

## Kurzfassung

Additive 3D-Druckverfahren ermöglichen eine automatisierte wie flexible Fertigung komplexer 3D-Geometrien direkt aus einem CAD-Modell ohne die Notwendigkeit eines bauteilspezifischen Werkzeugs. Nachteil vor allem beim 3D-Drucken von Kunststoffen sind jedoch die geringen mechanischen Eigenschaften, die auf verfahrensbedingte Herausforderungen, aber auch auf eine eingeschränkte Auswahl verarbeitbarer Materialien zurückzuführen sind. Eine Möglichkeit die mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen zu verbessern, ist die Kombination mit Verstärkungsfasern. Die höchste Verstärkungswirkung entfalten Faser-Kunststoff-Verbunde (FKV) wenn die Fasern kontinuierlich und in Lastrichtung vorliegen. Um ihr volles Potential zu entfalten, müssen FKV daher möglichst gut an die jeweiligen Anwendungen angepasst werden. Das erschwert eine automatisierte und effiziente Fertigung, gerade von komplexeren Strukturen. Ziel der Arbeit war daher die Entwicklung eines 3D-Verfahrens für kontinuierlich faserverstärkte Kunststoffe. Hierdurch soll das Anwendungsspektrum kunststoffbasierter 3D-Druck-Verfahren vergrößert und gleichzeitig eine effiziente sowie flexible Fertigung komplexer FKV-Strukturen ermöglicht werden. Das entwickelte Prozesskonzept basiert dabei auf 3D-Druck-Extrusionsverfahren für thermoplastische Kunststoffe. Im sogenannten Fiber Integrated Fused Deposition Modeling Prozess, kurz FIFDM, werden bereits imprägnierte Halbzeuge in Form von kontinuierlich faserverstärkten Thermoplaststrängen (FTS) verarbeitet. Um die Faserorientierung frei einstellen zu können, werden die Stränge nicht wie herkömmlich nur schichtweise, sondern frei in alle Raumrichtungen positioniert. Realisiert wird dies über die Steuerung der FTS-Temperatur nach der Extrusion. Im Rahmen dieser Arbeit wurde zur Quantifizierung und zum einfachen Vergleich der Halbzeugqualität ein Qualitätsanalyseverfahren entwickelt und damit ein geeigneter FTS für weitere Prozessuntersuchungen ausgewählt. Zudem wurde eine FIFDM-Prototypenanlage entwickelt und aufgebaut. Mithilfe der thermischen Simulation des Extrusions- und Abkühlprozesses konnten thermische Prozessgrenzen auch für die 3D-Ablage im Raum definiert werden. In einer umfassenden experimentellen Prozessanalyse wurde zudem untersucht, welche Prozessparameter einen Einfluss auf verschiedene Zielgrößen der Prozessstabilität und Bauteilqualität besitzen. Ausgehend von den Erkenntnissen aus dieser Arbeit wurden eine erste Einschätzung des Prozesspotentials vorgenommen und Vorschläge zur Prozessoptimierung formuliert.

## Abstract

3D printing enables automated and flexible production of complex 3D geometries directly from a CAD model without the need for a component-specific tool. However, the disadvantage, especially in the Additive Manufacturing (AM) of polymers, is the low mechanical properties, which can be attributed to process-related challenges and to a limited selection of processable materials. One way of improving the mechanical properties of polymers is to combine them with reinforcing fibers. The highest reinforcing effect for Fiber Reinforced Polymer Composites (FRPC) is achieved when the fibers are continuously present in load direction. In order to develop their full potential, FRPC must therefore be adapted as well as possible to the respective application. This complicates automated and efficient production, especially of more complex structures. The aim of the work was therefore to develop an AM process for continuously fiber-reinforced polymers. This should increase the range of applications for polymer-based AM processes and at the same time enable efficient and flexible production of complex FRPC structures. The developed process concept is based on 3D printing extrusion processes for thermoplastics. In the so-called Fiber Integrated Fused Deposition Modeling Process (FIFDM) already impregnated semi-finished products are processed in the form of continuously fiber-reinforced thermoplastic strands (FTS). In order to be able to freely adjust the fiber orientation, the strands can be positioned in all spatial directions, not just layer by layer as is the case with conventional AM systems. This is realized by controlling the FTS temperature after extrusion. As part of this work, a quality analysis method was developed for quantifying and comparing the semi-finished product quality and a suitable FTS was thus selected for further process investigations. In addition, a FIFDM prototype unit was developed and set up. With the help of thermal simulation of the extrusion and cooling process, thermal process limits could also be defined for the 3D placement in all spatial directions. In a comprehensive experimental process analysis, it was investigated which process parameters have an influence on different target parameters of process stability and component quality. Based on the results of this work, an initial assessment of the process potential was made and proposals for process optimization were formulated.