



Mit Mikro 3D-Druck zur Miniaturisierung in der Medizintechnik

Prototypen und Serien kleinster Bauteile sind schwierig im 3D-Druck herzustellen, vor allem wenn es auf höchste Genauigkeit und Präzision ankommt. Dies gilt besonders für medizintechnische Komponenten, die in der Zelltherapie, Diagnostik und der Herzmedizin eingesetzt werden. Das neue Verfahren der Präzisionsmikro-Stereolithografie (P μ SL) eröffnet neue Möglichkeiten der Miniaturisierung.

Miniaturisierung als Herausforderung

Der Trend zur Miniaturisierung von Bauteilen nimmt in allen Branchen zu. Der Bedarf an sehr kleinen, zugleich sehr komplexen Komponenten steigt besonders bei medizinischen Geräten. Für medizinische Anwendungen werden winzige Komponenten und sehr kleine Geräte hergestellt, die den Patienten sogar implantiert werden können. Auch in Randgebieten wie der Mikrofluidik, der Zellforschung oder der Diagnostik wächst die Zahl der verschiedenen Anwendungen von Mikrobauteilen. Doch die herkömmlichen Fertigungsverfahren sind kostspielig und zeitaufwändig.

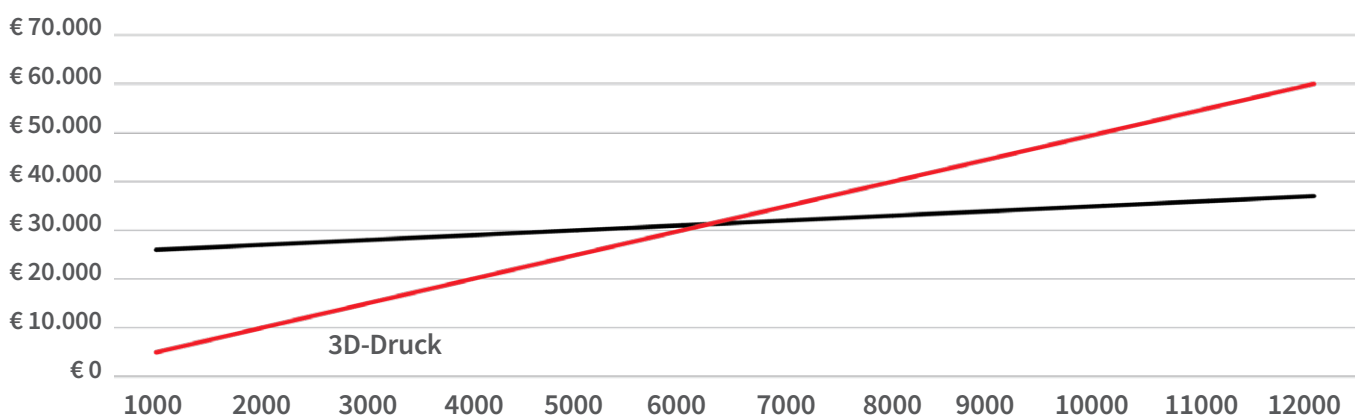
Hinzu kommt der Bedarf nach Prototypen, Einzelteilen oder kleinen Losgrößen, zahlreichen Produktvarianten und individuellen Anpassungen der Geometrie. Dieser lässt sich mit herkömmlichen

Herstellungsverfahren selbst bei langen Vorlaufzeiten, hohen Fertigungskosten kaum abdecken.

Teile aus Kunststoff oder Polymer werden meist im kostenintensiven Mikro-Spritzgießen hergestellt. Die Herstellung von Formen und Werkzeugen für diese winzigen Komponenten mit Mikro-CNC-Bearbeitung ist teuer, weil spezielle, aufwändige Werkzeuge und Vorrichtungen benötigt werden. Die Vorlaufkosten für den Werkzeug- und Formenbau liegen zwischen zehn- und hunderttausend Euro, was die Stückkosten besonders bei kleinen Serien in die Höhe treibt.

Deshalb suchen die Hersteller nach neuen Möglichkeiten, diese winzigen, aber hochdetaillierten Komponenten und Produkte wirtschaftlich zu fertigen. Die additiven Fertigungstechniken sind dabei die erste Wahl – doch welches Verfahren eignet sich für welche Anwendung?

KOSTENVERLAUF SPRITZGUSS UND 3D-DRUCK BEI STANDARDTEILEN



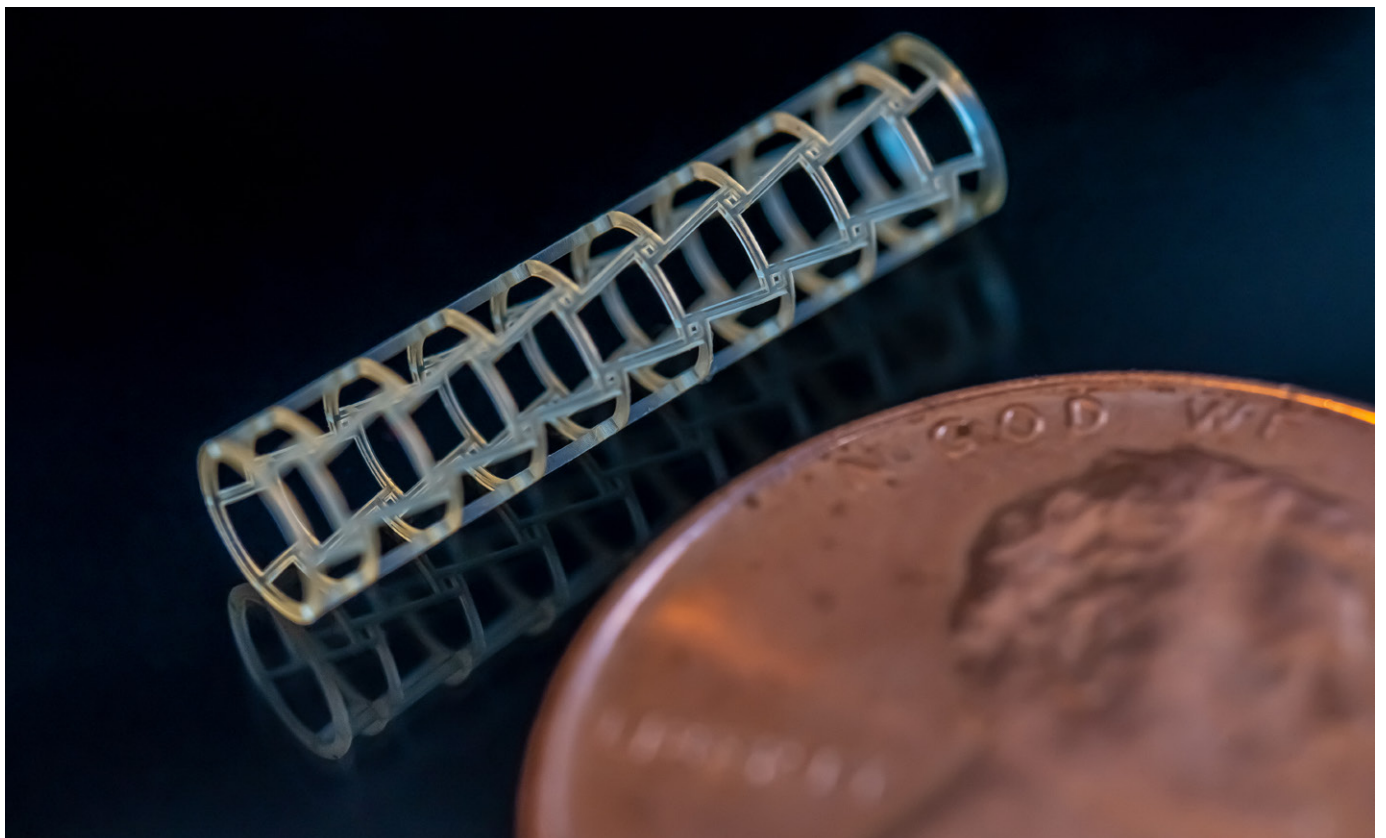
Eine Frage des Maßstabes

Der 3D-Druck bietet für besonders kleine Teile vom Prototyping bis zur Kleinserienfertigung eine attraktive Alternative zur Mikrobearbeitung und zum Mikrospritzguss. Angesichts der winzigen Teile und der benötigten Genauigkeit, Auflösung und Präzision kommt Mikro-3D-Druck oder Nano-3D-Druck infrage. Gerade die Begriffe „Nano“ und „Nanotechnologie“ werden vielfältig und manchmal ungenau verwendet. Objekte auf der Nanoskala sind nicht nur klein. Sie oft viel kleiner als das, was die Anwender eigentlich brauchen.

Nanotechnologie im Bereich von etwa 1 bis 100 Nanometern (nm). Ein Strang menschlicher DNA weist zum Vergleich einen Durchmesser von 2,5 nm

auf. Auch die Mikrotechnologie produziert kleine Teile, aber im Vergleich zur Nanotechnologie sind sie um das Tausendfache größer. Die Maßeinheit Mikrometer (μm) oder auch Mikron ist also um den Faktor Tausend größer, als 1 nm. Beispielsweise ist ein Strang der menschlichen DNA 0,0025 μm breit.

Sowohl alltägliche Gegenstände, als auch Objekte für die Laboranalyse und den gewerblichen oder industriellen Gebrauch weisen Maße im Mikrobereich auf. Ein Blatt Papier im A4-Format etwa 100 μm dick. Ein durchschnittliches rotes Blutkörperchen ist mit einem Durchmesser von 7,5 μm kleiner. Damit ist es kleiner als Kopierpapier, aber doch viel größer, als ein einzelner DNA-Strang. Auch Teile und Kanäle mikrofluidischer Geräte weisen mikrometerbasierte Abmessungen auf.



Was bedeutet Auflösung, Genauigkeit und Präzision?

Der Begriff **Auflösung** muss erläutert werden. Da 3D-Drucker Teile in drei Dimensionen produzieren, gibt es Werte für die XY-Ebene und eine Schichthöhe oder -dicke für die Auflösung in der Z-Achse. Beide Zahlen sind wichtig, aber der XY-Wert hat eine stärkere Bedeutung für die Druckqualität und Oberflächenbeschaffenheit. Es kommt auch nicht nur die Außenmaße eines Teiles an. Denn viele größere Komponenten enthalten winzige Löcher, scharfe Kanten oder stiftähnliche Vorsprünge, die ebenso präzise gedruckt werden müssen.

Die **Genauigkeit** ist ein weiterer Schlüsselparameter und bezieht sich auf die Fähigkeit des 3D-Druckers, die gewünschten Abmessungen zu erreichen. Stellen Sie sich ein stabförmiges Teil vor,

das 10 μm lang sein muss. Ein Drucker, der ein Teil mit dieser exakten Messung herstellt, weist einen hohen Genauigkeitsgrad auf. Ein System, das ein Teil mit 11 μm druckt, ist weniger genau. Natürlich muss die Materialschrumpfung berücksichtigt werden. Solange ein Teil nicht den vom Benutzer geforderten Abmessungen entspricht, ist es nicht genau genug.

Präzision bezieht sich darauf, wie nah Messungen desselben Gegenstands beieinander liegen. Ein klassisches Beispiel für den Unterschied zwischen Präzision und Genauigkeit liefert das Dartspiel. Die Darts sind präzise geworfen, wenn alle Darts sehr nah beieinander liegen, aber nicht genau, wenn sie dabei weit entfernt vom Schwarzen landen. Genauigkeit und Präzision sind erreicht, wenn die Pfeile nahe am Schwarzen und nahe beieinander landen.



Technologien im Vergleich

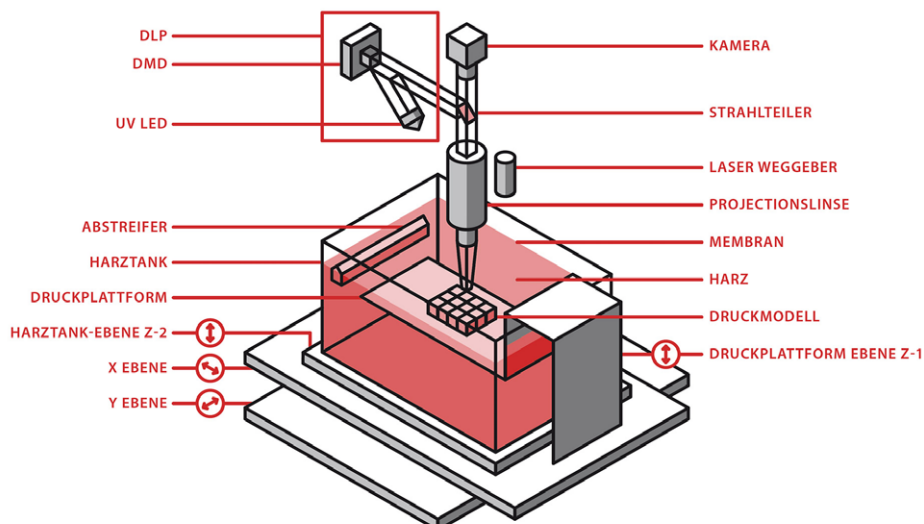
Mit der traditionellen Stereolithographie (SLA) lässt sich eine höchste Auflösung von etwa 50 µm erreichen. Der Druck ist langsam und die Präzision bestenfalls mittelmäßig. Der PolyJet 3D-Druck ist schnell, beschränkt sich aber auf größere Teile mit geringer Präzision; die höchste XY-Auflösung beträgt 42 µm. Fused Deposition Modeling (FDM), eine weit verbreitete 3D-Drucktechnologie, druckt bei langsamen Geschwindigkeiten und erreicht eine XY-Auflösung von etwa 200 µm.

Nano-3D-Drucker können kleine Teile zwar mit hoher Auflösung, Genauigkeit und Präzision herstellen, aber nur sehr langsam. Die hohen Investitionen in die Geräte rechtfertigen sich nur für eine begrenzte Anzahl von Anwendungen. Einige Nano-3D-Drucker eignen sich für den Nano- und Mikrobereich, aber die Kompromisse bei Kosten und Geschwindigkeit schränken diese Vielseitigkeit wieder ein.

Die Projektionsmikro-Stereolithografie (PµSL) von Boston Micro Fabrication (BMF) ist eine neue 3D-Drucktechnologie zur Produktion von kleinen Teilen mit hoher Präzision, Auflösung und Genauigkeit. Dabei werden hohe Geschwindig-

keiten erreicht. Die Projektions-Mikro-Stereolithographie (PµSL), eine Form der SLA, ist weltweit die einzige Technologie, die in Bezug auf Größe, Auflösung und Toleranz dem Präzisionsspritzguss entspricht. Darüberhinaus bietet BMF eine offene Materialplattform an und kooperiert mit Drittlieferanten und OEMs, um Materialien für spezifische Anwendungen bereitzustellen.

Der Mikro-3D-Druck eignet sich für Teile wie kleine elektrische Anschlüsse, kardiovaskuläre Stents, mikrofluidische Geräte und mikro-elektromechanische Systeme (MEMS). Ein Nano-3D-Drucker könnte diese mikroskopisch kleinen Teile ebenfalls herstellen, doch die Verarbeitungszeit ist für gewerbliche, medizinische oder industrielle Anwendungen zu lang. Darüber hinaus ist PµSL in der Lage, Teile mit Millimeter-Abmessungen herzustellen, die weitaus häufiger anzutreffen sind als Teile im Nanobereich. TPP-DLW, die laserbasierte Technologie hinter dem 3D-Nanodruck, bleibt ultrapräzise, aber extrem langsam. Im Gegensatz dazu arbeitet PµSL schnell, da ein ultravioletter (UV) Lichtblitz die sofortige Photopolymerisation einer ganzen Harzschicht bewirkt, wobei eine kontinuierliche Exposition die Verarbeitung weiter beschleunigt. Bei Teilen mit Abmessungen im einstelligen Mikrometerbereich kann PµSL mit Nano-3D-Druckern konkurrieren.



Anwendungsbeispiel ImcoMED

IMcoMET entwickelt ein Gerät für die Behandlung von Hautkrebs, das Mikrofluidik und Mikronadeln kombiniert. Diese M-Duo Technologie des Unternehmens basiert auf zwei sehr kleinen Nadeln, die extrem nah beieinander arbeiten. Eine Nadel injiziert Trägerflüssigkeit, die andere saugt sie ab. Dabei werden der interzellulären Flüssigkeit in diesem Bereich alle löslichen Krebszellsignale und Mikrovesikel entzogen. Die Herausforderung bestand darin, ein Teil mit hoher Genauigkeit und Präzision herzustellen, das die beiden Nadeln in einem präzisen Abstand hält.

Boston Micro Fabrication analysierte die Anforderungen und stellte fest, dass ihr 3D-Drucker microArch S240 die gewünschten Teile mit der erforderlichen Genauigkeit herstellen kann. Der microArch S240 druckt in 10 µm-Schichten auf Basis der PµSL-Technologie den Deckel mit zwei Röhren, welche die Nadeln in Position halten. Die Kanäle von 100 µm weisen Abstände zwischen 20 und 40 µm auf. Noch befindet sich das Einweg-Gerät in der Entwicklungsphase – aber es ist bereits geplant, die aus biokompatiblen Material gedruckten Deckel in der Serienproduktion zu verwenden.



Die gelbe Klammer positioniert zwei Mikronadeln in genauem Abstand an dem Einweg-Gerät zur Behandlung von Hautkrebs von IMcoMED

Anwendungsbeispiel RNDR Medical

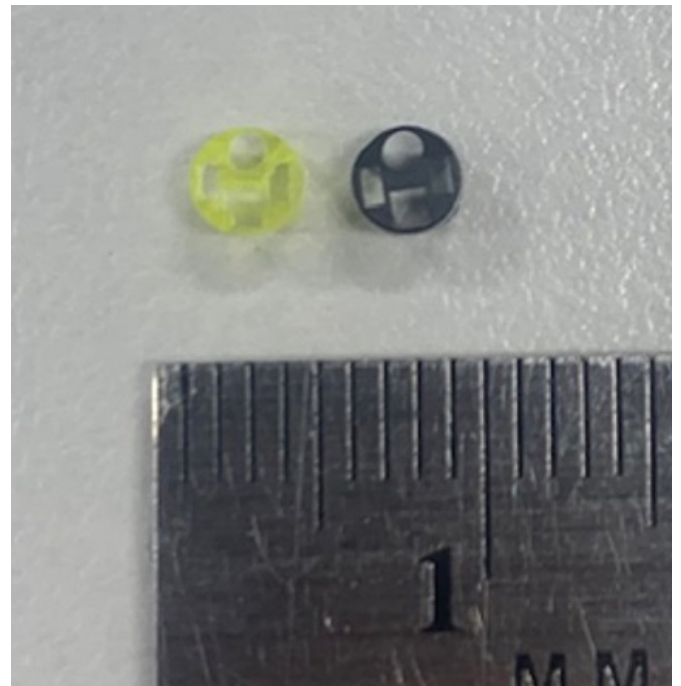
RNDR Medical hat ein neuartiges Einweg-Ureteroskop für die Endourologie entwickelt, das in Kürze auf den Markt kommt. Es wird zur Visualisierung, Diagnose und Behandlung bei Erkrankungen der Harnwege, wie Nierensteinen und Urothelkarzinomen eingesetzt sowie für Pyeloskopieverfahren, die einen therapeutischen Zugang zum Nierenbecken und zu den Nieren erlauben. Das Ureteroskop ist mit einer hochauflösenden Digitalkamera und Beleuchtung ausgestattet, die eine direkte Visualisierung der Anatomie ermöglichen. Eine Flüssigkeitsspülung sorgt über längere Zeit für ein klares Bild. Durch einen Arbeitskanal des Ureteroskops lassen sich intertherapeutische Instrumente führen, zum Beispiel Lithotripsiefasern und Rückholkörbe für Nierensteine.



Die distale Spitze des neuartigen Ureteroskops mit einem Durchmesser von 3,302 Millimetern enthält eine Kamera, eine Lichtquelle und verschiedene Kanäle.

Hohe Werkzeugkosten – lange Vorlaufzeiten

Alle diese Bestandteile konzentrieren sich auf die distale Spitze des Ureteroskops, wo sie hochpräzise und vollständig dicht innerhalb eines Profils mit 3,302 Millimetern Durchmesser untergebracht werden müssen, um das Eindringen von Flüssigkeit in das Gerät zu verhindern. Die äußere Geometrie der vorwärts gerichteten Spitze muss zudem atraumatisch für die Anatomie gestaltet sein. So weist das Bauteil eine komplexe 3D-Geometrie, enge Toleranzen und eine Wandstärke auf, die eigentlich nur im Mikrospritzguss gefertigt werden kann. Doch die Produktionszahlen von wenigen zehntausend pro Jahr amortisieren die hohen Werkzeugkosten für den Mikrospritzguss erst nach langer Zeit.



Die 3D-gedruckte Spitze (links) und das Spritzgießteil

Eine Alternative zum Mikrospritzgießen

Die Mikropräzisions-3D-Drucker der microArch-Serie von BMF ermöglichen eine schnelle, iterative Entwicklung der distalen Spitze in einer frühen Projektphase. Damit ließ sich der Entwicklungszeitplan erheblich verkürzen, die Kosten für die teuren Mikrobearbeitungen der Prototypen wurden eingespart. Auch die Investitionen und langen Vorlaufzeiten für das Mikrogießen wurden eingespart. Es wären wohl mehrere Werkzeuge benötigt worden, um mehrere Spitzengeometrien mit dem richtigen Material testen zu können. Die Geschwindigkeit und Flexibilität des BMF-Drucksystems war für das Entwicklungsteam von großem Vorteil, um mit minimalem Zeit- und Kostenaufwand ein optimales Design zu finden.

Mikro-3D-Druck nicht nur für Prototypen

Außerdem hielt das BMF-Material dem Testprogramm des Bauteils so gut stand, dass die



Die 2 µm Druckerreihe, perfekt für Anwendungen, die eine ultrahohe Auflösung und enge Toleranzen erfordern.

additive Fertigung nicht nur für die Prototypen, sondern auch für erste Produktionsmengen eine gute Lösung darstellte. Inzwischen kann RNDR bis zu 500 Einheiten der Ureteroskop-Spitzen in einer einzigen Charge herstellen. Nun will das Unternehmen den Mikro-3D-Druck als Brückentechnologie zwischen der anfänglichen Vermarktung in kleinen Stückzahlen und der Großserienproduktion nutzen.

Vorteile des Mikro-3D-Drucks

Mikro-3D-Druck eröffnet eine Reihe potenzieller Vorteile, besonders für Hersteller, die Chargen sehr kleiner und genauer Teile oder Produkte in relativ geringen Stückzahlen produzieren. Dazu gehören:

1. Flexibilität. Hersteller können schnell auf Konstruktionsänderungen, Kundenwünsche und Marktanforderungen reagieren, ohne die Kosten und Wartezeiten für neue Formen und Werkzeuge zu berücksichtigen.

2. Geringe Material und Chemikalienkosten
Die Materialkosten schlagen bei herkömmlichem 3D-Druck durch besondere Anforderungen, aber auch durch zusätzliche Stützstrukturen zu Buche, die teuren Abfall darstellen. Mikrobauteile stellen geringe Ansprüche bezüglich Material und Reinigungschemikalien. Deshalb verursachen selbst tausende gedruckter Teile nur geringe Kosten für Verbrauchsmaterial.

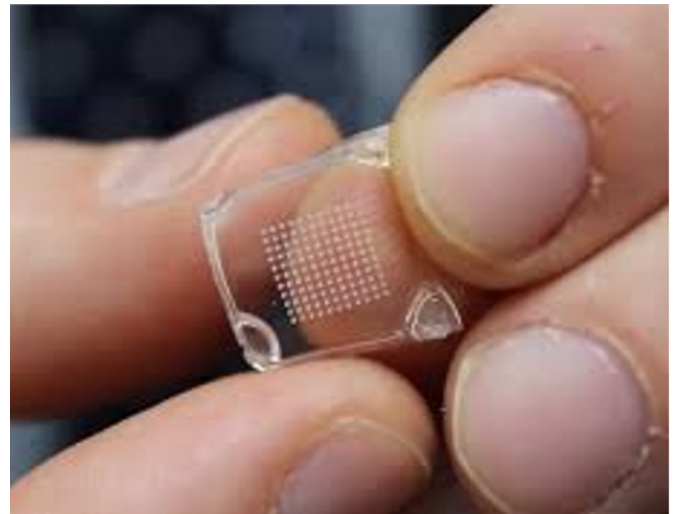
3. Keine Kosten für Formen und Werkzeuge
Die hohen Kosten für die Entwicklung und Fertigung spezieller Werkzeuge und Formen für Mikrobauteile entfallen durch den 3D-Druck. Bei Bauteilen, die nur durch Spritzgießen hergestellt werden können, kann man 3D-Drucker zur wirtschaftlichen Herstellung neuer Mikroformen verwenden.

Fazit

Mikropräziser 3D-Druck eröffnet einen kosteneffektiven Weg, um die Herausforderungen der Miniaturisierung in der Herstellung von medizinischen Komponenten zu meistern. Ohne die hohen Kosten spezieller Formen und Werkzeuge bringt dieser Weg eine hohe Flexibilität für die Gestaltung und Produktion. Bei Anwendungen im Mikrobereich, führt die Möglichkeit zum 3D-Druck von Hunderten oder Tausenden von Teilen zu echten wirtschaftlichen Einsparungen, besseren Reaktionsfähigkeiten auf Änderungen von Produktdesign oder Marktbedingungen.

Dank der Vorteile des Mikropräzisions-3D-Drucks lassen sich industrieeübliche Serien von Bauteilen mit geringeren Kosten herstellen, als mit Spritzgießen oder Mikro-CNC-Bearbeitung.

Wenn der 3D-Druck von Mikroteilen in Stückzahlen im Millionenbereich ökonomisch nicht darstellbar sein mag, stellt er doch bei Produktionsläufen von Zehn- oder Hunderttausenden von Teilen eine erschwingliche Option dar. Auf lange Sicht bietet die Technologie weitere Verbesserungen und Vor-



teile, die den Return on Investment (ROI) deutlich erhöhen.

Weitere Informationen darüber, wie Ihre Anwendungen von Mikro-3D-Druck profitieren können, erhalten Sie gerne in einem unverbindlichen Gespräch über Ihre speziellen Anforderungen mit Boston Micro Fabrication.

Weitere Informationsquellen:
Webinare und Customer Stories
BMF Blog
Mehr über BMF Mikro 3D-Drucker

Boston Micro Fabrication

8 Mill and Main, Suite 310
MA 01754 Maynard, USA

E-Mail: info@bmf3d.com
www.bmf3d.com