

Prozessangepasste Multistrahl-Scansysteme

Multistrahl-Scansysteme können die Prozessgeschwindigkeit deutlich erhöhen, das kleine Scanfeld sowie die Limitierung auf periodische Strukturen schränken die Anwendungsbreite jedoch ein. Ein **KOOPERATIONSPROJEKT** entwickelt daher Lösungen für die selektive Multistrahlbearbeitung mit schaltbaren Laserstrahlen.

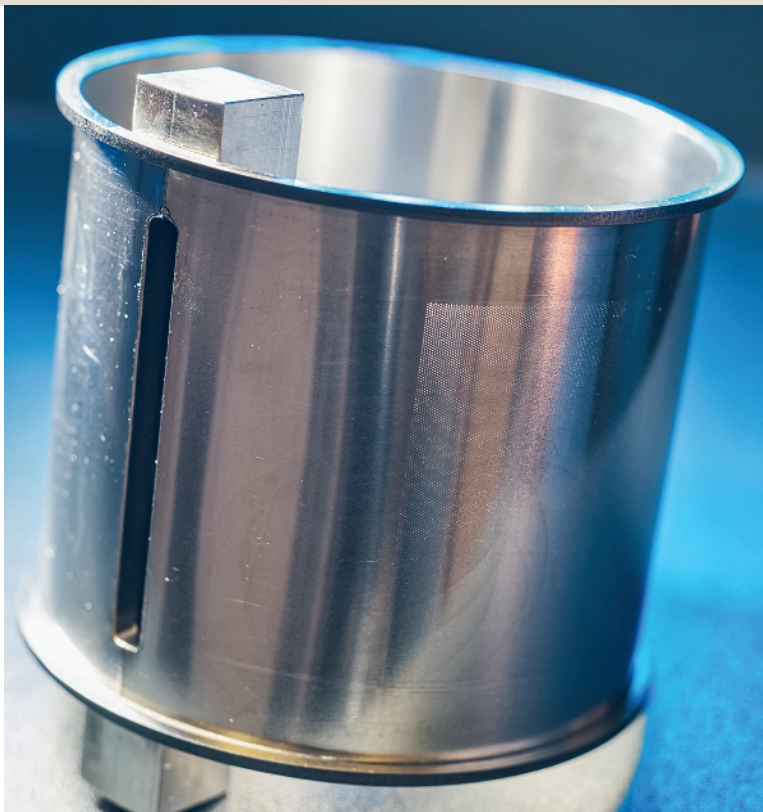


Bild 1. Mit dem »MultiBeamScanner« gebohrtes Mikrosieb für Filtrationsanwendungen. Die Produktionskosten pro Bauteil lassen sich mittels Multi-Strahlbearbeitung deutlich senken

STEPHAN EIFEL UND HOLGER SCHLÜTER

Die Lasermikrobearbeitung mit Ultrakurzpuls- (UKP-)Lasern verbreitet sich in industriellen Fertigungsprozessen immer weiter. Dieser Trend verstärkt sich durch fallende Preise bei den UKP-Laserstrahlquellen. Lag der Preis pro Watt industrietauglicher UKP-Laserleistung (IR, Pikosekunde) vor einigen Jahren noch bei 3500 bis 4000 Euro pro Watt mittlerer Ausgangsleistung, so nähern sich die Preise dank immer besserer Laser-Verstärkertechnologien und dem zunehmenden Preisdruck im Markt mittlerweile der Grenze von 1000 Euro pro Watt. Neben den sinkenden Anschaffungskosten sind darüber hinaus Scansysteme gefragt, die in der Lage sind, höhere mittlere UKP-Leistungen auf dem Werkstück umzusetzen. Gleichzeitig sollen die Scansysteme die

Prozessgeschwindigkeit im Vergleich zu klassischen Bearbeitungsstrategien deutlich erhöhen.

Aufgrund der Komplexität vieler Laserprozesse geht der Trend immer mehr zu prozessangepassten Scansystemen, die individuell auf die Anforderungen des Prozesses in puncto Präzision und Produktivität abgestimmt sind. Eignen sich beispielsweise Polygonscanner vor allem für die großflächige und schnelle Bearbeitung von Bauteilen mit höheren mittleren Laserleistungen, so sind Multistrahl-Scansysteme bei Anwendungen effizient, bei denen viele identische Strukturen hergestellt werden sollen. Sie überzeugen auch bei Aufgaben, bei denen viele Laserpulse auf eine Stelle platziert werden müssen, beispielsweise beim Laserbohren (**Bild 1**).

Funktion und Anwendung der Multistrahlbearbeitung

Mit dem »MultiBeamScanner« von Pulsar Photonics ist eine Scanlösung für die industrielle Multistrahlbearbeitung bereits seit einigen Jahren verfügbar. Der Laserstrahl wird dabei durch ein diffraktiv optisches Element (DOE) in eine Summe von Teilstrahlen aufgeteilt und so ein Raster von Bearbeitungspunkten im Fokus der Scanoptik erzeugt. Die Anzahl und Konfiguration der einzelnen Bearbeitungspunkte sind dabei nahezu frei wählbar. Sind sie jedoch einmal festgelegt, sind die Bearbeitungspunkte fixiert.

> KONTAKT

HERSTELLER
Pulsar Photonics GmbH
 D-52134 Herzogenrath
 Tel. +49 2407 55555-0
 info@pulsar-photonics.de
www.pulsar-photonics.de

SCANLAB GmbH
 D-82178 Puchheim
 Tel. +49 89 800746-0
 info@scanlab.de
www.scanlab.de

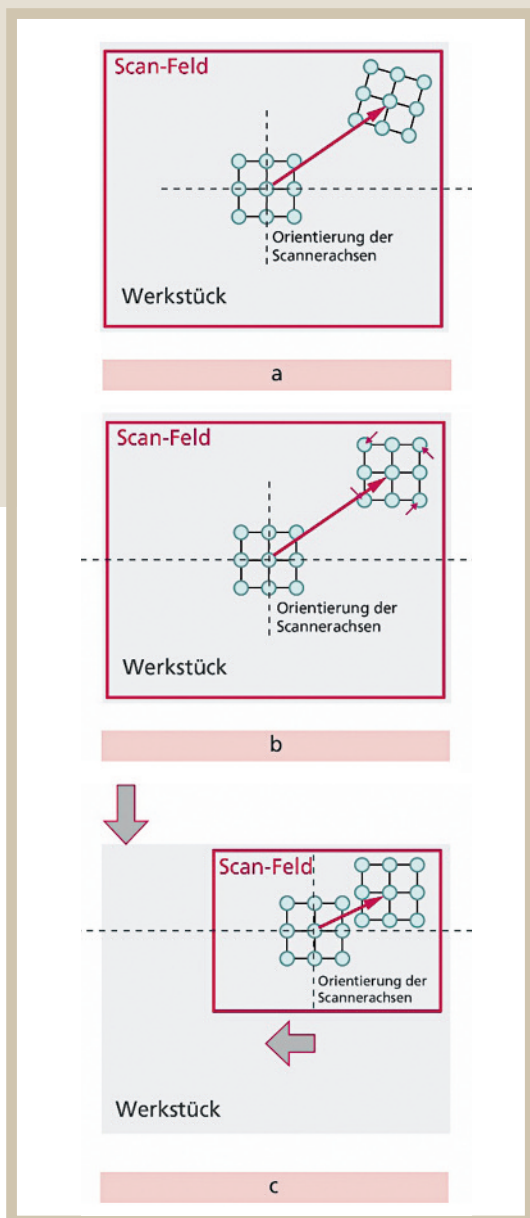


Bild 2. Positionsfehler bei der Multistrahlbearbeitung in einem klassischen Scan-Kopf-Aufbau (a), in einem variablen Multistrahlaufbau mit individueller Steuerung der Teilstrahlen (›Multiscan‹) (b) und in einem Aufbau, der den Scan-Kopf mit einem synchronisierten Kreuztisch (›XL Scan‹) kombiniert (c)

Somit lassen sich Prozesse, bei denen eine Vielzahl von Strukturen in einer periodischen Anordnung hergestellt werden müssen, massiv parallelisieren und damit die Produktionskosten deutlich reduzieren. Wie viele Laserstrahlen sinnvoll eingesetzt werden können, hängt meist davon ab, wie viel mittlere Leistung auf einem Werkstück appliziert werden kann oder wie viel Pulsenergie zur Verfügung steht.

So deutlich die Vorteile der Multistrahlbearbeitung bei der Herstellung periodischer Strukturen sind, so hat auch dieser Ansatz seine Prozessgrenzen. Die sinnvoll nutzbare Scanfeldgröße eines Multistrahls-Scansystems ist typischerweise deutlich kleiner als ▶

SX 100-hpm

**HOCHPRÄZISION
3D MIKRO-ERODIERMASCHINE
Geschlossene Zelle Maschine**

**SO EINFACH UND
SO EFFIZIENT!**



**für
Hochpräzises
Micro-Erodierbohren
und
3D Mikro-Erodierfräsen**



**für
MICROMECHANIK
MEDIZINTECHNIK
TEXTILINDUSTRIE
MIKRO-FORMEN
AUTOMOTIVE
AEROSPACE**

SARIX
3D MICRO EDM MACHINING
 sarix.com

Bild 3. Absoluter radialer Positionsfehler, aufgetragen gegen die eingestellte radiale Position für einen Standard-Scankopf mit einer Brennweite von 100 mm ohne einen synchronisierten Kreuztisch. Die Positionierung der Spots wurde mit ausreichend Zeit zwischen den Aufnahmen durchgeführt, damit sich die Galvanometer-spiegel in ihre Position einpendeln können. Dies ist ein quasi-statischer Ansatz

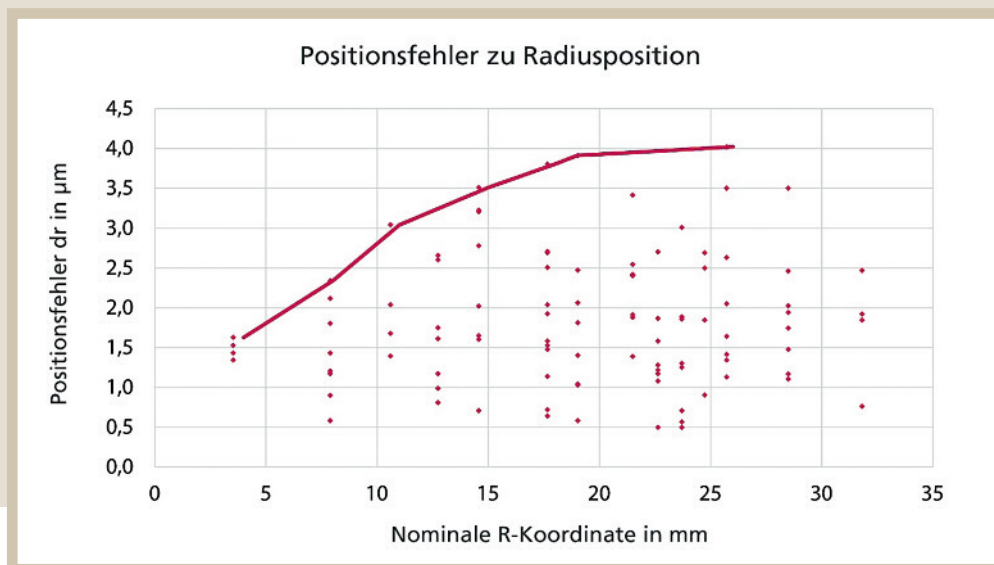


Bild 4. Laboraufbau zur Multistrahlbearbeitung mit »XL Scan« (»excelli-Scan 14«, Kreuztisch und Multistrahl-system von Pulsar Photonics)



das Scanfeld des verwendeten Objektivs. Grund dafür ist die durch das Scansystem induzierte Verzeichnung des Bildfelds. Während diese für eine Einzelstrahlbearbeitung mittels Scanfeldkalibration nahezu eliminiert werden kann, ist die Verzeichnung bei einem Multistrahl-Scansystem mit Scanner und F-Theta-Optik nicht vollständig kompensierbar. Die Multistrahlverteilung unterliegt mit größer werdendem Scanwinkel relativ zur Nulllage einer zunehmenden Verzeichnung. Diese äußert sich in einer Drehung und Verzerrung der Verteilung (**Bild 2a**).

Für eine hochgenaue Bearbeitung mit erlaubten Verzeichnungsfehlern von weniger als 5 µm muss das Scanfeld einer 100-mm-Optik beispielsweise auf etwa 10 bis 20 Prozent der maximalen Scanfeldgröße reduziert werden (**Bild 2c**).

Bisherige Limitierungen

Diese Einschränkung des Scanfelds spielt für Anwendungen mit hoher Strukturdichte von beispielsweise mehr als 100 ppi und bei Prozesszeiten pro Struktur von mehr als 10 ms keine wesentliche Rolle, da der Zeitverlust durch eine Neupositionierung des Werkstücks unter dem Scansystem mit einem Achssystem prozentual nur einen geringen Anteil der Gesamtprozesszeit ausmacht. Anders verhält es sich jedoch bei Hochrate-Prozessen wie dem Perkussionsbohren mit Prozesszeiten pro Struktur im Bereich von

1 ms und weniger. Hier übertrifft der Einzelstrahl-scanner mit seinem deutlich größeren Scanfeld unterhalb einer gewissen Strukturdichte das Multistrahl-Scansystem, da Letzteres den Zeitverlust der Achszustellung nicht durch den Zeitvorteil der Multistrahlbearbeitung kompensieren kann.

Eine weitere Einschränkung der Laserbearbeitung mit dem MultiBeamScanner liegt in der Variabilität der Strahlverteilung. Viele Anwendungen weisen zwar periodische Strukturen auf, allerdings gibt es umso mehr Anwendungen, die nur teilweise periodische Strukturen besitzen oder bei denen ein dynamischer Wechsel der Strahlverteilung während der Prozessierung notwendig wäre.

Potenziale eines synchronisierten Achssystems

Um diese Nachteile der Multistrahlbearbeitung zu überwinden, haben sich der weltweit führende Hersteller von Scan-Lösungen – die Scanlab GmbH aus Puchheim – und der Entwickler für komplexe Optiksyste-me für die Lasermikrobearbeitung – die Pulsar Photonics GmbH aus Herzogenrath – im Rahmen eines Kooperationsprojekts zusammen-ge-tan. Im aktuell laufenden Projekt »Multiscan« entwickeln die Partner gemeinsam eine Scanlösung zur selektiven Multistrahlbearbeitung mit schaltbaren Laserstrahlen. Ziel ist es, der Industrie einen flexiblen Multistrahlbearbeitungskopf für die Lasermikrobearbeitung zur Verfügung zu stellen, um den zunehmenden Anforderungen an höhere Prozessgeschwindigkeiten gerecht zu werden. Als Anwendungsbeispiel wurde das präzise Hochrate-Laserbohren für die Elektronik gewählt.

Im ersten Projektschritt wurde die erzielbare Positioniergenauigkeit beim Laserbohren mit einem High-End-Scansystem (»excelliScan 14«) untersucht. Ähnlich wie die Multistrahlbearbeitung unterliegt auch die Einzelstrahlbearbeitung einem Verzeichnungsfehler, der mit zunehmendem Scanwinkel

Bilder: Pulsar Photonics (4), Scanlab (3, 5)

LASER MICRO MACHINING

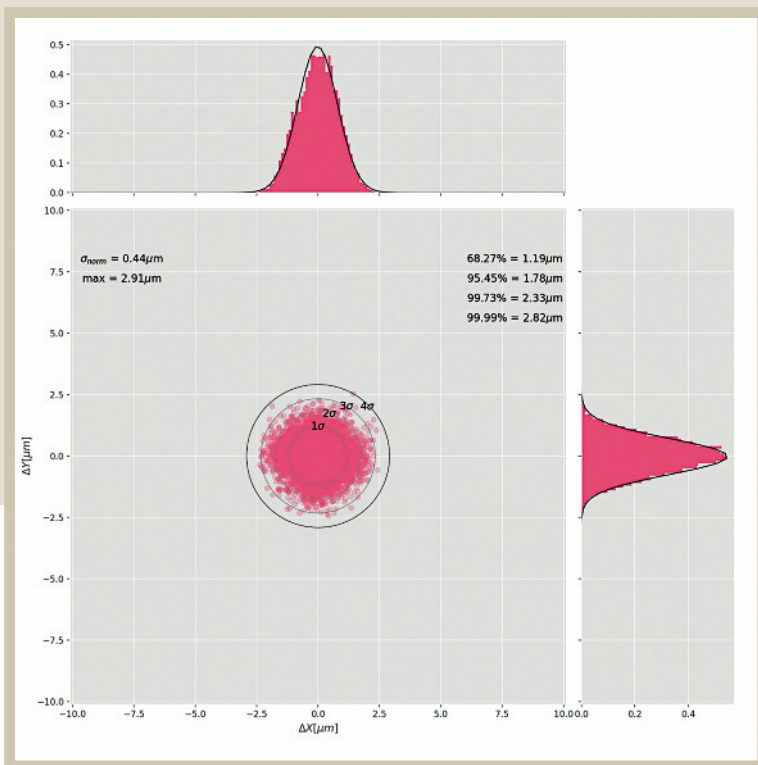
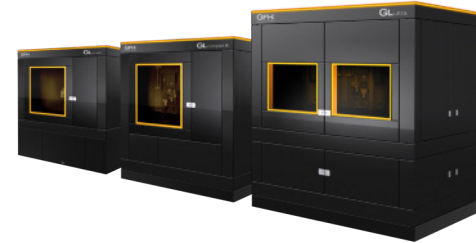


Bild 5. Absoluter Positionsfehler als Dichteplot für eine kombinierte Bearbeitung mit einem Scankopf mit Brennweite 100 mm und einem synchronisierten Kreuztisch (XL Scan). Die Positionierung erfolgt mit einer Markiertrate von 2600 Hz und ist damit hochdynamisch. 99,99 Prozent der 10 000 auf das Werkstück eingebrachten Markierungen zeigen einen Positionsfehler unter 3 μm. Dies zeigt, wie die Kombination mit einem synchronisierten mechanischen Tisch nicht nur den Bearbeitungsbereich vergrößern, sondern auch die Positionsgenauigkeit verbessern kann

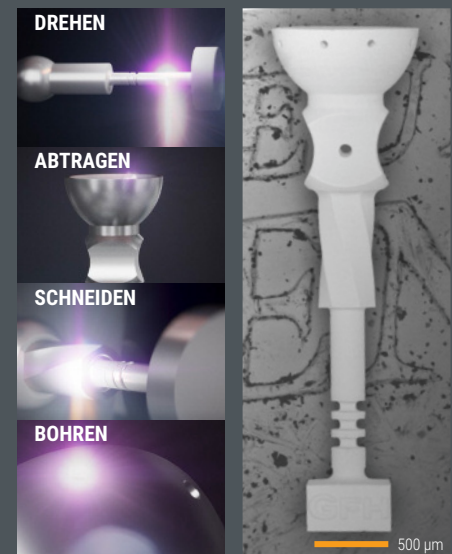
relativ zur Nulllage steigt. Aufgrund der begrenzten Auflösung der Scanfelfeldkalibration bleibt ein Restfehler, der die Positionsgenauigkeit des Scansystems begrenzt. Für hochgenaue Anwendungen mit einem Positionsfehler von weniger als 3 μm ist auch hier eine Begrenzung des Scanfelfelds notwendig (**Bild 3**).

Um bei Multistrahl-Hochrate-Anwendungen dennoch keine Nachteile in der Prozessgeschwindigkeit durch ein kleineres Scanfelfeld in Kauf nehmen zu müssen, ist eine Synchronisation von Scansystem und Achssystem vorteilhaft. Dazu wurde die Lösung ›XL Scan‹ verwendet, die eine Synchronisation zwischen Scansystem und zwei präzisen Linearmotorachsen ermöglicht. Damit ist es möglich, die Nachteile einer Scanfelfeldbeschränkung aufzuheben. Dazu werden die abzuarbeitenden Scanvektoren in eine langsame Achsbewegung und eine schnelle Scanbewegung aufgeteilt. Während der hochdynamische Scanner enge Konturen und hochfrequente Bewegungen abarbeitet, sorgt das Achssystem dafür, dass immer ausreichend unbearbeitetes Werkstück in das Scanfelfeld nachgeführt wird. Somit kann das Scanfelfeld des Scanners klein gewählt werden, um eine hochgenaue Positionierung zu erzielen. Der Zeitverlust durch die Achszustellung wird gleichzeitig nahezu eliminiert, da das Scansystem während der Achsbewegung weiterarbeiten kann (**Bild 4**).

Dass die hohe Positionsgenauigkeit durch das XL-Scan-System weiterhin beibehalten werden kann, konnte in einer detaillierten Versuchsreihe gezeigt werden. Hierzu wurde in einem Laboraufbau mit einem Multistrahl-Scansystem von Pulsar Photonics und einem synchronisierten Kreuztisch die erzielbare Positionsgenauigkeit ermittelt. Es wurden zunächst mit dem

Lasermikrobearbeitungssysteme für höchste Dynamik und Präzision

- Einsatz modernster Ultrakurzpulslaser
- Genauigkeit < 1 μm
- Minimalster Werkzeugdurchmesser
- Oberflächengüte bis Ra < 0,1 μm
- Keine Materialbeschränkung
- Höchste Präzision
- Unbegrenzte Werkzeugschärfe
- Kein Verschleiß
- Kräftefrei
- Geringe Produktions- & Folgekosten



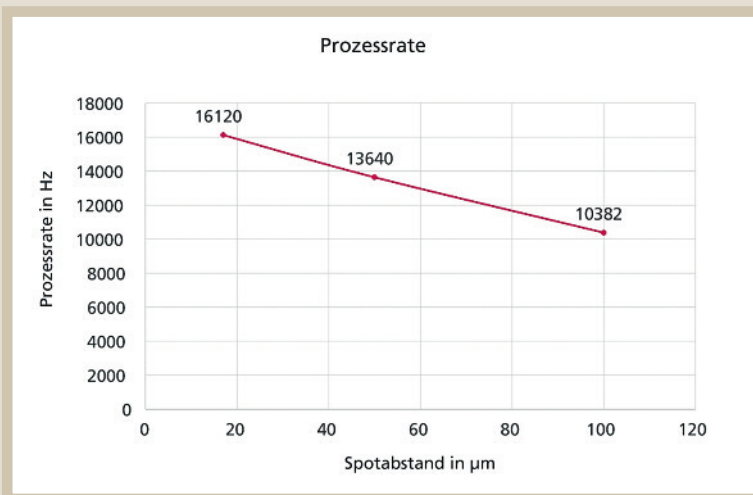


Bild 6. Markierrate eines Multistrahlsystems mit vier Teilstrahlen mit synchronisiertem Kreuztisch (XL Scan). Die Markierrate berücksichtigt eine Sprungverzögerung von 40 µs und eine Bohrzeit von 150 µs, um einen stabilen Hochrate-Bohrprozess nachzubilden

Einzelstrahl regelmäßige Punktraster mit 10 000 Punkten auf einem Siliziumwafer mit einer Markierrate von 2600 Hz hergestellt. Im Anschluss wurden die einzelnen Positionen der Punkte mit hoher Positionsaufösung (Messauflösung = 1 µm) vermessen und die Positionsfehler im Vergleich zu einem idealen Raster ermittelt. **Bild 5** zeigt, dass der 4-Sigma-Positionsfehler auch in der synchronisierten Bearbeitung weiter unterhalb von 3 µm bleibt.

Durch die Synchronisation zwischen Achssystem und Scanner kann der Geschwindigkeitsvorteil der Multistrahlbearbeitung mit dem MultiBeamScanner auch auf Hochrate-Prozesse ausgeweitet werden, also bei geringen Strukturichten und/oder kurzen Prozesszeiten pro Struktur. In einer weiteren Versuchsreihe mit dem Multistrahlsystem mit vier Laserstrahlen konnte die Rate für ein regelmäßiges Raster auf über 16 000 Markierungen pro Sekunde gesteigert werden (**Bild 6**).

Bohren mit variablem Multistrahlsystem

Mit der weiter zunehmenden Miniaturisierung von elektronischen Komponenten steigen auch die Strukturichten der Bauteile auf Schaltungsträgern an. Für das Laserbohren sogenannter High-Density-Leiterplatten entstehen hiermit neue Herausforderungen für die Lasertechnik. So müssen die Bohrraten gesteigert werden, damit die Prozesszeiten pro Leiterplatte gleichbleiben – und das bei möglichst gleichem Footprint der Anlage.

Der einfache Einsatz ist die Parallelisierung von Komponenten in der Anlage, also die Verwendung mehrerer Scansysteme und Laserstrahlquellen. Typischerweise führt das zu Problemen in Bezug auf die Zugänglichkeit des Werkstücks, sodass jeder Scanner einen separaten Bereich des Werkstücks bearbeiten muss. Wenn das Werkstück klein ist, fallen zusätzliche Kosten für Handlingsysteme an, da jeder Scanner ein anderes Werkstück bearbeitet. Weiterhin vergrößert sich der Footprint der Anlage.

Ein alternativer Ansatz ist die Verwendung eines flexiblen Multistrahlsystems, das in eine klassische Anlage zum Lasermikrobohren integriert werden kann. Im Rahmen des Multiscan-Projekts entwickeln Pulsar Photonics und Scanlab ein flexibles Multistrahlsystem mit schaltbaren Teilstrahlen. Der Ansatz besteht darin, einen Laserstrahl zunächst in vier Teilstrahlen aufzuteilen und in der Fokusebene des Scansystems eine Multispotverteilung in Form einer Würfel-4 zu erzeugen (**Bild 7**). Jeder der Teilstrahlen lässt sich nun zusätzlich zur Bewegung der gesamten Verteilung in einem kleinen Bereich (Durchmesser 0,6 mm) individuell positionieren und ein- oder ausschalten. Somit erhält man ein flexibles optisches Werkzeugsystem, das in der Lage ist, unterschiedliche Multistrahlsysteme zu erzeugen.

Am Beispiel des Laserbohrens von Leiterplatten mit hoher Strukturichte kann der neuartige Ansatz getestet werden. Eine Leiterplatte enthält eine Vielzahl von Via-Bohrungen, deren Anordnung zunächst nahezu frei ist und keinem regelmäßigen Raster

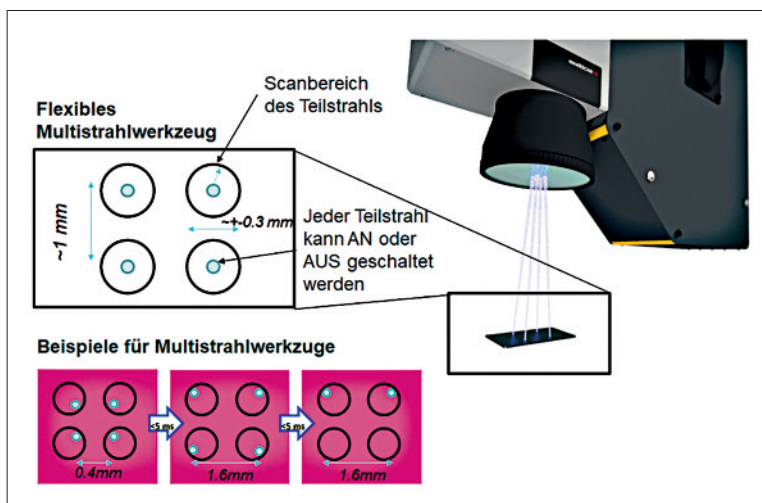
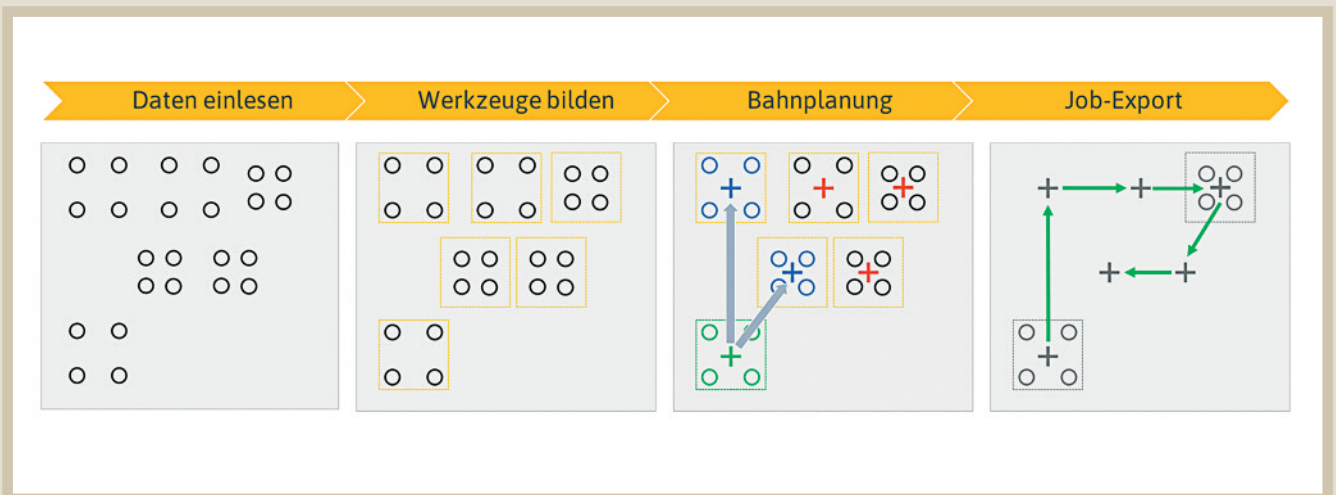


Bild 7. Multistrahlsystemparameter und Beispielformen von Multistrahlsystemen des aktuell entwickelten Multiscan-Moduls: Vier Einzelstrahlen werden im Nennabstand von circa 1 mm auf dem Werkstück positioniert. Die einzelnen Strahlen können in einem Radius von 0,3 mm manipuliert sowie ein- und ausgeschaltet werden. Die Brennweite beträgt 100 mm



entspricht. Dennoch findet man in Leiterplatten aufgrund von Designrichtlinien durchaus periodische Anordnungen von Via-Holes, die einem festen Bohrwerkzeug zugeordnet und somit gleichzeitig gebohrt werden können. Mittels einer gesondert entwickelten CAM-Kette lassen sich somit Multi-Strahlwerkzeuge finden, mit denen ein effizientes Bearbeitungsprogramm für das Multistrahlsystem berechnet werden kann (Bild 8).

Ausblick

Dank der Zusammenarbeit entsteht im Rahmen von Multiscan ein Multistrahlbohrsystem zum Perkussionsbohren von Werkstücken mit hoher Strukturdichte und Präzision, inklusive einer CAM-Software zur Berechnung von effizienten Bohrstrategien. Das Multistrahlsystem eignet sich allerdings auch für weitere Einsatzgebiete. So lässt sich durch die Möglichkeit, jeden Teilstrahl in einem kleinen Bereich zu scannen, auch die Verzeichnung des Multistrahlsystems kompensieren

(Bild 2b). Damit sind auch Laserprozesse denkbar, bei denen schnelles Scannen in einem großen Scannfeld notwendig ist, zum Beispiel beim Dicing von Halbleitern und Keramik oder beim Laser-Induced Forward Transfer (LIFT) für die Displayfertigung. Die kommenden Jahre werden zeigen, bei welchen Applikationen die größten Potenziale der Technologie zu heben sind.

MI110700

Die Autoren danken Patrick Gretzki und Olga Chemerenko von der Pulsar Photonics GmbH und Felix Lange von der SCANLAB GmbH für ihre Beiträge zu diesem Artikel.

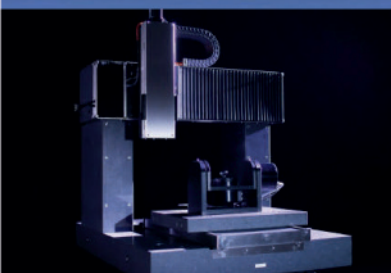
AUTOREN

Dr. STEPHAN EIFEL ist Geschäftsführer bei Pulsar Photonics in Herzogenrath; eifel@pulsar-photonics.de
 Dr. HOLGER SCHLÜTER ist Leiter der Geschäftsfeldentwicklung bei SCANLAB in München; info@scanlab.de

Bild 8. CAM-Kette zur Zerlegung eines Bohrmusters in einzelne Multi-Strahlwerkzeuge und anschließende Bahnplanung zur Berechnung eines effizienten Bearbeitungsjobs zum Laserbohren mit XL Scan

STANDARD IST NUR DIE PRÄZISION.

maßgeschneiderte Lösungen ■ hochpräzise Positioniersysteme ■ kundenorientierte Betreuung



Hohe Dynamik und maximale Präzision:
 BUSCH Microsystems - Genauigkeit. Dynamik. Laser.

- Wiederholbarkeit < 1 µm
- bestmögliche Systemgenauigkeit
- optimierte Abstimmung von Dynamik & Genauigkeit
- Synchronisation von Laser & Bewegungspfad
- Umhausung in entsprechender Laserschutzklasse
- EtherCAT® basierte Mehrachs-Bewegungssteuerung (bis zu 64 synchrone Achsen)