

Durchbruch in der Mikrofertigung durch Kombination von Mikrospritzguss mit Hochpräzisions-3D-Druck

Mikroteile in nur zwei Wochen: Unmöglich? Rapid Prototyping von Mikrowerkzeugen ist die Lösung!

Durch eine Kombination von hochpräzisem 2PP μ -3D-Druck mit der Leistung einer 15t-MicroPower Spritzgießmaschine von WITTMANN BATTENFELD ist es NanoVoxel gelungen, die Fertigungszeit für hochpräzise Mikroteile auf nur zwei Wochen zu verkürzen. Die Verknüpfung beider Produktionsverfahren ermöglicht eine extrem schnelle Herstellung von Prototypen und eröffnet neue Möglichkeiten in Konstruktion und Design für viele verschiedene Industriezweige. Bei ersten Anwendungen in den Bereichen Biomedizin und Unterhaltungselektronik wurde mit diesem Durchbruch die Produktion von komplexen Mikroteilen mit beispielloser Präzision und Designfreiheit erreicht. Dieses innovative Verfahren, entwickelt von NanoVoxel mit Sitz in Österreich, stellt einen bedeutenden Fortschritt in effizienter und kundenspezifischer Fertigung von Mikroteilen dar.

Hochpräzise Mikroteile gewinnen zunehmend an Bedeutung in verschiedenen Industriezweigen wie beispielsweise Biomedizin oder Unterhaltungselektronik, sowie in vielen anderen Bereichen. Die meisten auf diesem Gebiet entwickelten Anwendungen verlangen hochpräzises Design und schnelle, kontinuierliche Anpassungen, und stellen so eine Herausforderung für herkömmliche Fertigungsverfahren dar.

Mit bisher üblichen subtraktiven Herstellungsverfahren wie CNC, EDM, Maskenlithografie oder SLA-3D-Druck ist es herausfordernd, bestimmte Arten von Teilen schnell und präzise zu produzieren, wie zum Beispiel Mikrodifusoren für akustische Anwendungen mit 3D-Formen im 70 μ m-Bereich (s. Abbildung 1), Mikrolinsen mit einer Rauigkeit von unter 10 nm, oder Mikronadeln mit 5 μ m-Spitzen, Mikrodüsen mit Öffnungen von weniger als 20 μ m, oder Mikrofluidik-Chips mit Spezialfiltern.

Durch die Kombination hochentwickelter, additiver Fertigungsverfahren wie dem 2-Photonen-Polymerisations- μ -3D Druck (kurz 2PP 3D-Druck) und dem Mikro-Spritzguss ist die Überwindung dieser technologischen Barriere in der Werkzeugfertigung erstmalig möglich. Die hierfür erforderliche Fachkompetenz ist

die besondere Stärke des Start-up-Unternehmens NanoVoxel, gegründet im Jahr 2022 in Wien mit dem Ziel, den Industriestandard für solche Mikro-Komponenten zu revolutionieren.

Vor etwa zwei Jahrzehnten leisteten einige Maschinenbauer Pionierarbeit in der Entwicklung spezieller Spritzgießanlagen, darunter auch WITTMANN BATTENFELD mit seiner MicroPower 15 t. Diese Anlagen sind maßgeschneidert für die Produktion von Präzisionsteilen im Mikrobereich und bieten industrielle Modularität sowie erhebliche wirtschaftliche Vorteile. Trotz des Fortschritts im Formenbau sind die Spritzgussformen der limitierende Faktor für eine effiziente Produktion. Diese unterliegen Designeinschränkungen, hohen Anschaffungskosten und langen Lieferzeiten, insbesondere für hochpräzise Mikroteile.

Größere Toleranzen ($\pm 30 \mu\text{m}$) werden von Kunden widerstrebend geduldet, jedoch werden zunehmend Forderungen nach kürzeren Lieferzeiten und kleineren, präziseren Details laut, insbesondere bei der Entwicklung von Prototypen. Die langen Fertigungszeiten für Spritzgusswerkzeuge verzögern die Lieferzeiten erheblich. Nicht zu vernachlässigen ist die Dauer der Optimierungsschritte, die schlussendlich zu einem hochwertigen Bauteil führen.

In den letzten Jahren wurde mit dem 2-PP μ -3D-Drucker ein Durchbruch in der Präzision bei gleichzeitiger Wirtschaftlichkeit erzielt. Dieser Drucker funktioniert nach dem Prinzip einer nicht linearen Absorption von Photonen mit der Bezeichnung „Zwei-Photonen-Polymerisation“ (2PP). Ein Femtosekundenlaser emittiert einen eng gebündelten Strahl mit Wirkung auf lichtempfindliches Kunstharz. Die Scanner-Einheit bewegt den Laserstrahl über Galvano-Spiegel und Linsensysteme zum Aushärten des Harzes. Ähnlich wie beim SLA/DLP-3D-Druck löst das absorbierte Licht eine chemische Reaktion im Kunstharz aus, wodurch dieses im Brennpunkt des Laserstrahls polymerisiert und gehärtet wird. Anders als bei herkömmlichen 3D-Druck-Technologien ermöglicht die 2PP-Technologie allerdings eine präzise Kontrolle in alle 3 Raumrichtungen, so dass auch Löcher und Kavitäten präzise und vollkommen rund abgebildet werden können. Der 2PP-Druck bietet somit ein einzigartiges Maß an Präzision und Auflösung, das für die meisten anderen Fertigungstechnologien unerreichbar bleibt. So ermöglicht er die Abbildung von komplexen 3D-Mikrostrukturen mit Sub-Mikrometer-Genauigkeit bis in den Nanometer-Bereich hinein. Damit wird er zum idealen Werkzeug für Anwendungen mit besonders komplexen Strukturen und gleichzeitiger Forderung nach hoher Oberflächenqualität. Für den 2PP-Druck steht eine Auswahl an verschiedenen lichtempfindlichen Kunstharzen zur Verfügung, einschließlich Photopolymer-Harzen und hybriden Materialien. Diese Materialien werden je nach spezifischer Anwendung bzw. Anforderung selektiert, je nach mechanischen, optischen und chemischen Eigenschaften, welche für die jeweiligen Bauteilspezifikationen erforderlich sind.

Mit 2PP-Druckern können Mikroteile innerhalb von wenigen Stunden aus einer 3D-CAD-Datei abgedruckt werden mit einer Präzision, die für herkömmliche Werkzeugmacher selbst mit den modernsten Maschinen unerreichbar bleibt. Toleranzen unterhalb von 1 µm, Strukturen bis in den 200 nm-Bereich und Oberflächengüte mit einer durchschnittlichen Rauigkeit unterhalb von 10 nm können mit dieser fortschrittlichen, additiven Herstellungsmethode schnell und wirtschaftlich gefertigt werden.

Geometrien, die im Spritzguss nicht realisierbar sind, beispielsweise aufgrund von Hinterschneidungen, können durch den 2PP 3D-Druck schnell hergestellt werden. Abbildung 2 zeigt als Beispiel 3D gedruckte Prototypen von Mikro-Nadeln mit scharfen Kanten und Mikro-Hohlraumstrukturen.

Ein Nachteil dieses Verfahrens ist zurzeit noch dessen eingeschränkte Kapazität für die Großserienfertigung, die sie für Teile, die größer als einige mm sind, unwirtschaftlich macht.

Angesichts der sowohl beim Mikrospritzguss als auch beim Mikro-3D-Druck vorhandenen Einschränkungen stellt sich die Frage, was man noch verändern kann, um die Durchlaufzeiten ohne Einbußen bei der Präzision zu erhöhen.

Als Lösung kombiniert die NanoVoxel GmbH die Vorteile beider Verfahren miteinander durch Verknüpfung von 2PP-Druck mit Mikrospritzguss als Kerngeschäft des Unternehmens. Durch die schnelle Herstellung hochpräziser Werkzeuge für den Mikro-Spritzguss mittels 2PP-3D-Druck wird die Präzision und hohe Auflösung des 2PP-Verfahrens mit größtmöglicher Effizienz auf Mikro-Spritzgussteile übertragen. Als Beispiel hierfür zeigt die Abbildung 3 ein Mikro-Zahnrad, welches direkt in eine mit dem Drucker erzeugten Kavität gespritzt wurde.

NanoVoxel hat sich zum Ziel gesetzt, eine Dienstleistungsplattform aus einer Hand mit einem flexiblen und vielseitigen Angebot an Fertigungslösungen aufzubauen, um sich so zu einem der fortschrittlichsten Unternehmen im Bereich Mikro-Fertigung zu entwickeln. Das aus Fachleuten verschiedener Disziplinen zusammengesetzte Team von NanoVoxel kombiniert die verschiedenen Technologien miteinander, um als Dienstleister ein breites Angebot vom Prototypen bis hin zur Massenproduktion abdecken zu können. Durch diese Dienstleistung konnte der Zeitplan für die Realisierung von Strukturen auf Lieferzeiten von lediglich zwei Wochen verkürzt werden.

NanoVoxel hat einen bisher nicht für realisierbar gehaltenen Durchbruch im Spritzgießen von Mikroteilen erzielt und das Abformen von winzigen, detaillierten Strukturen mit hoher Präzision und Wiederholgenauigkeit ermöglicht. Die Toleranzen liegen im Bereich von nur wenigen Mikrometern. Außerdem können mittels hochpräzisen 2PP-3D-Druck auch Kavitäten für größere Teilen mit Strukturen im

einstelligen Mikron-Bereich hergestellt werden, deren Produktion heutzutage extrem zeitaufwendig, teuer oder sogar unmöglich wäre.

Ein Beispiel für die von NanoVoxel gebotenen Dienstleistungen ist die Entwicklung und Herstellung eines Endoskops für das Unternehmen aiEndoscopic (Abbildung 4). Zu Beginn der Prototypen-Entwicklung wurden die einzelnen Segmente des Endoskops zwecks Durchführung von Geometrie-Tests und Optimierung in verschiedenen Design-Varianten 3D-gedruckt. Nach Validierung des Designs durch den Kunden wurden anschließend Teile im Mikro-Spritzguss mit dem spezifiziertem Original-Material hergestellt. Somit konnten die Bauteile auf die gewünschten mechanischen und funktionellen Spezifikationen mit Original-Material getestet und validiert werden. Der gesamte Herstellungsprozess einschließlich den Nachbesserungen wurde innerhalb von 5 Wochen abgeschlossen.

Die Kompetenz von NanoVoxel, verschiedene Prozesse miteinander zu kombinieren, einschließlich Mastering, Gießen, Sintern und μ -Spritzguss ermöglicht es, Werkzeuge mit einem Höchstmaß an Präzision herzustellen, nicht nur aus Photopolymeren, sondern auch aus robusteren Rohstoffen wie Epoxidharz, Glas, Keramik oder Metall.

Um bei den Werkzeugen die höchstmögliche Präzision zu erreichen, nutzt NanoVoxel die MicroPower 15 t (Abbildung 5) von WITTMANN BATTENFELD, einem führenden Hersteller von Spritzgießmaschinen und Automatisierungslösungen. Mit 150 kN Schließkraft sind die Maschinen der MicroPower-Serie speziell für wirtschaftliche Herstellung von extrem kleinen Teilen bis hin zum Mikro-Bereich mit höchstmöglicher Präzision und Wiederholgenauigkeit konzipiert. Durch ein zweistufiges Schnecken-Kolben-Spritzaggregat mit einem Schussvolumen von 1,2 bis 6,0 cm³ wird thermisch homogenes Material eingespritzt. Auf diese Weise können Teile von höchster Präzision in einem extrem stabilen Produktionsprozess innerhalb von außergewöhnlich kurzen Zykluszeiten hergestellt werden. Das besondere Design der Maschine ermöglicht es, mit dem Einspritzkolben nahezu bis zur Trennebene des Werkzeugs zu gelangen. So wird das Massepolster auf ein Minimum reduziert. Außerdem ist die Maschine schon im Standard optimal für die Produktion unter Reinraum-Bedingungen ausgelegt, da sie als allseitig geschlossene Gehäusezelle konzipiert ist. Die Gehäusezelle bietet ausreichend Platz für die Integration von Ausrüstungsoptionen wie Drehtisch, Roboter, Materialtrockner oder Temperiergeräte. Roboter und Peripheriegeräte von WITTMANN wurden speziell für diese Maschine konzipiert. Alle Antriebsmodule des vollelektrischen Antriebssystems inklusive aller mechanischen Komponenten sind mit reinigungsfreundlichen Gehäusen gekapselt. Die präzise kontrollierte Einspritzung von thermisch homogenen Thermoplasten in außergewöhnlich kleinen Mengen ist eine zwingende Voraussetzung für erfolgreiches Spritzgießen von Präzisionsteilen in gleichbleibend hoher Qualität bei der Massenproduktion im Mikro-Bereich.

Die Kombination von 2PP-Druck mit Spritzgießen im μ -Bereich beschränkt sich keineswegs nur auf schnelle Entwicklung von Präzisionswerkzeugen. Die NanoVoxel GmbH kann auch direkt auf verschiedenste Materialien drucken, die mit anderen Verfahren hergestellt wurden, und somit verschiedene Materialeigenschaften kombinieren, wie zum Beispiel Glas, Keramik, Kohlenstoffsubstrate, Metalle oder auch Kunststoffe. Die Möglichkeit, unterschiedliche Materialien für verschiedene Funktionen miteinander zu kombinieren ermöglicht maßgeschneiderte und schnelle Lösungen bei der Produktentwicklung und Fertigung von Prototypen bis zu der Serienproduktion.

Die Kunden bekommen so die Möglichkeit, kleinste Details direkt auf sperrige oder größere Teile zu drucken. Erste Anwendungen dieser Art wurden bereits in der Produktion von Mikrofluidik-Chips erfolgreich realisiert. NanoVoxel hat punktuell auf handelsübliche Mikrofluidik-Chips funktionale Strukturen aufgedruckt, welche mit dem Spritzguss nicht realisierbar waren.

NanoVoxels Leistungsspektrum in der Mikrofertigung eröffnet dadurch neue Gestaltungsmöglichkeiten für Designer und Ingenieure aus verschiedenen Industriezweigen und revolutioniert die Entwicklungs- und Herstellungsprozesse für komplexe, kundenspezifische und funktionelle Bauteile im Mikro-Bereich.

Durch das Engagement für die Weiterentwicklung von Mikrofertigungs-Technologien und die Neukonzeption von Lösungen ist NanoVoxel bestrebt, auch für unkonventionelle Bauteilgeometrien einen kreativen, effizienten und dennoch einfachen Ansatz für die Fertigung zu bieten.

Verfasser: Martin Ganz

Martin Ganz ist CTO von NanoVoxel GmbH und Experte im Mikro-Spritzguss mit mehr als 35 Jahren Berufserfahrung.

Ursprünglich entwickelte er Heißkanal-Systeme für Kleinteile, danach spezialisierte er sich auf die kontinuierliche Weiterentwicklung von Mikro-Spritzgießmaschinen.

Als verantwortlicher, technischer Leiter hat er über 200 Kundenprojekte betreut und ist Erfinder von mehr als 20 Patenten im Bereich Mikrospritzguss. Gegenwärtig konzentriert er sich auf die Entwicklung neuer Produktionsprozesse zur Herstellung von hochpräzisen Kavitäten für Mikro-Formen.

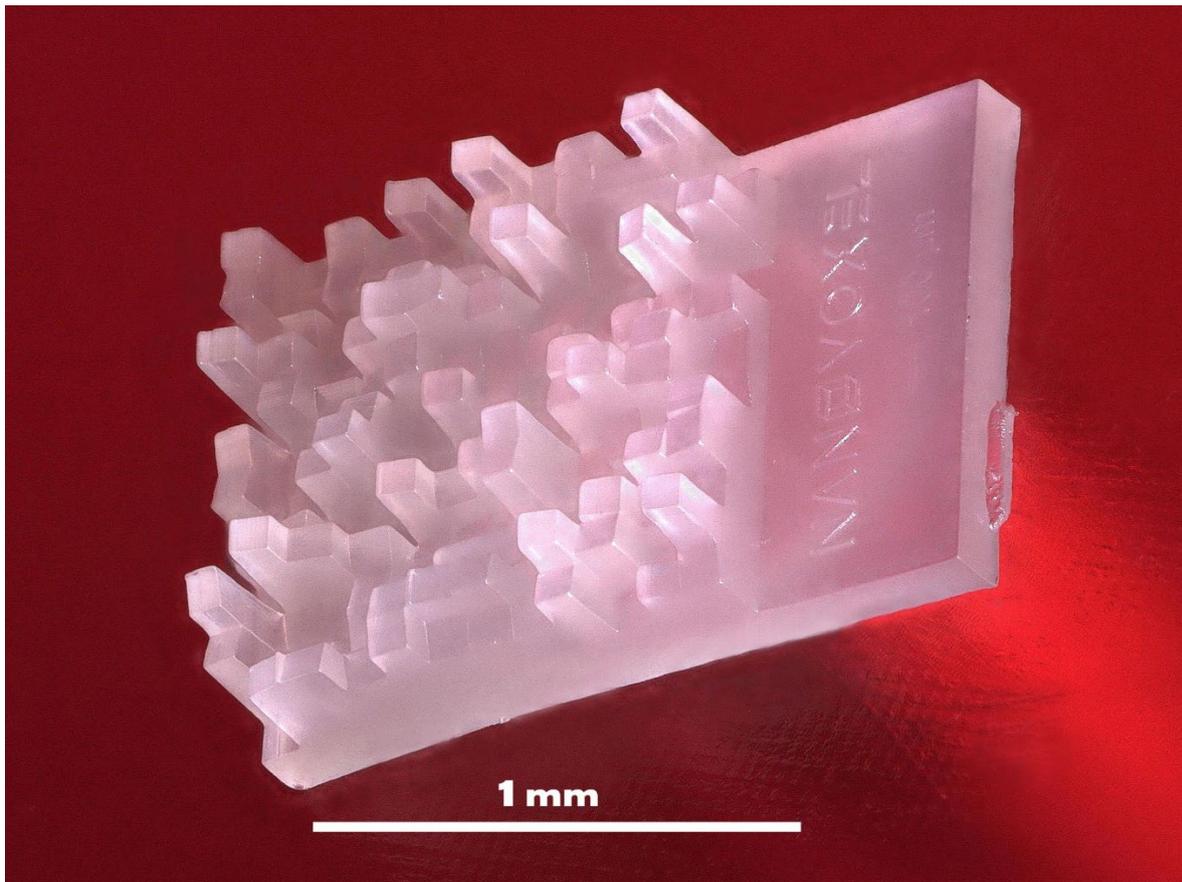


Abbildung 1: Spritzgegossenes Mikroteil: 1x1 mm großer Akustik-Diffusor. Komplexe Strukturen können zuverlässig mit einem mittels 2PP-Druck produzierten Spritzgießwerkzeug vervielfältigt werden. Solch feine Säulen-Strukturen in Größenordnungen von 70 µm sind mit konventionellen Methoden der Werkzeugherstellung unmöglich zu realisieren. (Foto: NanoVoxel)

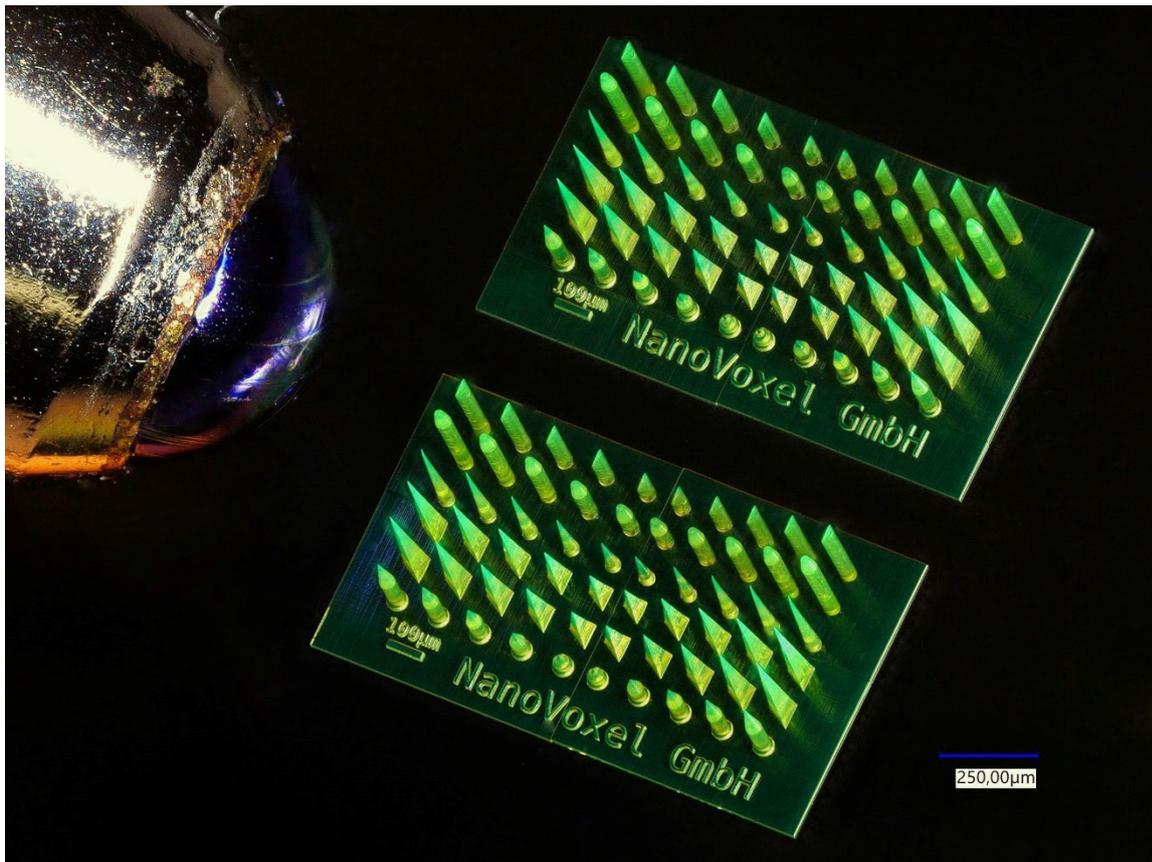


Abbildung 2: Im 3D-Druck hergestelltes Array von Mikro-Nadeln im Vergleich mit einer Kugelschreiber-Spitze: Hochpräziser 2PP-Druck ermöglicht die Herstellung unübertroffen scharfen Kanten. (Foto: NanoVoxel)

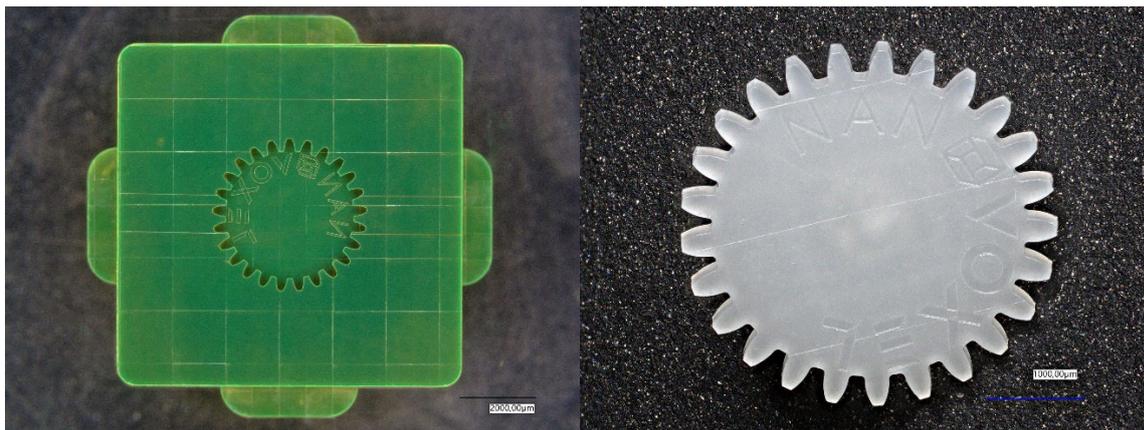


Abbildung 3: Direkt gedruckter Kavitäten-Einsatz (links) und aus POM spritzgegossenes, 4 mm großes Zahnrad (rechts). Aus dieser Kavität wurden Zahnräder mit einer Präzision von $\pm 5 \mu\text{m}$ gefertigt. (Fotos: NanoVoxel)

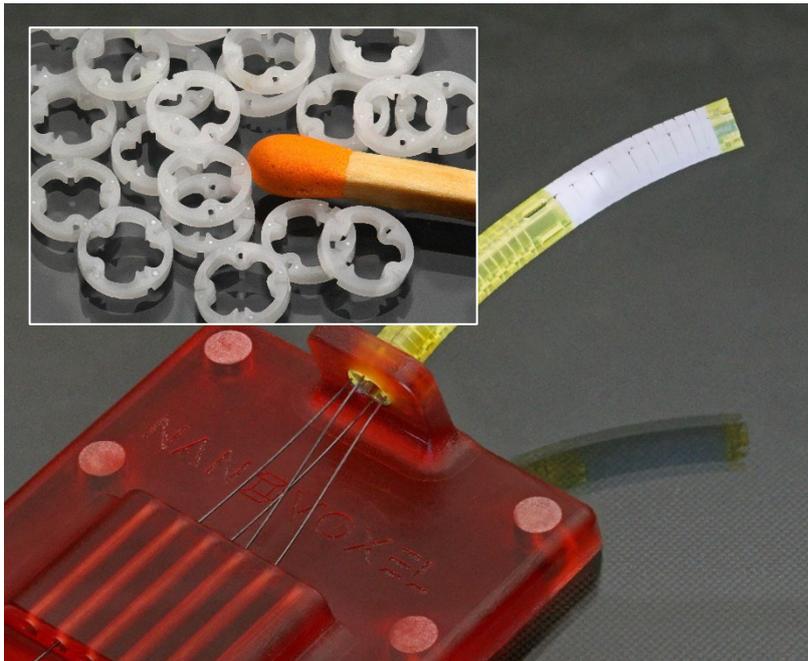


Abbildung 4: End-Arm eines für die Firma aiEndoscopic entwickelten Endoskops. Der durchscheinende, gelbe Teil besteht aus 3D gedruckten Segmenten, die weißen Teile wurden mit POM spritzgegossen. (Fotos: NanoVoxel)



Abbildung 5: MicroPower 15/10 von WITTMANN BATTENFELD (Foto: WITTMANN BATTENFELD)

Die WITTMANN Gruppe

Die WITTMANN Gruppe ist ein weltweit führender Hersteller von Spritzgießmaschinen, Robotern und Peripheriegeräten zur Verarbeitung unterschiedlichster Arten plastifizierbarer Materialien. Die Unternehmensgruppe hat ihren Hauptsitz in Wien, Österreich, und besteht aus zwei Haupt-Geschäftsbereichen: WITTMANN BATTENFELD und WITTMANN. Im Sinne der Konzepte von Umweltschutz, Ressourcenschonung und Kreislaufwirtschaft beschäftigt sich die WITTMANN Gruppe mit fortschrittlicher Prozesstechnologie für höchste Energieeffizienz im Spritzgießprozess sowie mit der Verarbeitung von Standardmaterialien und Materialien mit hohem Anteil an Rezyklat und nachwachsenden Rohstoffen. Die Produkte der WITTMANN Gruppe sind auf die horizontale und vertikale Integration in eine Smart Factory ausgelegt und können untereinander zu einer intelligenten Produktionszelle verbunden werden.

Gemeinsam betreiben die Unternehmen der Gruppe zehn Produktionswerke in sechs Ländern, und mit ihren 36 Standorten sind die zusätzlichen Vertriebsgesellschaften auf allen wichtigen Industriemärkten der Welt vertreten.

WITTMANN BATTENFELD verfolgt den weiteren Ausbau seiner Marktposition als Spritzgießmaschinen-Hersteller und Anbieter moderner umfassender Maschinenteknik in modularer Bauweise. Das Produktprogramm von WITTMANN umfasst Roboter und Automatisierungsanlagen, Systeme zur Materialversorgung, Trockner, gravimetrische und volumetrische Dosiergeräte, Mühlen, Temperier- und Kühlgeräte. Der Zusammenschluss der einzelnen Bereiche unter dem gemeinsamen Dach der WITTMANN Gruppe ermöglicht eine nahtlose Integration. – Zum Vorteil der Spritzgießverarbeiter, die in verstärktem Maß ein reibungsloses Ineinandergreifen von Verarbeitungsmaschine, Automatisierung und Peripherie nachfragen.

Kontakte:

WITTMANN BATTENFELD GmbH

Wiener Neustädter Straße 81
2542 Kottlingbrunn, Österreich
Tel.: +43 2252 404-1400
gabriele.hopf@wittmann-group.com
www.wittmann-group.com

NanoVoxel GmbH

Tricore Office 1
Modecenterstraße 22/A90
1030 Wien, Österreich
service@nanovoxel.com
www.nanovoxel.com