

Laserstrahlformung mit Akustooptik

Die Akustooptik ermöglicht eine **ULTRASCHNELLE** Laserstrahlformung von gepulsten und kontinuierlichen Lasern mit Leistungen von mehreren kW. Das Strahlprofil kann dabei mit einigen 100 kHz gewechselt werden.

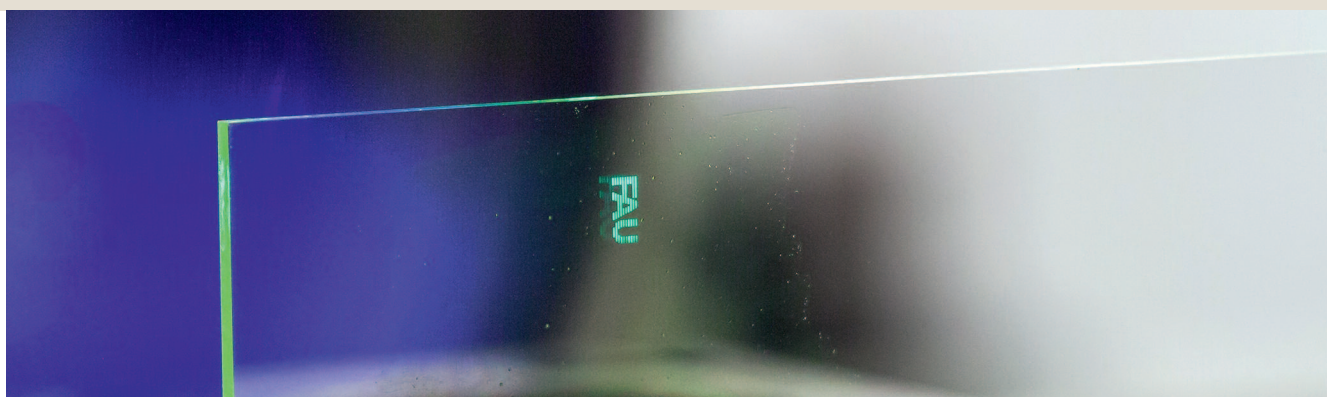


Bild 1. Strahlprofilformung mittels Akustooptik

JOHANNES STRAUSS, JOHANNES HEBERLE UND MICHAEL SCHMIDT

Die Laserstrahlquellenhersteller haben ihre Hausaufgaben gemacht. Nun liegt es an uns Systemintegratoren, die zur Verfügung stehende Leistung sinnvoll auf die Straße zu bringen.« So endete 2015 einer der Vorträge auf einem Fachseminar für Lasermaterialbearbeitung in Fürth. Diese Worte bringen den aktuellen Stand in der Lasermaterialbearbeitung mit ultrakurz gepulsten (UKP) Laserstrahlquellen auf den Punkt. Aktuelle Entwicklungen zeigen UKP-Laserstrahlquellen mit über 1 kW mittlerer Leistung. Allerdings lässt sich durch die eingesetzten Systemtechniken zur Laserstrahlableitung nur ein Bruchteil davon effektiv nutzen. Der Grund: Wegen des hohen Pulsüberlapps bei hohen Pulsrepetitionraten entsteht Wärmeakkumulation, so dass mit UKP-Lasern keine kalte Lasermaterialbearbeitung möglich ist.

Abhilfe hier schaffen Verfahren, die die Laserleistung schneller ver- und aufteilen. Somit kann die Akkumulation der Wärme vermieden werden und daraus ein höherer Nutzungsgrad der Laserstrahlquellen erfolgen. Dazu dienen: zur Laserstrahlableitung Galvanometerscanner, Piezoscanner, Polygonscanner, MOEMS-Scanner, elektrooptische und akustooptische Deflektoren sowie zur Laserstrahlformung MEMS-SLM, LCoS-SLM und DLP.

Erste Schritte mit Akustooptik

Im Jahr 2013 konnten Bechtold et al. zum ersten Mal zeigen, wie sich mit Akustooptik ein gepulster Laserstrahl gezielt holografisch formen lässt [1]. Seitdem wurde diese Technologie am Lehrstuhl für Photonische Technologien der FAU Erlangen-Nürnberg weiter erforscht und kann nun mit Partnern in die industrielle Fertigung überführt werden (**Bild 1**).

Der Vorteil der Akustooptik liegt in der hohen Umschaltrate und der Möglichkeit, mit hohen Laserleistungen zu arbeiten. So erreicht die Umschaltrate für ein System mit einer Apertur von 5 mm über 100 kHz. Die bestätigte und damit umformbare Leistung beträgt 3,5 kW (theoretisch: 6 kW). Diese Vorteile stehen folgenden Nachteilen gegenüber: geringe Beugungseffizienz sowie eingeschränktes Design der zu erreichenden Strahlprofile. Jedoch erweisen sich diese Nachteile oftmals nicht als hinderlich, wie im weiteren Text verdeutlicht wird.

> KONTAKT

UNIVERSITÄT
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Photonische Technologien LPT
 91052 Erlangen
 Tel. +49 9131 85-23241
www.lpt.fau.de

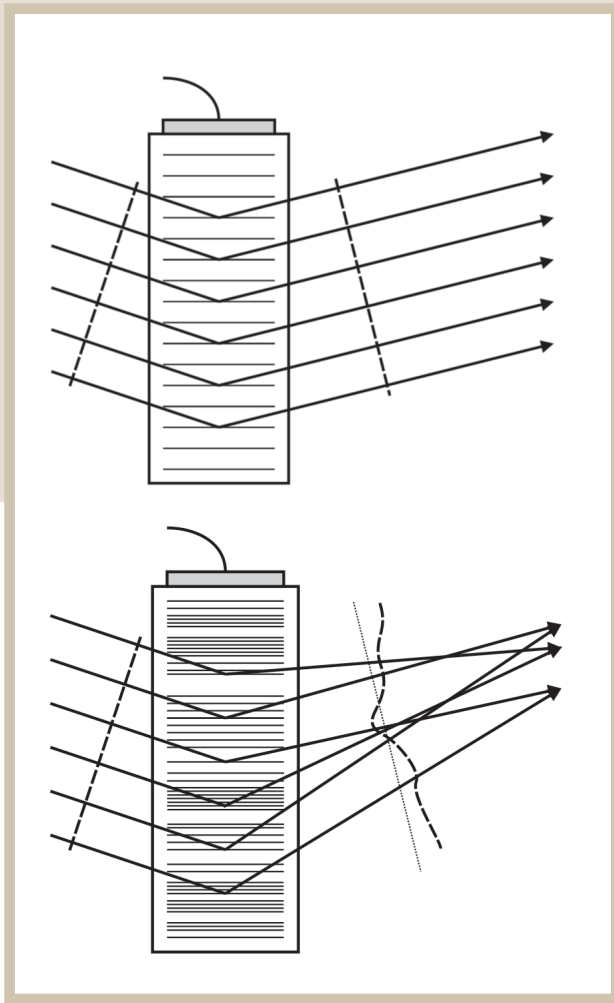


Bild 2. Akustooptische Ablenkung und Strahlformung

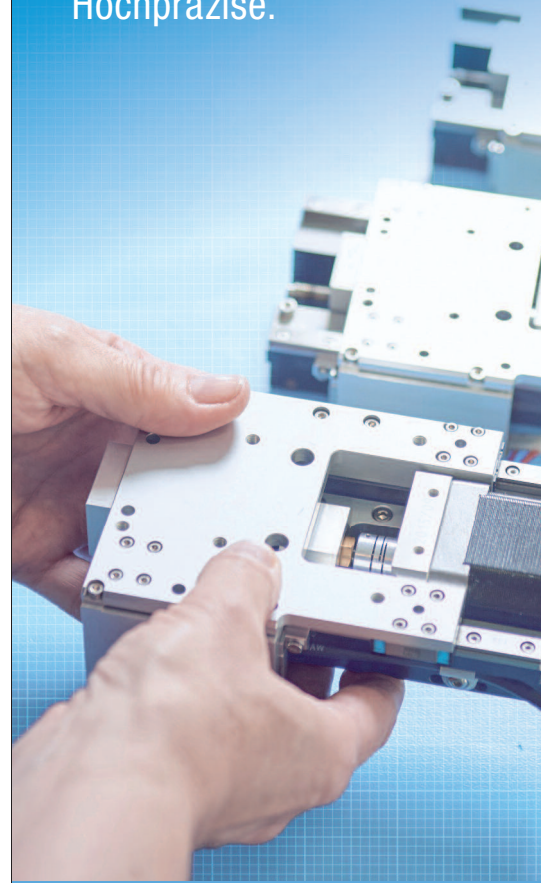
Prinzip der akustooptischen Strahlführung

Der aktuelle Stand der Technik setzt akustooptische Deflektoren mit harmonischen Schallfeldern ein, bei denen über viele Wellenzyklen die Frequenz gleich bleibt. Die akustooptische Strahlformung (AOS) beruht hingegen darauf, Schallwellen einzukoppeln, bei denen sich die Frequenz schnell ändert (**Bild 2**). Durch diese Signale mit lokal unterschiedlichen Frequenzen lässt sich der Laserstrahl örtlich unterschiedlich ablenken, womit die Energie des Laserstrahls räumlich umverteilt wird.

Eine zweidimensionale Strahlformung entsteht, wenn zwei zueinander orthogonale Achsen eine aufeinanderfolgende, eindimensionale Strahlformung bewirken. Dabei wird ein Laserstrahl erst in der einen, anschließend in der anderen Achse geformt. Die X-Achse formt einen Laserstrahl als Strichmuster, der ohne Interaktion am Ort der nullten Beugungsordnung landen würde (**Bild 3a**). Anschließend verteilt die zweite Achse, das heißt die Y-Achse, den Laserstrahl orthogonal zur X-Achse, wodurch die gewünschte zweidimensionale Strahlform entsteht. Durch diese nicht axiale Strahlformung weg von der nullten Beugungsordnung kann eine Filterung mittels Blende einfach umgesetzt werden, gegensätzlich zu einer Strahlformung zentral um die nullte Beugungsordnung, wie sie meist bei anderen strahlformenden Systemen auftritt.

Eine derartige Strahlbildung beschränkt das Design darauf, rechteckige Strukturen herzustellen. So kann zum Beispiel ein Barcode, der aus mehreren parallelen, gleichlangen Linien oder Balken besteht, in nur einem Profil erzeugt werden. Wie **Bild 3b** zeigt, muss eine Zielverteilung für beispielsweise die Buchstaben LPT hingegen aus einer Abfolge an rechteckigen Basisstrukturen zusammengesetzt werden.

**Wir entwickeln
Positionierlösungen.
Hochpräzise.**



Diese Fokuseinheit für Messoptiken ist eine unserer zahlreichen OEM-Entwicklungen, die hochpräzise Positionier- und Ablaufgenauigkeiten gewährleisten.

- **Innovative Konzepte**
- **Getestete Funktionsmuster**
- **Serienproduktion**

Für Ihre OEM-Entwicklung erreichen Sie unsere erfahrenen Experten unter +49 351 88585-0.

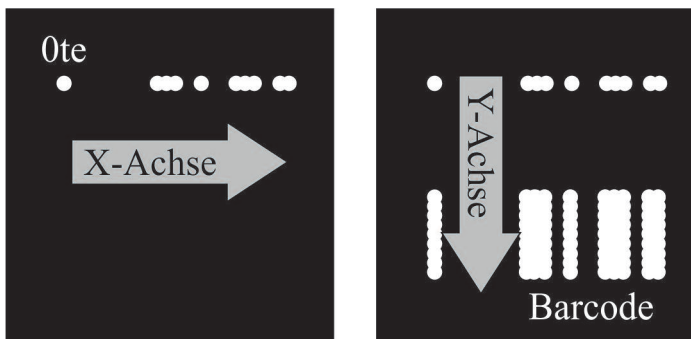


Bild 3a. Akustooptische Strahlformung durch subsequente Strahlformung zweier unabhängiger orthogonaler Achsen

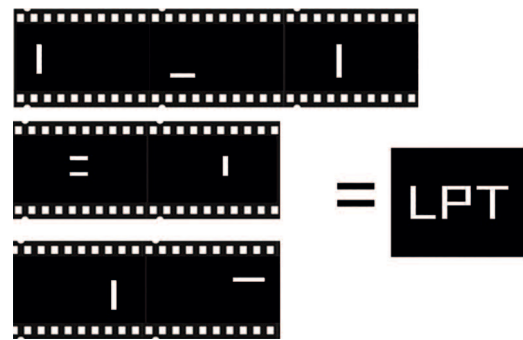
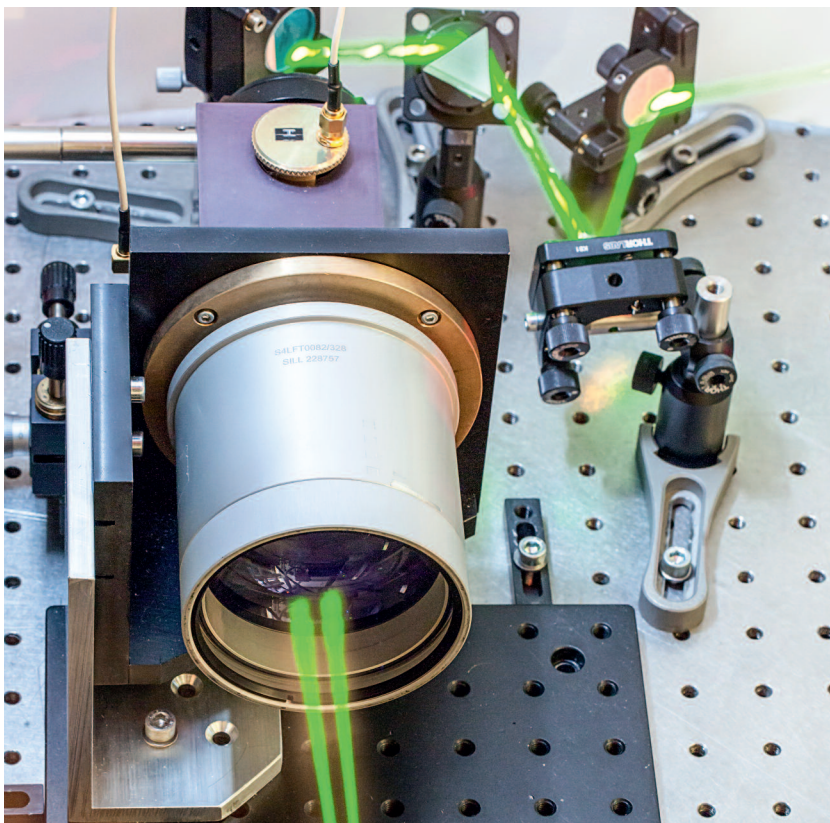


Bild 3b. Abfolge von sieben Profilen, um die Buchstaben LPT zu bilden

Synchronisierung der Strahlprofilformung

Um beide Profile nicht zu vermischen, muss die Strahlprofilformung beim Wechsel von einem zum anderen Profil synchronisiert werden. So ist für Puls wiederholraten, die die Umschaltrate der AOS nicht übersteigen, das Strahlprofil für jeden Puls änderbar. Emittiert der Laser bei einer höheren Puls wiederholrate, lässt sich das Strahlprofil pulsweise nicht mehr ändern, die Strahlprofilformung funktioniert dennoch. Denn die ortsinvariante Auslegung des akustischen Signals gewährleistet eine konstante Strahlprofilformung, obwohl die Schallwelle kontinuierlich durch den akustooptischen Kristall propagiert. Lediglich während des Wechsels der Strahlprofile tritt eine

Bild 4. Aufbau eines akustooptischen Strahlformers



Totzeit auf, die dem Inversen der Umschaltrate entspricht und durch die Apertur und die Schallgeschwindigkeit vorgegeben ist.

Dies erlaubt es der AOS, auch mit kontinuierlich emittierenden Lasern zu arbeiten. **Bild 4** zeigt den experimentellen Laboraufbau, mit dem die AOS-Technologie mit ultrakurzen Laserpulsen untersucht worden ist. Das dabei verwendete Prisma korrigiert die Dispersion.

Neuer Algorithmus

Der Lehrstuhl für Photonische Technologien hat für die AOS einen neuen Algorithmus zur Berechnung der notwendigen Schallsignale entwickelt. Die Berechnung basiert auf einem Iterativen Fourier-Transformations-Algorithmus (IFTA). Bei der AOS treten Interferenzmuster, sogenannte Speckle, im Strahlprofil auf, wie sie für die diffraktive Strahlformung typisch sind. Diese finden sich auch bei der Strahlprofilformung mit räumlichen Lichtmodulatoren auf Flüssigkristallbasis (LCoS-SLM).

Derartige Interferenzen lassen sich zwar verhindern, indem die Phase der Zielverteilung berücksichtigt wird, jedoch reduziert dies die Effizienz der Strahlformung stark. Es werden daher dieselben Strahlprofile mit unterschiedlichen Interferenzmustern gemittelt, um so ein homogenes Strahlprofil und damit eine homogene Strukturierung zu erhalten. Untersuchungen hierzu zeigen, dass für eine homogene Struktur mehr als 64 solcher statistisch alternativer Verteilungen gewählt werden sollten (**Bild 5**).

Effizienz und Strukturierung mit AOS

In der Mikroproduktionstechnik wird zuerst die relativ niedrige Beugungseffizienz von typischerweise 20 bis 30 Prozent hinderlich sein, um die AOS in industriellen Prozessen zu verwenden. Jedoch sind der Nutzungsgrad der ein-

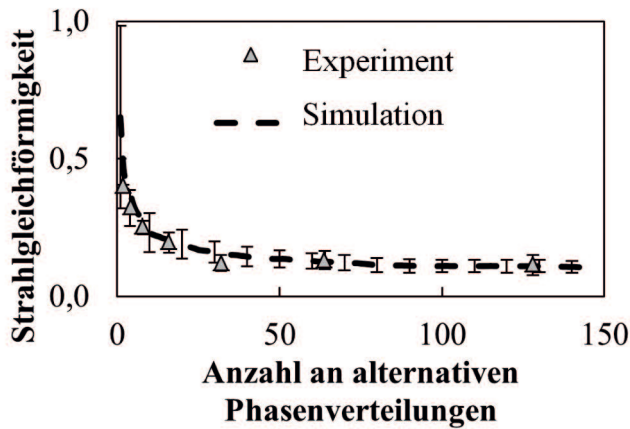
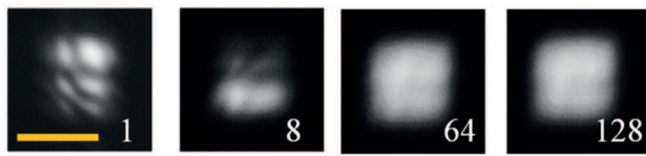


Bild 5. Überlagerung mehrerer Strahlprofile zu einem homogenen Strahlprofil. Die Länge des Skalierungsbalkens beträgt 75 μm

gesetzten Laserstrahlquelle und die Gesamteffizienz im Vergleich zu anderen Verfahren höher. Dies liegt zum einen an der geschilderten Mittelung vieler Strahlprofile, zum anderen an der hohen Umschalt-rate der AOS, wodurch jeder emittierte Laserpuls zur Strukturierung beiträgt. Ein Vergleich mit LCoS-SLM, bei denen eine Beugungseffizienz von 95 Prozent und die schnellste, je präsentierte Umschaltrate von 250 Hz angenommen wird, zeigt: Die AOS erzielt aufgrund der deutlich kürzeren Totzeiten bereits bei einer Anzahl von 18 notwendigen Umschaltvorgängen eine höhere Gesamteffizienz (Bilder 6 und 7).

Anwendungen der AOS

Aktuell sind die durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Grundlagen-

untersuchungen am LPT abgeschlossen. Die akustooptische Laserstrahlformung soll zusammen mit Kooperationspartnern der Industrie in einen wirtschaftlich rentablen Prozess überführt werden. Ihre Vorteile können dort genutzt werden, wo eine schnelle Fokussierung oder eine Korrektur von Aberrationen bei der Volumenmodifikation transparenter Werkstoffe notwendig ist, beispielsweise bei der Innenstrukturierung von Glas (Bild 8 links). Ferner eignet sich die AOS für Prozesse mit hohem Durchsatz, beispielsweise für die individuelle Produktmarkierung. Erste Demonstrationen zeigen eine Napfstrukturierung und die Markierung von Edelstahl (1.4301) (Bilder 7 und 8).

Mit einer kontinuierlich emittierenden Laserstrahlung kann die AOS Prozesse verbessern beziehungsweise erst ermöglichen. So bevorzugt das Fügen von Kunststoffen ein sogenanntes M-förmiges Strahlprofil, da dieses die Fügezone ohne Überhitzen



BESCHRIFTEN GRAVIEREN SCHNEIDEN

LASER
PLUS

DAS DOPPEL-PLUS FÜR UNSERE KUNDEN

Sie suchen nach einer Lösung zum Laserbeschriften oder-schneiden?

Wir entwickeln und liefern Laseranlagen für die industrielle Fertigung:

- Standard- und Individuallösungen
- Integrierte Daten- und Bauteillogistik
- Fokus auf Präzision und Wirtschaftlichkeit

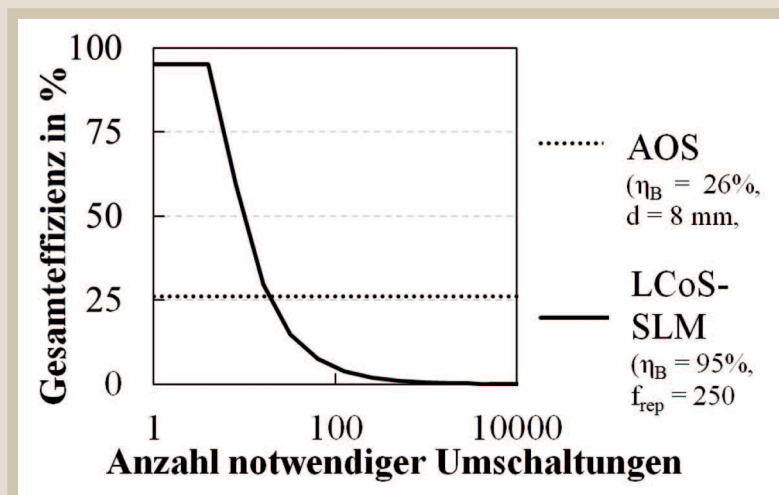


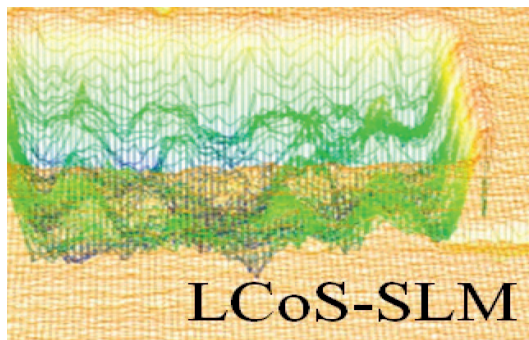
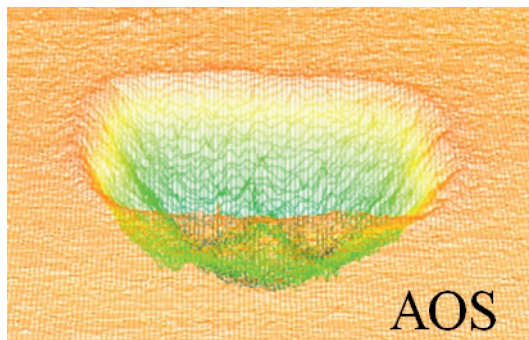
Bild 6. Gesamteffizienz der Strahlformung mit wechselnden Phasenverteilungen

gleichmäßig aufheizt und damit nicht zum Zersetzen der Fügepartner führt. Die dynamische Strahlführung eignet sich auch, wenn ein metallisches Gefüge bei

Laserstrahlschmelzprozessen oder -fügeprozessen untersucht und beeinflusst werden soll. Dabei empfiehlt sich die AOS hier gerade wegen deren hohen Zerstörschwelle, die eine dynamische Strahlprofilformung mit Multi-kW-Lasern ermöglicht. ■

MI110566

Bild 7. Oben und unten: $75 \times 75 \times 6 \mu\text{m}$ Napfstruktur mit 1000 Pulsen bei 50 kHz, 400 fs und 11 μJ



AUTOREN

Dipl.-Ing. JOHANNES STRAUSS ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Photonische Technologien der FAU Erlangen-Nürnberg;

johannes.strauss@lpt.uni-erlangen.de

Dipl.-Ing. (FH) JOHANNES HEBERLE ist Gruppenmanager Ultrakurzpulstechnologien am Lehrstuhl für Photonische Technologien;

johannes.heberle@lpt.uni-erlangen.de

Prof. Dr.-Ing. MICHAEL SCHMIDT ist Leiter des Lehrstuhls für Photonische Technologien;

michael.schmidt@lpt.uni-erlangen.de

LITERATUR

- 1 OPTICS EXPRESS 2013 | Vol. 21, No. 12 | DOI:10.1364/OE.21.014627

Bild 8. Links: akustooptische Glasinnenmarkierung in 73 ms, rechts: Oberflächenmarkierung von Edelstahl (1.4301), Pixelgröße 75 μm

