

Multistrahlmultiplexion mit einzeln adressierbaren Teilstrahlen für Hochleistungs-UKP-Laserstrahlung

M. Hesker¹, J. Stollenwerk^{1, 2}, C. Holly^{1, 2}

¹Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme, RWTH Aachen University

²Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen



Die stetig wachsende Leistung ultrakurzgepulster Laserstrahlquellen übersteigt die werkstoffbedingten Prozessgrenzen, wodurch die verfügbare Leistung nicht vollständig genutzt werden kann. Als Lösungsansatz wird hier ein optisches System zur Aufteilung der Laserleistung in Teilstrahlen vorgestellt, das sich durch 64 einzeln schaltbare Teilstrahlen auszeichnet. Dadurch wird die Erzeugung beliebiger Oberflächenstrukturen auf dem Werkstück nach dem Prinzip des Punkt-Matrix-Druckers ermöglicht. Erst die Verwendung neuartiger Prismen- und Linsen-Arrays erlaubt die verzeichnungsfreie Erzeugung unabhängig ausgedehnter Spotmatrizen.

Strahlmatrix mit individuell schaltbaren Teilstrahlen

Die wesentlichen Komponenten der realisierten Multistrahloptik sind (s. Abb. 1):

- Diffraktives optisches Element (DOE) zur Erzeugung einer 8x8 Strahlmatrix
- Acht mehrkanalige akusto-optische Modulatoren (AOM) zum individuellen Schalten der Teilstrahlen durch schnelles Ablenken
- 2D-Galvanometerscanner zur Positionierung der Spotmatrix
- Telezentrische F-Theta-Planfeldoptik zur Fokussierung

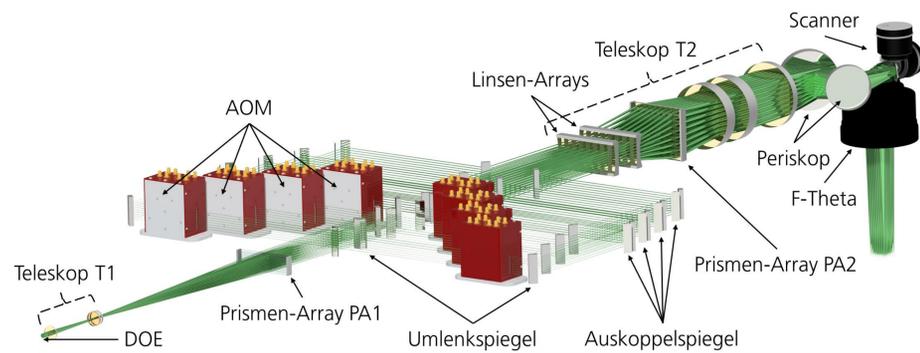


Abb. 1: 8x8-Multistrahloptik mit 64 einzeln modulierbaren Teilstrahlen

„Relay“-Optik vs. Prismen-Array

Umfangreiche Simulationen zeigen für den gemäß dem Stand der Technik zur Strahlparallelisierung häufig verwendeten **Relay-Optik-Ansatz** folgende Nachteile:

- Parallelisierung der Teilstrahlen erzeugt divergente Strahlen mit Zwischenfoki
 - geringe Effizienz und längere Schaltzeit der AOM
- Relay-Linsendurchmesser wird durch die Breite der acht AOM bestimmt
 - hohe Herstellungskosten und aufwändige Handhabung
- Größe und Form der Spotmatrix hängt von den AOM und der F-Theta ab
 - verringert die Effizienz und Qualität des Bearbeitungsprozesses

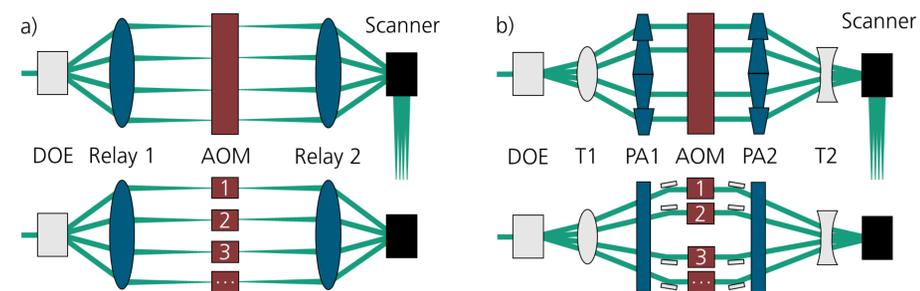


Abb. 2: Prinzipskizze des optischen Systems: a) Relay-Multistrahloptik, b) Prismen-Array-Multistrahloptik, oben: Draufsicht, unten: Seitenansicht

Durch das Aufeinanderkitten von acht trapezförmigen Prismen (Abb. 3a, 4), mit denen jeweils acht Strahlen parallel umgelenkt werden, entsteht ein **Prismen-Array** mit den wesentlichen Vorteilen:

- Kompakte Bauweise des optischen Systems
 - flexible Anordnung der acht AOM
 - kleinere optische Komponenten erforderlich
- Reduzierung nicht notwendiger Freiheitsgrade
 - erleichterte Justage durch unempfindlichere Toleranzen
- Gezielte Erzeugung selektiver Freiheitsgrade
 - unabhängig festlegbare Ausdehnung und Anordnung der Spotmatrix
- Verbesserung der optischen Gesamteffizienz und Prozessqualität
 - größere Beugungseffizienz durch kollimierte Teilstrahlen in den AOM
 - verkürzte Schaltzeit der AOM durch minimale Teilstrahldurchmesser

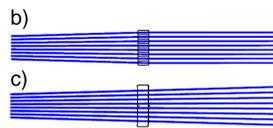
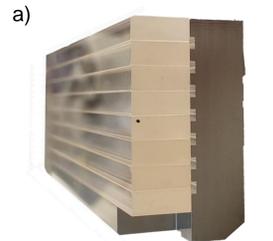


Abb. 3: Prismen-Array 1, a) in Fertigungsschablone, b) Seitenansicht, c) Draufsicht

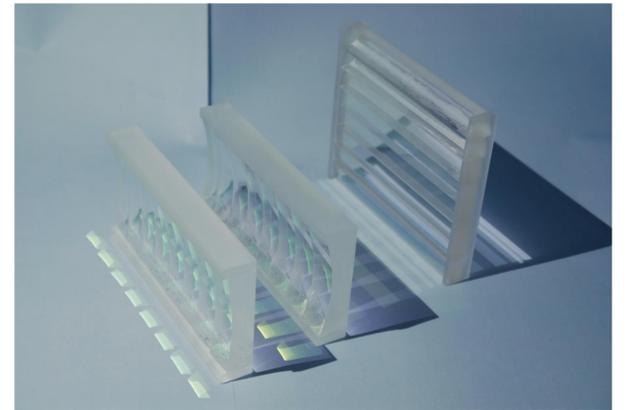


Abb. 4: Von links nach rechts: Linsen-Array 1, Linsen-Array 2, Prismen-Array 2

Linsen-Array

Zur Erzeugung einer beugungsbegrenzten, äquidistanten Spotmatrix in den Abmaßen von 32x32 mm² sind vergleichbar zu dem Prismen-Array aufgebaute Linsen-Arrays notwendig (Abb. 4, 5). Hierzu wird aus acht identisch gefertigten Linsen, jeweils ein rechteckiger Streifen mit individueller Apertur herausgetrennt und diese zu einer optischen Komponente mit neuen Eigenschaften verkittet (Abb. 6):

- Zusätzlich erzeugter Freiheitsgrad zur Korrektur von Bildfehlern
- Kompakte optische Einzelkomponente (ca. 100 x 60 mm)
- Reduzierte Herstellungskosten durch Serienfertigung identischer Rohlinsen

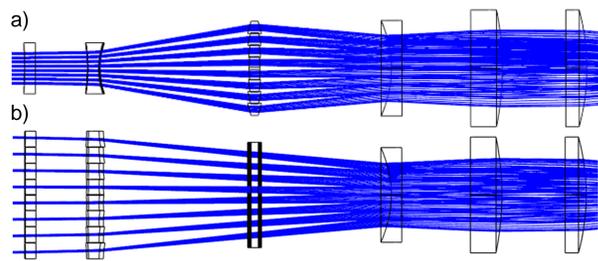


Abb. 5: Teleskop 2 bestehend aus Linsen-Array 1, 2, Prismen-Array 2, sowie drei Linsen. a) Seitenansicht, b) Draufsicht

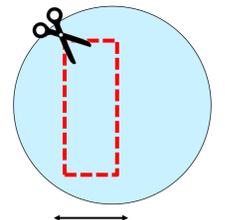


Abb. 6: Fertigungsprinzip der Linsen-Arrays

8x8-Spotmatrix: Simulationsergebnisse

- Spotelliptizität aufgrund dispersiver Effekte unter 20%
- Vollständige Korrektur der Verzeichnung im nicht ausgelenkten Fall

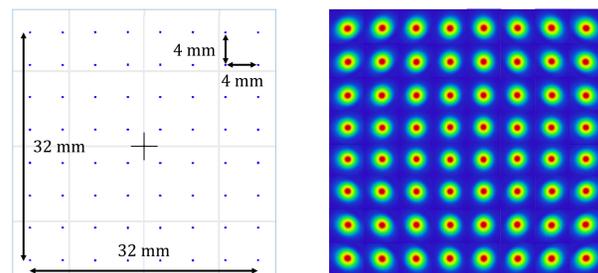
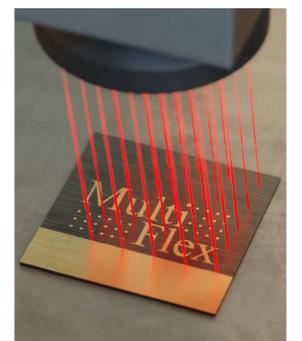


Abb. 7: Links: äquidistante 8x8-Spotmatrix; rechts: nicht maßstäbliche Anordnung der Intensitätsverteilungen innerhalb der Fokusebene



Spezifikationen

| | |
|------------------|----------------------------------|
| Wellenlänge | 1030 nm |
| Leistung | 1000 W |
| Pulsenergie | 1,25 mJ (Einzel) 5 mJ (Burst) |
| Pulsdauer | 800 fs |
| Kanalabstand AOM | 4 mm |
| Spotabstand | 4 mm |
| Spotgröße | 35 µm |

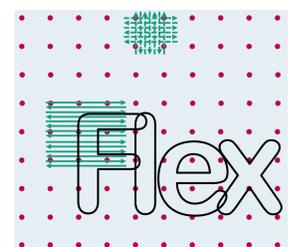


Abb. 8: 3D-Oberflächenstrukturierung nach dem Prinzip des Punkt-Matrix-Druckers: oben: Visualisierung des Prozesses, unten: Scan-Trajektorien

Unterstützung im Rahmen des European Union's Horizon 2020 research and innovation program unter der grant agreement No. 825201.