

Simulationsansätze additiv gefertigter Kunststoffbauteile

Andreas Grimm

Institut für Kunststofftechnik Darmstadt ikd

Einleitung und bisheriger Stand

Der Anteil additiv gefertigter thermoplastischer Kunststoffbauteile in lasttragenden Systemen steigt immer weiter. Prozessbedingt stellt sich ein komplexes Materialverhalten ein, weswegen für eine materialgerechte Auslegung von Leichtbaukomponenten die Berücksichtigung der inhomogenen Eigenschaften erforderlich ist. [1] Das im Fraunhofer LBF von M. Eng. Tamara van Roo geführte Projekt „AddiSim“ [1] beschäftigt sich mit dieser Thematik. Die vorgestellten Ergebnisse entstanden im Projektzusammenhang mit dem IGF Vorhaben 21105 N der Forschungsgesellschaft Kunststoffe e. V., Haardtring 100 in 64295 Darmstadt und wurden vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Mit im Bauraum des Selektiven-Laser-Sinter-Druckers (SLS) unterschiedlich orientierten und positionierten Probekörpern aus Polyamid 12 (PA12), sind diverse Zugprüfungen durchgeführt worden, um daraus richtungs- und positionsabhängige mechanische Eigenschaften ableiten zu können. Das Ingenieurforschungsprojekt beschäftigt sich vor allem mit möglichen Simulationsansätzen, die sich aus den bisherigen Ergebnissen ergeben. Die mechanischen Eigenschaften, wie die Bruchdehnung oder die Zugfestigkeit, sind bei den in z-Richtung gefertigten Bauteilen geringer als bei denen, die in der x-y-Ebene gefertigt wurden. Die Anordnungen dieser Probekörper sind in Abbildung 1 dargestellt.

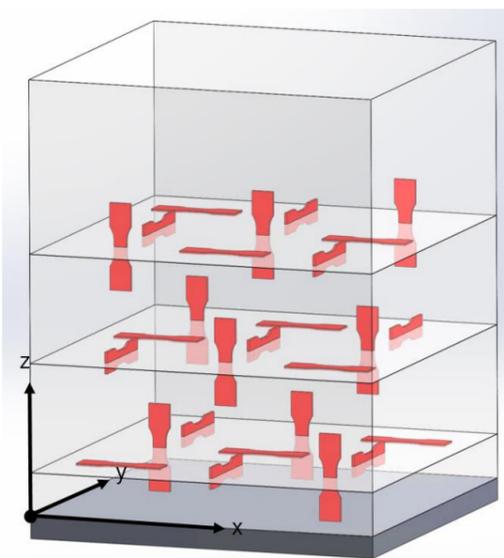


Abbildung 1: Anordnung der Zugprobekörper innerhalb des Bauraums [1]

Wie im Rahmen des AddiSim-Projekts zuvor nachgewiesen, sind die deutlich höheren mechanischen Eigenschaften der Probekörper in x-Richtung in den Spannungs-Dehnungs-Kurven auch in Abbildung 2 zu erkennen. Betrachtet man Abbildung 2 (b) fällt auf, dass diese Zugprobekörper mit z-Orientierung deutlich früher im Zugversuch versagen als jene, die in x- oder y-Richtung orientiert sind. So liegt die Bruchdehnung bei ca. 1 % bis knapp 4 %. Die höchst gemessene Zugfestigkeit beträgt nur ca. 38 MPa.

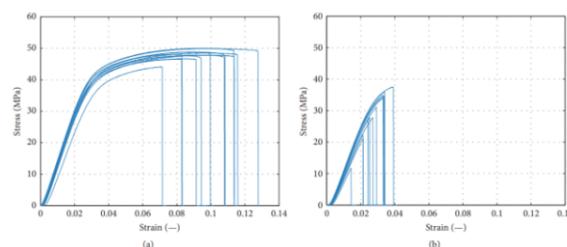


Abbildung 2: Spannungs-Dehnungs-Kurven mehrerer SLS-gefertigter Zugprobekörper aus PA12 in der x-Richtung (parallel zur x-y-Ebene) (a) sowie in der z-Achse (b) [2]

Hieraus lässt sich die für additiv hergestellte Bauteile charakteristische Strukturanisotropie ableiten.

Anisotropie bei 3D-gedruckten Bauteilen

Die Richtungsabhängigkeit 3D-gedruckter bzw. von SLS-Bauteilen ergibt sich aus dem unterschiedlichen Schichtaufbau, der zudem zur Entstehung von Poren und nicht geschmolzenen Partikeln in den Schichtgrenzflächen führt [3]. Dieser Schichtaufbau je nach Orientierung im Bauraum des SLS-Druckers ist in Abbildung 3 verdeutlicht.

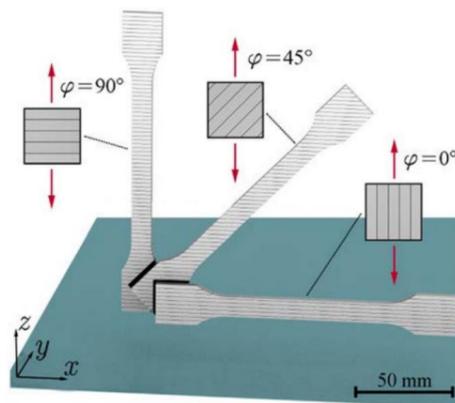


Abbildung 3: Schichtaufbau von SLS-Zugprobekörpern [3]

Es ist zu erkennen, dass der Zugprobekörper in z-Richtung bei entsprechender Belastung im Zugversuch quer zum Schichtaufbau belastet wird. Bei dem in der x-Richtung gefertigten Probekörper findet die Belastung in Richtung des Schichtaufbaus statt. Die höchsten mechanischen Eigenschaften ergeben sich bei dem Probekörper, der in der x-y-Ebene gefertigt wird, da hier die Schichten außerhalb der Lastrichtung liegen. Additiv gefertigte Proben zeigen transversal isotrope Eigenschaften in Abhängigkeit der Baurichtung. Das Materialverhalten ist dementsprechend in z-Richtung anders als in der x-y-Ebene, in der es weitgehend isotrop ist. [3] Im Falle der transversalen Isotropie sind, um das Materialverhalten beispielsweise in einer Simulation abbilden zu können, 5 unabhängige Elastizitätsgrößen zu bestimmen. Diese sind die 2 E-Moduln E_z und E_{xy} , die zwei Querkontraktionszahlen ν_z und ν_{xy} sowie ein Schubmodul G_{zxy} , der sich aus den eben genannten Parametern näherungsweise berechnen lässt. [4]

Materialmodell für FEM-Simulationen

Die Auswahl eines passenden Materialmodells ist aufgrund des anisotropen Materialverhaltens essentiell, um verlässliche mechanische Simulationen mit FEM-Simulationsprogrammen durchführen zu können. Innerhalb des elastischen Bereichs ist das Materialverhalten der SLS-gefertigten Proben isotrop. Im Materialmodell muss gemäß Sindinger et al. [3] die Dicke des 3D-gedruckten Bauteils sowie die Orientierung im Bauraum berücksichtigt werden. Berücksichtigt man diese Faktoren, erweist sich das in Abbildung 4 dargestellte Materialmodell als weitgehend geeignet für die FEM-Simulation, wobei im Vergleich von Simulation und den von Sindinger et al. [3] durchgeführten Tests Abweichungen von maximal 1 % vorkamen.

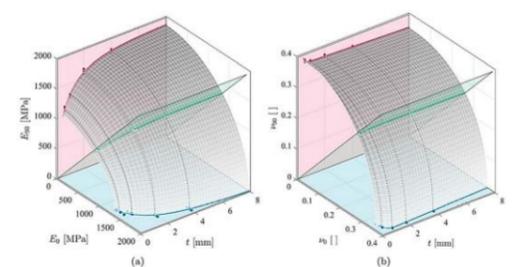


Abbildung 4: 3D-visualisiertes Materialmodell zur Annäherung an die Orientierungs- und Dickenabhängigkeit der E-Moduln und Poisson-Zahlen SLS-gefertigter Bauteile [0°, 45°, 90°] [3]

Im Materialmodell sind die jeweiligen, zur Beschreibung von transversal isotropem Materialverhalten notwendigen Parameter aufgeführt. Die Indizes der E-Moduln und Querkontraktionszahlen können aus Abbildung 3 abgeleitet werden. Bei 0°-Orientierung (x-Richtung bzw. x-y-Ebene) ergibt sich so z. B. ein höherer E-Modul als bei den 90°-orientierten Zugproben bei gleicher Bauteildicke. Letztlich werden für die FEM-Simulation eigenständige Materialeigenschaften in Abhängigkeit der Orientierung und Dicke generiert und den jeweiligen einzelnen Elementen zugeordnet [3].

Zusammenfassung und Ausblick

Die im Forschungsprojekt dargelegten anisotropen Eigenschaften der 3D-gedruckten Bauteile sind bei der Bauteil-auslegung und -simulation von hoher Bedeutung. Die Verwendung eines geeigneten Materialmodells, wie beispielsweise von Sindinger et al. [3] beschrieben, ermöglicht eine weitgehend realitätsnahe Struktursimulation von SLS-Bauteilen. Die wesentlichen Faktoren sind hierbei die Bauteilorientierung im Bauraum sowie die Bauteildicke. Das gesamte Thema ist vor allem im Hinblick auf anwendungsspezifisches und leichtbaugerechtes Entwickeln und Simulieren von Bauteilen aus dem 3D- bzw. SLS-Drucker sehr wichtig. Eine orientierungsabhängige Bauteil-auslegung und das Verständnis des transversal isotropen Materialverhaltens können die Anwendungsbereiche erweitern und verbessern.

Literatur

- [1] T. van Roo und M. Fornoff, Tagungsband, 2021, ISBN: 978-3-941269-98-9
- [2] E. C. Hofland et al., 2017, DOI: 10.1155/2017/4953173
- [3] S.-L. Sindinger et al., 2021, DOI: 10.1080/17452759.2020.1824427
- [4] A. Lindberg et al., 2018, DOI: 10.1016/j.addma.2018.10.009

h_da

HOCHSCHULE DARMSTADT
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

ikd

INSTITUT FÜR
KUNSTSTOFFTECHNIK DARMSTADT

Kontakt

Prof. Dr. Roger Weintlein
Institut für Kunststofftechnik Darmstadt ikd
Hochschule Darmstadt h_da
Haardtring 100, 64295 Darmstadt
E-Mail: roger.weintlein@h-da.de

Projektpartner

M. Eng. Tamara van Roo
Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF
Bereich Kunststoffe
Schlossgartenstraße 6, 64289 Darmstadt
E-Mail: tamara.van.roo@lbf.fraunhofer.de