

Good Vibrations für die Senkerosion

Piezoaktoren beschleunigen die Mikrostrukturierung



Aktoren, die auf dem Piezoeffekt basieren, bewegen große Lasten mit Auflösungen im Sub-Nanometerbereich und Ansprechzeiten unter einer Millisekunde, wodurch ein dynamischer Betrieb mit hohen Scanfrequenzen möglich ist. Weil sie zudem keine im klassischen Sinn bewegten Teile haben, sind Piezoaktoren nicht nur langlebig, sondern auch wartungsfrei. Von diesen Eigenschaften profitieren ganz unterschiedliche Anwendungsbereiche, angefangen von der Medizin- und Dosiertechnik über die Photonik und Halbleitertechnik bis hin zur Automatisierungs- und Fertigungstechnik. Überall tragen die kleinen Kraftpakete immer wieder dazu bei, die Technik voranzutreiben. Wenn zum Beispiel mit Senkerosion mikrostrukturierte Präzisionsbauteile gefertigt werden, helfen Piezoaktoren dabei, die Produktionszeiten drastisch zu verkürzen.

Die steigende Komplexität von Produkten und Prozessen fordert von den Fertigungsverfahren einen immer höheren Durchsatz, gesteigerte Präzision und Geometrievielfalt sowie eine exakte Wiederholbarkeit. Gleichzeitig geht in der Automatisierung der Trend weiter in Richtung Miniaturisierung.

Kein Wunder also, dass auch im Bereich der Senkerosion inzwischen mikrostrukturierte Präzisionsbauteile gefertigt werden, oft sogar in großen Stückzahlen. Beispiele finden sich bei der Herstellung von Filterelementen oder bei Einspritzdüsen für die Automobilindustrie. Auch für die Mikrostrukturierung sind deshalb wirtschaftliche Fertigungsverfahren zunehmend notwendig; Kosten- und Ressourceneffizienz spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle.

Schneller erodieren mit der Vibrationsspindel

Dieser Thematik hat sich das Institut für Mikrotechnik in Mainz (ICT-IMM), das ab 2014 zur Fraunhofer Gesellschaft gehört, angenommen.

Mit der Sonodrive 300 (Abb. 1) wurde eine Vibrationsspindel zur Serienreife gebracht, die bei hochpräzisen Mikrobohrungen durch ein patentiertes Verfahren die Bearbeitungszeiten gegenüber herkömmlichem Standardequipment um bis zu 60 % verkürzen kann (Abb. 2 und Abb. 3). Die Spindel rotiert und vibriert gleichzeitig, wodurch die beim Erodieren entstehenden Partikel sich nicht in der Bohrung absetzen und nicht wieder erodiert werden müssen.



Abb. 1 Sonodrive 300 Vibrationsspindel (Bild: ICT-IMM)

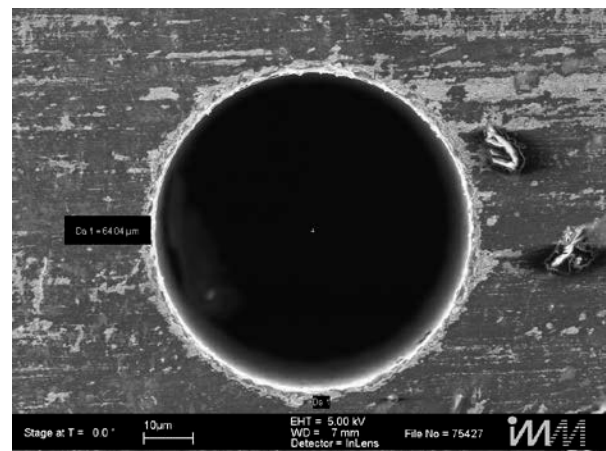


Abb. 2 Eine Bohrung mit 64 µm Durchmesser erzeugt mit einer Senkerodiermaschine mit Vibrationsbohrspindel. Die Abweichung von der Rundheit und Zylindrizität der Bohrung beträgt jeweils lediglich 1 µm (Bild: ICT-IMM)

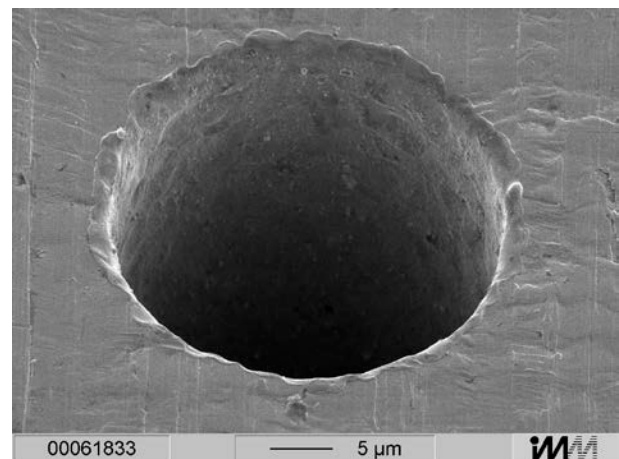


Abb. 3 Eine Bohrung mit lediglich 20 µm Durchmesser erzeugt mit einer Senkerodiermaschine, die mit der Vibrationsbohrspindel ausgestattet war (Bild: ICT-IMM)

Bei konventionellen Methoden ist das unvermeidlich, da im Mikrobereich aufgrund der geringen Elektrodenabmessungen nicht mehr gespült werden kann. Je nach zu bearbeitendem Material und Aufgabenstellung ist der Vibrationsweg einstellbar und lässt sich auch während des Prozesses jederzeit anpassen.

Gegenüber konventionellen Verfahren bringt dies erhebliche Geschwindigkeitsvorteile, beschleunigt also den gesamten Produktionsprozess. (Abb. 4). Bei einer Sack-Bohrung von 0,2 mm Durchmesser in einem 1,0 mm starken VA-Material reduzierte sich im Test auf einer Senkerodiermaschine EA12 von Mitsubishi Electric die Bearbeitungszeit von 200 auf knapp 80 Sekunden.

Auf einer Senkerodiermaschine Agie Compact war die Durchgangsbohrung von ebenfalls 0,2 mm Durchmesser in einem 0,4 mm dicken VA-Material mit der Vibrationsspindel gleichfalls um ca. 60 % schneller (Abb. 5). Dabei vereint das neue Spindelprinzip eine hohe Rundlauf-toleranz von absolut 1 bis 2 µm bei einer Drehzahl bis zu 3500 min⁻¹ mit einer hochfrequenten Vibration bis maximal 300 Hz und einem Hub bis zu 15 µm.

Die Spindel passt als „Plug & Play“-Lösung zu allen marktüblichen Senkerodiermaschinen. Auch die passende ebenfalls vom IMM entwickelte miniaturisierte Drahtabzugs-vorrichtung lässt sich einfach integrieren. Die Rundlauf-toleranz lässt sich so auf absolut 1 µm verbessern.

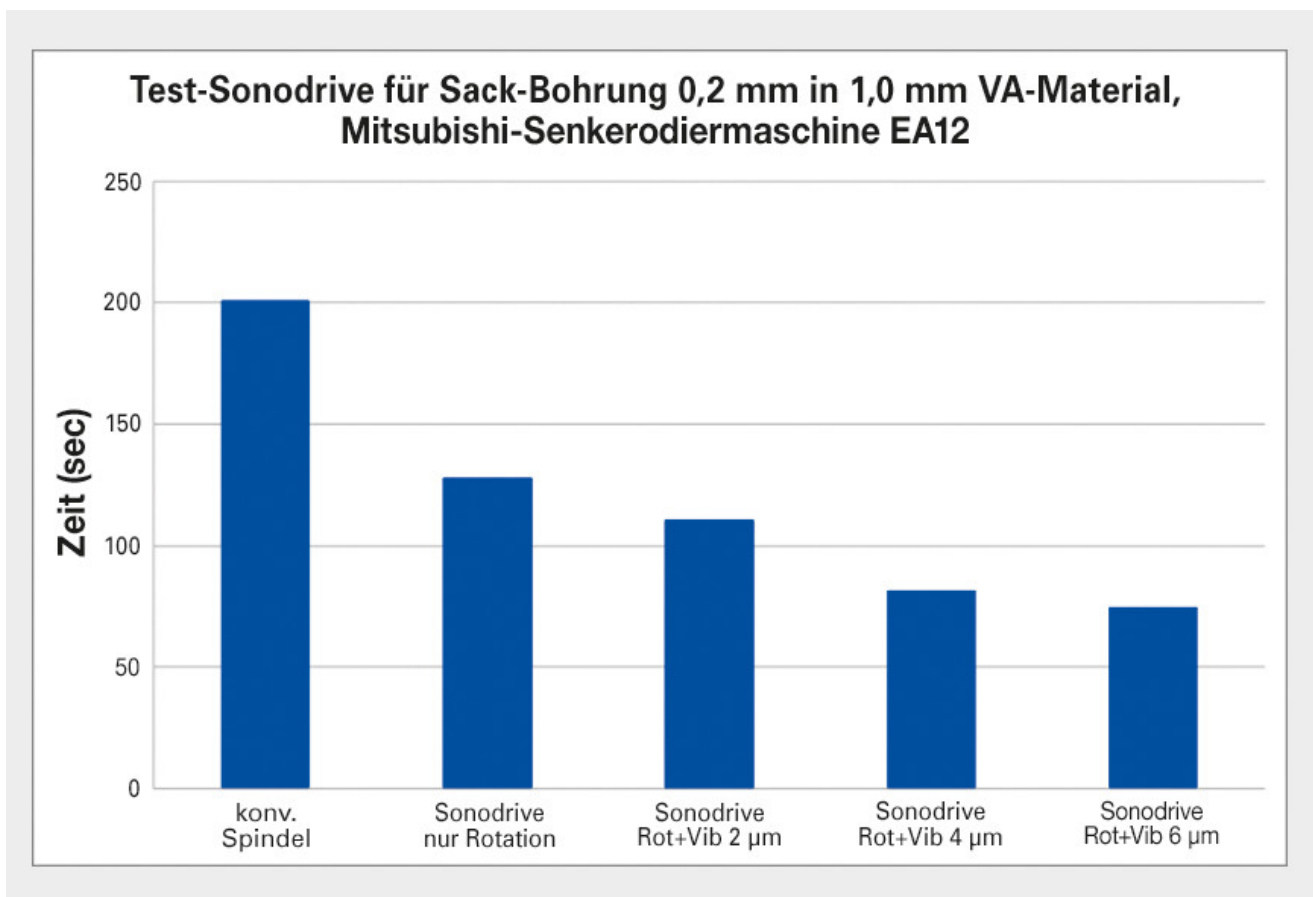


Abb. 4 Bei einer Sack-Bohrung von 0,2 mm Durchmesser in einem 1,0 mm starken VA-Material reduzierte sich im Test auf einer Senkerodiermaschine EA12 von Mitsubishi Electric die Bearbeitungszeit von 200 Sekunden auf knapp 80 Sekunden (Bild: ICT-IMM)

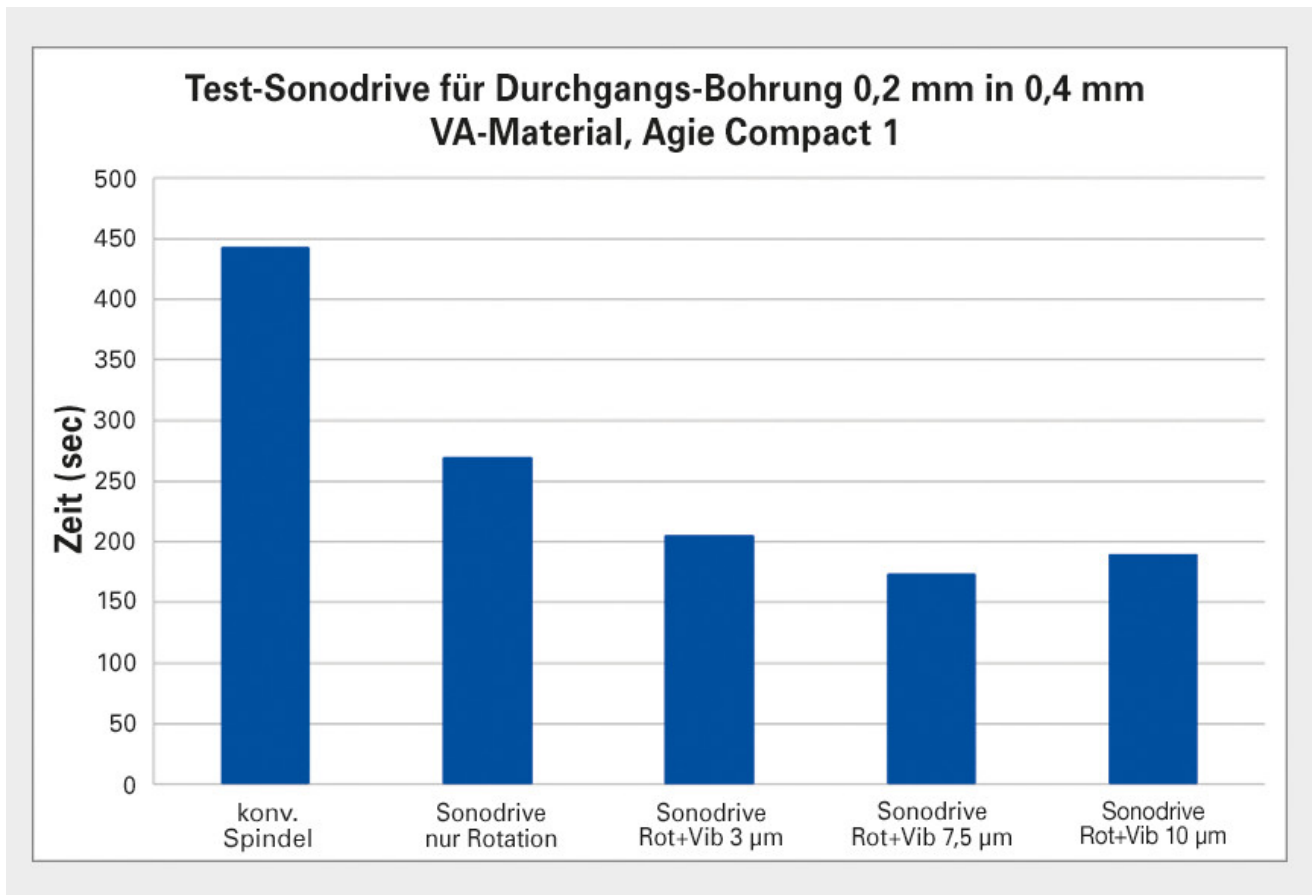


Abb. 5 Auf einer Senkerodiermaschine Agie Compact war die Durchgangsbohrung von ebenfalls 0,2 mm Durchmesser in einem 0,4 mm dicken VA-Material mit der Vibrationsspindel gleichfalls um ca. 60 % schneller (Bild: ICT-IMM)

Piezoaktor sorgt für die Vibration

Möglich wurde dieser Technologiesprung für die Mikrostrukturierung durch die Kombination, einer gehörigen Portion Knowhow und dem Einsatz technisch hochwertiger Komponenten. Für die Vibration sorgt beispielsweise ein Piezoaktor (Abb. 6) aus dem breitgefächerten Produktprogramm von Physik Instrumente (PI).

Für diese Wahl sprachen gleich mehrere Gründe. So ist die Erzeugung von Vibrationen eine geradezu klassische Piezo-Anwendung, denn beim Anlegen einer Wechselfspannung beginnt das Piezoelement zu schwingen. Die Piezoaktoren wandeln also elektrische Spannung direkt in mechanische Auslenkung um. Dabei können typischerweise Stellwege von einigen hundert Mikrometern bei hoher Dynamik mit Frequenzen bis zu mehreren Hundert Hertz erreicht werden. Die kurzen Ansprechzeiten der Piezos kommen der Anwendung als Vibrationsantrieb natürlich ebenfalls entgegen.



Abb. 6 Kompakter Piezoaktor: Die Erzeugung von Vibrationen ist eine geradezu klassische Piezo-Anwendung (Bild: PI)

Mit 25 mm Höhe bei einem Durchmesser von 50 mm und einer inneren Öffnung mit 25 mm Durchmesser ließ sich der gewählte Aktor außerdem gut in der Vibrationsspindel einbauen (Abb. 7).

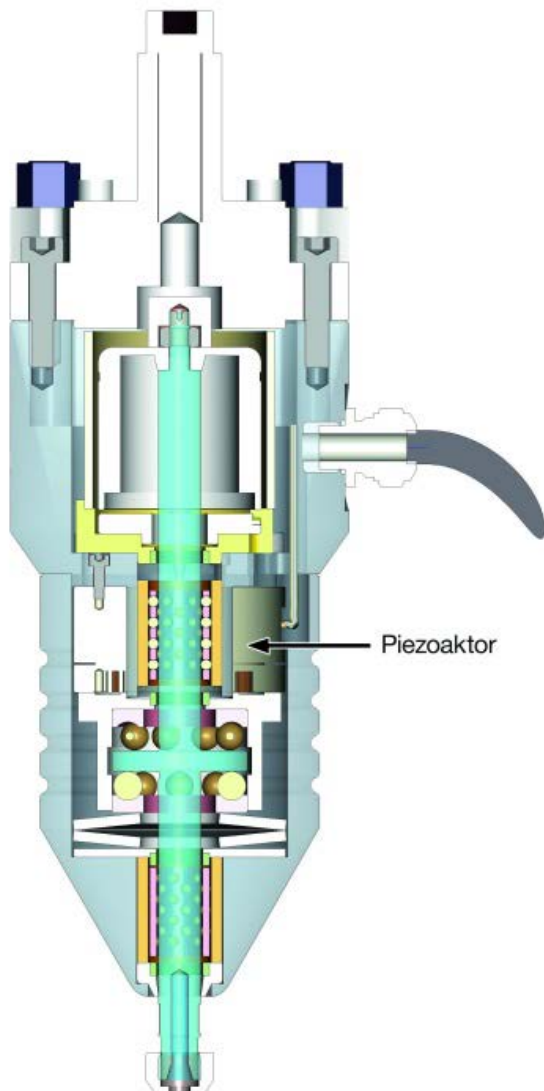


Abb. 7 In der Vibrationsspindel ließ sich der Piezoaktor platzsparend integrieren (Bild: ICT-IMM)

Da sich Piezos auch für große Lasten eignen, ist die permanente Bewegung der je nach Elektrode ca. 250 bis 450 g schweren Spindel für den kleinen Antrieb kein Problem. Im Fall der Fälle kann er mehr als ein Kilo „stemmen“. Elektromechanische Konstruktionen zur Vibrationserzeugung dagegen kamen für diesen Einsatzfall nicht infrage; sie hätten sich aufgrund ihres Aufbaus und ihrer Abmessungen nicht in eine praxisgerecht nutzbare Einheit integrieren lassen.

Es gibt jedoch noch weitere Argumente, die für den Piezo-Einsatz sprechen: Da die Bewegung auf kristallinen Festkörpereffekten beruht, ist Abnutzung bei dieser Technik nicht zu befürchten; es gibt auch keine Zahnräder, Lager oder andere verschleißanfällige Mechanik. Der Piezoaktor ist damit wartungsfrei. Diese Eigenschaft ist nicht zu vernachlässigen, da der Piezoaktor während der kompletten Bearbeitungszeit läuft. Seine Zuverlässigkeit hat er z. B. bereits im Prototypen der Vibrationsspindel bewiesen, den ICT-IMM seit etwa vier Jahren mit um die 100 Millionen Betriebszyklen im Betrieb hat.

Die Ansteuerung des Piezoaktors übernimmt ein effizienter, pulsweitenmodulierter Hochleistungs-Verstärker, der ebenfalls von PI stammt (Abb. 8). Bei einer Spitzenleistung bis 280 W und einer Dauerausgangsleistung bis zu 100 W kann der speziell auf die Belange von Niedervoltpiezoaktoren ausgelegte Verstärker einen Spitzenstrom bis 2000 mA abgeben und aufnehmen. Dadurch ist der dynamische Betrieb von Piezoaktoren mit hoher Kapazität bei einer Bandbreite bis in den Kilohertzbereich möglich, jedoch für die Mikrosenkerosion nicht nötig.



Abb. 8 Bei einer Spitzenleistung bis 280 W und einer Dauerausgangsleistung bis zu 100 W kann der speziell auf die Belange von Niedervoltpiezoaktoren ausgelegte Verstärker einen Spitzenstrom bis 2000 mA abgeben und aufnehmen (Bild: PI)

Vibrationsunterstütztes Elektrodenspannfutter bringt ebenfalls Zeitersparnis

Piezoaktoren haben sich auch in einem vibrationsunterstützten Elektrodenspannfutter bewährt, das sich ebenfalls als „Plug & Play“-Lösung für alle marktüblichen Senk-Erodiermaschinen sowie Spannsysteme eignet und mit 80 × 80 × 150 mm sehr kompakt baut (Abb. 9).

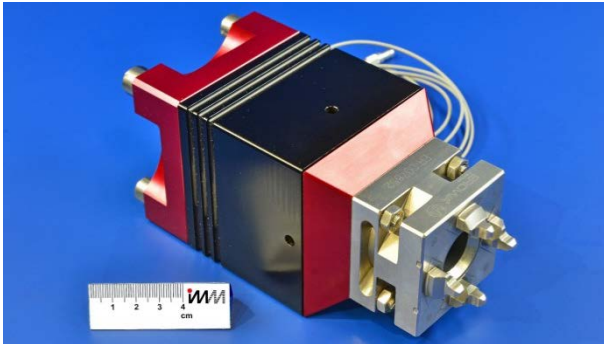


Abb. 9 Dank Piezoaktor ebenfalls vibrationsunterstützt: das Elektrodenspannfutter Microvibe 300 für die Mikrosenkerosion (Bild: ICT-IMM)

Auch hier beschleunigt die 300-Hz-Vibration mit einem einstellbaren Hub bis 15 μm Vibration den Produktionsprozess erheblich: So ergab ein Langzeitversuch mit einer Hartmetallelektrode (0,2 x 5 mm) und 7 mm Einsenktafe eine Zeitersparnis von 70 %. Die Produktionszeit verkürzte sich von 17 Stunden und 20 Minuten auf 5 Stunden und 15 Minuten. Anwendungsbereiche, die davon profitieren können, gibt es viele. Typische Beispiele sind die Mikrobearbeitung, der Werkzeug- und Formenbau sowie die Herstellung von Bauteilen für Medizin-, Mess- und Gerätetechnik. Als Vibrationserzeuger haben damit Piezoaktoren wesentlich dazu beigetragen, die Technik des Senk-Erodierens bis in den untersten Mikrobereich voranzutreiben.

Über das Fraunhofer ICT-IMM

Das Fraunhofer ICT-IMM schlägt die Brücke von der Grundlagenforschung zur Anwendung, denn die Entwicklungen durchlaufen die Einrichtung von der Idee über die Grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung bis hin zu ihrer Umsetzung in kundenspezifische Lösungen mit Produktrelevanz. Dabei werden gleich mehrere Themenbereiche vereint, in denen an den Antworten der wirtschaftlich und gesellschaftlich relevanten Fragestellungen der Zukunft gearbeitet wird.

Das Fraunhofer ICT-IMM forscht und entwickelt in den Kernkompetenzen Dezentrale und Mobile Energietechnik, Kontinuierliche Chemische Verfahrenstechnik, Medizinische Sonden und Technische Sensorik, Mikrofluidische Analysesysteme und Nanopartikel-Technologien. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse und Entwicklungen finden hauptsächlich in den Geschäftsfeldern Energie und Umwelt, Chemie, Verfahrenstechnik und Luft- und Raumfahrt, Biomedizinische Analytik und Diagnostik und Sicherheit sowie Industrielle Analytik Anwendung.

Ergänzt werden diese Produktbereiche auf technologischer Seite durch Know-how in mechanischen Präzisionsbearbeitungsverfahren, Funkenerosion, Lasermaterialbearbeitung sowie durch eine Reihe von Reinraum basierten chemischen und physikalischen Strukturierungsverfahren.

Über PI

In den letzten vier Jahrzehnten hat sich Physik Instrumente (PI) mit Stammsitz in Karlsruhe zum führenden Hersteller von Positioniersystemen mit Genauigkeiten im Nanometerbereich entwickelt. Das privat geführte Unternehmen ist mit vier Sitzen in Deutschland und fünfzehn ausländischen Vertriebs- und Serviceniederlassungen international vertreten. Über 850 hochqualifizierte Mitarbeiter rund um die Welt versetzen die PI Gruppe in die Lage, fast jede Anforderung aus dem Bereich innovativer Präzisionspositioniertechnik zu erfüllen. Alle Schlüsseltechnologien werden im eigenen Haus entwickelt. Dadurch kann jede Phase vom Design bis hin zur Auslieferung kontrolliert werden: die Präzisionsmechanik und Elektronik ebenso wie die Positionssensorik.

Die dafür benötigten piezokeramischen Elemente werden bei der Tochterfirma PI Ceramic in Lederhose gefertigt, einem der weltweit führenden Unternehmen auf dem Gebiet aktorischer und sensorischer Piezoprodukte.

Die PI miCos GmbH in Eschbach bei Freiburg ist spezialisiert auf flexible Positioniersysteme für Ultrahochvakuum-Anwendungen sowie parallelkinematische Positioniersysteme mit sechs Freiheitsgraden und Sonderanfertigungen.

Autoren



Dipl.-Phys. Steffen Arnold, Leiter „Markt und Produkte“ bei Physik Instrumente (PI) GmbH & Co. KG

Dipl.-Ing. Frank Neumann, Abteilungsleiter Produktionsverfahren am Fraunhofer ICT-IMM in Mainz

Ellen-Christine Reiff, M.A., Redaktionsbüro Stutensee