

# Der Laser hilft im Härtefall

Das Laser-Mikrofräsen mit Ultrakurzpulslasern ermöglicht einen genauen Formabtrag mit sehr feinen Strukturelementen in nahezu allen Materialien. Mithilfe einer 5-Achs-Maschine sowie einer speziellen Steuerungssoftware gelingt dies auch auf komplexen 3D-Formen, wie sie für die Herstellung von **HARTMETALLWERKZEUGEN** benötigt werden.

**Bild 1.** Demostruktur in Hartmetall (Wolframcarbid-Kobalt)



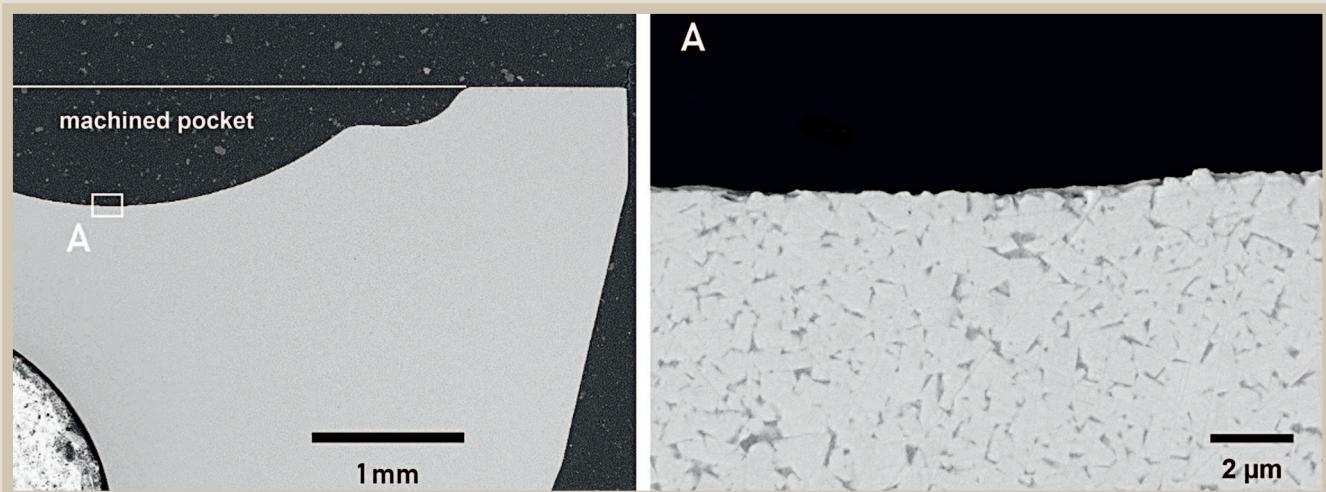
**MAX GROENENDIJK**

Wird ein ultrakurzer Laserpuls mit einer Pulsdauer im Femto- bis Pikosekundenbereich auf die Oberfläche eines Bauteils fokussiert, lässt sich bei genügend hoher Pulsenegie das Material abtragen beziehungsweise verdampfen. Ein typischer Durchmesser des fokussierten Laserspots ist nur 20 µm groß. Dabei trägt jeder Laserpuls abhängig vom Material und der Pulsenegie nur eine Schicht von 10 bis 50 nm ab. Zur Bearbeitung größerer Strukturen werden eine Vielzahl von Pulsen auf die Oberfläche verteilt, typischerweise mithilfe von Galvanometer-Scansystemen.

Diese Kombination aus kleinem Fokuspunkt und geringer Abtragstiefe pro Puls ermöglicht präzise Bearbeitungen mit Strukturabmessungen deutlich

kleiner als der Laserspot, kombiniert mit einer sehr guten Tiefenauflösung im Sub-µm-Bereich. Typische Bearbeitungstiefen liegen zwischen 1 µm und 1 mm, und die Bearbeitungsraten betragen bei den meisten Werkstoffen zwischen 0,1 und 1 mm<sup>3</sup> pro Minute.

Durch die extrem kurzen Pulse absorbieren beinahe alle Materialien diese Laserstrahlung und können somit bearbeitet werden, auch sehr harte Keramiken oder Hartmetalle (**Bild 1**). Ein weiterer Vorteil der kurzen Interaktionszeit der Pulse liegt in der nur sehr geringen Wärmeverlust des verbleibenden Materials. Damit werden negative Wärmeeffekte wie Aufschmelzen, Risse oder andere Beschädigungen verhindert (**Bild 2**). Die Eigenschaften des Laser-MikrofräSENS mit Ultrakurzpulslasern lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:



- Bearbeitung sehr feiner Strukturelemente bis zu 10 µm oder kleiner,
- sehr gute Tiefenauflösung im Sub-µm-Bereich,
- für fast alle Werkstoffe geeignet, auch für sehr harte,
- vernachlässigbarer Wärmeeintrag, daher keine Schäden oder Schmelzaufwurf sowie
- kontakt- und kraftfreies Bearbeiten.

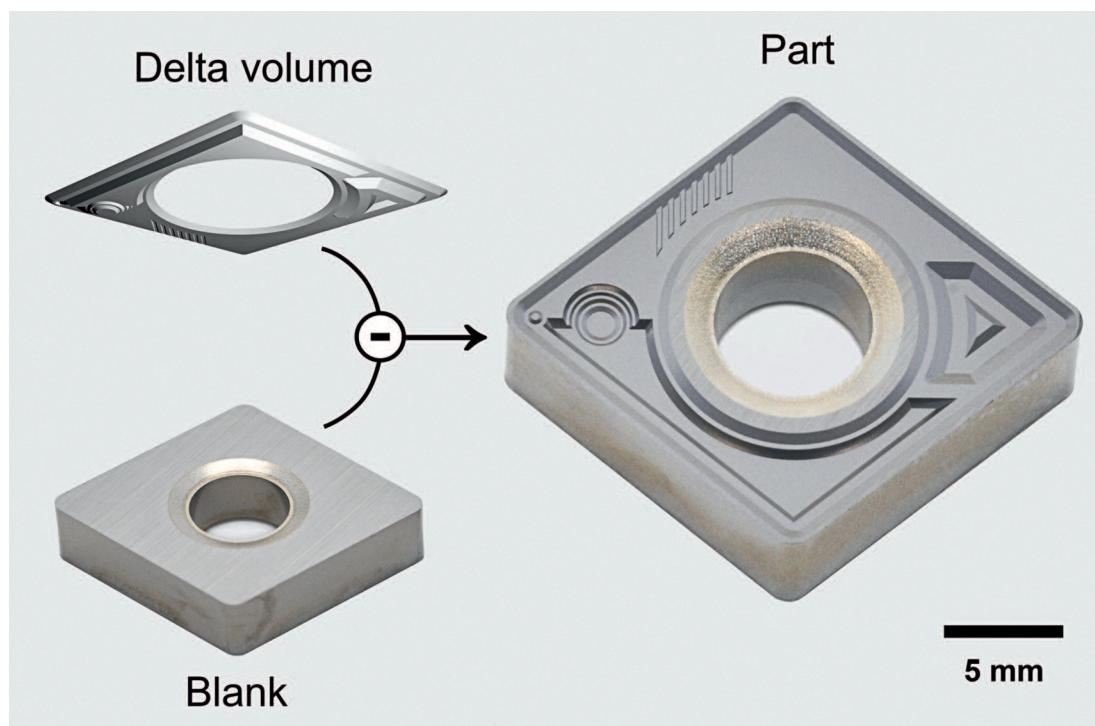
Der Arbeitsablauf beim Laser-Mikrofräsen ist in **Bild 3** dargestellt. Eine speziell für das Laser-Mikrofräsen entwickelte CAM-Software generiert die Bearbeitungsprogramme auf Basis des abzutragenden Volumens, das zum Beispiel in einer CAD-Software erstellt werden kann. In diesem Beispiel wurde eine etwa 0,7 mm tiefe Beispiel-Struktur in eine Hartmetall-Wendeschneidplatte eingebracht. Mit einer 5-achsigen Maschine ist Laser-Mikrofräsen auch auf komplexe gekrümmten Oberflächen möglich. Dabei werden die Bearbeitungen aus verschiedenen Rich-

tungen auf dem Bauteil ausgeführt. Hiermit können einzelne Strukturen auf gewölbten Oberflächen abgetragen werden. Die einzelnen Volumina können aber auch aneinander anschließen, womit ein großes, komplexes 3D-Volumen entsteht. Diese Strategie wird zum Beispiel für die Bearbeitung von Texturen auf gekrümmten Oberflächen verwendet.

### Anwendungen im Werkzeug- und Formenbau

Wichtige Anwendungen des Laser-Mikrofräsen mit Ultrakurzpulslasern liegen in der Bearbeitung von Werkzeugen und Formen. Ein gutes Beispiel sind Umformwerkzeuge oder Stempel, die oft aus sehr harten Materialien erstellt werden müssen und von denen hohe Formgenauigkeiten gefordert sind. Das Laser-Mikrofräsen solcher Werkzeuge mit einem Ultrakurzpuls laser hat zudem oft einen positiven

**Bild 2. Schliff durch eine Hartmetall-Probe. Links eine Übersicht der Bearbeitung, rechts eine Vergrößerung, die eine beschädigungsfreie Bearbeitung nachweist**



**Bild 3. Veranschaulichung des Arbeitsablaufs beim Laser-Mikrofräsen einer Struktur in Hartmetall. Links unten das unarbeitete Halbteil, darüber das abzutragende Volumen (erstellt in einem CAD-Programm) und rechts das bearbeitete Teil**

**Bild 4. Ein mittels Laser-Mikrofräsen hergestellter Pressstempel für die Produktion von Wendeschneidplatten**



Einfluss auf die Standzeit, die im Vergleich zu Prozessen wie Schleifen oder Erodieren verbessert werden kann. Für die Produktion von Pressstempeln für Wendeschneidplatten hat das niederländische Unternehmen Lightmotif in Zusammenarbeit mit Kern Microtechnik und KLM Microlaser, beide aus Eschenlohe, einen neuen Bearbeitungsprozess entwickelt (**Bild 4**).

Die Laserbearbeitung des Hartmetalls hat sich im Vergleich zum heute genutzten Funkenerodieren (EDM) als qualitativ mindestens gleichwertig erwiesen, ist dabei aber schneller, kostengünstiger und mit einem viel einfacheren Arbeitsablauf verbunden. Um diese Prozesse für die 24/7-Produktion nutzbar

zu machen, wird momentan eine Maschine entwickelt, die im Jahr 2020 durch KLM Microlaser auf den Markt gebracht wird.

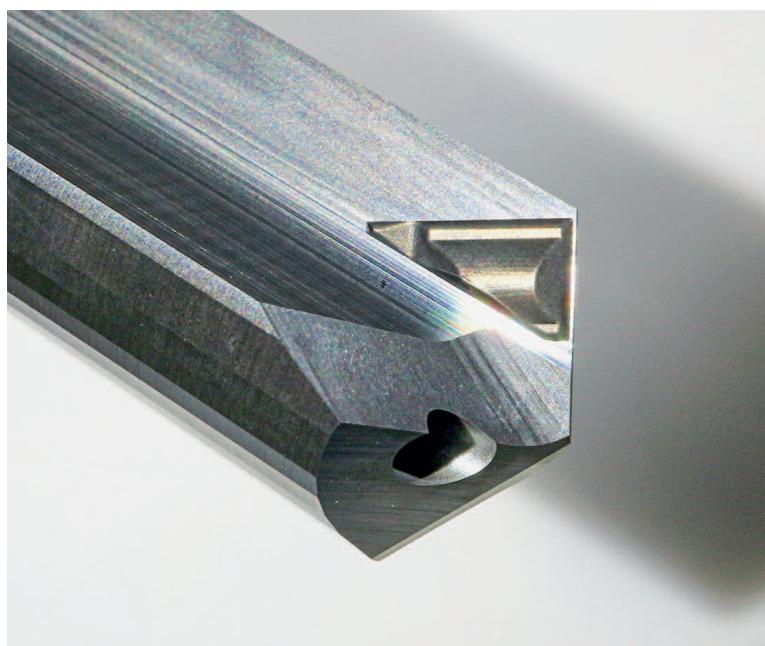
Der Prozess ist auch für eine direkte Bearbeitung von Zerspanungswerkzeugen sehr gut geeignet, zum Beispiel von Bohrern oder Schneidplatten. Vor allem dann, wenn die Oberflächengüten mit anderen Techniken nicht erreichbar sind oder wenn die Werkstoffe zu hart werden, bietet sich die Laserbearbeitung an. **Bild 5** zeigt eine Spanleitstufe, die in der Spanfläche eines Hartmetallbohrers abgetragen wurde. Dieser Bohrer hat eine flache Spanfläche, der Prozess ist ohne Weiteres aber auch auf einer gekrümmten Oberfläche einsetzbar.

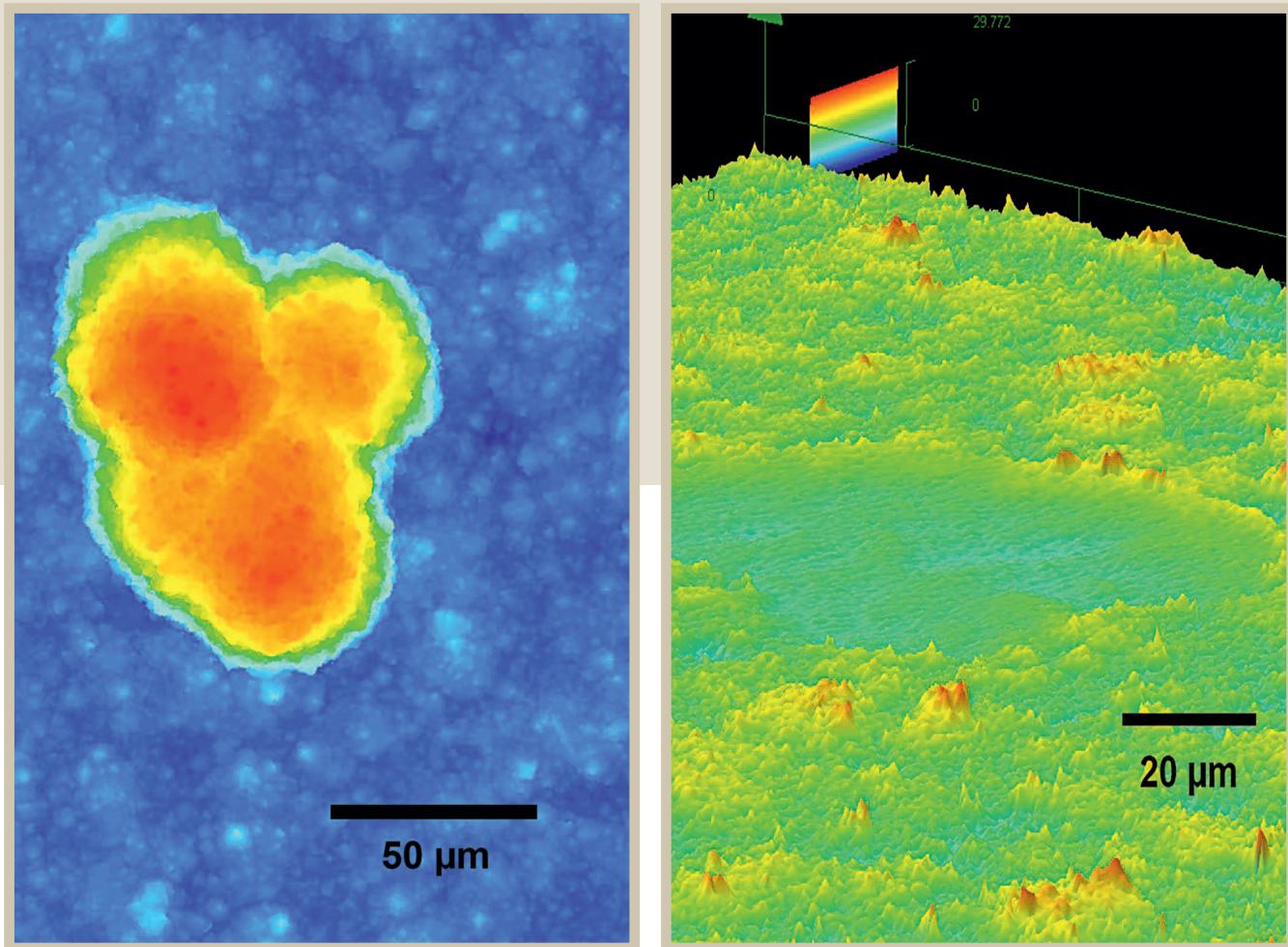
Eine weitere typische Anwendung für das Laser-Mikrofräsen ist der Abtrag von komplexen Geometrien auf Spritzgussformen. Hiermit können zum Beispiel Strukturen in Formen abgetragen werden, die für die Produktion von Mikroteilen oder für mikrofluidische Systeme aus Kunststoff benötigt werden. Es können aber auch feine Texturen erstellt werden, die in den abgeformten Teilen funktionale Oberflächen bilden.

### Messtechnik für optimiertes Laser-Mikrofräsen

Obwohl der Abtrag mit Ultrakurzpulslasern genau und gut reproduzierbar ist, können Abweichungen in den Bearbeitungskonditionen zu Fehlern in der abgetragenen Tiefe führen, die typischerweise einige Prozent betragen. Bei Mulden mit mehreren hundert Mikrometern Tiefe kann dies zu Abweichungen führen, die für einige Anwendungen zu groß sind. Mit einer adaptiven Bearbeitung kann dieses Problem gelöst werden. Hierbei werden während

**Bild 5. Eine Spanleitstufe in einem Bohrer aus Hartmetall, bearbeitet als Demonstrator in dem EU-Projekt „Adalam“**





der Bearbeitung automatische Tiefenmessungen ausgeführt. Sie verschaffen Informationen über Abweichungen im wirklichen Abtrag. Damit wird der Prozess direkt angepasst, um letztendlich eine viel bessere Genauigkeit der Tiefe zu erreichen.

Eine gleichartige Technik kann auch eingesetzt werden, um unerwünschte Erhebungen oder Pocken auf Oberflächen zu entfernen. In **Bild 6** wird eine Anwendung gezeigt, in der solche Defekte auf einer Keramikoberfläche entfernt werden müssen. In einem automatisierten Ablauf wird anhand einer 3D-Messung das zu entfernende Volumen erfasst, auf dessen Basis ein Bearbeitungsprogramm erstellt und der Defekt dann mittels Laser-Mikrofräsen genau abgetragen. Diese Technik wurde im EU-finanzierten Projekt „Adalam“ entwickelt. Dabei konnte gezeigt werden, wie Defekte mit bis zu 100 μm Höhe automatisch von einer keramischen Präzisionsoberfläche entfernt werden konnten.

## 5-Achs-Systeme für die Laser-Mikrobearbeitung

Die Bearbeitung größerer oder gekrümmter Oberflächen wird durch das sogenannte „3D-Step-and-Scan“-Verfahren ermöglicht. Die gekrümmte Oberfläche wird in kleine Segmente aufgeteilt. Ein in die Maschine integrierter Galvo-Scanner bearbeitet dann

jedes Segment durch 2D-Vektorscannen, wobei ein 5-Achs-Manipulator das Scanfeld für jedes Segment in die richtige Position bringt. Dieses Verfahren stellt hohe Anforderungen an die Ausrichtung der einzelnen Segmente zueinander, um ein problemloses Stitching der Strukturen zu gewährleisten. Die zulässigen Positionierfehler können dabei nur wenige Mikrometer klein sein. Dies auf gekrümmten Bauteilen zu erreichen gestaltet sich durchaus schwierig.

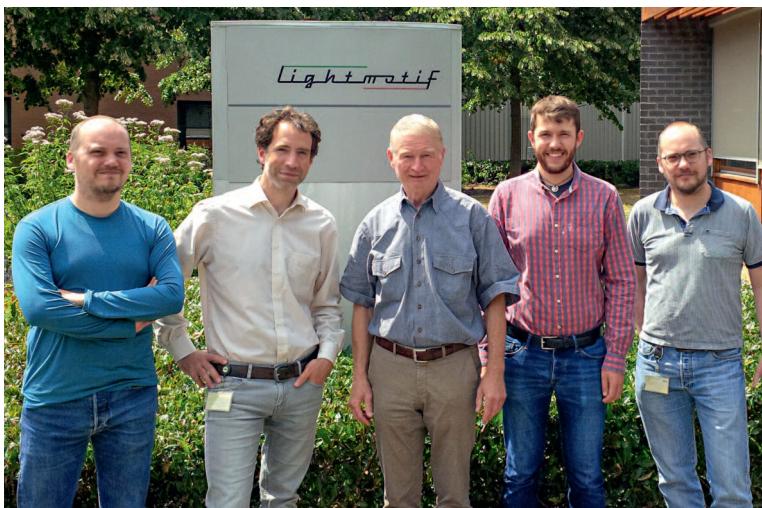
Mit der Entwicklung einer neuen 5-Achs-Maschine und einer speziell für das 3D-Mikrotextrurieren und Mikrofräsen konzipierten CAM- und Ansteuerungssoftware bietet das Unternehmen Lightmotif eine Lösung an. Einen wichtigen Teil dieses Systems bildet der 5-Achs-Manipulator, der eine sehr hohe Wiederholgenauigkeit aufweisen muss.

Für die Bearbeitung von großen und schweren Bauteilen ist die „OP2“-Maschine entwickelt worden, bei der das Bauteil um eine Achse und der Scankopf um die zweite Achse gedreht werden. Hiermit sind bis zu 300 kg schwere Teile bearbeitbar. Bei mittelschweren Werkstücken mit einem Gewicht von bis zu 10 kg kann auch die „OP3“-Maschine eingesetzt werden, in der die beiden Rotationsachsen zu einer Dreh-Schwenkeinheit kombiniert wurden. Dadurch weist diese Maschine eine höhere Genauigkeit auf, und das Bauteil ist besser erreichbar. Alle Achsen in

**Bild 6.** Links eine 3D-Messung einer unerwünschten Erhebung auf der Oberfläche eines Keramikbauteils, die im rechten Bild mittels eines adaptiven Prozesses abgetragen wurde, ohne weitere Vertiefungen in die Oberfläche einzubringen



**Bild 7. Automatische Kalibrierung der Kinematik einer OP3-Maschine mittels Messtaster und Referenzkugel**



**Bild 8. Partner bei der Maschinenentwicklung (v.l.): Martijn Sipkema und Max Groenendijk von Lightmotif, Ekkehard Alschweig von KLM Microlaser, Simon Fischer von Kern Microtechnik sowie Ronald Sipkema von Lightmotif**

#### > KONTAKT

**HERSTELLER**  
**Lightmotif B.V.**  
 NL-7521 PR Enschede  
 Tel. +31 53 4500840  
[info@lightmotif.nl](mailto:info@lightmotif.nl)  
[www.lightmotif.nl](http://www.lightmotif.nl)

**KERN Microtechnik GmbH**  
 82438 Eschenlohe  
 Tel. +49 8824 9101-0  
 Fax +49 8824 9101-124  
[www.kern-microtechnik.com](http://www.kern-microtechnik.com)  
 Messe EMO, Hannover: Halle 12, Stand D76

**KLM Microlaser GmbH**  
 82438 Eschenlohe  
 Tel. +49 8824 9101-200  
 Fax +49 8824 9101-124  
[alschweig@kern-microtechnik.com](mailto:alschweig@kern-microtechnik.com)

der OP3-Maschine sind luftgelagert und damit sehr wiederholgenau.

Ein genauer Manipulator ist allerdings nicht ausreichend. Um die benötigte Wiederholgenauigkeit zu erreichen, sind verschiedene Sensorsysteme in die Maschine integriert, die die häufigsten Fehler automatisch kalibrieren. Für das genaue Ausrichten der Segmente beim 3D-Step-and-Scan-Verfahren muss beispielsweise auch ein genauer Scanner mit exakt kalibriertem Scanfeld eingesetzt werden. Auch muss die Drift der verschiedenen integrierten Systeme gemessen und kompensiert werden. Hierzu wurde ein *»Tool Calibration«*-System entwickelt. Mit diesem kamerabasierten System lässt sich die Lage des fokussierten Laserspots in der Maschine messen, womit das Scanfeld kalibriert, Ausrichtungsfehler und Drift kompensiert und die Fokuslage bestimmt werden.

Um hohe Genauigkeit auf Dauer zu gewährleisten, muss auch die komplexe Kinematik einer 5-Achs-Maschine regelmäßig kalibriert werden. Bei der dazu entwickelten Maschinenkalibrierung wird die Position einer auf dem Maschinentisch angebrachten Referenzkugel mit einem am Bearbeitungskopf angebrachten Messtaster bestimmt (**Bild 7**). Mit dieser automatischen Kalibrierung wird die Kinematik der Rotationsachsen in kurzer Zeit direkt erfasst, womit die größten Fehler, die bei einer 5-Achs-Bearbeitung auftreten, kompensiert werden.

Mit dieser Maschinentechnik kann das Laser-Mikrofräsen in automatisierten Prozessen sehr hohen Genauigkeitsanforderungen gerecht werden. Die Präzision lässt sich dabei auch unabhängig vom Maschinenbediener auf Dauer garantieren. ■

MI110622

#### AUTOR

MAX GROENENDIJK ist Geschäftsführer bei Lightmotif in Enschede, Niederlande; [max.groenendijk@lightmotif.nl](mailto:max.groenendijk@lightmotif.nl)