



**Christian Lennart Elsner, M.Sc.**

---

## Bewertung und Verbesserung der Verarbeitbarkeit von TPU im Fused Deposition Modeling Verfahren

---

Beim Fused Deposition Modeling (FDM) Verfahren handelt es sich um ein kunststoffverarbeitendes Additives Fertigungsverfahren. Dazu wird ein Kunststoffstrang, das Filament, mittels Vorschubmotoren in den FDM Kopf gefördert, dort aufgeschmolzen und durch eine Düse mit einem spezifischen Durchmesser definiert abgelegt. Die Strangablage erfolgt dabei entweder auf eine Bauplattform oder auf bereits vorhandene Bauteilbereiche. Durch thermische Verschmelzung verbindet sich das abgelegte Material mit den benachbarten Strängen. Zur Realisierung der Bauteilgeometrie verfährt der FDM Kopf in der xy-Ebene. Nach Beendigung der Materialablage in einer Schicht wird die Bauplattform um eine definiert eingestellte Schichthöhe abgesenkt. Durch dieses Verfahrensprinzip können komplexe, dreidimensionale Bauteile hergestellt werden.

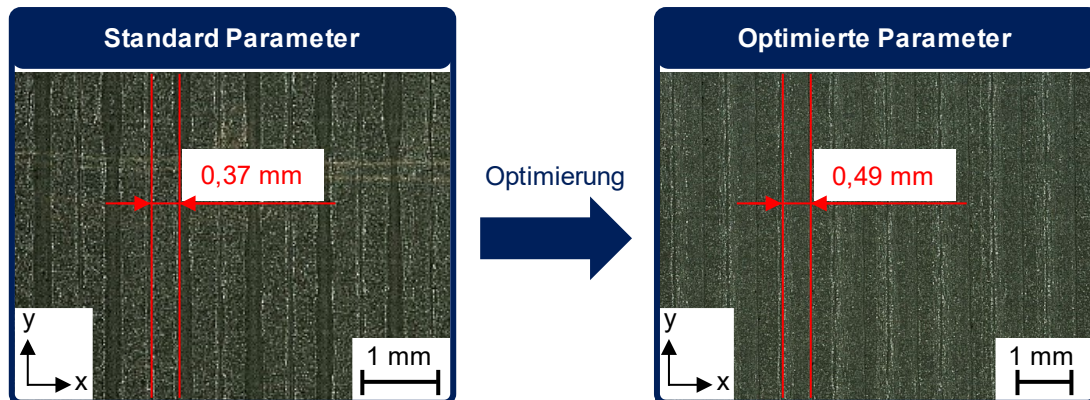
Sowohl für den Konstruktionsprozess als auch für die Dimensionierung eines additiv gefertigten Bauteils ist es wichtig, die zugrundeliegenden Prozessgrenzen und idealerweise die Konstruktionsrichtlinien zu kennen. Um Anwender von Additiven Fertigungstechnologien im Konstruktionsprozess zu unterstützen, wurden am DMRC in den vergangenen Jahren eine Reihe von Forschungsaktivitäten durchgeführt. Beim FDM standen zunächst Materialien wie ABS-M30 und Ultem 9085 im Mittelpunkt der Untersuchungen. Die laufenden Entwicklungen im Bereich der Additiven Fertigung führen jedoch auch zu einer Erweiterung der verfügbaren Materialien und Maschinen. So steigt auch die Nachfrage nach Materialien mit spezifischen Eigenschaften stetig an. Einer dieser Werkstoffe sind Thermoplastische Polyurethane (TPU). Zur Fertigung von technischen Komponenten aus diesem Material müssen der FDM Prozess beherrscht, sowie die Limitationen der Verarbeitung bekannt sein.

In diesem Zusammenhang haben Untersuchungen im Projekt „Direct Manufacturing Design Rules 3.0“ aus dem Jahr 2019 gezeigt, dass die bestehenden Verfahren zur Bestimmung der konstruktiven Prozessgrenzen nicht ohne weiteres auf TPU Materialien mit niedriger Härte übertragen werden können. Zum einen lassen sich ausgewählte Probekörper nicht uneingeschränkt aus TPU herstellen. Zum anderen wird das Potenzial von TPU Materialien im FDM durch die Verwendung von Standardprozessparametern, wie sie für härtere Materialien verwendet werden, nicht vollständig ausgeschöpft. Somit ist es das Ziel dieses Forschungsprojektes, die Prozessgrenzen bei der Verarbeitung von einem ausgewählten TPU zu analysieren sowie gleichzeitig die Verarbeitbarkeit durch die Optimierung der Prozessparameter zu verbessern. Als Material wird dabei Ultrafuse TPU 85A betrachtet, welches für den FDM Prozess bereits eine sehr geringe Härte aufweist. Die Auswahl erfolgt

vor dem Hintergrund, dass weiche Materialien im FDM tendenziell kritischer zu verarbeiten sind. Die Materialauswahl ermöglicht somit die Übertragung der Forschungsergebnisse auf weitere, härtere TPU Materialien.

In den experimentellen Untersuchungen wurde zunächst das bestehende Verfahren zur Ermittlung von Prozessgrenzen und Konstruktionsrichtlinien genutzt. Dazu wurden die bereits vorhandenen Probekörpergeometrien (z. B. für Überhangwinkel, Wanddicken, freitragende Konstruktionshöhen usw.) mit den verfügbaren Standardparametern für den gewählten Werkstoff gefertigt. Die Analyse der Ergebnisse konzentrierte sich auf die Schwierigkeiten bei der Verarbeitung weicher Materialien. Parallel dazu wurden Ansätze entwickelt, um diesen Prozessgrenzen und Schwierigkeiten bei der Verarbeitung im FDM Verfahren entgegenzuwirken. Insbesondere die Geometrien der Probekörper zur Ermittlung der Prozessgrenzen wurden dabei entsprechend der Ergebnisse spezifisch angepasst.

In einem weiteren Schritt wurden die FDM Prozessparameter hinsichtlich des verwendeten Materials angepasst. Dabei sind bestehende Methoden zur Anwendung gekommen, welche spezifisch an die Eigenschaften von TPU bei der Verarbeitung angepasst wurden. Die Bereiche der Parameteroptimierung betrafen dabei im Wesentlichen sowohl die stationäre und instationäre Bewegung des FDM Kopfes als auch die Bewegung des FDM Kopfes ohne Materialaustrag. Die Optimierung der entsprechenden Parameter erfolgte durch eine iterative Umsetzung, Anpassung und Auswertung der vorliegenden Methoden. Als Resultat konnte eine homogene Stranggeometrie unabhängig von der Verfahrensbewegung der Düse realisiert werden.



*Optimierung der resultierenden Flächenfüllung durch gezielte Anpassung der Prozessparameter*

Basierend auf der verbesserten Verarbeitung konnte eine erneute Bewertung der vorliegenden Prozessgrenzen vorgenommen werden. Die resultierenden Ergebnisse sowie Erkenntnisse für das gewählte TPU haben dabei weiterführend die Möglichkeit geschaffen, eine Vorgehensweise für die Verarbeitung abzuleiten. Dabei wird das Ziel verfolgt, die allgemeine Verarbeitung von TPU im FDM Prozess für den Anwender zu erleichtern. Die Vorgehensweise betrachtet dazu die verschiedenen, vorliegenden Einflussgrößen von der Fertigungsvorbereitung bis zur Verarbeitung des Materials.

### **Danksagung**

Dieses Forschungsprojekt wurde durch die Projektpartner des DMRC gefördert. Wir danken den Projektpartnern für Ihre Unterstützung.