

# Apparat zur automatisierten Justage optischer Systeme

G. König\*, M. Grochowski\*\*, M. Eckert\*, F. Jakobczak\*\*, J. Stollenwerk\*, S. Kowalewski\*\*, P. Loosen\*

\*Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS, RWTH Aachen

\*\*Lehrstuhl Informatik 11 - Embedded Software, RWTH Aachen

mailto: georg.koenig@tos.rwth-aachen.de

Zur Reduktion der für die Justage optischer Systeme benötigten Zeit wurde ein Apparat zur automatisierten Justage, bestehend aus einer flexiblen Linsenhalterung, sowie der Justagestation, entwickelt. Die Position der optischen Elemente wird durch die Vermessung eines Referenzlaserstrahls geregelt.

## 1 Einführung

Nach der Auslegung eines optischen Systems und der Konstruktion der Aufnahmen der optischen Elemente ist es bei vielen optischen Systemen nötig, die optischen Elemente beim Zusammenbau des optischen Systems zu justieren. Dieser Schritt kann, je nach Komplexität des optischen Systems, einen merklichen Teil des Zeitbudgets der Entwicklung ausmachen. Neben der Justage bei der Inbetriebnahme muss dieser Schritt, beispielsweise bei einer Veränderung der Eigenschaften des optischen Systems, ggf. mehrfach wiederholt werden. Die automatisierte Justage optischer Systeme erfolgt bislang vor allem bei Systemen mit großen Stückzahlen.

## 2 Ansatz

Mit Hilfe geeigneter Sensoren lässt sich die Änderung der Wellenfront vermessen, die ein optisches System in den Strahlengang einbringt. Die inverse Berechnung der Position der optischen Elemente basierend auf diesen Messungen ist Gegenstand aktueller Forschung [1,2]. Die Automatisierung der Justage setzt, neben der Berechnung der Positionsdifferenzen der optischen Elemente, jedoch auch geeignete Aktorik voraus. Da jedoch justier- und ansteuerbare Halterungen für optische Elemente, im Vergleich zu nichtansteuerbaren Halterungen, kostspielig sind, lohnt sich deren Einsatz lediglich in komplexen optischen Systemen. Um dieses Dilemma zu vermeiden, wurde eine Aufnahme für Linsen mit bis zu 2 Zoll großen Durchmessern entwickelt, deren Abstände durch eine ebenfalls neu entwickelte Justagestation eingestellt werden können. Nach dem Einstellen der Linsenabstände kann die Linsenaufnahme von der Justagestation getrennt werden, sodass die Aktoren nicht im optischen System verbleiben. So können beliebig viele optische Systeme mit Hilfe einer einzelnen Justagestation justiert werden. Die Automatisierung der Justage hat neben der Verkürzung der Justagedauer zur Folge, dass auch nichtfachkundige Personen die Eigenschaften optischer Systeme modifizieren können.

In Kombination mit der Software zur automatisierten Auslegung optischer Systeme aus Katalogkomponenten TRACY [3] wird die Entwicklung individueller optischer Systeme auf diese Weise stark vereinfacht.

## 3 Umsetzung

### 3.1 Mechanische Konstruktion

Die Linsenaufnahme wurde für drei Linsen mit bis zu 2 Zoll großen Durchmessern entwickelt, da sich mit drei Linsen variablen Abstands bereits einfache optische Systeme wie Teleskope oder achromatische Objektive herstellen lassen. Die Linsendurchmesser wurden auf maximal 2 Zoll begrenzt, da sich im Sortiment der Hersteller von Katalogkomponenten nur vereinzelt größere Komponenten finden. In Abbildung 1 ist die Linsenaufnahme im Schnitt dargestellt. Die erste Linse des optischen Systems (1) wird starr verbaut, während die beiden anderen Linsen (2 und 3) beweglich gelagert werden. Die beiden beweglichen Linsen werden durch Vorschraubringe in beweglichen Fassungen fixiert, welche durch Gleitlager innerhalb der Linsenaufnahme beweglich gelagert und in zwei gegenüberliegenden Nuten geführt werden. Um die Linsenaufnahme für möglichst viele Linsen nutzen zu können, wurden Schlitzen mit Aufnahmen sowohl für 1 Zoll als auch für 2 Zollgroße Linsen konstruiert und gefertigt. Mit einer Hülse (4) kann das System strahlungssicher verschlossen werden.

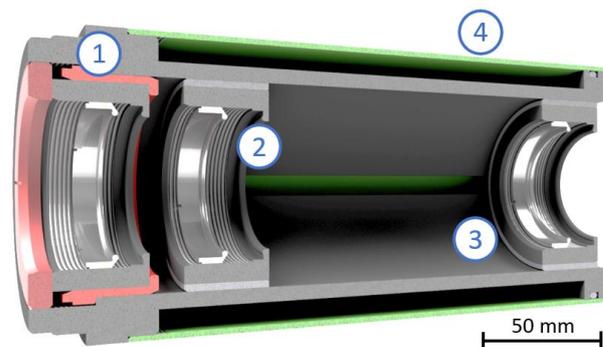
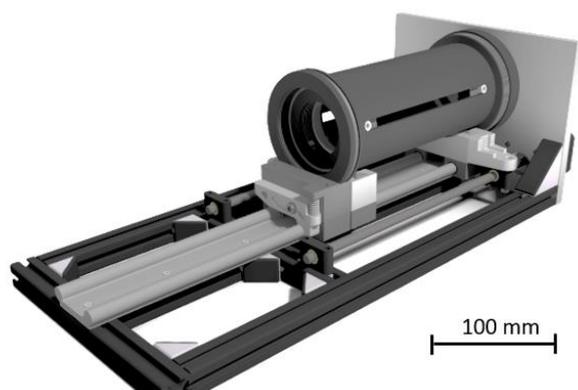


Abb. 1 Schnittdarstellung der Linsenaufnahme

Zur automatischen Einstellung der Linsenabstände wurde eine Justagestation entwickelt. Die Justagestation besteht, in erster Linie, aus einer Aufnahme in welcher die Linsenaufnahme fixiert werden kann und zwei Schlitten, welche jeweils durch eine Schrittmotor-Gewindespindel-Kombination angetrieben werden. Durch eine Drehung der Linsenaufnahme können die Linsenfassung und die Schlitten formschlüssig verbunden bzw. getrennt werden. Die Justagestation ist in Abbildung 2 dargestellt.



**Abb. 2** Linsenaufnahme und Justagestation

### 3.2 Ansteuerung und Regelung

Um die Justagestation möglichst wirtschaftlich zu gestalten, wurde ein Ansatz gewählt, bei dem die Präzision der Justage sich nicht aus der Einzelpräzision der Bauteile, sondern aus einer Regelung speist. Hierdurch war es möglich, kostengünstige Schrittmotoren und 3D-gedruckte Bauteile zu verwenden. Für die Regelung der Justagestation wurde eine Messstrecke aufgebaut. Diese besteht aus einem Diodenlaser mit 650 nm Wellenlänge und 1 mW Leistung (Lasertuchs-LFD650-1-3(8x23)), dessen Laserstrahl das optische System durchläuft, sowie einer monochromen CMOS Kamera mit einer Auflösung von 1280 x 1024 Pixeln (XIMEA-MQ013MG-E2), welche das Intensitätsprofil des Laserstrahls nach dem Durchlaufen des optischen Systems vermisst. Um die Justagestation möglichst portabel zu halten, wurde eine kompakte Einheit zur Ansteuerung und Regelung, bestehend aus einem Raspberry Pi 3B+ und einer selbstentwickelten Hutschiene zur Ansteuerung der Schrittmotoren, sowie zur Auswertung der Sensoren für die initialen Referenzierung der bewegten Schlitten, entwickelt. Die Ermittlung des Durchmessers des Laserstrahls auf dem CMOS-Sensor erfolgt mittels einer Bildauswertung auf dem Prozessor des Raspberry Pi. In Abbildung 3 sind drei Schritte dieser Auswertung dargestellt. Für die Bedienung der Justagestation wurde eine grafische Benutzeroberfläche implementiert, in welcher die gewünschten Linsenabstände, sowie der erwartete Durchmesser des Messlasers eingetragen werden. Durch eine Interpolation der benötigten Schritte des Schrittmotors zur Erreichung der

gewünschten Positionen und deren Ausführung werden die beiden beweglichen Linsen in die Ausgangsstellung für die Regelung gebracht. Da die Positionen der beiden beweglichen Linsen als ein 2D-Optimierungsraum verstanden werden können, wird der gewünschte Durchmesser des Messlasers in einem Gradientenverfahren eingestellt. Hierfür werden die beiden beweglichen Linsen bei jeder Iteration von ihrer Ursprungsposition aus jeweils vor und zurück verfahren. Anschließend wird ausgewertet, welche der Bewegungen die Abweichung des Durchmessers des Messlasers auf der CMOS-Kamera von dem gewünschten Durchmesser verringert.



**Abb. 3** Links: Intensitätsverteilung des Diodenlasers auf der Messkamera; Mitte: Anpassung des Kontrasts; Rechts: Erfassung des Durchmessers (roter Ring)

## 4 Ausblick

Zunächst wird untersucht, inwiefern sich die erwartete Präzision der Justage in Versuchen reproduzieren lässt. Angedacht ist eine Speicherung der durchgeführten Iterationsschritte. Aus einer Auswertung dieser Daten könnten sich interessante Erkenntnisse, z.B. über systematische Fehler bei der Einstellung der initialen Linsenposition, ergeben. Des Weiteren würde eine Erweiterung des Messsystems durch geeignete Wellenfrontdiagnostik die Genauigkeit, sowie die Geschwindigkeit der Justage erhöhen. Für den Einsatz außerhalb von Laborbedingungen sollte die Justagestation zum Schutz der Optiken, sowie zur Vermeidung von Quetschungen, mit einer Einhausung und geeigneter Sicherheitstechnik versehen werden.

## 5 Danksagung

Dieses Projekt wurde gefördert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen der Exzellenzstrategie des Bundes und der Länder – EXC-2023 Internet of Production – 390621612.

## Literatur

- [1] Prochnau, M., Holzbrink, M., Wang, W., Holters, M., Stollenwerk, J. and Loosen, P., "Measurement methods to build up the digital optical twin" Proceedings of SPIE volume 10513, 53 (2018).
- [2] Schindlbeck, C., Pape, C. and Reithmeier, E., "Wavefront predictions for the automated assembly of optical systems" Proceedings of SPIE volume 10815, 11 (2018).
- [3] G. König, Z. Ali, C. Fu, J. Stollenwerk, P. Loosen, "Agile Auslegung optischer Systeme für die Lasertechnik" Jahrestagung der DGAO 2019