

Kaskadiertes optisches System: rotierendes diffraktives optisches Element und 2D-Galvanometerscanner - Design, Evaluierung und Anwendung

N.Grubert*, F.Lange**, A. Bonhoff*, C. Holly*,***

*RWTH Aachen University - Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS

** SCANLAB GmbH, Puchheim

***Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen

<mailto:nicole.grubert@tos.rwth-aachen.de>

Die Lasermaterialbearbeitung unter Verwendung eines diffraktiven optischen Elements (DOE) zur Strahlteilung und eines 2D-Galvanometerscanners zur Strahlableitung bringt optische Herausforderungen mit sich, wie etwa Verzerrungen der Intensitätsverteilung auf dem Werkstück. Im Folgenden wird der Korrektoreffekt der Kaskadierung eines rotierenden DOEs und eines Galvanometerscanners auf diese optischen Verzerrungen untersucht.

1 Einleitung

Anpassbare Intensitätsverteilungen und eine Parallelisierung von Laserstrahlen sind für eine zunehmende Anzahl an Laseranwendungen von Interesse. Die Parallelisierung und Ablenkung von Laserstrahlen basierend auf der Kombination eines strahlteilenden diffraktiven optischen Elements (DOEs) und eines 2D-Galvanometerscanners ist Stand der Technik [1]. Diese Kaskadierung stellt die Anwender jedoch vor Projektionsprobleme: Eine scannerbedingte Verzerrung der durch das DOE erzeugten Spotmatrix tritt in der Bearbeitungsebene auf und die Spotmatrix verdreht sich in Abhängigkeit vom Ablenkwinkel der Scannerspiegel. Übliche Aufbauten verwenden entweder statische Relay-Optiken oder zusätzliche Aktuatoren, um die Genauigkeit der Spotposition zu erhöhen. Diese beiden Ansätze werden im vorgeschlagenen kaskadierten optischen System mit einem dynamisch drehbaren DOE kombiniert. Die erreichbare Genauigkeit der Spot-Positionierung wird im Folgenden mit einem Simulationswerkzeug für eine typische optische Konfiguration für die Multispot-Lasermaterialbearbeitung bewertet. Darüber hinaus wird ein erster funktionsfähiger Prototyp mit einem rotierenden DOE demonstriert.

2 Kaskadiertes System

Das kaskadierte System für die Spot-Korrektur ist in Abb. 1 dargestellt. Ein DOE wird in einen Laserstrahl platziert. Die entstehende Spotmatrix hinter dem DOE entspricht den Beugungsordnungen des optischen Gitters des DOE. Die Gitterstruktur ist nicht radial periodisch, sodass eine mechanische Drehung des DOEs in einer Drehung der Beugungsordnungen um die nullte Ordnung resultiert. Anschließend wird die Spotmatrix mittels Relay-System auf den ersten Galvanometerscannerspiegel abgebildet, um die divergierenden Spotmatrix auf die Aperturen von Scanner und Spiegel zu begrenzen. Die Spotmatrix wird mithilfe der beiden

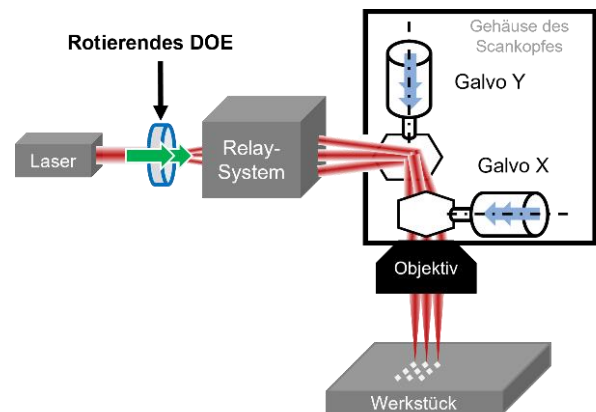


Abb. 1 Optisches Set-Up: Laserquelle, drehbares DOE, zwei Spiegel für den Galvanometerscankopf und ein Fokussierobjektiv.

Scannerspiegel über das Werkstück abgelenkt und durch ein Objektiv fokussiert.

3 Spot-Positionsfehler (SPE)

Beim Scannen eines Laserstrahls über ein Werkstück ist von entscheidender Bedeutung, dass die Positionen der Spots innerhalb der Matrix möglichst konstant bleiben. Um die Positionsabweichung des Spots $\delta_{i,j}$ in einer Matrix mit $n_i \times n_j$ bewerten zu können, wird der Spot-Positionsfehler für einen gegebenen Scanwinkel nach der folgenden Formel ermittelt [2]:

$$\delta_{i,j} = \sqrt{(x_{SOLL}^{i,j} - x_{REAL}^{i,j})^2 + (y_{SOLL}^{i,j} - y_{REAL}^{i,j})^2}$$

Die jeweilige Differenz zwischen realer und Soll-Position eines Spots wird ermittelt. Die Soll-Position entspricht hierbei den Knotenpunkten auf einem äquidistanten Gitter. Der SPE steigt mit Zunahme des Scanwinkels und des Spotabstands. Der Spotabstand wird einerseits durch den Separationswinkel des DOEs, andererseits durch das Vergrößerungsverhältnis der zwischen DOE und Scanner befindlichen Relay-Optik bestimmt.

4 Erzielte Spot-Korrektur

Der Korrektoreffekt der Kaskadierung wird in Zemax für eine 3x3-Spotmatrix mit dem Separationswinkel von 1° simuliert (siehe Abb. 2).

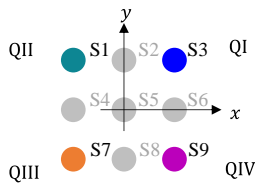


Abb. 2 Notation der 3x3-Spotmatrix in der Arbeitsebene.

Die maximale Auslenkung der Scanspiegel ist für den Arbeitsbereich auf Winkel zwischen -5° und $+5^\circ$ begrenzt. In Abb. 3 sind die Ergebnisse für die maximale Verschiebung der Matrix in den ersten *QI* und zweiten Quadranten *QII* des Koordinatensystems festgehalten.

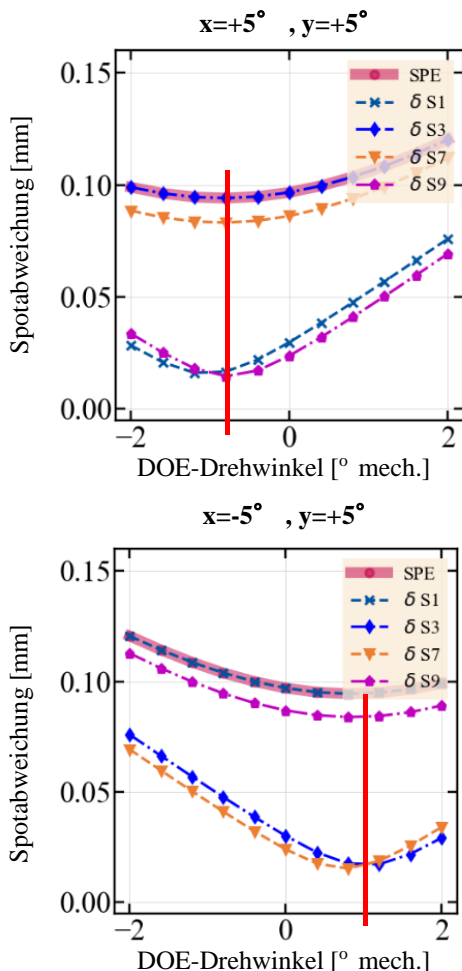


Abb. 3 SPE in Abhängigkeit vom DOE-Drehwinkel bei maximaler Verschiebung in *QI* und in *QII*. Die rote Vertikallinie markiert das jeweilige SPE-Minimum.

Nach Scan-Richtungswechsel von *QI* zu *QII* kann mit einer DOE-Drehung von -1° bis 1° die Abweichung der Spots, die orthogonal zur Scanrichtung liegen (in Abb.3. oben: S1 u. S9), um bis zu 80 % reduziert werden. Der maximale SPE reduziert sich um ca. 23% im Arbeitsbereich -1° bis 1° .

5 DrehOE

Für die Umsetzung wird eine DOE-Halterung benötigt, welche eine Rotation um die optische Achse ermöglicht, und gleichzeitig eine freie Apertur für den Laserstrahl und eine Ansteuerbarkeit wie der 2D-Galvanometerscanner aufweist. Hierzu wird die galvanometerbasierte Halterung aus Abb. 5 verwendet.

Die offene dreiarmlige Konstruktion erlaubt den Ein-

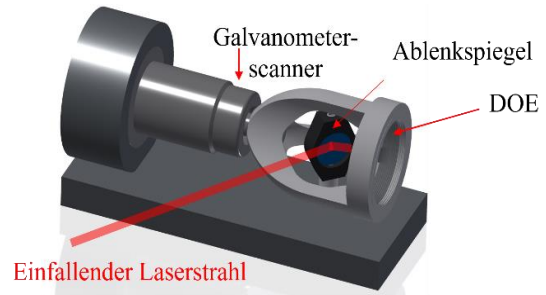


Abb. 5 Das DrehOE besteht aus einem 1D-Galvanometerscanner, einem statischen Ablenkspiegel, der DOE-Halterung und dem DOE.

fall des Lasers sowie die Positionierung des Ablenkspiegels im Inneren. Limitiert durch die Konstruktion ist eine Drehung von $\pm 10^\circ$ erreichbar. Zur Steuerung und Rotation wird die Halterung auf die Welle des Galvanometerscanners geklemmt. Abhängig vom Design des DOEs können weitere Anwendungsszenarien, wie das Drehen von Spotlinien oder von anderen Strahlformen, identifiziert werden.

6 Fazit

Die scannerbasierte Verzeichnung einer Spotmatrix kann mittels Kaskadierung aus rotierendem DOE und Galvanometerscanner um bis zu 80 % kompensiert werden. Das Konzept wird mit einer galvanometerbasierten Halterung – dem DrehOE – umgesetzt. Das kaskadierte rotierende DOE bietet somit erhebliches Potenzial für eine flexible Laserstrahlbearbeitung

7 Danksagung

Wir bedanken uns für die Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen des "Forschungscampus Digital Photonic Production", FKZ-Förderung Nr. 13N15423.

Literaturverzeichnis

- [1] O. Hofmann, J. Stollenwerk und P. Loosen, „Design of multi-beam optics for high throughput parallel processing“, *Journal of Laser Applications* **32**(1) (2020).
- [2] L. Büsing, „Optical systems for high-precision, scanner-based multi-beam processing with ultrashort laser pulses“. PhD Thesis, Chair for Technology of Optical Systems, RWTH Aachen University, Aachen, 2016.