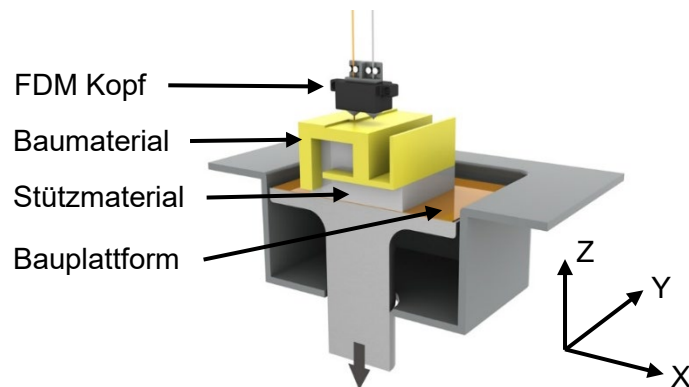




Felix Hecker, M.Sc.

Simulation des Schwindungsverhaltens im Fused Deposition Modeling Verfahren

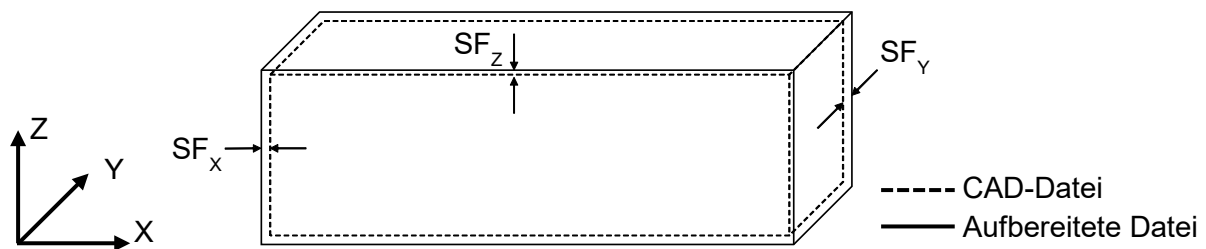
Das Fused Deposition Modeling (FDM) Verfahren ist eines der am weitesten verbreiteten additiven Fertigungsverfahren. Wie auch bei anderen additiven Fertigungsverfahren werden im FDM Bauteile schichtweise erzeugt. Dies bietet den Vorteil einer großen gestalterischen Freiheit, die mit konventionellen Fertigungsverfahren nicht oder nur mit großem Aufwand realisierbar ist. Zudem erfolgt die Fertigung der Bauteile direkt aus einer aufbereiteten CAD-Datei. Die Schichterzeugung im FDM erfolgt durch die Ablage eines plastifizierten thermoplastischen Kunststoffstranges. Hierfür wird das Ausgangsmaterial, ein Filament, durch eine im FDM Kopf befindliche beheizte Düse geführt und aufgeschmolzen. Für die definierte Ablage des aufgeschmolzenen Materials wird die Düse in der X-Y-Ebene verfahren. Überhänge werden mit einem Stützmaterial, welches mit einer weiteren Düse verarbeitet wird, abgestützt. Nach der Fertigstellung einer Schicht wird die Bauplattform relativ zur Düse um eine Schichtdicke in Z-Richtung abgesenkt und der Ablageprozess beginnt erneut.



Schematischer Aufbau einer FDM Anlage.

Die Fertigung von Bauteilen im FDM findet in der Regel in einem beheizten Bauraum statt. Die Bauraumtemperatur liegt dabei weit unter der Schmelztemperatur des jeweiligen zu verarbeitenden Materials, um die Stabilität der bereits abgelegten Bauteilbereiche zu gewährleisten. Bedingt hierdurch kühlen die abgelegten Kunststoffstränge schon kurz nach ihrer Ablage ab und schwinden. Somit schwindet jeder Bauteilbereich für sich. Durch die resultierende inhomogene Schwindung können Eigenspannungen im Bauteil entstehen, die wiederum zu Verzug und damit zu geometrischen Abweichungen führen. Die Schwindung kann im Vorfeld der Fertigung in der Datenaufbereitung durch Skalierungsfaktoren kompensiert werden. Der Erfolg der Skalierung ist hierbei jedoch erst nach der Fertigung zu

erkennen. Infolgedessen müssen Bauteile gegebenenfalls mehrfach mit angepassten Skalierungsfaktoren gefertigt werden, bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt wird.



Einfluss der Skalierungsfaktoren auf die aufbereitete Datei im Vergleich zur CAD-Datei.

Die Voruntersuchungen und die bisherigen Ergebnisse des Projekts zeigen, dass die Schwindungsfaktoren nicht für alle Nennlängenbereiche gelten. Werden die Skalierungsfaktoren z. B. für einen Würfel mit einer Kantenlänge von 5 mm bestimmt und diese auf einen Würfel mit einer Kantenlänge von 50 mm angewandt, führt dies bei dem größeren Würfel zu einem Übermaß. Im Hinblick auf die große Gestaltungsfreiheit, die das FDM bietet, sind in der Regel verschiedene Wanddickenbereiche in einem Bauteil vorhanden. Somit sind die linearen Skalierungsfaktoren für die drei Raumrichtungen nicht ausreichend, um die Schwindung in verschiedenen Bauteilbereichen mit unterschiedlichen Wanddicken gleichermaßen zu kompensieren. Zudem zeigen die Messergebnisse der Würfel mit einer Kantenlänge von 50 mm, dass die vertikalen Flächen der Würfel nach innen gewölbt sind. Mit den standardmäßigen Skalierungsfaktoren ist es nicht möglich, diese Wölbung zu kompensieren.

Eine Möglichkeit die Schwindung von FDM-Bauteilen vor der Fertigung zu ermitteln ist die Simulation des Fertigungsprozesses. Einige Hersteller von Simulationssoftware bieten bereits Lösungen hierfür an. Die Simulation basiert auf der sogenannten „Birth-Death-Methode“. Bei dieser wird der Verfahrweg der Düsenspitze während des Fertigungsprozesses in die Simulation mit einbezogen. Anhand des Verfahrwegs werden die einzelnen Netzelemente des zu fertigenden Bauteils in der Simulation nach und nach aktiviert, um den Prozess der Strangablage und den damit verbundenen Wärmeeintrag sowie die sukzessiv entstehenden Verbindungspunkte zwischen den Strängen abzubilden. Die Simulation wird dafür in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt werden nur die thermischen Prozesse berücksichtigt. Die Ergebnisse der thermischen Betrachtung werden im zweiten Schritt als Grundlage für die mechanische Betrachtung des Bauteils in der Simulation verwendet. In der thermischen als auch in der mechanischen Betrachtung müssen mit jedem neu aktivierten Netzelement alle zuvor aktivierten Netzelemente erneut berechnet werden. Dies führt schon bei kleinen Bauteilen (z. B. Zylinder: $r = 10 \text{ mm} / h = 5 \text{ mm}$), bei denen die Netzauflösung in Z-Richtung der Schichthöhe und in X-Y-Richtung der Strangbreite entspricht, zu mehrtägigen Berechnungsdauern. Aktuell ist die Analyse, inwieweit eine gröbere Netzauflösung zu identischen Ergebnissen führt, Gegenstand der Untersuchungen.

Parallel dazu wird an einem alternativen Ansatz gearbeitet, dessen Ziel es ist, das zu fertigende Bauteil unter Inbezugnahme eines Modells des Schwindungsverhaltens im Vorfeld der Fertigung im FDM lokal an das spezifische Schwindungsverhalten des jeweiligen

Bauteilbereichs anzupassen. Hierdurch kann die iterative Vorgehensweise für die Bestimmung der finalen Skalierungsfaktoren sowie die zeitintensive Simulation des Bauteils vermieden werden. Das Modell soll die Einflüsse der Prozessparameter und der Bauteilgeometrie auf die Schwindung berücksichtigen und auf einem statistischen Versuchsplan basieren. Zur Validierung des Modells sollen Bauteile auf Basis des Modells lokal konstruktiv angepasst, gefertigt und vermessen werden. Die gemessenen Werte werden anschließend mit der CAD-Datei verglichen und auf Maßhaltigkeit geprüft.

Übergeordnetes Ziel des Projekts ist das Erarbeiten und Validieren einer Methode zur effektiven und automatisierten Skalierung von Bauteilen, um maßhaltige FDM-Bauteile zu erhalten.

Danksagung

Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft (Projektnummer: 419994631) für die finanzielle Förderung des Projektes.