

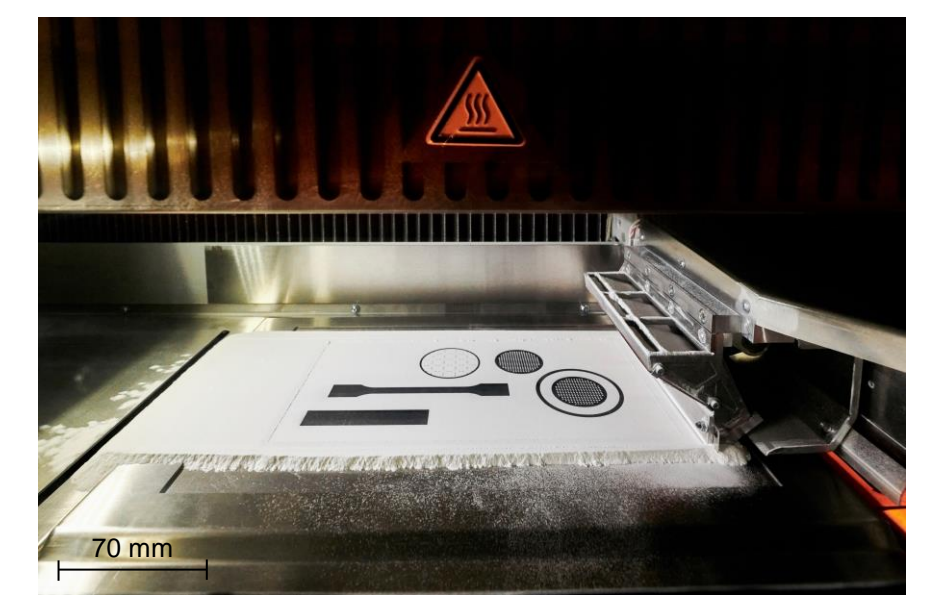
Simulationsgestützte Untersuchung der Energieabsorption additiv gefertigter auxetischer Gitterstrukturen

Timo Huse*¹, Mathieu Vinot¹, Hugo Pamies Moreno¹, Beril Erdogan¹

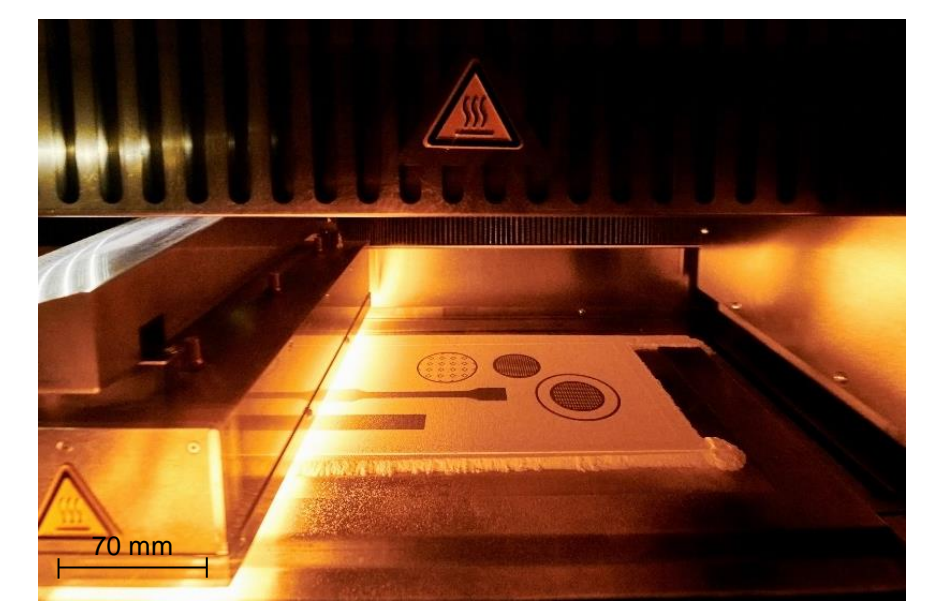
¹Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Fahrzeugkonzepte Stuttgart
*timo.huse@dlr.de

Einleitung

Das High-Speed Sintering (HSS) ist ein pulverbasiertes additives Fertigungsverfahren, bei dem thermoplastisches Pulver schichtweise aufgetragen und mittels infrarotabsorbierender Tinte selektiv aufgeschmolzen wird [1]. Aufgrund des Verfahrensprinzips ohne Stützstrukturen sowie der hohen geometrischen Freiheit eignet sich das HSS besonders zur Herstellung komplexer Gitterstrukturen [2]. Diese Freiheitsgrade ermöglichen zudem die Realisierung auxetischer Strukturen, die aufgrund ihrer negativen Querkontraktionszahl ein charakteristisches Deformationsverhalten mit vorteilhaften Eigenschaften für die Energieabsorption aufweisen [3, 4]. Ziel der Arbeit ist die simulationsgestützte Untersuchung des Energieabsorptionspotenzials solcher Strukturen sowie die Analyse des Einflusses von Material- und Geometrieparametern auf ihr mechanisches Verhalten unter Druckbelastung.



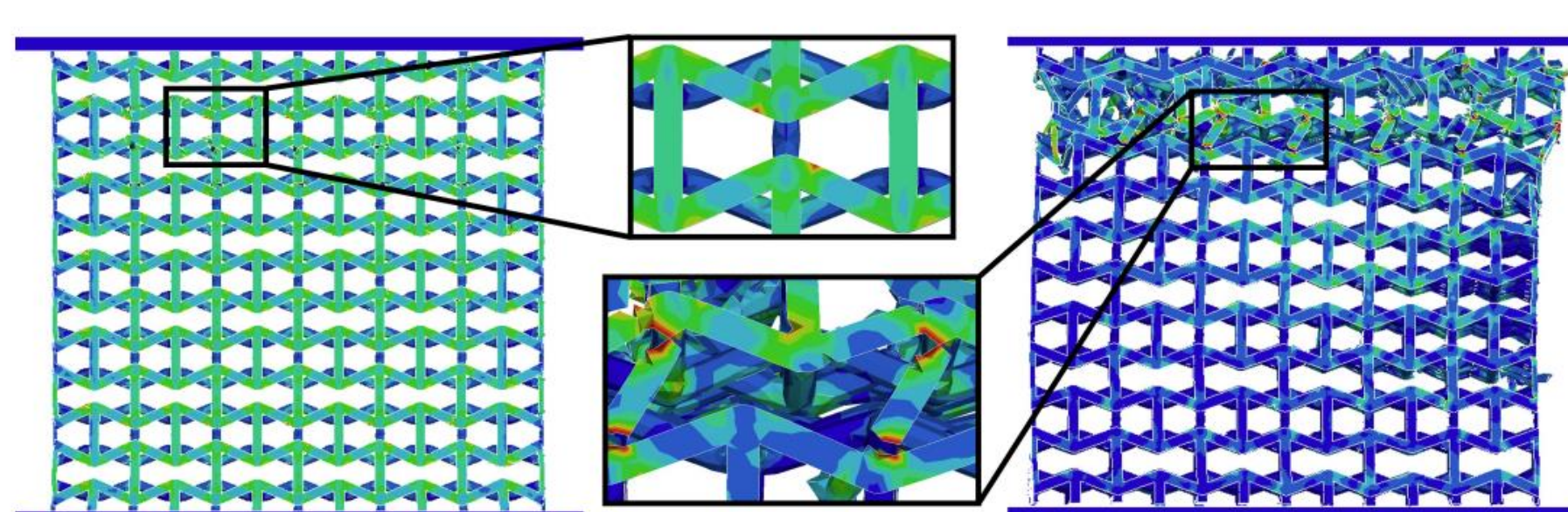
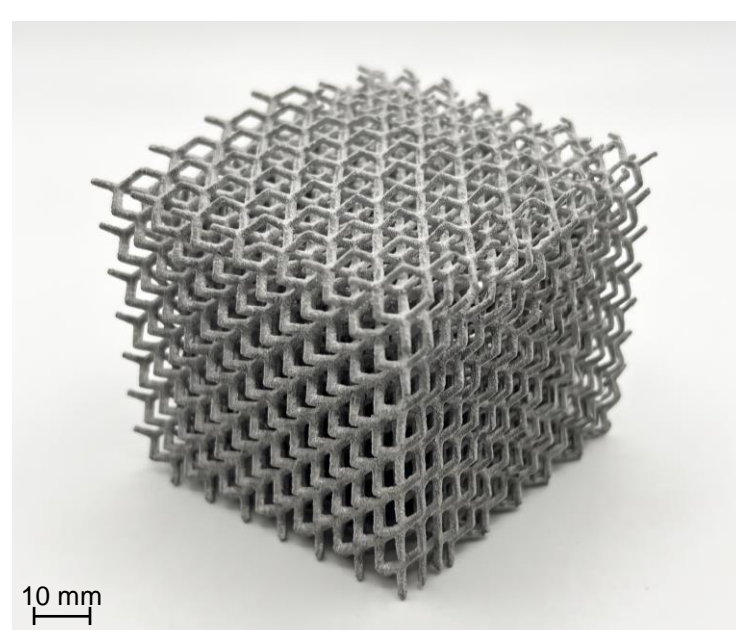
Benetzen mit Tinte



Sintern mittels IR-Lampe

Methode

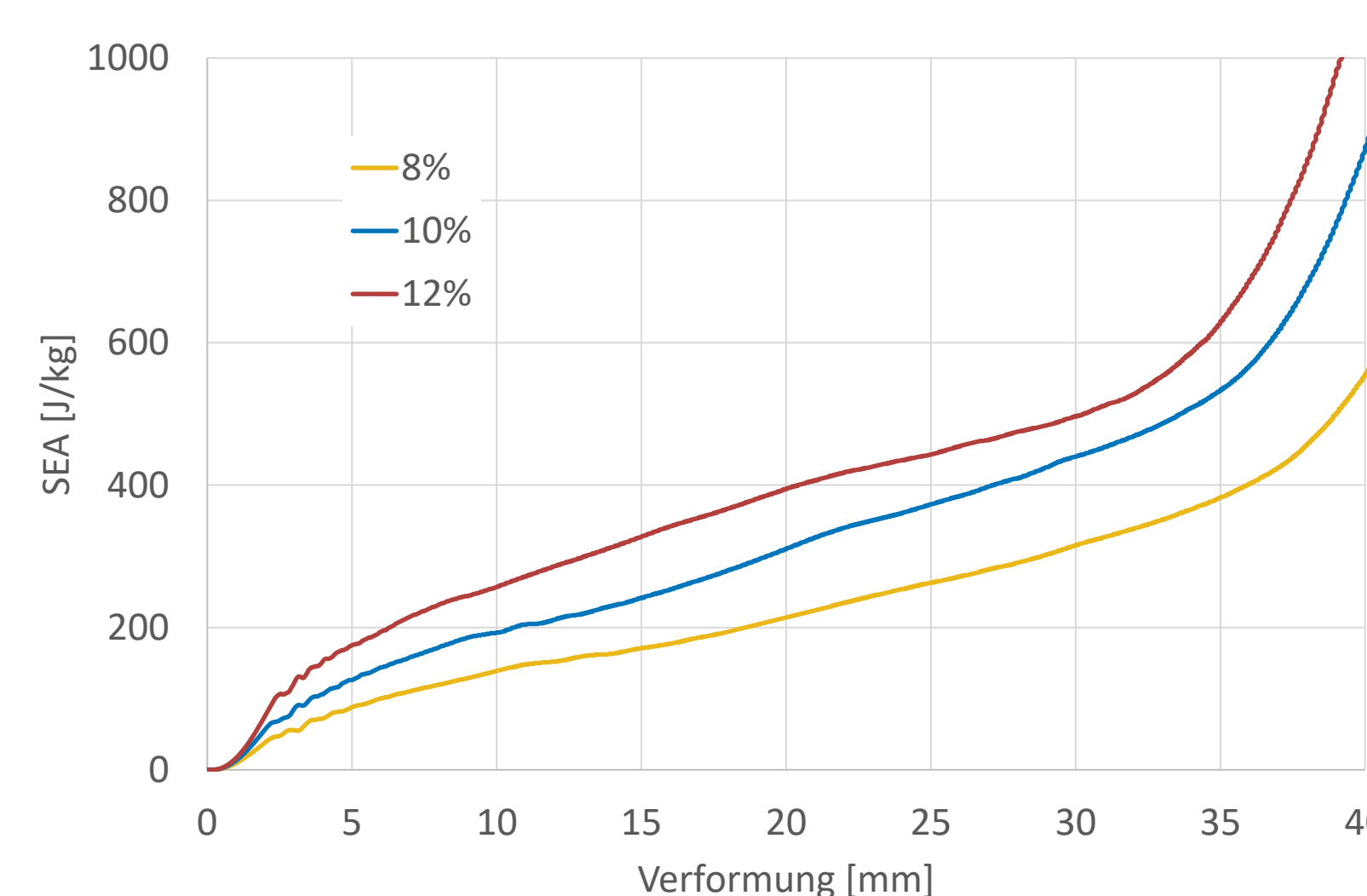
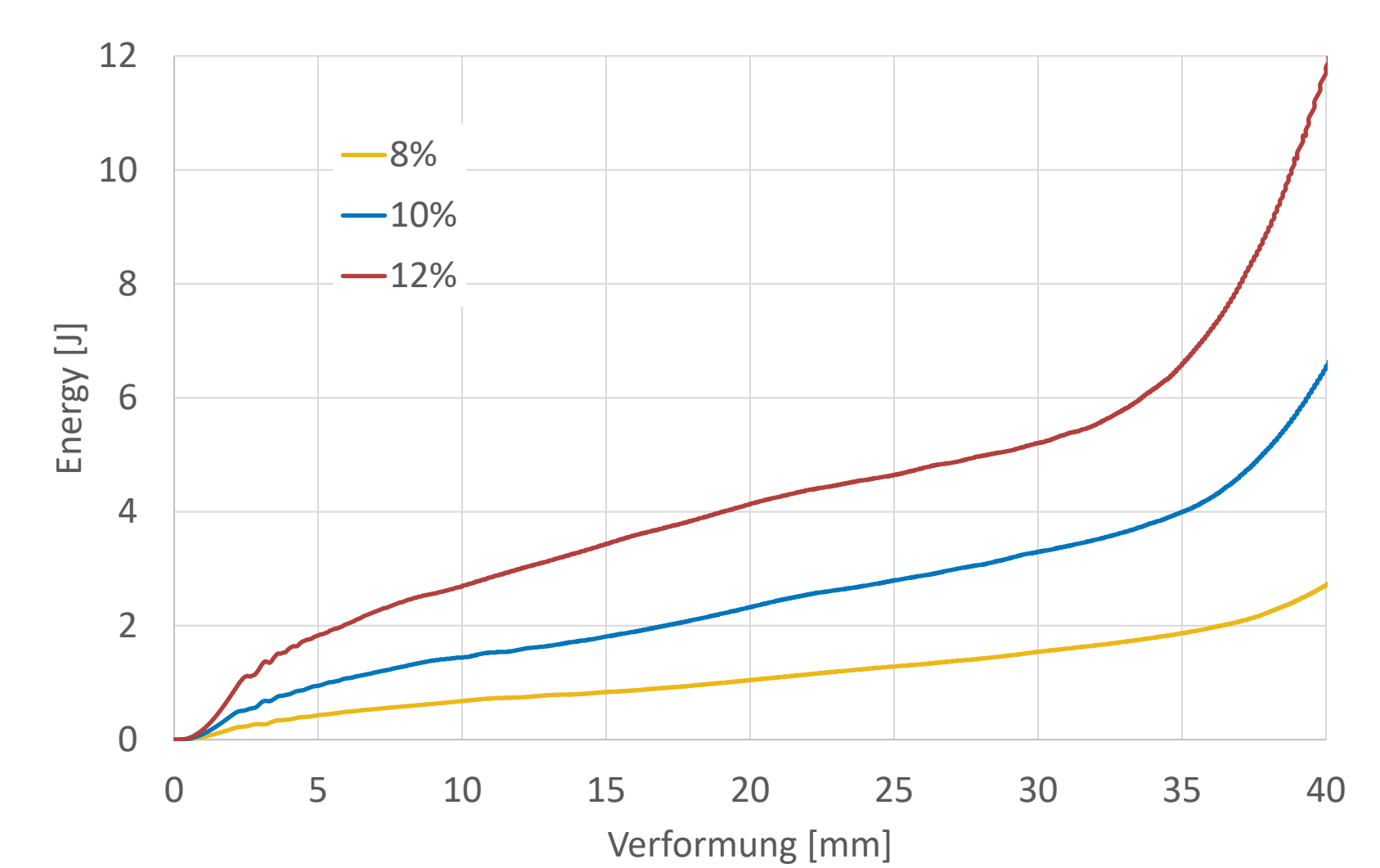
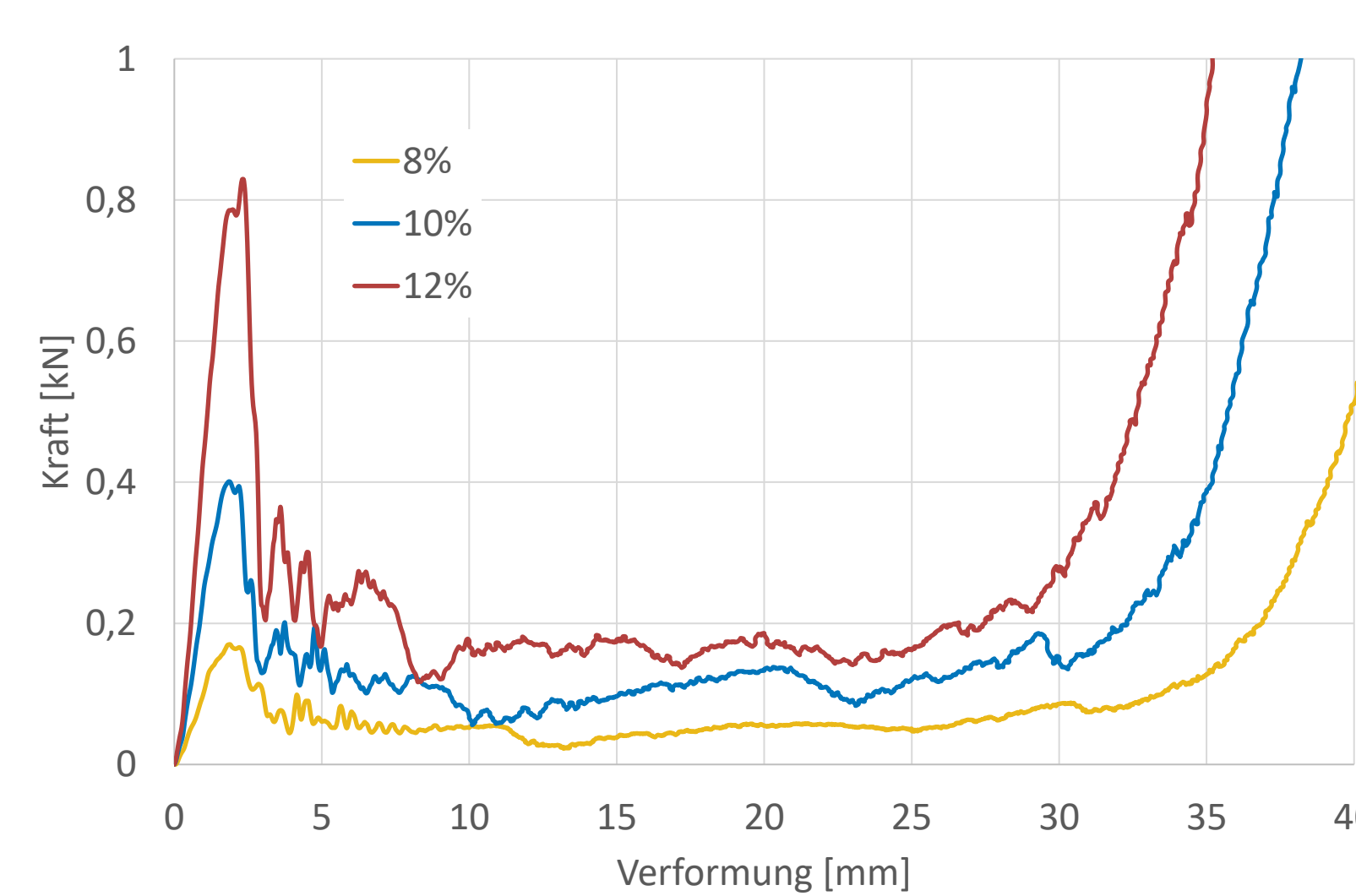
Zur Untersuchung wird eine experimentell-numerische Methodik verwendet. Die Proben bestehen aus würfelförmigen Gitterstrukturen (50 mm), basierend auf einer 3D-reentrant Einheitszelle, die aufgrund ihres stabilen auxetischen Deformationsverhaltens gewählt wurde. Die Geometrie wird über Zellgröße und relative Stegdicke parametrisiert. Die Materialcharakterisierung erfolgt mittels Zug- und Druckversuchen an TPU, PP und PA12, deren Spannungs-Dehnungs-Verhalten zur Kalibrierung geeigneter Materialmodelle in LS-DYNA genutzt wird. Zur Sicherstellung der Modellgüte werden experimentelle und simulierte Kraft-Verschiebungs-Kurven miteinander verglichen. Die Simulation der Gitterstrukturen erfolgt unter quasistatischer Druckbelastung zwischen zwei starren Platten. Dabei werden sowohl Kontaktbedingungen zwischen Struktur und Platten als auch Selbstkontakt innerhalb der Gitterstruktur berücksichtigt.



Additiv gefertigte reentrant Gitterstruktur (oben) und simuliertes mechanisches Verhalten unter Druck (unten)

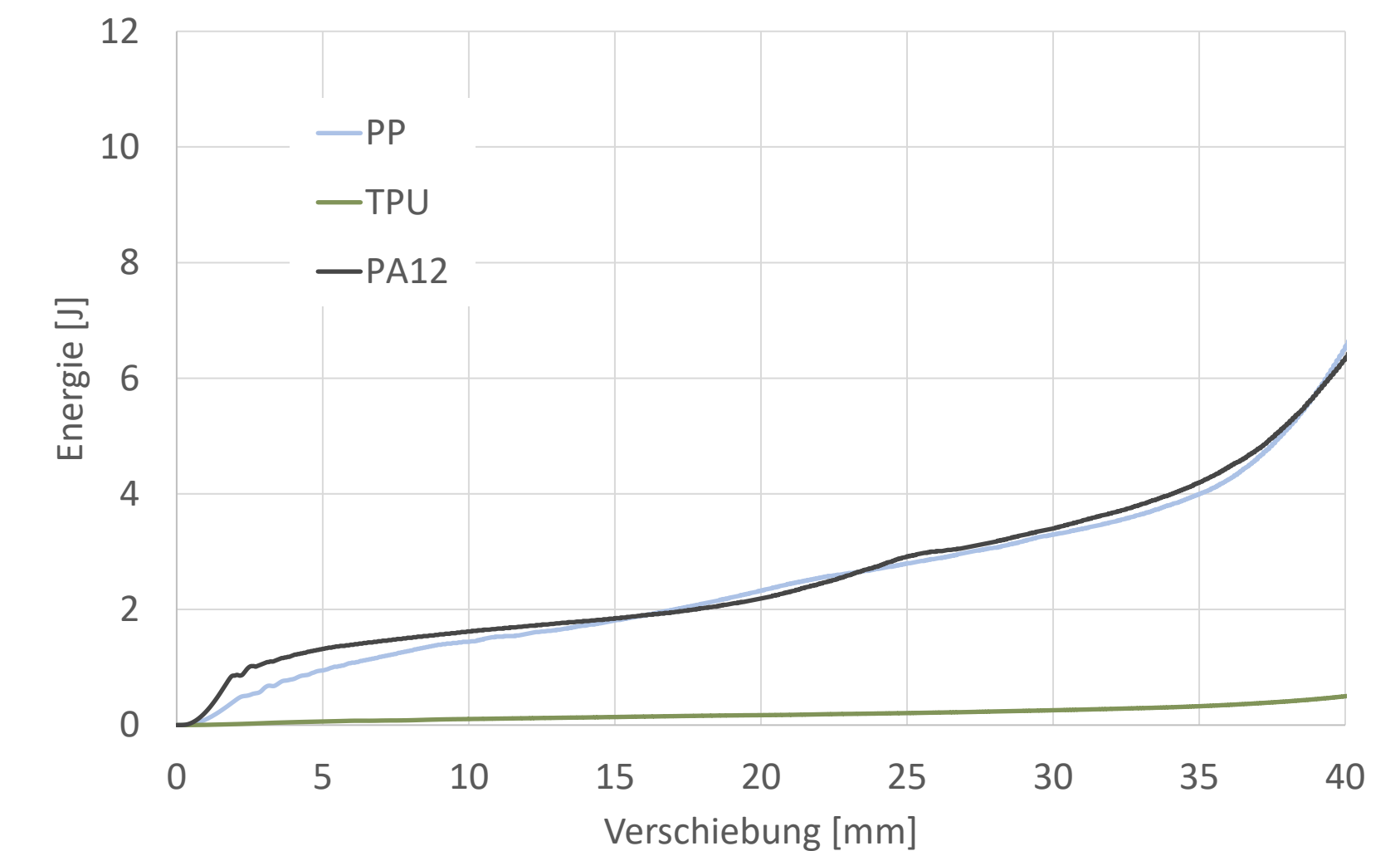
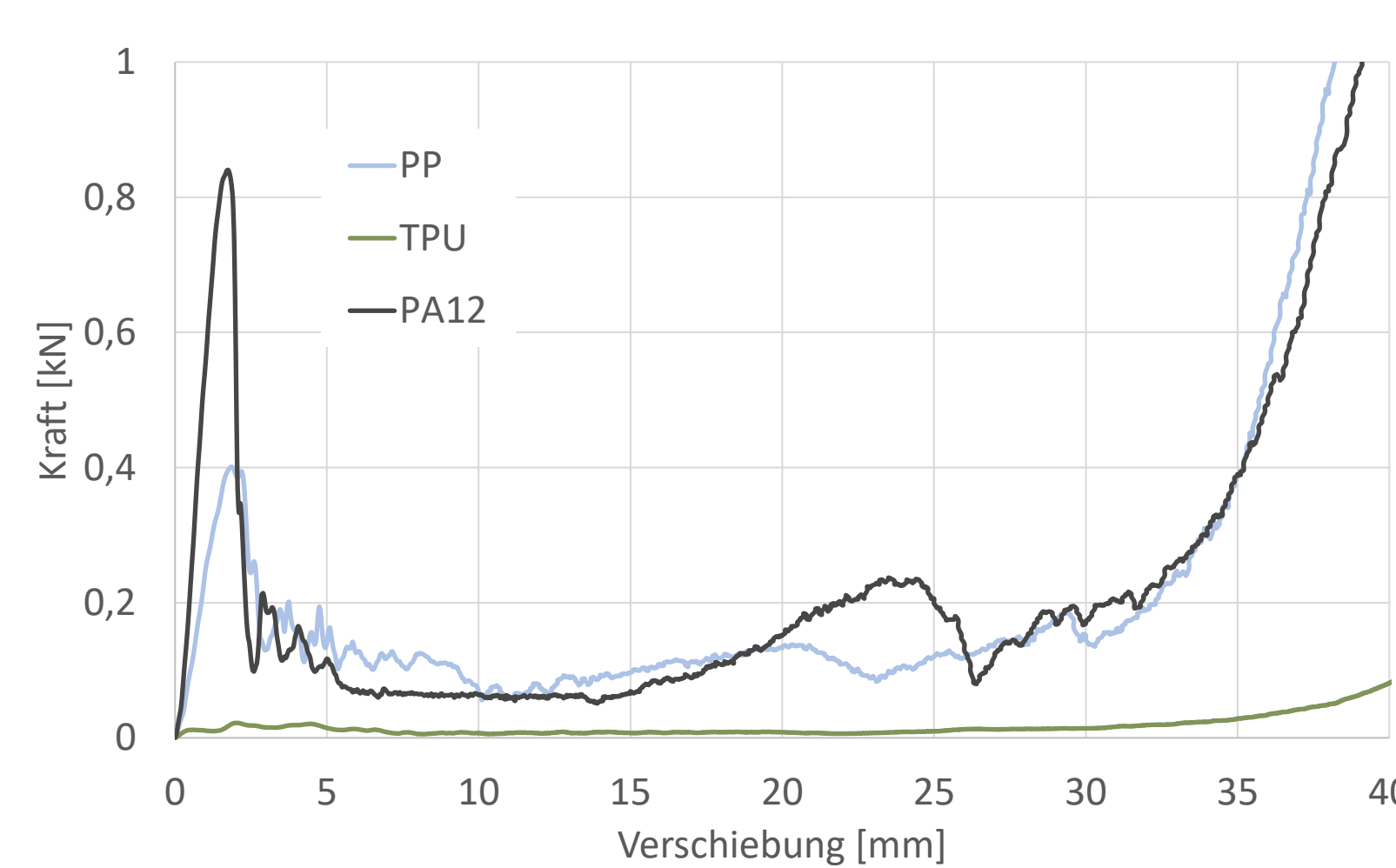
Ergebnisse

Struktur- & Geometrieoptimierung:



Eine mittlere relative Stegdicke (PP, 10 %) zeigt zugleich ein ausgewogenes Kraft-Verformungsverhalten sowie ein optimales Energieabsorptionsverhalten, da sie einen effizienten Kompromiss zwischen struktureller Stabilität und massenspezifischer Effizienz darstellt.

Materialvergleich & Effizienz:



Die Ergebnisse zeigen, dass PP das günstigste Gesamtverhalten aufweist, da es einen ausgewogenen Kompromiss zwischen Steifigkeit und Duktilität bietet. PA12 erreicht die höchsten Kräfte, jedoch ein sprödes Versagen, während TPU aufgrund seiner hohen Duktilität keine ausreichend hohen Lastniveaus für eine effiziente Energieabsorption erreicht. Dabei zeigt sich zusätzlich, dass PP die höchste dissipierte Energie aufweist, während PA12 überwiegend elastische Energie speichert und TPU insgesamt nur geringe Energieniveaus erreicht.

Schlussfolgerung

Die simulationsgestützten Untersuchungen zeigen den Einfluss von Material- und Geometrieparametern auf das mechanische Verhalten und die Energieabsorption additiv gefertigter Gitterstrukturen. Dadurch werden Zusammenhänge zwischen Geometrie, Materialverhalten und Energieabsorption deutlich. Insgesamt liefert die Arbeit eine verlässliche Grundlage für die simulationsgestützte Auslegung energieabsorbierender Gitterstrukturen.

[1]: ELLIS, Adam, et al. Materials for high speed sintering. Journal of Materials Research, 2014, 29. Jg., Nr. 17, S. 2080-2085.

[2]: ZHANG, Jianjun; LU, Guoxing; YOU, Zhong. Large deformation and energy absorption of additively manufactured auxetic materials and structures: A review. Composites Part B: Engineering, 2020, 201. Jg., S. 108340.

[3]: GAO, Qiang, et al. Auxetic structures for energy absorption: A review on design, manufacturing, optimization, and applications. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 2026, 37. Jg., Nr. 5, S. 263-301.

[4]: C. A. Chatham, T. E. Long, C. B. Williams. A review of the process physics and material screening methods for polymer powder bed fusion additive manufacturing. Progress in Polymer Science, 2019, 93, 68-95. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2019.03.003>