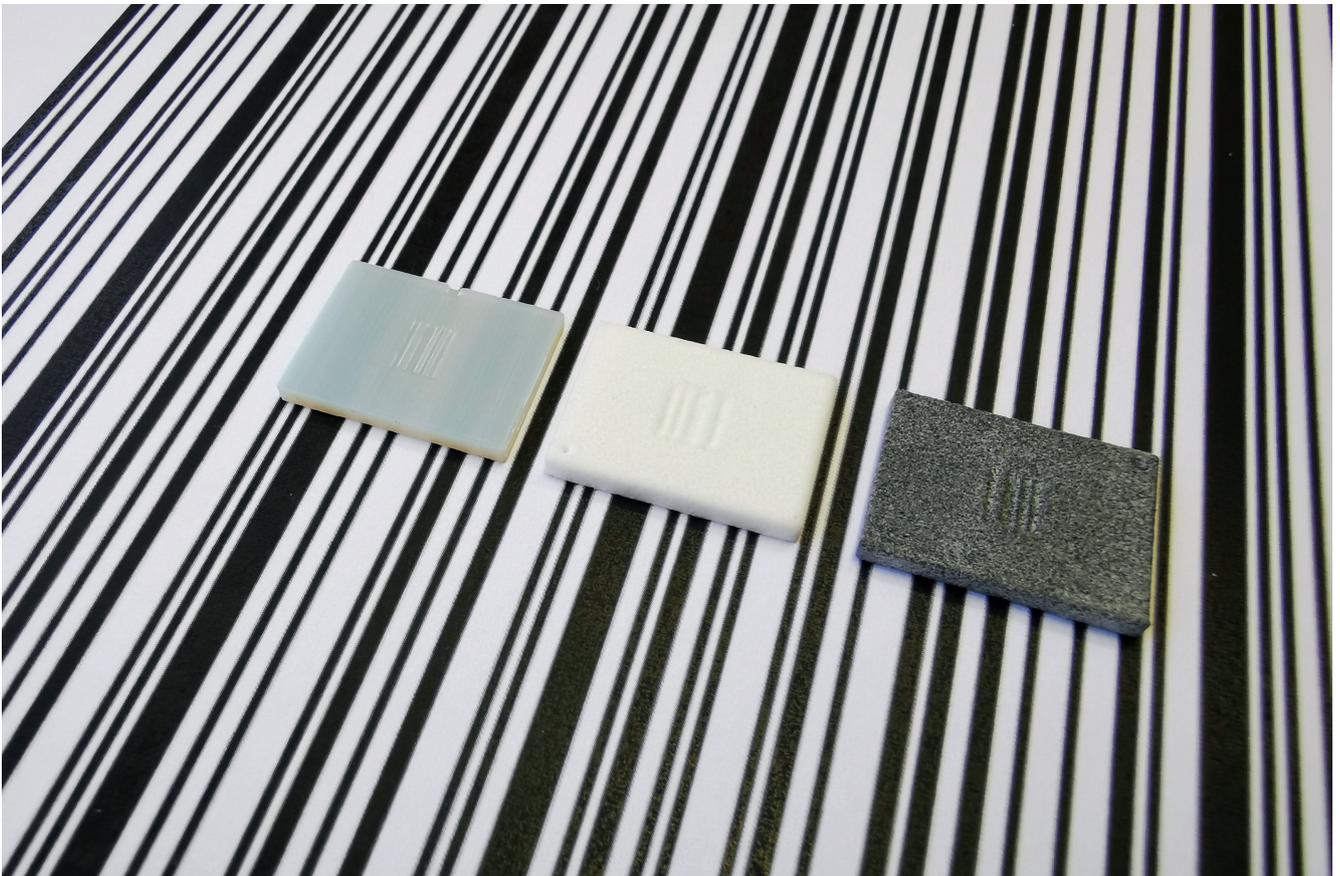


Untersuchung bauteilspezifischer Codierungen auf 3D-gedruckten Bauteilen

An der Grenze der Auslesbarkeit

Die additive Fertigung ermöglicht es, eine Codierung zur Identifikation von Bauteilen während des 3D-Druckprozesses an der Oberfläche anzubringen. Welche Verfahren eignen sich und wo liegen die Gestaltungsgrenzen? Antworten darauf liefert eine Untersuchung an der Hochschule Coburg.



Integrierte Barcodes in der Oberfläche von 3D-gedruckten Proben, links mit dem PJM-Verfahren, mittig mit dem SLS-Verfahren und rechts mit dem MJF-Verfahren gefertigt. © Hochschule Coburg

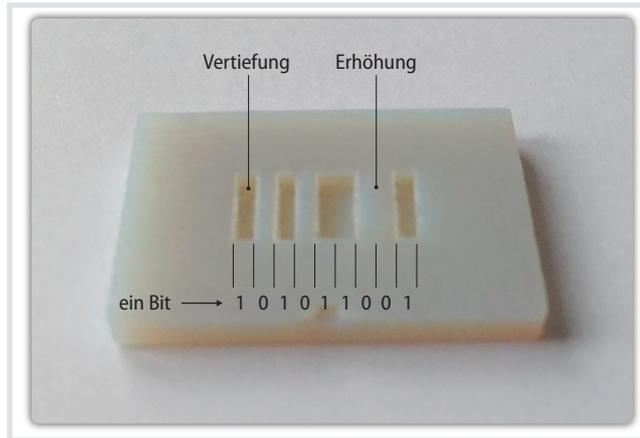
Die kundenindividuelle Fertigung von Bauteilen ist häufig mit konventionellen Fertigungsverfahren entweder nicht möglich oder aufgrund von verfahrensbedingten Randbedingungen wie beispielsweise häufigen Rüstvorgängen wirtschaftlich nicht umsetzbar. Unter dem Stichwort „Mass Customization“ hat sich mit den additiven Fertigungsverfahren die Möglichkeit entwickelt, in großer Zahl kundenindividuelle Einzelfertigung anbieten zu können [1]. Als Anwendungsgebiete sind beispielsweise individuell angepasste Schuheinlagen oder

Brillen zu nennen [2, 3]. Diese unterscheiden sich nach der Herstellung meist nur durch ihre kundenspezifischen, optisch kaum wahrnehmbaren Ausprägungen. Die Zuordnung zum Kunden – beziehungsweise zu einer weiteren Bearbeitung oder Handhabung während des Fertigungsprozesses – erfolgt in vielen Fällen manuell durch zeitaufwendiges Messen der Bauteile oder einen visuellen Abgleich mit den zugehörigen CAD-Daten [4]. Das erfordert einen unnötigen Arbeitsaufwand, der zudem hohe Kosten verursacht und fehlerbehaftet sein kann.

Eine Codierung dieser Bauteile während des Druckprozesses kann dafür sorgen, dass eine einfache und eindeutige Zuordnung möglich ist. Im Rahmen einer Versuchsreihe untersuchten Wissenschaftler der Hochschule Coburg unterschiedliche 3D-Druck-Verfahren hinsichtlich ihrer Eignung zur Einbringung solcher Codes und verglichen die Grenzen der Verfahren. Dabei ging es konkret um die Frage, inwieweit sich direkt mitgefertigte Codierungen auf 3D-gedruckten Bauteilen auslesen lassen. Vereinfachend wurde dabei die

Bild 1. PJM-Probe mit der festgelegten Bitfolge 101011001.

© Alexander Bauer



Untersuchung auf Basis von Barcodes durchgeführt. Anhand unterschiedlicher additiver, polymerbasierter Verfahren wurden die jeweiligen Gestaltungsgrenzen zur Herstellung der Codes ermittelt.

Bisherige Bauteilkennzeichnungen im 3D-Druck

Brandl und Berge stellen in [5] modellhaft Varianten für technische Realisierungsmöglichkeiten zur Identifikation von 3D-gedruckten Bauteilen vor. Als Kennzeichnungsträger wurden Matrixcodes, die direkt im Bauprozess mit gefertigt werden, vorgeschlagen. Das soll über eine kontrastierende Farbgebung oder ein kontrastierendes Relief in der Oberfläche geschehen. Des Weiteren legen sie Supportstrukturen, die durch die Bauteiloberfläche scheinen, als Bauteilmarkierung nahe.

Im Bereich der Metalle betrachteten Niendorf et al. die Bauteilkennzeichnung mittels Variation des Gefüges [6]. Die

Gefügeunterschiede im Bauteilinneren sind von außen nicht sichtbar, jedoch mittels Wirbelströmen detektierbar.

Arndt [4] entwickelte unter anderem ein Konzept zur Kennzeichnung und Identifikation von additiv gefertigten Bauteilen. Als Basis dienten ihm Bauteilgeometriedaten, Kundenforderungen und das verwendete additive Fertigungsverfahren. Hierfür betrachtete er konkret die Verfahren Fused Layer Modeling (FLM) und selektives Lasersintern (SLS).

Jahnke et al. [7] untersuchten die Einbringung eines 18 x 18 Pixel Data-Matrix Codes auf, in und unter der Oberfläche von SLS-Bauteilen für verschiedene Aufbaurichtungen. Die Untersuchung zeigte, dass die Auslesbarkeit der Codierungen mittels Smartphone Scanner-App in den schrägen Baulagen tendenziell schlechter ist. Markierungen unter der Oberfläche des Bauteils sind nur in ihrer größten Ausprägung mit einer Pixelgröße von 2 x 2 x 1 mm auslesbar. »

Info

Text

Daniel Kubat ist seit 2022 wissenschaftlicher Mitarbeiter im ESF-Projekt: „Die Prozesskette in der Additiven Fertigung (PAF)“ an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg.

Alexander Bauer ist seit 2020 als Application Manager bei der Solukon Maschinenbau GmbH in Augsburg tätig.

Prof. Dr.-Ing. Markus Stark ist seit 2011 Professor für Konstruktion, innovative Produktentwicklung und Additive Fertigung an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Coburg. Seit 2013 leitete er zusätzlich das Institut für Prototypen- und Modelltechnik;

Markus.Stark@hs-coburg.de

Dank

Die Ergebnisse dieser Veröffentlichung wurden teilweise im EFRE-Projekt: „Roadmap: flexPro“ erzeugt. Dieses Vorhaben wurde aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und durch das Bayerische Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst gefördert. Auch möchten die Autoren der Micro-Epsilon Messtechnik GmbH & Co. KG, der Cipres GmbH sowie der Transform R2 GmbH danken.

Literatur & Digitalversion

Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter

www.kunststoffe.de/onlinearchiv



EJS
www.ejschina.com

PUT E.J.S
TO THE CHALLENGE FOR YOUR
SINGLE AND TWIN
SCREWS BARRELS

Schnecken
und
Zylinder



Booth No.
Hall 11
D74

**YOUR GO-TO
MANUFACTURER AND
PARTNER FOR SCREW BARREL**

E.J.S INDUSTRY CO., LTD
Export Office: 55 Dongdu Road, Haishu District, Ningbo, China 315000
Factory Add.: Xihou Industrial Zone, Jintang Town, Zhoushan, China 31600
Tel: +86-574 8306 5911 Mob: +86-137 3615 8017
Fax: +86-574 8306 5601 sales@ejsscrawbarrel.com




Untersuchte Parameter	Verfahren	PJM			SLS			MJF	
	Maschine	Objet 260 Connex 3			EOS Formiga P100			Jet Fusion 4200	
	Material	VeroGray RGD850 (matt) [7]			PA 2201 [8]			High Reusability PA 12 [9]	
	Aufbauichtung	parallel zur Druckkopf- bewegung	senkrecht zur Druck- kopf- bewegung		downskin	upskin	vertikal	downskin	60°-angestellt
	Schicht- dicke in mm	0,016	0,032	0,032	0,1			0,08	
	Post-Prozess	5%-iges Laugenbad + Ausbürsten unter Wasserzufuhr			Glasperlenstrahlen			Glasperlenstrahlen	
	Bit-Tiefe in mm (Schrittweite)	0,032–0,16 (0,032)			0,1–0,5 (0,1)			0,08–0,4 (0,08)	
	Bit-Breite in mm (Schrittweite)	0,1–0,4 (0,1)			0,1–0,5 (0,1)			0,1–0,5 (0,1)	

Tabelle 1. Übersicht zur Versuchsdurchführung hinsichtlich der betrachteten Verfahren und untersuchten Parameter. Quelle: Hochschule Coburg

Experimentelle Untersuchung

Im Rahmen der experimentellen Untersuchung wurde ermittelt, welche minimale Dimensionierung für einen Barcode nötig ist, um diesen in Abhängigkeit des jeweiligen 3D-Druckverfahrens mit einem Profil-Scanner auslesen zu können. Explizit betrachtet wurden dabei die additiven Fertigungsverfahren PolyJet Modeling (PJM), selektives Lasersintern (SLS) und Multi Jet Fusion (MJF).

Versuchsaufbau

Bei den verwendeten Versuchsproben handelte es sich um 20 x 15 x 2 mm große Plättchen, in deren Mitte sich der mitgedruckte Barcode befindet (**Bild 1**). Der binäre Zahlencode eines Barcodes, der im Zweidimensionalen mit verschiedenen dicken schwarzen und weißen Streifen bzw. Bits dargestellt wird, sollte hier mittels Vertiefungen und Erhöhungen erzeugt werden. Dabei repräsentieren ein vertiefter Streifen einen schwarzen Strich bzw. eine 1 und ein nicht vertiefter Streifen analog einen weißen Strich bzw. eine 0. In jeder Probe der Untersuchung war dieselbe Abfolge an Bits eingepreßt. Es sollte ermittelt werden, welche Breiten und Tiefen für die einzelnen Bits notwendig sind, um diese auslesen zu können.

Für die Erfassung der Vertiefungen und deren Breiten kam ein Laser-Profilscanner (Typ: scanControl LLT3000--25/BL; Hersteller: Micro-Epsilon) zum Einsatz (**Bild 2**). Mithilfe der zugehörigen Software (Typ: scanControl Configuration Tools 6.3; Hersteller: Micro-Epsilon) konnte anschließend das Profil des Barcodes digital erfasst werden.

Zur automatisierten Auswertung der Barcodes wurden das gemessene Profil beziehungsweise die X- und Z-Werte eines jeden Messpunktes aus dem Programm exportiert und mit einem speziell hierfür in Matlab (Typ: Matlab 2019; Hersteller: The MathWorks) entwickelten Programm analysiert (**Bild 3**). Im ersten Schritt galt es, innerhalb des Matlab-Programms die Oberflächenreferenz und die Referenz für die Vertiefungen, über eine entsprechende Mittelwertbildung zu bestimmen. Der Schwellwert liegt typischerweise mittig zwischen den beiden Referenzen. Alle Werte unterhalb des Schwellwertes stellten hierbei Vertiefungen dar. Anschließend werden die einzelnen Bits, das heißt, die oberhalb oder unterhalb des Schwellwertes liegenden Bereiche, evaluiert. Dazu wurde einerseits überprüft, ob die gemessenen Bit-Breiten innerhalb der definierten Toleranz liegen. Andererseits wird überprüft, ob die gemessenen Bits an der korrekten Stelle im Code liegen (Vergleich der Ist-Lage mit der hinterlegten Soll-Lage). Über diesen Vergleich lässt sich bestimmen, wie viele Bits einer jeden Probe korrekt ausgelesen wurden. Dieser Wert dient als Grundlage, um zu messen, wie zuverlässig der jeweilige Barcode auslesbar ist.

Versuchsdurchführung

Wie zuvor beschrieben, wurden alle drei Verfahren (PJM, SLS, MJF) auf die Auslesbarkeit in Abhängigkeit der Parameter Bit-Breite und Bit-Tiefe hin untersucht. Im Fokus weiterer Betrachtungen: der Einfluss der Positionierung der Proben bzw. des Barcodes im Bauraum der jeweiligen Fertigungsanlagen (**Bild 4**).

Tabelle 1 bietet einen Gesamtüberblick zur Versuchsdurchführung mit den jeweils verwendeten Maschinen, Materialien und Ausrichtungen der Proben im Bauraum sowie den verwendeten Schichtdicken und untersuchten Bit-Tiefen und -Breiten. Alle Proben wurden nach der Herstellung nachbehandelt. Hinsichtlich der PJM-Proben erfolgte ein 30 Minuten langes, fünfprozentiges Laugenbad mit anschließendem Ausbürsten unter Wasserzufuhr. Die SLS- und MJF-Proben wurden nach der Herstellung gasperlengestrahlt.

Ergebnisse und Diskussion

Für den Vergleich der einzelnen Werte im größeren Zusammenhang sind die Grenzen der Auslesbarkeit in diesem



Bild 2. Messaufbau zur Erfassung der Probenprofile © Alexander Bauer

Abschnitt zusammenfassend dargestellt.

Bild 5 zeigt die Maße der Bits der Barcodes, die mithilfe des Matlab-Programms korrekt ausgelesen wurden. Die Barcodes, die nicht zu 100 % auslesbar waren, sind nicht aufgeführt.

Bei den PJM-Proben mit einer Schichtdicke von 16 μm liegt die Grenze der Auslesbarkeit bei einer Bit-Breite von 0,3 mm und einer Bit-Tiefe von 0,064 mm. Gleichzeitig lassen sich unabhängig von der Schichtdicke die PJM-Proben vollständig korrekt auslesen, die eine Bit-Breite von 0,4 mm und eine Bit-Tiefe von 0,032 mm aufweisen.

Für die Auslesbarkeit der SLS-Proben muss die Bit-Tiefe mindestens 0,4 mm und die Bit-Breite mindestens 0,5 mm betragen. Dies trifft allerdings nur auf Proben zu, deren Barcodes in der Ausrichtung „downskin“ gebaut sind. Bei den übrigen Ausrichtungen konnte keine der Proben vollständig korrekt ausgelesen werden. Entsprechende Untersuchungen mit größeren Abmaßen der Bits wären von Nöten, um die Grenzen für andere Ausrichtungen eindeutig zu ermitteln.

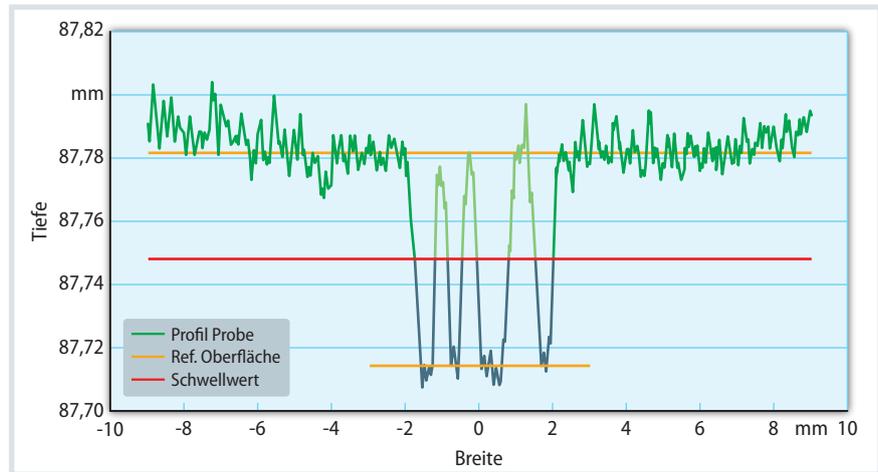


Bild 3. Matlab-Plot: PJM-Probe mit der Bit-Breite 0,4 mm, Bit-Tiefe 0,064 mm und Schichtdicke 0,016 mm sowie Referenzgeraden und Schwellwert. Quelle: Alexander Bauer; Grafik: © Hanser

Die Grenzen bei den MJF-Proben liegen zwischen denen aus den SLS- und PJM-Anlagen. Je nach Aufbauanrichtung muss die Bit-Tiefe mindestens 0,24 mm (60°-angestellt) beziehungsweise 0,32 mm (downskin) betragen. Die Bit-Breite sollte mindestens den Wert 0,4 mm (60°-angestellt) respektive

0,5 mm (downskin) annehmen, damit der Barcode korrekt ausgelesen wird.

Es ist jedoch zu beachten, dass der verwendete Auswertalgorithmus, aber auch die verwendeten Anlagen und Prozessparameter beim 3D-Druck, einen gewissen Einfluss auf die Auslesbarkeit haben. Aus diesem Grund kann ein »

PERFORMANCE FOR A SUSTAINABLE FUTURE

- PERFORMANCE 24/7
- FLEXIBLE MACHINES AND TOOLS
- SUSTAINABLE PACKAGING SOLUTIONS



VISIT US HALL 3
BOOTH 3A52

illig[®]

illig.com



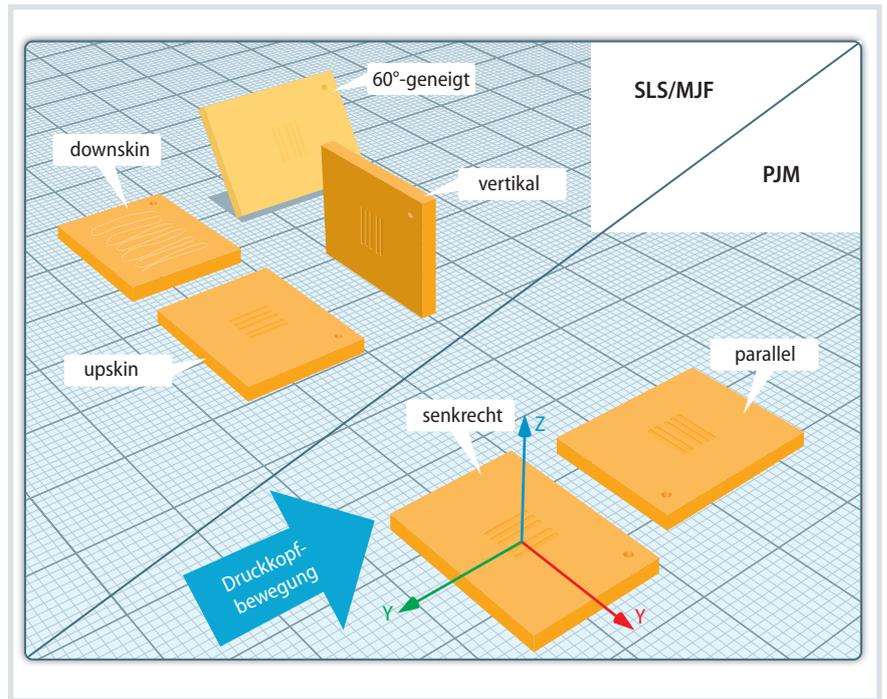


Bild 4. Ausrichtung der Proben im Bauraum bei dem SLS- und MJF-Verfahren (links-oben) und Ausrichtung der Barcodeproben hinsichtlich des Druckkopfbewegung bei dem PJM-Verfahren (rechts-unten) Quelle: Hochschule Coburg; Grafik: © Hanser

Praxisnutzen

Mithilfe von integrierten Barcodes in der Oberfläche von 3D-gedruckten Kunststoffbauteilen, kann eine eindeutige und automatisierte Identifikation der Bauteile ermöglicht werden. Gerade bei kundenindividuellen und optisch kaum unterscheidbaren Produkten, lassen sich somit Verwechslungen in der Intralogistik und beim Versand der Produkte an den Kunden vermeiden. Ohne zusätzlichen Bearbeitungsaufwand, werden diese einfach im Druckprozess mitgefertigt. Durch deren geringe Größe, und durch eine entsprechende Platzierung am Bauteil, sind diese optisch kaum wahrnehmbar.

Im Rahmen dieser Untersuchung konnten für die Verfahren PolyJet Modeling, selektives Lasersintern und Multi Jet Fusion die minimalen Dimensionierungen ermittelt und die Auslesbarkeiten überprüft werden. Weitere Punkte zu dieser Thematik, wie die

- Anpassung und Prüfung der Barcodes im industriellen Einsatz,
- Überprüfung der Machbarkeit und Gestaltung für weitere Materialien und additive Fertigungsverfahren,
- Optimierung des Auslesealgorithmus und
- Untersuchung der Anwendbarkeit für QR-Codes, sind jedoch noch aufzuarbeiten.

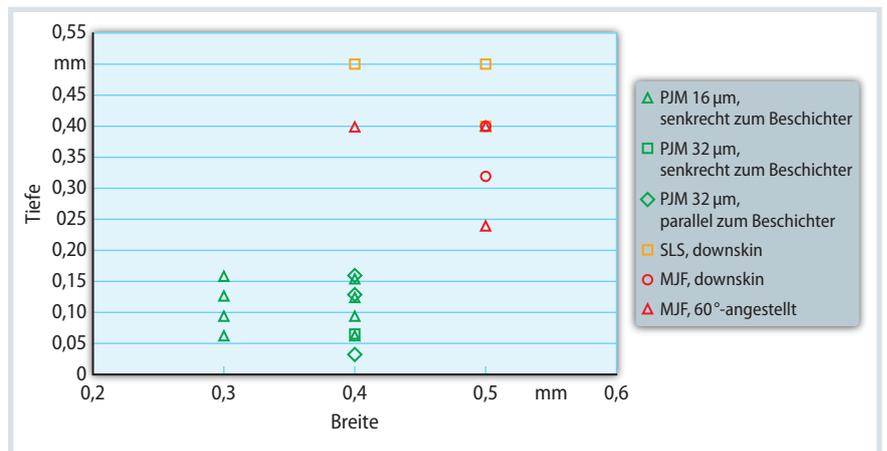


Bild 5. Proben mit vollständig auslesbaren Codes Quelle: Hochschule Coburg; Grafik: © Hanser

Auslesen von kleineren Bit-Größen durch Optimierungen noch möglich sein.

Zusammenfassung

Mit den im Versuch verwendeten 3D-Druck-Verfahren PJM, SLS und MJF konnte aufgezeigt werden, dass sich auch relativ kleine Barcodes in der Oberfläche von additiv gefertigten Kunststoffbauteilen prinzipiell mitdrucken und auslesen lassen. Im Fokus der Untersuchungen standen dabei der Einfluss der Dimensionierung sowie die Ausrichtung der Codes im Bauraum bezüglich der jeweiligen Anlage.

Die kleinsten Dimensionierungen sind mit dem PJM-Verfahren möglich. Hier konnte eine Auslesbarkeit ab einer Bit-Tiefe von 0,064 mm und Bit-Breite von 0,3 mm festgestellt werden; beim SLS-Verfahren ab einer Bit-Tiefe von 0,4 mm und Bit-Breite von 0,5 mm. Beim MJF-Verfahren war eine Auslesbarkeit ab einer Bit-Tiefe von 0,24 mm und Bit-Breite von 0,4 mm möglich.

Insgesamt können diese Ergebnisse als Basis für weiterführende Untersuchungen betrachtet werden, auch im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf QR-Codes. ■