Untersuchung zur Imprintcharakteristik von 2PP-gedruckten Stempeln mittels taktiler und optischer Messtechnik

Christos J. Karapatzakis, Selina Burkert, Andreas Heinrich
Aalen School of Applied Photonics, Hochschule Aalen
mailto:Christos.Karapatzakis@hs-aalen.de

Diese Arbeit untersucht die mechanischen Eigenschaften 2PP-gedruckter Nanoimprint-Stempel. Mithilfe eines modularen Prüfaufbaus, der Kraft-Weg-Messungen mit Bildgebung kombiniert, wird das Deformations- und Knickverhalten von Mikrogittern unter zyklischer Druckbelastung charakterisiert. Dies ermöglicht eine quantitative Bewertung der Replikationsqualität und Schädigungen.

1 Einleitung

Die Zwei-Photonen-Polymerisation (2PP) ermöglicht die Herstellung komplexer 3D-Mikrostrukturen, die als Stempel in der Nanoimprint-Lithografie (NIL) eingesetzt werden können. Der Stempel muss fähig sein, wiederholt Druckbelastungen Stand zu halten, um Serienabformungen zu gewährleisten (Abb.1). Ziel ist der Aufbau einer uniaxialen Prüfstation für die wiederholte Kompressionsprüfung und der Untersuchung zur Imprintcharakteristik von 2PP gedruckten Knickstrukturen. Hierbei liegt der Fokus der Analyse auf der Viskoelastizität [1] des Druckermaterials (IP-S mit einem E-Modul von 2,1 GPa).

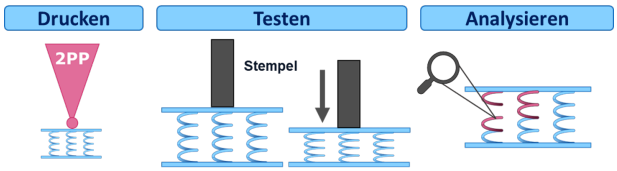


Abbildung 1 *3D-Druck, Kompressionsprüfung und Analyse von 2PP gedruckten NIL Stempeln mit Knickstrukturen.*

2 Methodik

Kraftsensor: Ein S-Typ-Kraftsensor wird zur Messung uniaxialer Kräfte bis zu 2 N verwendet. Diese Art von Sensoren sind besonders anfällig für Kräfte, welche außerhalb der Achse wirken. Daher ist es wichtig, den Sensor und die Probe aufeinander auszurichten.

Stage: Ein Hexapod dient zur Bewegung in z-Richtung mit einem maximalen Verfahrweg von ± 14 mm. Der Hexapod weist eine minimale Inkrementalbewegung und eine unidirektionale Wiederholgenauigkeit von 0,05 µm sowie eine maximale Geschwindigkeit von 5 mm/s auf Eine manuelle Stage mit einem Verfahrweg von 15 mm ist mit dem Sensor verbunden und dient dazu, den Sensor mit der Teststruktur in Kontakt zu bringen.

Anti-crash System: Für den Fall eines Bedienungsfehlers ist ein Anti-crash System erforderlich (Abb. 2). Der Hexapod ist für eine maximale Kraft von 60 N in z-Richtung ausgelegt, und der Kraftsensor hält einer Kraft von bis zu 4 N stand. Das Anti-crash System löst bereits bei einer Kraft von weniger als 2 N aus. Dies ist der Bereich, in dem der Kraftsensor Daten erfassen kann, ohne dass die Gefahr einer Beschädigung besteht.

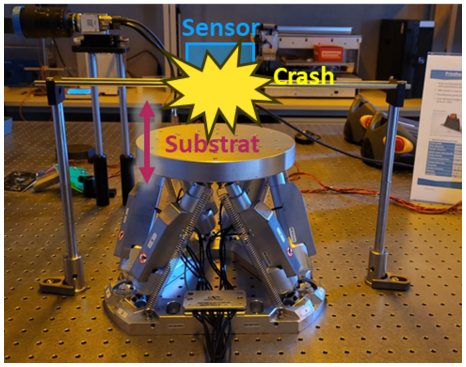


Abbildung 2 *Anti-crash System zum Schutz des Sensors und des Hexapods.*

Knickstrukturen: Zur Prüfung und zum Vergleich von 2PP-gedruckten Knickkonstruktionen wird ein Entwurf aus der Literatur [2] verwendet. Der rote Teil der Elementarzelle (Abb. 3) ist der Rahmen, der die umgebenden Elementzellen miteinander verbindet. Die blauen Elemente sind die Knickstrukturen welche eine elastische Verformung zulassen, während die orangefarbenen und gelben Strukturen Verbindungskomponenten sind, welches ein vollständiges Zusammenbrechen der Elementzelle verhindern.

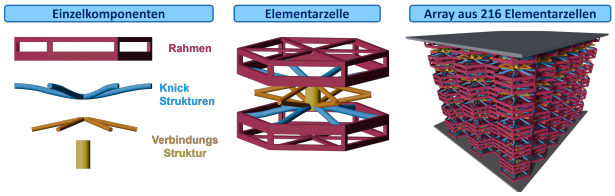


Abbildung 3 *Einzelkomponenten der 2PP gedruckten Kickstrukturen aus [2], welche mit dem uniaxialen Prüfstand untersucht werden.*

DGaO Proceedings 2026 – *http://www.dgao-proceedings.de* – ISSN: 1614-8436 – urn:nbn:de:0287-2026-P002-7
https://doi.org/10.83229/127-p002 – eingegangen: 28.07.2026 – veröffentlicht: 18.10.2026

3 Ergebnisse

Abbildung 4 zeigt das modulare Kraftsensor-Setup mit anti-crash System. Dieses wird präzise über der Probe positioniert und vorsichtig mit einer manuellen Stage auf Kontakt gebracht, um eine unerwünschte Vorbelastung der Strukturen vor dem Messbeginn zu vermeiden.

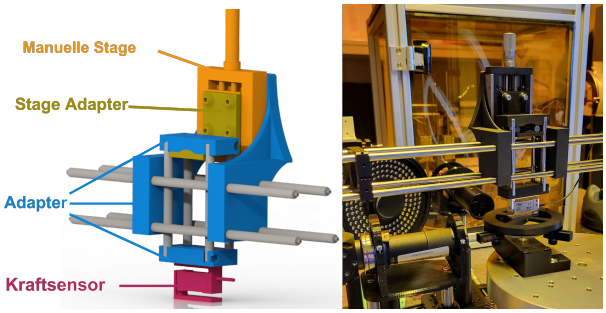


Abbildung 4 *Modulares Kraftsensor Setup mit Anti-Crash System und manueller Stage, um den Sensor mit der Teststruktur in Kontakt zu bringen.*

Die Knickstrukturen werden während des Testens simultan von zwei Kameras beobachtet. Dies ermöglicht eine detaillierte Analyse des Deformations- und Knickverhaltens während dem gesamten Kompressionszyklus (Abb. 5).

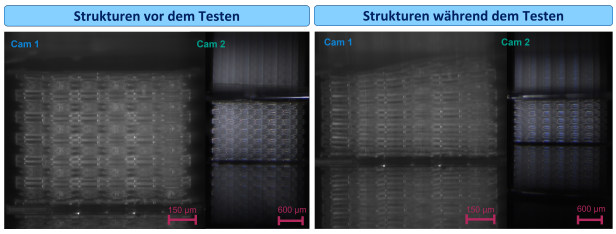


Abbildung 5 *2PP gedruckte Knickstrukturen vor und während einer Kompressionsprüfung mit einem Verfahrweg von 150 µm.*

Bei den zyklischen Kompressionsmessungen (Abb. 6) zeigt sich ein charakteristisches Materialverhalten: Es kann eine deutliche Verringerung der maximalen Kraft über die aufeinanderfolgenden Zyklen hinweg gemessen werden. Mit fortschreitender Zyklenzahl verringert sich die Materialverdrängung bei derselben angewendeten Kraft. Dieses Phänomen deutet auf ein viskoelastisches Verhalten des 2PP-Druckmaterials (IP-S) hin, bei dem sich das Material nach der Entlastung nicht sofort wieder in seinen Ursprungszustand zurückverformt.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem hier vorgestellten Aufbau können Materialkennkurven aufgenommen und somit Material und NIL Stempelcharakteristiken wie Viskoelastizität näher definiert werden. Somit kann eine Vielzahl von Geometrien und Materialien gegenübergestellt und deren Imprintcharakteristik für die NIL evaluiert werden.

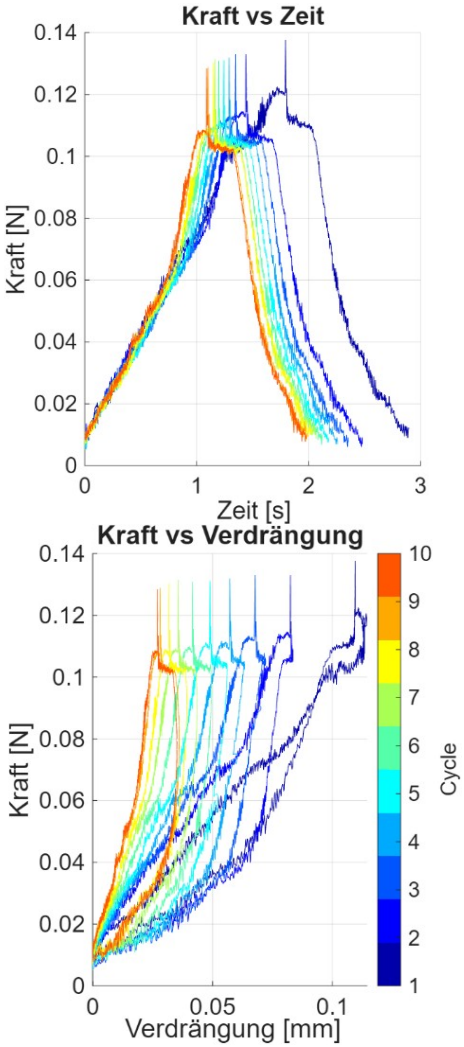


Abbildung 6 *Gemessene Kraft für 10 wiederholte Kompressionsmessungen. Viskoelastisches Verhalten ist sichtbar, nach jedem Kompressionszyklus verringert sich die gemessene Kraft.*

5 Danksagung

Dieses Projekt wurde unterstützt von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit der Projektnummer 497362183 (NanoADD FKZ INST 52/20-1) und dem Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) FH-Kooperativ mit der Projektnummer 13FH080KX1 (SMArtMed).

Literatur

[1] N. G. McCrum, C. P. Buckley, and C. B. Bucknall, “Principles of polymer engineering. 1: 2. ed., repr,” (Oxford Univ. Press, Oxford, 2010). Num Pages: 447.

[2] T. Frenzel, C. Findeisen, M. Kadic, P. Gumbsch, and M. Wegener, “Tailored Buckling Microlattices as Reusable Light-Weight Shock Absorbers,” **28**(28), 5865–5870. URL `https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.201600610`.