

## Projektplan

### **HoliAM: Holistische Optimierung der Oberflächengüte in der additiven Fertigung von metallischen Gläsern mittels Laser Powder Bed Fusion (01IF24906N)**

#### **Motivation (und wirtschaftlicher Nutzen)**

Die Additive Fertigung mittels Laser Powder Bed Fusion (PBF-LB/M) hat sich in den vergangenen Jahren zu einer Schlüsseltechnologie für die Herstellung komplexer metallischer Bauteile entwickelt. Besonders in Branchen wie der Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt oder Feinwerktechnik steigt der Bedarf an hochfesten, leichten und individuell anpassbaren Komponenten stetig. Metallische Massivgläser (Bulk Metallic Glasses, BMGs) besitzen aufgrund ihrer amorphen Struktur außergewöhnliche Eigenschaften wie hohe Festigkeit, Elastizität und Korrosionsbeständigkeit. Dadurch ergeben sich große Potenziale für Anwendungen in der Medizintechnik, Feinmechanik und bei hochbelasteten Präzisionsbauteilen. Eine wesentliche Herausforderung ist jedoch die Oberflächenqualität additiv gefertigter BMG-Bauteile. Durch den schichtweisen Aufbau entstehen Rauheiten, Pulveranhaftungen und lokale Defekte, die insbesondere bei metallischen Gläsern kritisch sind, da bereits kleine Oberflächenfehler die Bauteillebensdauer deutlich reduzieren können. Zusätzlich sind etablierte Nachbearbeitungsverfahren nur eingeschränkt geeignet und ihre Wechselwirkungen mit BMGs kaum erforscht. Thermische oder mechanische Belastungen können die amorphe Struktur beeinflussen und damit die gewünschten Materialeigenschaften verschlechtern. Das IGF-Projekt HoliAM adressiert diese Herausforderungen entlang der gesamten Prozesskette – von der additiven Fertigung bis zur Nachbearbeitung und Qualitätsanalyse. Ziel ist die Entwicklung einer ganzheitlichen Strategie zur Herstellung hochqualitativer additiv gefertigter BMG-Bauteile mit optimierten Oberflächen und hoher mechanischer Leistungsfähigkeit.

#### **Forschungsziel**

Das IGF-Projekt „HoliAM“ verfolgt das Ziel, die Oberflächenqualität additiv gefertigter metallischer Gläser grundlegend zu verbessern und gleichzeitig deren amorphe Struktur sowie mechanische Leistungsfähigkeit zu erhalten. Hierzu sollen erstmals die Wechselwirkungen zwischen Pulverwerkstoff, PBF-LB/M-Prozessführung, Bauteilgeometrie und Nachbearbeitungsverfahren systematisch untersucht werden. Im Mittelpunkt steht die Entwicklung einer durchgängigen Prozesskette, die sowohl die Oberflächenrauheit minimiert als auch eine unerwünschte Kristallisation verhindert.

Die konkreten Forschungsziele umfassen:

1. **Optimierung der Oberflächenqualität im PBF-LB/M-Prozess**  
Untersuchung geometrie- und prozessabhängiger Einflüsse auf die Oberflächenrauheit sowie Entwicklung angepasster Prozessparameter für amorphe Werkstoffe.
2. **Analyse von Kristallisationserscheinungen**  
Untersuchung oberflächennaher Kristallisationen und deren Einfluss auf mechanische Eigenschaften und Langzeitbeständigkeit.
3. **Entwicklung geeigneter Nachbearbeitungsstrategien**  
Bewertung und Anpassung etablierter Verfahren wie Strahlbearbeitung, Gleitspanen, Strömungsschleifen oder elektrochemisches Polieren für den Einsatz an additiv gefertigten BMGs.

#### 4. **Zusammenhang zwischen Oberflächenzustand und Bauteilleistung**

Analyse des Einflusses von Rauheit, Defekten und amorpher Struktur auf statische und dynamische Festigkeit.

#### 5. **Übertragung auf industrielle Demonstratoren**

Herstellung und Nachbearbeitung realer Demonstratorbauteile aus der Medizintechnik und Orthopädietechnik zur Validierung der entwickelten Prozesskette.

### **Lösungsweg zum Erreichen des Forschungsziels**

Der Lösungsweg basiert auf einer engen Verzahnung von Werkstoffentwicklung, additiver Fertigung, Nachbearbeitung und Qualitätsanalyse. Die Arbeiten erfolgen in mehreren aufeinander abgestimmten Arbeitspaketen.

#### **1. Entwicklung geeigneter Prüfkörper und Demonstratoren**

Zu Beginn des Projekts werden gemeinsam mit den Industriepartnern repräsentative Prüfkörper und Demonstratorgeometrien definiert. Diese bilden typische Geometrielemente additiv gefertigter Bauteile ab, beispielsweise dünnwandige Strukturen, Freiformflächen oder innenliegende Kanäle. Dadurch können die Wechselwirkungen zwischen Geometrie, Fertigungsprozess und Oberflächenqualität gezielt untersucht werden.

#### **2. Optimierung der additiven Fertigung**

Im nächsten Schritt werden die PBF-LB/M-Prozessparameter systematisch variiert. Untersucht werden unter anderem:

- Laserleistung,
- Scangeschwindigkeit,
- Schichtdicke,
- Pulverpartikelgrößenverteilung,
- Belichtungsstrategien.

Ziel ist die Herstellung möglichst glatter Oberflächen bei gleichzeitig dichter und amorpher Struktur. Dabei wird insbesondere analysiert, wie sich kritische Geometrien wie Überhänge oder dünnwandige Bereiche auf die Oberflächenqualität und Kristallisation auswirken.

#### **3. Entwicklung geeigneter Nachbearbeitungsverfahren**

Anschließend werden verschiedene Nachbearbeitungsverfahren untersucht und angepasst. Dazu zählen unter anderem:

- Strömungsschleifen,
- Gleitspanen,
- Trockenstrahlverfahren,
- elektrochemisches Polieren,
- mechanische Feinbearbeitungsverfahren.

Die Verfahren sollen Oberflächenrauheiten deutlich reduzieren, ohne die amorphe Struktur thermisch oder mechanisch zu schädigen. Gleichzeitig wird untersucht, welche Verfahren sich besonders für komplexe Geometrien eignen.

#### **4. Qualitätsanalyse und mechanische Charakterisierung**

Die hergestellten und nachbearbeiteten Bauteile werden umfangreich charakterisiert. Dazu gehören:

- Rauheitsmessungen,
- Mikrostruktur- und Kristallisationsanalysen,
- mechanische Prüfungen.

Dadurch soll ein grundlegendes Verständnis über den Zusammenhang zwischen Fertigungshistorie, Oberflächenzustand und Bauteilleistung geschaffen werden.

## 5. Validierung an industriellen Demonstratoren

Abschließend werden die entwickelten Prozessstrategien auf reale Demonstratorbauteile übertragen. Geplant sind Anwendungen aus:

- der Medizintechnik,
- der Orthopädietechnik,
- der Feinmechanik sowie
- hochbelasteten Präzisionsbauteilen.

Die Demonstratoren dienen als Nachweis der industriellen Umsetzbarkeit und ermöglichen eine direkte Bewertung des wirtschaftlichen Potenzials.

### Arbeitspakete und Zeitplan zum Erreichen des Forschungsziels

#### Arbeitsdiagramm

			Jahr 1				Jahr 2			
Arbeitspaket (AP)			I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	Entwicklung von Prüfkörpern	LFT	■	■						
		IPK	■	■						
2	Optimierung der Oberflächen im PBF-LB/M	LFT	■	■	■	■	■	■		
MS1	AM-BMG Prüfkörper mit optimierter 'as-built'-Oberfläche				◆					
3	Nachbearbeitung	IPK		■	■	■				
MS2	Nachbearbeitungsverfahren für additiv gefertigte BMGs						◆			
4	Qualitätsanalyse	LFT					■	■	■	■
MS3	Mechanische Charakterisierung der Prüfkörper aus AP2 & AP3								◆	
5	Anwendungsstudien	LFT					■	■	■	■
		IPK					■	■	■	■
MS4	BMG Demonstratorbauteile mit optimierten Oberflächen									◆
6	Projekt und Risikomanagement	LFT	■	■	■	■	■	■	■	■
		IPK	■	■	■	■	■	■	■	■
<b>Geplante Projekttreffen</b>			X			X		X	X	X

MS 1 = AM-BMG Prüfkörper mit optimierter 'as-built'-Oberfläche

MS 2 = Nachbearbeitungsverfahren für additiv gefertigte BMGs

MS 3 = Mechanische Charakterisierung der Prüfkörper aus AP2 & AP3

MS 4 = BMG Demonstratorbauteile mit optimierten Oberflächen

#### Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas

Das IGF-Projekt HoliAM besitzt ein hohes Innovationspotenzial für kleine und mittlere Unternehmen (KMU) entlang der additiven Wertschöpfungskette. Die Ergebnisse ermöglichen erstmals die systematische Herstellung additiv gefertigter BMG-Bauteile mit optimierten Oberflächen und hoher

mechanischer Leistungsfähigkeit. Dadurch können neue Anwendungen erschlossen werden, die bisher aufgrund mangelnder Prozesssicherheit oder unzureichender Oberflächenqualität nicht wirtschaftlich realisierbar waren. Pulver- und Anlagenhersteller profitieren von Erkenntnissen zur werkstoff- und prozessgerechten Verarbeitung amorpher Werkstoffe. Additive Fertigungsdienstleister können ihr Portfolio um hochleistungsfähige Werkstoffe erweitern und gleichzeitig Nachbearbeitungsaufwand sowie Ausschuss reduzieren. Besonders relevant sind die Ergebnisse für die Medizintechnik, beispielsweise bei chirurgischen Instrumenten, Implantaten oder orthopädischen Komponenten. Die Kombination aus hoher Festigkeit, Korrosionsbeständigkeit und verbesserten Oberflächen eröffnet hier neue Möglichkeiten für langlebige und leistungsfähige Produkte. Darüber hinaus leistet das Vorhaben einen Beitrag zur Ressourceneffizienz, da Materialverluste und energieintensive Nachbearbeitungsschritte reduziert werden können. Mit HoliAM wird somit die Grundlage für eine wirtschaftliche und industrielle Nutzung additiv gefertigter metallischer Gläser geschaffen und die Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandorts Deutschland nachhaltig gestärkt.

### Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen
4MI GmbH <small>KMU</small>
amsight GmbH <small>KMU</small>
Diamond Tooling Systems - DTS GmbH <small>KMU</small>
F. Gottinger Orthopädie GmbH <small>KMU</small>
Heraeus AMLOY Technologies GmbH
iWP innovative Werkstoffprüfung GmbH & Co.KG <small>KMU</small>
MPS Metal Printing Solutions GmbH <small>KMU</small>
MetShape GmbH <small>KMU</small>
Motorex GmbH <small>KMU</small>
Nanoval GmbH & Co.KG <small>KMU</small>
Olympus Winter & Ibe GmbH <small>KMU</small>
OTEC Präzisionsfinish GmbH <small>KMU</small>
plasotec GmbH <small>KMU</small>
Sonstige
SPECTARIS e. V. - Deutscher Industrieverband für Optik, Photonik, Analysen- und Medizintechnik

*Das IGF-Vorhaben HoliAM (01IF24906N) der Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik e. V. (F.O.M.), Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin, wurde im Rahmen des von dem DLR Projektträger (DLR-PT) betreuten Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

