

# Non-Planarer 3D-Druck mit Endlofaserverstärkung

## Prozessauslegung und Herstellung von endlofaserverstärkten Bauteilen mittels 5-Achs-3D-Druck

### Diplomand



Simon Grimm

**Ausgangslage:** Die Firma Pilatus Flugzeugwerke AG ist auf der Suche nach einer Technologie zur Herstellung von Bauteilen unter anderem für die Bodenunterstützungsausrüstung (englisch: Ground Support Equipment (GSE)). Die benötigten Stückzahlen belaufen sich auf 20 bis 50 Stück pro Jahr, wozu sich die additive Fertigung sehr gut eignen würde. An die GSE-Bauteile werden hohe Anforderungen bezüglich der Festigkeit gestellt, was gemäss Erfahrungen nur durch die Kombination mit Endlofasern möglich ist. Von Pilatus sind bereits bestehende 3D-Druck-Technologien mit Endlofaserverarbeitung evaluiert worden, welche den Anforderungen nicht gerecht werden, da die Fasern nur 2.5D abgelegt werden oder ein kostenintensiver zweistufiger Prozess besteht.

Die additive Fertigung mittels 5-Achs-Druck sieht für diese Anwendung vielversprechend aus. Die Technologie würde eine 3D-Orientierung der Fasern in Belastungsrichtung in einem einstufigen Prozess ermöglichen.

Das Institut für Werkstofftechnik und Kunststoffverarbeitung (IWK) besitzt einen eigens entwickelten 5-Achs-Drucker mit Filament-Druckkopf, auf welchem der Prozess validiert werden kann. Das 5-Achs-System V-REX der Firma VENOX Systems GmbH verfügt über einen Druckkopf zur gezielten Ablage von Langfasern, welches zur Herstellung der Bauteile eingesetzt werden soll.

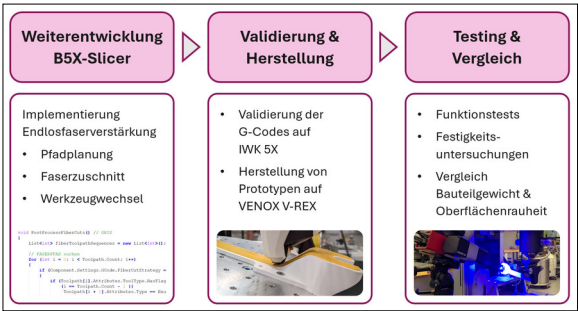
**Vorgehen:** Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Pfadplanung für den 5-Achs-3D-Druck mit Langfaserverstärkung. Wie in Bild 1 zu sehen, ist die Arbeit in drei Phasen eingeteilt worden. Der erste Schritt ist die Weiterentwicklung einer bestehenden Slicing-Software zur Integration eines zweiten Druckkopfs für die gezielte Ablage sowie den Zuschchnitt der Endlofasern. Die Umsetzung ist zunächst mit der Konstruktion von geeigneten Faserpfaden erfolgt. Anschliessend ist der Prozess auf einem 5-Achs-Drucker des IWK validiert und die Fertigung der Prototypen auf dem V-REX-System von VENOX Systems durchgeführt worden. Die gefertigten Bauteile wurden abschliessend hinsichtlich Funktion und Festigkeit getestet.

Im Fokus sind zwei spezifische Anwendungsfälle gestanden: der Gabelschlüssel zur Montage einer Mutter (Bild 2, links) und das Abflussrohr der Bordtoilette des PC-24 Business Jets (Bild 2, rechts).

**Ergebnis:** Die entwickelte Pfadplanung ermöglicht die gezielte Ablage von Langfasern im 5-Achs-3D-Druck. Die nötigen Maschinenbefehle wie der Zuschchnitt der Endlofaser an der korrekten Position, der Werkzeugwechsel zwischen Filament- und Faserdruckkopf sowie die benutzerdefinierte Generierung der Start- und Endpunkte von den

Druckpfaden sind umgesetzt worden. Die durchgeführten Versuche (Bild 3) zeigen vielversprechende Ergebnisse zum Einsatz der 5-Achs-gedruckten Bauteile. Es ist nachgewiesen worden, dass die Herstellkosten des Abflussrohrs im Vergleich zur konventionellen Fertigung erheblich reduziert werden können. Zudem hat das Rohr die Druckprüfung erfolgreich bestanden. Aussagen zur Performance von Bauteilen mit Endlofasern können aufgrund Hardwareproblemen am Faserdruckkopf noch nicht getroffen werden.

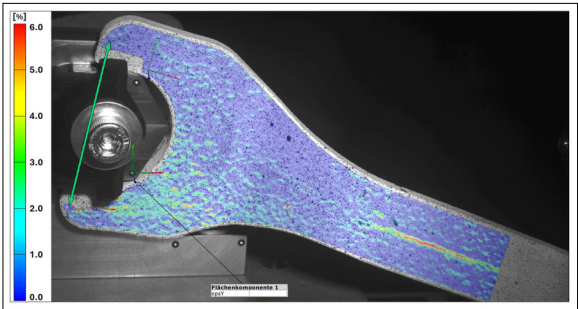
**Bild 1: Die Aufgabe umfasst Softwareentwicklung und dessen Validierung, sowie Bauteilherstellung und Testing.**  
Eigene Darstellung



**Bild 2: Links: Gabelschlüssel in der Herstellung mit Ablage der Endlofasern; Rechts: 5-Achs-gedrucktes Abflussrohr**  
Eigene Darstellung



**Bild 3: Analyse der Verformung (Dehnung in Y in %) des Schlüssel ohne Endlofasern unter Drehmoment-Belastung**  
Eigene Darstellung



### Referent

Daniel Omidvarkarjan

### Korreferent

Florian Gschwend,  
Geberit International  
AG, Jona, SG

### Themengebiet

Mechanical  
Engineering, Software  
and Systems

### Projektpartner

PILATUS Flugzeug-  
werke AG (Schweiz),  
VENOX Systems GmbH  
(Österreich)