

IGF-Vorhaben Nr. 21105 N

Laufzeit 01.11.2020 – 31.01.2023

Phänomenologische Strategie zur Berücksichtigung prozessspezifischer Materialeigenschaften in der simulativen Auslegung von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen

(AddiSim)

Tamara van Roo, Dr.-Ing. Felix Dillenberger

Mechanik und Simulation, Bereich Kunststoffe, Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt

Zusammenfassung des Projektziels

Das Ziel dieses Projekts war es, eine systematische Auslegungsstrategie für im SLS-Verfahren (Selektive-Laser-Sintern) hergestellte Polymerbauteile zu entwickeln. Hierbei soll ein Materialmodell zum Einsatz kommen, welche bereits in FE-Solvern implementiert ist.

Solch eine systematische Auslegungsstrategie soll für Sicherheit in der Durchführung sorgen und mit einer hinreichend hohen Abbildungsgüte der Struktursimulation in der Auslegungsphase von Kunststoffbauteilen liefern, in denen bislang primär isotrope Ansätze eingesetzt wurden. Innerhalb des Forschungsvorhabens wurden die notwendigen wissenschaftlichen Grundlagen erarbeitet, um Ansätze für eine vereinfachte, simulationsgestützte BauteilAuslegung zu entwickeln. Hierzu wurde ein umfassender Versuchsplan aufgestellt, geprüft und bewertet. Diese beinhaltet sowohl Zug- als auch Schubversuche, sowie die Validierungsversuche. Die Daten der Zug- und Schubversuche dienten als Grundlage für die Simulation. Über den Vergleich von Experiment und Simulation der beiden Validierungsbauteile konnte gezeigt werden, dass die Abbildungsgüte der Struktursimulation hinreichend hoch ist.

Arbeitsansatz

Das SLS-Verfahren wurde mit einem Polyamid-12 (PA12) näher untersucht. Hierfür wurden Experimente zu den Unterschieden des mechanischen Verhaltens abhängig des Druckjobs, der Position des Prüfteils im Druckraum und der Orientierung des Prüfteils im Druckraum gemacht. Ebenso wurde die Maßhaltigkeit und die Auswirkung eines Temperprozesses experimentell untersucht. Nach diesen Untersuchungen wurden die ermittelten Materialkennwerte in ein Materialmodell implementiert und über zwei Validierungsbauteile überprüft.

Im experimentellen Teil kamen der Zugprüfkörper BZ12 und der Schubprüfkörper Metha 9 zum Einsatz (vgl. Abbildung 1 links und mittig).

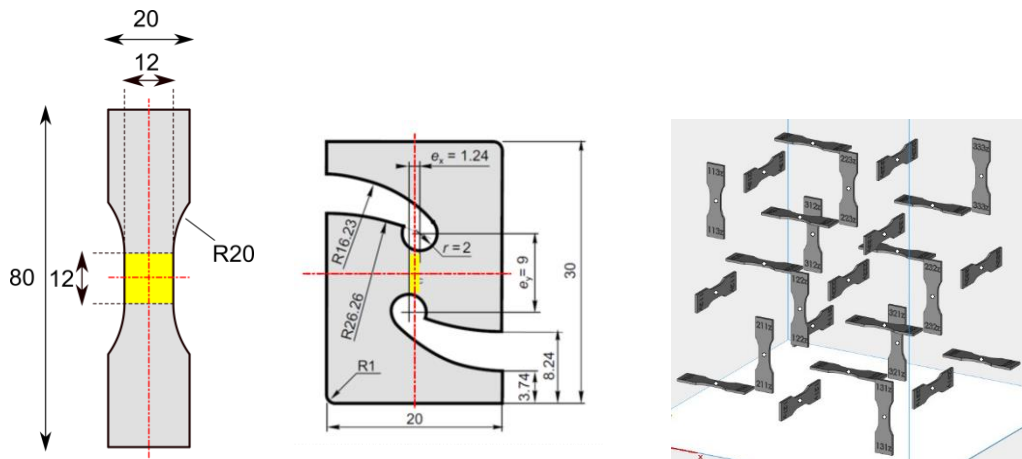


Abbildung 1: links: BZ12, Zugprüfkörper; mittig: Metha 9, Schubprüfkörper; rechts: Anordnung der Proben im Druckraum

In Vorversuchen wurde sehr deutlich gezeigt, dass die mechanischen Eigenschaften stark von der Orientierung der Proben im Druckraum abhängen. Dies wurde als Grundlage für den Plan der Hauptprüfungen genutzt. Für die Hauptprüfungen wurde der Druckraum in 27 „Zellen“ aufgeteilt. In jeder dieser Zellen lag ein Prüfkörper (vgl. **Abbildung 1** rechts). Die Orientierung der Proben im Druckraum wurde variiert. So konnten Positions- und Orientierungseinflüsse untersucht werden.

Ergebnisse des Forschungsvorhabens

Die Studie der Maßhaltigkeit zeigte, dass in der Druckebene nahezu isotrope Maß-Varianzen vorliegen. In Aufbaurichtung ist die Abweichung zum Soll-Maß ungefähr verdreifacht im Vergleich zur Druckebene. Daraus leiten wir ab, dass der automatische Schwindungsausgleich der Maschine in die Aufbaurichtung nicht optimal eingestellt ist. Bei der Untersuchung der Nachbehandlungsmethode konnte festgestellt werden, dass es einen Einfluss auf die Zugfestigkeit gibt, je nachdem, ob die Proben mit Glasperlen bestrahlt wurden oder nicht. Auf die Bruchdehnung wirkt sich dies nicht aus. Die Bestrahlung mit Luft und Glasperlen ist ein Standardelement beim Reinigen der Proben während des Auspackprozesses. Die Zugfestigkeit der unbestrahlten Proben liegt bei ca. 90 % der bestrahlten Proben. Das Tempern zeigt keinen wesentlichen Einfluss auf das mechanische Verhalten.

Im Vergleich der Positionen der Proben im Druckraum konnte gezeigt werden, dass in Druckebene isotropes Verhalten vorliegt. Es zeichnete sich ab, dass Proben, die höher im Druckraum liegen eine unwesentlich erhöhte Bruchdehnung besitzen, die allerdings in der Implementierung in das Materialmodell vernachlässigt wird. Betrachtet man die unterschiedlichen Druckjobs zeigen sich leichte Varianzen, Gründe hierfür können nicht abschließend eruiert werden. Jedoch haben externen Randbedingungen wie beispielsweise die Raumtemperatur, die von der Sonneneinstrahlung kurzzeitig beeinflusst wird und von der Klimaanlage geregelt wird, Einfluss. Auch das Pulver unterliegt einer gewissen Variation, da das verwendete Pulver ein Gemisch aus 1:1 Frischpulver und Recyclate ist. Eine Untersuchung des Pulvers wäre für ein Anschlussvorhaben von Interesse.

Als Hauptfaktor auf die mechanischen Kenngrößen konnte die Orientierung der Proben im Druckraum festgestellt werden. Bei den Zugversuchen liegen die Bruchdehnungen um mehr als den Faktor 2 auseinander, die Zugfestigkeiten unterschieden sich deutlich weniger. Bei den Schubversuchen liegt ebenfalls eine starke Varianz in Abhängigkeit der Druck-Orientierung vor. Ob ein Bauteil in x oder y Richtung orientiert ist, scheint äquivalent zu sein, wohingegen eine Orientierung in z Richtung die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung respektive den

Schiebungswinkel wesentlich herabsetzt. Der E-Modul und Schubmodul bleiben unverändert. (vgl. **Abbildung 2**).

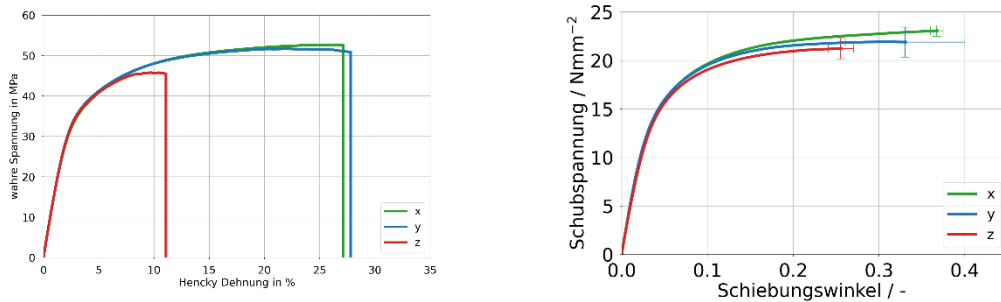


Abbildung 2: Auftragung des mechanischen Verhaltens der Zug- und Schubversuche. Betrachtung der Orientierungsabhängigkeit der Proben im Druckraum.

Zur Validierung der neuentwickelten Methode kam die Struktursimulation zum Einsatz. Hierbei wurden die experimentell durchgeführten mechanischen Prüfungen simulativ nachgestellt und verglichen. Es wird ein transversal-isotropes Verhalten abgebildet. Bei diesem Materialverhalten liegt eine Vorzugsrichtung vor, während senkrecht hierzu das Materialverhalten isotrop und folglich richtungsunabhängig ist. Analog hierzu verhalten sich die gedruckten Proben dieses Forschungsvorhabens: die Vorzugsrichtung liegt in Aufbauichtung, während senkrecht hierzu das Materialverhalten isotrop ist. Es kann gezeigt werden, dass die mechanischen Versuche gut abgebildet werden können (vgl. **Abbildung 3**).

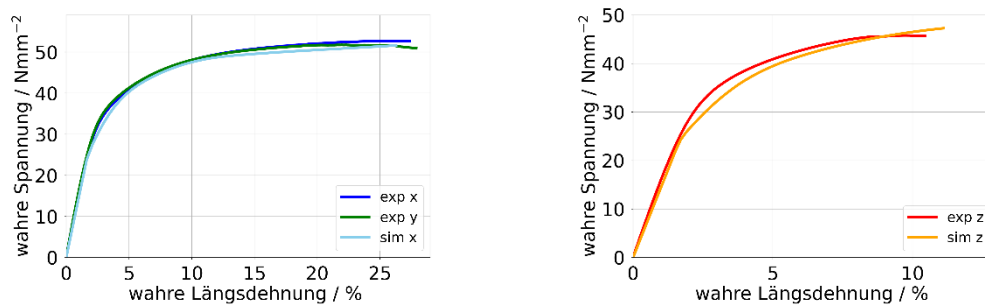


Abbildung 3: Vergleich der Simulation und experimentellen Zugversuche

Beide Validierungsbauteile können in der Simulation abgebildet werden. Ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis liefert das Materialmodell bei der Berechnung der lokal gemittelten Dehnungen im Prüfbereich. Hier liegen die Ergebnisverläufe in den relevanten Belastungsbereichen größtenteils im Rahmen der tatsächlichen Belastung der mechanischen Prüfung. Somit ist die Simulation von lokalen Deformationen bei realen Bauteilen möglich.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Materialmodell durchaus in der realen Anwendung genutzt werden kann. Es kann zur Auslegung von Bauteilen mit Belastungszuständen im linearelastischen und teils elastisch-plastischen Bereich verwendet werden. Da die Anzahl der durchzuführenden Versuche in direktem Zusammenhang mit einem finanziellen Mehraufwand steht, muss nach Anwendungsfall beurteilt werden, wie genau das Materialmodell die tatsächlichen Belastungszustände im Bauteil abbilden können muss. Schlussendlich zeigt das Vorgehen in dieser Arbeit, dass es möglich ist, mit Zug- und Schubversuchen in drei orthogonalen Orientierungen eine gute Annäherung der Belastungszustände an die tatsächliche Lösung zu erreichen.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

Schlüsselwörter: 3D-Druck, SLS, mechanische Prüfung, Struktursimulation

Danksagung

Das IGF-Vorhaben Nr. 21105 N (8347), Aktenzeichen 62402/005-05#105 zum Thema „Phänomenologische Strategie zur Berücksichtigung prozessspezifischer Materialeigenschaften in der simulativen Auslegung von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen“

der Forschungsvereinigung Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V. (FGK) wurde über die Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen „Otto von Guericke“ e.V.



im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Für diese Förderung sei gedankt.

Ebenso gilt der Dank der Forschungsgesellschaft Kunststoffe e.V.

FGK

Weiterhin danken wir den im projektbegleitenden Ausschuss vertretenen Unternehmen für ihre fachliche Unterstützung.