

3D Printing and Finite Element Modeling of Auxetic Re-Entrant Structures for Impact Applications

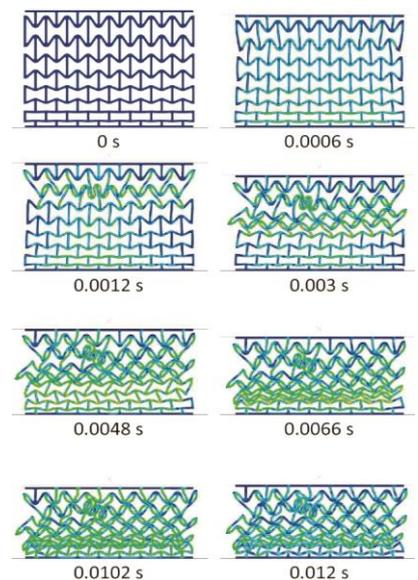
Energieabsorbierende Materialien sind beispielsweise in Helmen dazu da, das Verletzungsrisiko bei einem Aufprall zu minimieren. Vielfach werden dazu Schaumstoffe wie expandiertes Polystyrol (EPS) eingesetzt. Mit dem Aufkommen additiver Fertigungsmethoden wie Fused Filament Fabrication (FFF) ist es möglich geworden, geschlossene Zellstrukturen zu fertigen. Sogenannte Metamaterialien können nun so konzipiert und gefertigt werden, dass die Materialeigenschaften der gefertigten Struktur von den Eigenschaften des Grundmaterials abweichen. Unter anderem kann zum Beispiel die Poissonzahl, welche die Dehnung eines Materials in die Querrichtung zur Belastungsrichtung beschreibt, verändert werden. Materialien mit einer Poissonzahl < 0 werden auxetisch genannt. Auxetische Materialien sind für ihre Eindrucksbeständigkeit bekannt und daher für energieabsorbierende Anwendungen geeignet. Numerische Untersuchungen mit EPS-Schaum für Helmanwendungen haben ergeben, dass ein Gradient der Schaumdichte (Steifigkeit) über die Dicke der Helmschale ein besseres Absorptionsverhalten für Aufprälle mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten erzeugen kann. In diesem Zusammenhang soll eine auxetische Zellstruktur mit einem Steifigkeitsgradienten entwickelt und für verschiedene Aufprallgeschwindigkeiten optimiert werden, um zu untersuchen, ob dies auch für auxetische Materialien gilt. Die Zellstruktur soll dabei mit dem weitverbreiteten FFF-Verfahren aus Kunststoff gedruckt werden.

Um für die strukturdynamische Modellierung der auxetischen Struktur ein Dehnratenabhängiges Materialmodell für den Kunststoff Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) zu erstellen, wurden quasi-statische Zug- und Druckversuche mit unterschiedlichen Dehnraten an FFF-gedruckten Proben durchgeführt. Diese experimentellen Daten wurden mit weiteren Ergebnissen für einen grösseren Dehnratenbereich aus der Literatur ergänzt. Verschiedene phänomenologische und konstitutive Modelle wurden für ABS angepasst. Das phänomenologische Johnson-Cook-Materialmodell wurde aufgrund der effizienten Berechnung und der realistischen Modellvorhersage ausgewählt.



Diplomand/in
Florian Bärtsch

Dozent
Thomas Mayer



Deformation einer Gradientenbasierten auxetischen Struktur bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 2 m/s: durch die Gradienten-Funktion der Zellhöhen werden die Ebenen der Struktur nacheinander instabil; auxetisches Verhalten kann vor Auftreten von Instabilität beobachtet werden (0.0006 s)

Basierend auf dem Materialmodell wurde eine dynamisch explizite Finite-Elemente-Methode (FEM)-Simulation aufgesetzt und auxetische Strukturen mit verschiedenen Einfallswinkeln untersucht. Zur Überprüfung des Simulationsmodells im quasi-statischen Fall wurden FFF-gedruckte Strukturen unter entsprechenden Randbedingungen geprüft und eine gute Übereinstimmung konnte unter Einbezug von Fertigungstoleranzen festgestellt werden. Anhand des FEM-Modells wurden die Strukturen für Aufpralle mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten optimiert.

Die Ergebnisse der quasi-statischen Simulation stimmen im elastischen und instabilen Bereich gut mit den Kompressionstests überein. In der Kompaktionsphase konnten Abweichungen aufgrund Delamination und nichtlinearen Reibungsverhaltens festgestellt werden. Aufgrund einer begrenzten Anzahl an Proben konnte das dynamische Verhalten experimentell nicht abschliessend ermittelt werden. Die Zielfunktion der Optimierung weist eine grosse Anzahl eng beieinander liegender, lokaler Minima auf. Dies hat zur Folge, dass sehr enge Fertigungstoleranzen nötig sind, um Optima zu nutzen. In weiteren Untersuchungen sollte die Parametrisierung des Optimierungsproblems verbessert werden.