

## Projektplan

### ***PolyPro3D: Prozessketten zur Fertigung von Medizin-, Feinmechanik-, Individualbauteilen und Prototypen aus Kunststoff (22660 N)***

#### **Problemstellung**

Der Markt der additiven Fertigung boomt. Die additive Fertigung bewegt sich immer mehr von ausschließlicher Prototypenfertigung hin zur Herstellung von Individualbauteilen oder Kleinserien. Nahezu alle 3D-Druck-Verfahren erzeugen jedoch sehr raue Oberflächen, oft mit Rauheiten über  $Sa \geq 10 \mu\text{m}$ , teilweise sogar  $Sa \geq 50 \mu\text{m}$ . Für viele Anwendungen ist eine Reduzierung der Rauheit notwendig.

Derzeitige Nachbearbeitungsverfahren für additiv gefertigte Kunststoffteile sind z. B. Schleifen und Polieren – häufig sogar noch händisch –, Gleitschleifen, Sandstrahlen, chemisches Ätzen oder Lackieren. Die verschiedenen Nachbearbeitungsverfahren haben jedoch bei Kunststoffteilen signifikante Defizite, wie z. B. die Einarbeitung von Fremdpartikeln, die Nutzung chemischer Gefahrstoffe (z. B. chemisches Ätzen), hohe Kosten (insbesondere manuelle Prozesse), nur mäßige Glättung (z. B. Gleitschleifen oder Sandstrahlen), lange Prozessdauern oder viele notwendige Iterationsschritte (z. B. beim Lackieren). Ein einzelnes Verfahren ist in der Regel nicht ausreichend für eine vollständige Glättung bis zur finalen Oberflächenqualität. Ein wesentliches Problem ist außerdem, dass bei der Prozessentwicklung von 3D-Druck-Verfahren häufig die nachgelagerten Nachbearbeitungen der Oberfläche nicht berücksichtigt werden, sondern lediglich der Druckprozess selbst optimiert wird, z. B. hinsichtlich besonderer Geometrien oder mechanischen Bauteileigenschaften. Dies kann dazu führen, dass 3D-Druck und Nachbearbeitung nicht gut aufeinander abgestimmt sind und es passieren kann, dass vor dem Finish eines Bauteils mehrere Zwischenschritte notwendig sind, z. B. in der Kette „3D-Drucken → Glasperlenstrahlen → Gleitschleifen → mehrfaches Lackieren → mechanisch Nachpolieren“.

#### **Forschungsziel**

Ein neues Verfahren ist das Laserpolieren, das bereits erfolgreich an Flachproben demonstriert wurde. Durch Erweiterung des Laserpolierverfahrens auf 3D-Oberflächen und Anpassung des SLS- und FDM-Verfahrens (SLS = Selective Laser Sintering; FDM = Fused Deposition Modeling) an die Möglichkeiten des Laserpolierens wird eine neue Prozesskette zur additiven Fertigung von Bauteilen mit optimierter Oberflächenqualität entwickelt. Eine solche Prozesskette eröffnet einzigartige Möglichkeiten, wie z.B. fremdpartikelfreie und selektive Nachbearbeitung, 100%ige Automatisierbarkeit, extrem niedrige Mikrorauheit und Ausheilung von Defekten in der Randschicht. Zusätzlich soll durch eine solche Prozesskette die mögliche Aufbaurate und damit die Wirtschaftlichkeit der additiven Fertigung signifikant gesteigert werden, da das Laserpolieren die niedrigere Oberflächenqualität ausgleicht.

Zentrale Aufgabenstellung ist die Entwicklung des neuen Prozessschritts des Laserpolierens für 3D-gedruckte Kunststoffbauteile und die Erzeugung einer durchgängigen Prozesskette von 3D-Druckverfahren und Laserpolieren. Zusätzlich werden ebenfalls Kombinationen bereits etablierter Nachbearbeitungsverfahren und des Laserpolierens in einer Prozesskette betrachtet. Die Arbeitshypothese lässt sich somit wie folgt aufstellen: *„Die Kombination der additiven Fertigung mit dem neuen Prozessschritt Laserpolieren in einer durchgängigen Prozesskette und gegenseitige Abstimmung der Einzelprozesse aufeinander wird eine Effizienzsteigerung bei der Herstellung von 3D-gedruckten Bauteilen mit optimierter Oberflächenqualität erbringen und die grundsätzlichen Vorteile*

der Laserbearbeitung von Oberflächen (z. B. partikelfreie und selektive Nachbearbeitung) für die additive Fertigung zugänglich machen.“

### Arbeitsdiagramm

AP	Arbeitspaket	1. Jahr	2. Jahr	3. Jahr
<b>1</b>	<b>Übertragung des Laserpolierprozesses von 2D-Flächen auf 3D-Geometrien</b>			
1.1	Aufbau einer Prozessstation für die 3D-Bearbeitung	■		
1.2	Einflussgrößenanalyse für die 3D-Bearbeitung	■		
<b>2</b>	<b>Prozessentwicklung der additiven Fertigung von Kunststoffbauteilen</b>			
2.1	Anpassung der Prozessstrategie im SLS-Verfahren	■		
2.2	Anpassung der Prozessstrategie im FDM-Verfahren	■		
<b>3</b>	<b>Technische und wirtschaftliche Wechselwirkung zwischen additiver Fertigung und Nachbearbeitung durch Laserpolieren</b>		M1	
3.1	Technische Optimierung: Qualität (Rauheit, Funktionseigenschaften, Maßhaltigkeit, Randschichteneigenschaften)		■	
3.2	Wirtschaftliche Optimierung: Wirtschaftlichkeit (Schichtdicke/Düsendurchmesser – Kompromiss zwischen Qualität und Geschwindigkeit)		■	
<b>4</b>	<b>Charakterisierung der Material- und Oberflächeneigenschaften</b>			M2
4.1	Oberflächenbeschaffenheit (Welligkeit / Rauheit / Verfärbung)	■	■	■
4.2	Maßhaltigkeit	■	■	■
4.3	Randschichteneigenschaften (Dichte / Dichtigkeit)	■	■	■
4.4	Mechanische Eigenschaften (Zugfestigkeit / Stabilität / Kerbwirkungen)	■	■	■
<b>5</b>	<b>Fertigung von Demonstratoren und Prüfung der Funktionseigenschaften</b>			
5.1	Fertigung der ausgewählten Demonstratoren			■
5.2	Prüfung der Funktionseigenschaften der Demonstratoren			■
<b>6</b>	<b>Risiko-, Projektmanagement und Verbreitung der Ergebnisse</b>			
6.1	Risiko- und Projektmanagement, Dokumentation (Zwischen-/Abschlussberichte)	■	■	■
6.2	Verbreitung der Ergebnisse	■	■	■
<b>Σ</b>	<b>Gesamt</b>			M3

Meilenstein M1:	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Prozessstation zum Laserpolieren von 3D-Bauteilen ist aufgebaut und funktionsfähig</li> <li>➤ Zusammenhänge zwischen Einflussgrößen bei der Laserpolitur von 3D-Kunststoffbauteilen und resultierenden Oberflächeneigenschaften sind erfasst und dokumentiert</li> <li>➤ Für SLS- und FDM-Verfahren sind angepasste Prozessstrategien festgelegt</li> </ul>
Meilenstein M2:	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Standardvorgehen und -parameter für bestmögliche Oberflächenqualität sind definiert</li> <li>➤ Standardvorgehen und -parameter für höchstmögliche Wirtschaftlichkeit bei gleichzeitig optimierter Oberflächenqualität sind definiert</li> <li>➤ Beide Standardparameter erfüllen die Minimalanforderungen in den Zielkategorien</li> </ul>
Meilenstein M3 (Projektende):	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Zwei Demonstratoren sind gefertigt und ihre Oberflächen- und Funktionseigenschaften charakterisiert</li> <li>➤ Beide Strategien aus AP3 wurden anhand der Demonstratoren hinsichtlich ihrer Übertragbarkeit auf komplexe Bauteile überprüft und dokumentiert.</li> </ul>

## Lösungsweg zur Erreichung des Forschungsziels

Die Hauptaufgabenstellung bei der Entwicklung des Laserpolierverfahrens ist die Zusammenführung des vorhandenen Prozess-Know-Hows zum Laserpolieren von 3D-gedruckten Kunststoffteilen und des Prozessführungs- und Software-Know-Hows zur Laserpolitur von 3D-Metalloberflächen. Dabei ist eine besondere Herausforderung, die für das Laserpolierverfahren von Kunststoffbauteilen vorteilhafte Temperaturregelung in das Bauteilhandling und die Bahnplanung des Laserscannersystems zu integrieren. Außerdem sind die Geometrienerhaltung, die Homogenität der Glättung über das gesamte Bauteil und thermische Randeffekte, wie Spannung oder Verzug wichtige, zu adressierende Herausforderungen. Des Weiteren soll untersucht werden, wie die 3D-Druckprozesse so weiterentwickelt werden können, dass sie auf nachgelagerte Prozessschritte, wie z. B. das Laserpolieren, besser abgestimmt sind. Dadurch sollen die Schnittstellen zwischen den Einzelprozessen in einer Prozesskette zur Fertigung von Individualbauteilen oder Prototypen verbessert werden.

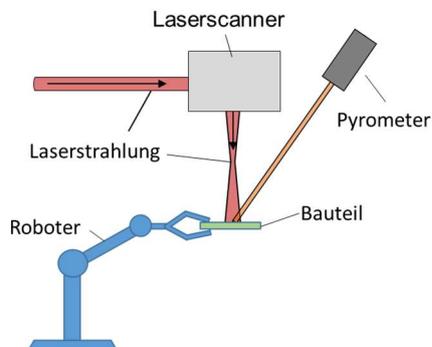


Abbildung 1: Integration eines Roboter-handlings in den Laserpolierprozess

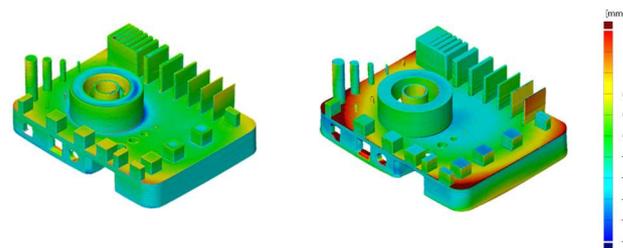


Abbildung 2: Charakterisierung der Bauteileigenschaften nach dem 3D-Druckprozess

Ein weiterer wesentlicher Aspekt beim 3D-Druck ist die Zeit- und dementsprechend die Kosteneffizienz des Prozesses. Zur Fertigung von Serienbauteilen muss der 3D-Druck-Prozess mit konkurrierenden Serienfertigungsprozessen mithalten können. Um verschiedene Anwendungsszenarien abbilden zu können, sollen im Zuge des Projekts verschiedene 3D-Druckanlagen verwendet werden, die sich hinsichtlich Anschaffungskosten, Aufbauraten und Oberflächenqualitäten unterscheiden. In Kombination mit dem Laserpolierverfahren kann beispielsweise der Fokus des 3D-Drucks mehr auf die Prozessgeschwindigkeit gelegt werden, z. B. durch doppelte oder dreifache Schichtdicken, da die Oberflächenqualität im Laserpolierschritt adressiert wird. Hier ist im Rahmen des Projektes insbesondere zu untersuchen, wo die Grenzen einer solchen Geschwindigkeitssteigerung liegen.

## Nutzen und wirtschaftliche Bedeutung des Forschungsthemas

Gegenwärtig stellt der hohe Nachbearbeitungsaufwand von mittels SLS- und FDM-Verfahren hergestellten Bauteilen zusammen mit den vergleichsweise hohen Kosten der Prozessschritte ein wesentliches Hindernis in der Adaption der 3D-Druck-Technologie durch potenzielle Anwender dar. Die Integration einer Prozesskette zur Lasernachbearbeitung verspricht eine gesteigerte Kosten- und Materialeffizienz durch den Laser als Werkzeug. Für Maschinenhersteller ist daher ein erfolgreicher Projektabschluss besonders interessant, da noch keine Laserpoliermaschinen für Kunststoffe auf dem Markt existieren und hier somit eine Marktlücke besteht. Eine Abschätzung der notwendigen Investitionskosten einer einfachen Laserpoliermaschine liegt bei 50.000 € bis 100.000 € und bietet so eine niedrige Einstiegshürde für die Industrie. Dadurch und durch die hohe Automatisierbarkeit beider Prozesse werden zukünftig hybride Maschinenkonzepte für 3D-Druck und Laserpolitur ermöglicht. Die Wahrscheinlichkeit einer industriellen Umsetzung der Ergebnisse durch Anlagenhersteller ist aus den genannten Gründen als sehr hoch einzuschätzen. Ebenfalls auf Seiten der Anwender in der Fertigung, Materialbearbeitung und insbesondere im Werkzeugbau und Rapid Tooling ist die Wahrscheinlichkeit einer Verwertung bei Projekterfolg sehr hoch, da diese unmittelbar von den Kostenreduktionen in der Nachbearbeitung profitieren. Das dritte sehr wahrscheinliche Anwendungsfeld findet sich in der Medizintechnik, wo durch die fremdpartikelfreie Nachbearbeitung der Weg zur additiven Fertigung von hochspeziellen und Patienten spezifischen Implantaten geebnet wird.

## Projektbegleitender Ausschuss

Unternehmen
Aconity GmbH <small>KMU</small>
AIXLens GmbH <small>KMU</small>
Altair Engineering, Inc.
Apium Additive Technologies GmbH <small>KMU</small>
Clean-Lasersysteme GmbH <small>KMU</small>
DyeMansion GmbH <small>KMU</small>
H. ZANDER GmbH & Co. KG <small>KMU</small>
Karl H. Arnold Maschinenfabrik GmbH & Co. KG <small>KMU</small>
Miele & Cie. KG
Orion Additive Manufacturing GmbH <small>KMU</small>
Protembis GmbH <small>KMU</small>

*Das IGF-Vorhaben Nr. 22660 N BR der Forschungsvereinigung Feinmechanik, Optik und Medizintechnik wird über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.*