

Flexibles optisches Modul mit zwei kaskadierten Phasenmodulatoren (LCoS-SLM) für die Hochleistungs-Ultrakurzpuls-Lasermaterialbearbeitung

Mario Hesker*, Annika Bonhoff*, Carlo Holly* **

*Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme, RWTH Aachen University

**Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen

<mailto:mario.hesker@tos.rwth-aachen.de>

Durch eine Kaskadierung von zwei, zur dynamischen Strahlformung von 700 W geeigneten Phasenmodulatoren (LCoS-SLM) wird die Erzeugung von nahezu beliebigen, komplexen und gleichzeitig robusten Strahlprofilen erreicht. Ein kompaktes optomechanisches Design mit standardisierten Schnittstellen und breiter Integrationskompatibilität ermöglicht dabei eine flexible Einsetzbarkeit.

1 Motivation

In der Ultrakurzpuls (UKP)-Lasermaterialbearbeitung wird in der Regel für jeden Verfahrensschritt ein dediziert ausgelegtes optomechanisches System benötigt, um die stetig steigenden Anforderungen von Ablations- und Umschmelzprozessen zu erfüllen. Viele dieser Prozesse können stattdessen mittels dynamischer Strahlformung in einem optischen Modul kombiniert werden, indem durch Kaskadierung zweier LCoS-SLM (*Hamamatsu X15223-03C*) die gezielte Einstellung von Amplitude und Phase ermöglicht wird [1]. Allerdings existiert derzeit noch kein etabliertes Konzept zur Integration der LCoS-SLM in ein flexibel einsetzbares optomechanisches System. Das im Folgenden vorgestellte optische Modul soll zudem kompatibel mit verschiedenen Maschinenarchitekturen, Strahlquellen und Strahlablenksystemen sein.

2 Optikkonzept und optische Funktionen

Um eine Kompatibilität des optischen Moduls mit gängigen Strahlquellen zu erzeugen, wird der Laserstrahl mit einem variablen Strahlaufler auf die Apertur von LCoS 1 angepasst (s. Abb. 1 oben links). Zur Maximierung der Beugungseffizienz wird anschließend die Polarisationsrichtung mit einer $\lambda/2$ -Verzögerungsplatte eingestellt. Da sich in Abhängigkeit der Maschinenarchitektur die relative Position des optischen Moduls zu Strahlquelle ändern kann, werden Position und Richtung des Laserstrahl am Moduleingang durch eine aktive Strahlstabilisierung konstant gehalten. Diese besteht aus zwei digital verstellbaren Spiegeln sowie zwei Kameras. Der in das optische Modul eingekoppelte Strahl propagiert anschließend nacheinander über zwei Umlenkspiegel auf LCoS 1 und 2 und wird dann über zwei weitere Umlenkspiegel in den Scanner sowie F-Theta-Optik eingekoppelt. Mit einer vorgelagerten und wahlweise zuschaltbaren $\lambda/4$ -Verzögerungsplatte kann zudem der Laserstrahl zirkular polarisiert werden.

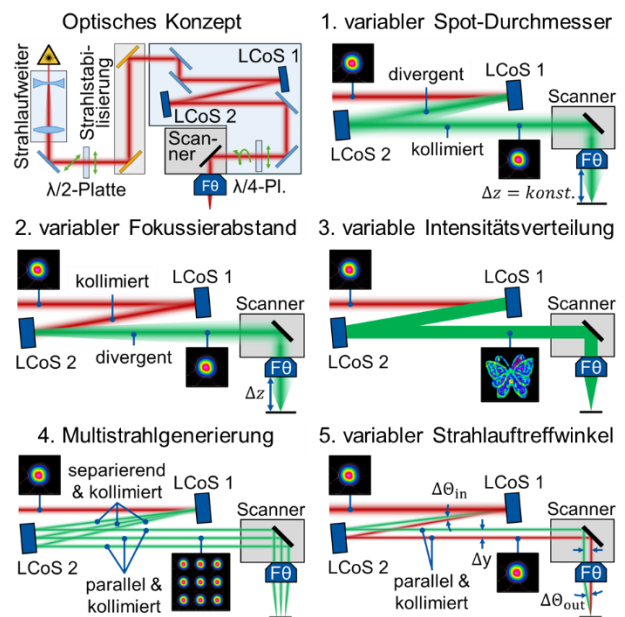


Abb. 1 Optisches Konzept mit zwei LCoS-SLM sowie optische Funktionen (1-5).

Durch die simultane Anpassung von Amplitude und Phase des Laserstrahls können mit diesem optischen Konzept die in Abb. 1 aufgeführten fünf Funktionen realisiert werden [2].

3 Optomechanisches Konzept

Um eine hohe Dynamik zu erreichen und Maschinenanforderungen von z.B. Verfahrachsen oder einem Roboterarm zu reduzieren, wird der Schwerpunkt des optischen Moduls zentral und näherungsweise unabhängig des verbauten Scanners ausgelegt. Der Scanner ist außerhalb an einer Adapterpatte angeflanscht, sodass ein flexibler Austausch möglich ist. Durch die in Abb. 2 dargestellte Komponentenanzordnung, mit einem sich kreuzenden Strahlengang wird die Größe des optischen Moduls und damit insgesamt das Massenträgheitsmoment minimiert. Die Gesamtmasse mit Scanner (*Scanlab intelliScan30*) und inklusive Einhausung beträgt weniger als 25 kg.

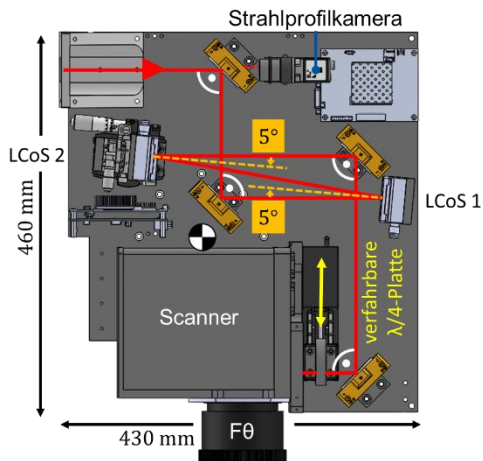


Abb. 2 Optomechanisches Konzept mit rot eingezeichnetem Strahlengang.

Zur Effizienzmaximierung werden Wellenlängenoptimierte dielektrische Spiegel verbaut, die zur orthogonalen Strahlumlenkung verwendet werden. Da dadurch eine Polarisationsbeeinflussung ausgeschlossen wird, kann zudem ein Einfluss auf die Beugungseffizienz der LCoSi verhindert werden.

Durch den sich kreuzenden Strahlengang kann der Einfallswinkel auf die LCoSi auf 5° und damit Depolarisationseffekte reduziert werden, sodass ein größerer dynamischer Phasenverschiebungsbereich zur Strahlformung erhalten bleibt [3].

Zur Vereinfachung der Justierbarkeit sind alle Stellschrauben durch Wartungsöffnungen im eingebauten Zustand von oben (Abb. 2, Draufsicht) erreichbar. Gleichzeitig werden die Justagefreiheitsgrade reduziert, indem alle Komponenten, bis auf LCoS 2 über Passstifte positioniert werden.

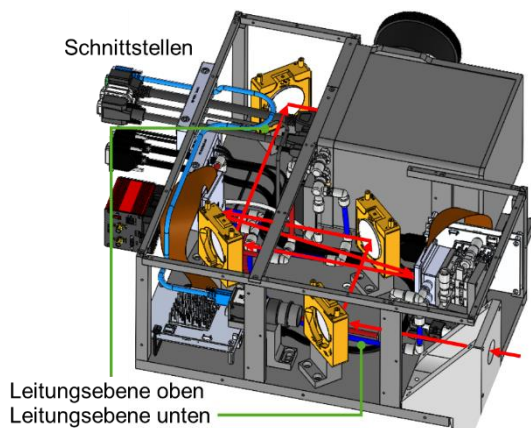


Abb. 3 Optomechanisches Konzept mit rot eingezeichnetem Strahlengang und Wartungsöffnungen.

Die Versorgungsleitungen werden auf zwei Ebenen unter und über dem Strahlengang geführt und einseitig aus dem Gehäuse herausgeführt (s. Abb. 3). Standardisierte Schnittstellen ermöglichen dabei eine Plug & Play-Maschinenintegration, um insgesamt die Maschinenumrüstzeit zu reduzieren.

4 Charakterisierung

Das optische Modul wird in Kombination mit einem F-Theta-Objektiv (*Scanlab f=100-1064-15*) vermessen. Als Strahlquelle wird ein *LightConversion Carbide CB3* (1070 nm, 500 fs, 122 W) verwendet. Die maximale optische Effizienz ergibt sich ohne Strahlformung und berechnet sich aus dem Verhältnis der Ein- und Ausgangsleistung zu 86,9%. Die Strahlelliptizität im Fokus beträgt in Relation zum Eingangsstrahl 3,1%. Die lineare Eingangspolarisation bleibt dabei vollständig erhalten und wird primär aufgrund der Scanner-Spiegelanstellung um 17,3° gedreht. Die Strahlformungsfähigkeit wird anhand der in Abb. 4 dargestellten beliebigen Testintensitätsverteilung verifiziert.

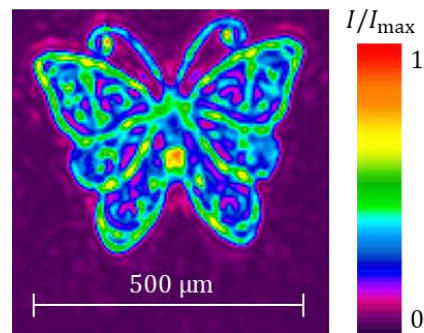


Abb. 4 Beliebige Testintensitätsverteilung im Fokus.

5 Danksagung

Dieses Projekt wurde durch das Forschungs- und Innovationsprogramm Horizon Europe der Europäischen Union unter der Finanzhilfvereinbarung Nr. 101057457 (METAMORPHA) gefördert.



Funded by the European Union

Literatur

- [1] Zhu, L. et. al., "Arbitrary manipulation of spatial amplitude and phase using phase-only spatial light modulators," *Scientific reports*, Vol. 4, 2014, p. 7441. doi: 10.1038/srep07441.
- [2] Hesker, M. et. al, "Auf zwei kaskadierten Phasenmodulatoren basierendes optisches Modul für die flexible Lasermaterialbearbeitung," *DGaO-Proceedings*, 1 Jan. 2024, URL: urn:nbn:de:0287-2024-A004-1.
- [3] Lizana, A. et. al., "Characterization and analysis of LCoS displays: application to diffractive optics," *Proceedings of SPIE*, Vol. 7442, 2009, doi: 10.1117/12.829221.