

# Ermittlung der Montagereihenfolge für Präzisionsoptiken

Martin Holters\*, Jochen Stollenwerk\*\*, Peter Loosen \*\*\*

\*Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme, RWTH Aachen

\*\*Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen

[martin.holters@tos.rwth-aachen.de](mailto:martin.holters@tos.rwth-aachen.de)

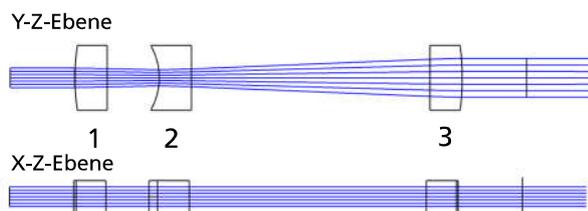
Die Performance optischer Systeme lässt sich durch die Ermittlung einer optimalen Montagereihenfolge signifikant erhöhen. Eine Möglichkeit besteht in der Abbildung des Montageprozesses in ein optisches Raytracing-Modell.

## 1 Motivation

Für die Montage optischer Systeme werden derzeit unterschiedliche Ansätze verfolgt. Ausgangsbasis stellt stets das optische Design dar, auf Basis dessen die Montage innerhalb des Toleranzfelds der Komponenten und des Handlingsystems erfolgt. Alternativ zur daran anschließenden üblicherweise passiven Justage existieren verschiedene aktive Ansätze [1]. Durch eine Ermittlung der optimalen Montagereihenfolge können zwei wesentliche Ziele erreicht werden. Bei gegebenem Toleranzfeld wird die maximale optische Performance erzielt. Des Weiteren können Informationen gesammelt und in den Designprozess rückgekoppelt werden, die zugunsten geringerer Bauteilkosten sowie der Zielvorgabe bzgl. der optischen Performance eine Ermittlung des maximal zulässigen Toleranzfeldes ermöglichen.

## 2 Use-Case

Die Methode zur Ermittlung der Montagereihenfolge sowie die Anwendung derer erfolgt beispielhaft an dem in Abbildung 1 dargestellten anamorphem Teleskop.



**Abb. 1** Anamorphes Teleskop an welchem beispielhaft die Ermittlung und die Anwendung der Montagereihenfolge erfolgt.

Die Parametrisierung der optischen Komponenten erfolgt nach Tabelle 1. Die Auslegung erfolgt für die Aufweitung eines kollimierten Lichtstrahls um den Faktor zwei. Im Ausgangszustand weist das System einen nominellen Meritfunktionswert von 0,0002 innerhalb der Raytracing Umgebung auf. Bewertet werden insbesondere das Vergrößerungsverhältnis von zwei sowie die Afokalität des Systems. Für die Realisierung des realen optischen Systems ist es

von Interesse, welche Abweichung aufgrund von Bauteil- und Montagetoleranzen auftreten können. Bewertet wird dies anhand des numerischen Werts der Meritfunktion. Zu diesem Zweck wird für das optische System eine Toleranzanalyse durchgeführt. Diese erlaubt jedoch keine Berücksichtigung der Montagereihenfolge.

Parameter	Linse 1	Linse 2	Linse 3
Radius 1	33,4 mm	-10,1 mm	$\infty$
Radius 2	$\infty$	$\infty$	-38,0 mm
Mittendicke	5,0 mm	5,0 mm	5,0 mm
Material	N-BK7	N-BK7	N-BK7
Rel. Abstand zu vorherigen Linse	-	8,1 mm	36,9 mm

**Tab. 1** Parametrierung des anamorphen Teleskops nach Abbildung 1.

Im Folgenden wird eine Methode vorgestellt, um für ein gegebenes optisches System eine optimale Montagereihenfolge zu ermitteln. Bzgl. des hier betrachteten Beispiels stellt sich die Frage, inwieweit die optische Performance durch die Montagereihenfolge der Linsen beeinflusst werden kann.

## 3 Methode zur Ermittlung der Montagereihenfolge

Um eine optimale Montagereihenfolge zu bestimmen, wird der Montageprozess in dem optischen Modell abgebildet. Dies erfordert zunächst die Ermittlung aller möglichen Montagereihenfolgen. Hierzu wird im optischen Modell zunächst überprüft, ob für jede mögliche Reihenfolge und zu jedem Montageschritt alle Lichtstrahlen jedes optische Bauteil vollständig passieren. Für einzelne Oberflächen wie beispielsweise die Aperturblende in einem Fotoobjektiv kann diese Bedingung aufgeweicht werden. Außerdem wird überprüft, ob für jede mögliche Reihenfolge und zu jedem Montageschritt im realen Setup alle Lichtstrahlen auf das Messmittel treffen, sodass das optische System verlässlich justiert werden kann.

Im nächsten Schritt werden alle verbleibenden Montagereihenfolgen sukzessive simuliert. Hierzu werden aus dem initialen, nicht-toleranzbehafteten optischen Modell für jeden Montageschritt alle Zielgrößen festgelegt. Als Zielgröße kann hierbei z.B. das erste optische Intensitätsmoment verwendet werden [2]. Die daran anschließenden Schritte werden sowohl für alle zulässigen Reihenfolgen als auch für jedes sukzessiv montierte und justierte optische Bauteil innerhalb der Reihenfolge durchgeführt.

Entsprechend der Montagereihenfolge wird das jeweilige optische Bauteil in das optische Modell eingefügt. Hierbei wird das Bauteil mit einer konkreten Konfiguration an Toleranzen eingefügt. Das heißt, ein toleranzbehafteter Parameter kann einen Wert innerhalb seines Toleranzfelds annehmen. Typische toleranzbehaftete Parameter für eine Linse sind z.B. der Radius oder die Mittendicke.

Als nächstes wird eine Optimierung der Position des optischen Bauteils durchgeführt. Hierzu werden die zuvor aus dem nicht-toleranzbehafteten optischen Modell abgeleiteten Zielgrößen als Kriterium für die Optimierung genutzt. Als Freiheitsgrade finden die sechs Positionsfreiheitsgrade des optischen Bauteils Verwendung. In Abhängigkeit der Halterung der optischen Komponenten können die Freiheitsgrade unter Umständen eingeschränkt werden. Abschließend werden auf die entsprechenden Positionsfreiheitsgrade die Toleranzen für die Montage aufaddiert. Das heißt, die im Modell im Rahmen der Rechengenauigkeit auflösbaren Positionen werden im Rahmen des Toleranzfensters geändert.

Entsprechend der Montagereihenfolge werden mit diesem Vorgehen alle optischen Bauteile ins Modell eingefügt und die entsprechende Qualität der in diesem Fall virtuellen Montage durch die entsprechende Meritfunktion des optischen Systems bewertet. Durch Vergleich der verschiedenen Resultate für die jeweilige Montagereihenfolge kann eine optimale Montagereihenfolge ermittelt werden.

Allerdings erfordert diese Vorgehensweise die Erfüllung einiger Bedingungen, damit die vorgestellte Methode angewendet werden kann. Zum einen muss das optische Modell inklusive einer Bewertungsfunktion vorhanden sein. Des Weiteren müssen die toleranzbehafteten Parameter der einzelnen optischen Bauteile als auch die der Montage bekannt sein. Abschließend muss bei jeder Simulation entschieden werden, welchen Wert der jeweilige Parameter innerhalb des Toleranzfensters aufweist. Hierbei bietet es sich an, den Wert entweder zufällig anhand einer statistischen Verteilung innerhalb des Toleranzfensters zu wählen oder nur die Grenzen des Toleranzfensters zu berücksichtigen. In jedem Fall sollte für jede Reihenfolge eine größere Anzahl an Toleranzkonfigurationen gerechnet werden.

## 4 Ergebnisse

Der hier betrachtete Use-Case besteht in der Anwendung der Methode auf ein anamorphes Teleskop. Hierbei wurde mit einer Toleranz auf die Radien von 50 µm, auf die Mittendicke von 150 µm, auf die Position in allen sechs Freiheitsgraden von 10 µm bzw. 0.1° gerechnet. Es wurden für jede mögliche Reihenfolge 200 verschiedene Toleranzkonfigurationen simuliert. Betrachtet wurden dabei nur die Fälle von maximaler Toleranz oder keiner Toleranz. In Tabelle 2 sind die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt.

Reihenfolge	ØMeritfunktionswert
1-2-3	0.0032
1-3-2	0.0073
2-3-1	0.0101
2-1-3	0.0107
3-2-1	0.0049
3-1-2	0.0041

**Tab. 2** Ergebnisse des Use-Case für verschiedene Montagereihenfolgen

Die Untersuchung ergibt, dass die Montagereihenfolge 1-2-3 das Gesamtsystem mit der besten optischen Performance liefert. Eine Montagereihenfolge beginnend mit Linse 2 führt zu einer deutlich reduzierten Performance des Systems.

## 5 Ausblick

Der hier vorgestellte Use-Case wird in weiteren Arbeiten am Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme vollautomatisiert montiert. Hierbei sollen auch unterschiedliche Montagereihenfolgen untersucht werden, um die hier vorgestellte Methode anhand realer Montageszenarien zu verifizieren.

## 6 Danksagungen

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft DFG für die Unterstützung im Rahmen des Exzellenzclusters „Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer“ an der RWTH Aachen.

## Literatur

- [1] M. Holters, A. Gatej, S. Haag, T. Müller, P. Loosen, C. Brecher: „Approach for self-optimising assembly of optical systems“ in: *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* **29**, Nr. 11, S. 1227-1237 (2016)
- [2] Laser und Laseranlagen - Prüfverfahren für Laserstrahlabmessungen, Divergenzwinkel und Beugungsmaßzahlen - Teil 2: Allgemein astigmatische Strahlen (ISO 11146-2:2005); Deutsche Fassung EN ISO 11146-2:2005 ;Ausgabe 2005-05