonderen Beachtung, da die additive Fertigung prädestiniert ist, die Innovationshemmnisse bei der Überführung hybrider Werkstoffe (auch unter Einbezug nichtmetallischer anorganischer und polymerer Werkstoffe) in die wirtschaftliche Herstellung zu überwinden.

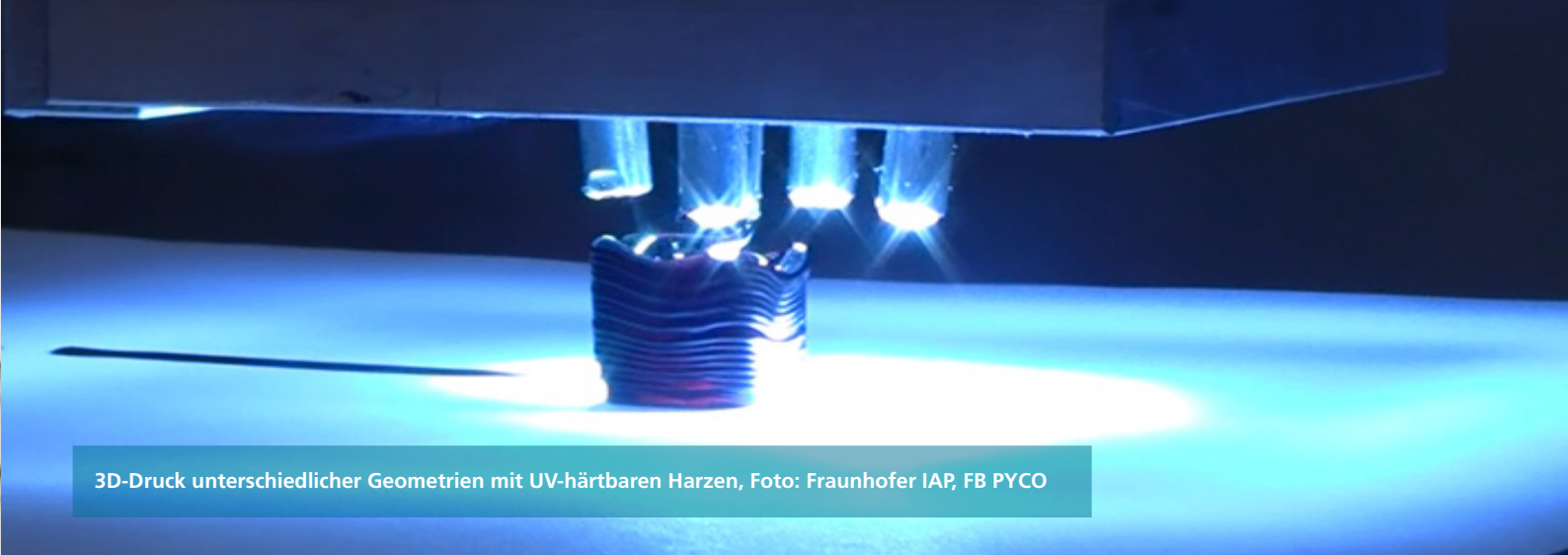
Das europäische Forschungsförderprogramm Horizon 2020 strebt mit dem Call »Pilot lines for metal Additive Manufacturing« Erkenntnisgewinn durch Realisierung

eines Beispielprozesses an und ist eher prozessorientiert. Der Call ist auf metallische Werkstoffe limitiert, adressiert Materialentwicklung nicht explizit, sehr wohl allerdings den Bedarf für – auch materialbezogene – **Qualitätssicherung, Zertifizierung und neue Standardisierung**. Mit dem Call DT-NMBP-19-2019 »Advanced materials for additive manufacturing (IA)« wird der Bedarf an einer erweiterten Materialvielfalt zwar adressiert, jedoch nicht weiter spezifiziert. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat 2017 das Schwerpunktprogramm »Werkstoffe für die additive Fertigung« (SPP 2122) ins Leben gerufen. Das Programm ist auf sechs Jahre angelegt. Es beschränkt sich auf Pulvermaterialien und Laserschmelzen. Der Aspekt der Materialkombination wird erwähnt, aber nicht in den Fokus genommen.

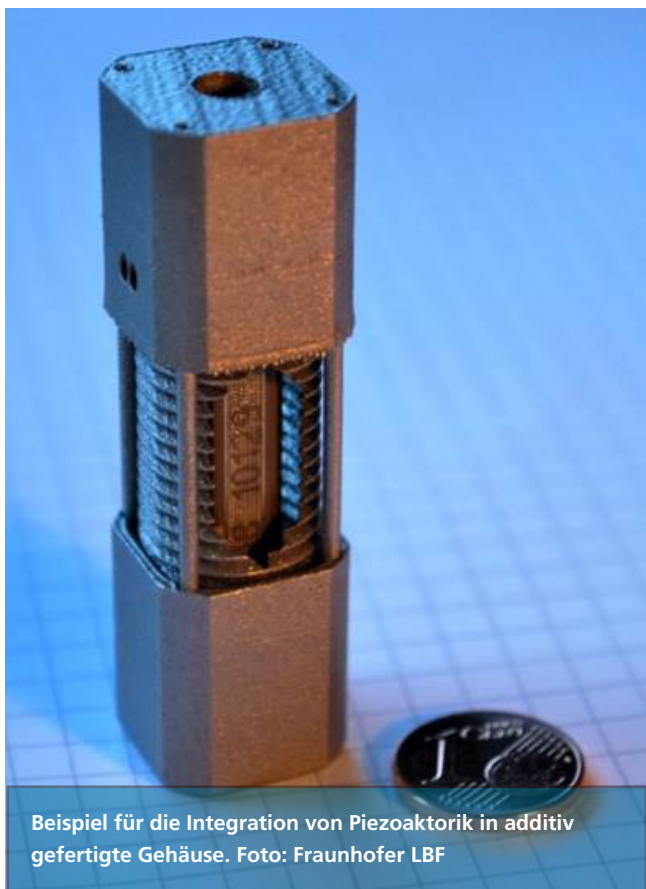
## Wissenschaftlich-technische Ziele

Die bestehende Materialbasis für die Herstellung komplexer Hybridbauteile mit orts aufgelösten Funktionen (elektrischen, optischen, mechanischen u. a.) muss über alle relevanten Werkstoffklassen hinweg erweitert werden. Insbesondere gilt das für Metalle, Polymere, Gläser, Keramiken und biokompatible sowie auch biologische Materialien. Dies umfasst auch geeignete Verfahren zur Aufbereitung kompatibler multimaterialfähiger Halbzeuge (Pasten, Filamente, Tinten, Suspensionen, Pulver). Zudem müssen geeignete Werkstoffsysteme für **gradiente, komposit- und biokompatible Hybride** identifiziert und hinsichtlich ihrer Wechselwirkungen/ Abhängigkeiten zwischen Mikrostruktur, Aufbereitung und Werkstoffverhalten während der Aufbauphase und im Endprodukt evaluiert und durch geeignete Qualitätsparameter definiert werden. Forschung und Entwicklung im Sinne dieses ganzheitlichen Ansatzes in einer ohnehin stark digital geprägten Technologiedomäne stellen exemplarische Beispiele für das Konzept





3D-Druck unterschiedlicher Geometrien mit UV-härtbaren Harzen, Foto: Fraunhofer IAP, FB PYCO



Beispiel für die Integration von Piezoaktuatorik in additiv gefertigte Gehäuse. Foto: Fraunhofer LBF

des Materials Data Space® dar, also der vertikal und horizontal durchgängigen digitalen Verfügbarkeit von relevanten Werkstoffinformationen. Erforderlich sind darüber hinaus geeignete Mess- und Prüftechnologien (einschließlich physischer Sensorsysteme) für die präzise Echtzeiterfassung und -steuerung lokaler Eigenschaftsprofile in Multi-Material-Komponenten während des Preprocessings, der Aufbauphase und des Postprocessings sowie daraus ableitbare Strategien zur Inline-Qualitätssicherung mit dem Ziel einer »Nullfehlerproduktion« bei minimalen Losgrößen. Ansätze zu Aufbau, Integration oder Adaption einer **Datensammlung** für Multimaterialanwendungen

insbesondere mit Blick auf in-operando generierte Messdaten während der Aufbauphase sind zu entwickeln. Entlang des gesamten Produktlebenszyklus müssen zudem **multiparametrische Versagens- und Prädiktionsmodelle** für Komponenten mit lokalen Werkstoff- und Eigenschaftsvariationen erarbeitet werden. Hier ist auch die Adhäsion der verschiedenen Materialien untereinander über den gesamten Produktlebenszyklus von entscheidender Bedeutung.

Für die zielgerichtete Überführung der neuen Konzepte in die industrielle Anwendung sind innovative Bauteildesigns mit lokal variierenden Eigenschaftsprofilen in kompatiblen Werkstoffsystemen zu entwickeln. Dies eröffnet herstellungs- und anwendungsseitig signifikante Vorteile gegenüber konventionellen Bauteilkonzepten. Grundlage hierfür sollten innovative Simulationsansätze sein, die werkstoffseitige Potenziale und anforderungsgerechte Auslegung integrieren. Um das Potenzial von additiv gefertigten Multi-Material-Komponenten vollständig nutzen zu können, müssen entsprechende Reverse-Design-Strategien als Eingabe für eine Werkstoff- und Bauteilsimulation, die von den lokalen Anforderungsprofilen eines Bauteils ausgeht, erarbeitet werden.

Spezielles Interesse erfahren digital gesteuerte und additive Fertigungsverfahren im Bereich medizinischer Versorgung, wo ein hohes Innovationspotenzial hin zu nachhaltigeren Therapien in personalisierten Prothesen, Implantaten und Medikamenten gesehen wird. Die 2017 von der FDA (U.S. Food & Drug Administration) herausgegebenen technischen Erwägungen zur additiven Fertigung von Medizinprodukten bietet eine erste Richtlinie. Entsprechend **zertifizierte Materialien** und **Vorschriften zur standardisierten Prüfung** und Klassifizierung insbesondere hinsichtlich biologischer Materialien sind erforderlich, um innovative Technologieentwicklungen in die klinische Anwendung zu überführen.

# FRAUNHOFER-VERBUND MATERIALS

Der Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile – MATERIALS bündelt die Kompetenzen von 20 materialwissenschaftlich orientierten Instituten der Fraunhofer-Gesellschaft. Materialforschung bei Fraunhofer umfasst die gesamte Wertschöpfungskette von der Entwicklung neuer und der Verbesserung bestehender Materialien über die Herstelltechnologien im industrienahen Maßstab, die Charakterisierung der Eigenschaften bis hin zur Bewertung des Einsatzverhaltens. Entsprechendes gilt für die aus den Materialien hergestellten Bauteile und

deren Verhalten in Systemen. Der Verbund setzt sein Know-how schwerpunktmäßig in den volkswirtschaftlich bedeutenden Handlungsfeldern Energie und Umwelt, Mobilität und Transport, Gesundheit, Sicherheit sowie Bauen und Wohnen ein, um über maßgeschneiderte Werkstoff- und Bauteilentwicklungen Systeminnovationen zu realisieren. Der Verbund Materials beschäftigt über 4400 Mitarbeitende und bewegt jährlich einen Haushalt von etwa 470 Millionen Euro.

## KONTAKT

Prof. Dr. Ralf B. Wehrspohn  
Vorsitzender  
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile -  
MATERIALS  
c/o Fraunhofer-Institut für Mikrostruktur  
von Werkstoffen und Systemen IMWS  
Walter-Hülse-Straße 1  
06120 Halle (Saale)

Telefon: +49 345 5589-103  
Mail: [vorsitz@materials.fraunhofer.de](mailto:vorsitz@materials.fraunhofer.de)

Prof. Dr. Bernd Mayer  
stv. Vorsitzender  
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile -  
MATERIALS  
c/o Fraunhofer-Institut für Fertigungstechnik  
und Materialforschung IFAM  
Wiener Straße 12  
28359 Bremen

Telefon: +49 421 2246-401  
Mail: [vorsitz@materials.fraunhofer.de](mailto:vorsitz@materials.fraunhofer.de)

Dr. Ursula Eul  
Geschäftsführung  
Fraunhofer-Verbund Werkstoffe, Bauteile -  
MATERIALS  
Bartningstraße 47  
64289 Darmstadt

Telefon: +49 6151 705-262  
Mail: [ursula.eul@materials.fraunhofer.de](mailto:ursula.eul@materials.fraunhofer.de)