

# Optomechanische Toleranzangaben aus dem Optikdesign nach ISO-GPS-Norm

N.Grubert\*, O.Lange\*, J. Stollenwerk\*\*, C.Holly\*\*,

\* RWTH Aachen University, Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme

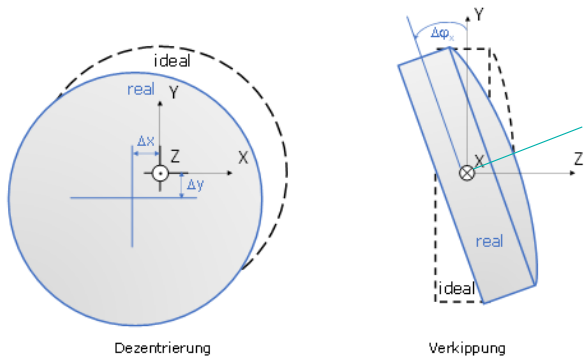
\*\*Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen

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

Vorgestellt wird ein Modell zur Übersetzung von Toleranzangaben zur Linsenpositionsabweichung in der optischen Entwicklungsumgebung gemäß der geometrischen Produktspezifikation ISO-GPS-Norm.

## 1 Motivation

Die erfolgreiche Entwicklung eines optomechanischen Systems erfordert das Wissen und die Erfahrung von meist verschiedenen Personen mit unterschiedlichen Fähigkeiten und Hintergründen: Im Optikdesign wird das optische System ausgelegt, in der Konstruktion die Optomechanik gestaltet und in der Fertigung die mechanischen und optischen Elemente hergestellt. Alle am Entwicklungsprozess Beteiligten müssen sich mit den mechanischen Fertigungstoleranzen des Systems beschäftigen. Zwischen den Disziplinen werden die Toleranzangaben unterschiedlich beschrieben. In der optischen Entwicklungsumgebung wird eine Toleranzanalyse durchgeführt und die zulässigen Positionsabweichungen einer Linse als Dezentrierung und Verkippung beschrieben. In Abb. 1 sind die zwei Arten der Positionsabweichung Dezentrierung und Verkippung für eine (rotationssymmetrische) Linse dargestellt.



**Abb. 1** Dezentrierung (links) und Verkippung (rechts) einer plankonvexen Linse. Die reale Position der Linse ist um  $\Delta x$  und  $\Delta y$  von der idealen Position verschoben und um  $\Delta \varphi_x$  um die x-Achse verkippt.

Die Dezentrierung kann über die Größen  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$  und die Verkippung über  $\Delta \varphi_x$  und  $\Delta \varphi_y$  beschrieben werden. In der Konstruktion werden die Toleranzen der Optomechanik nach den ISO-GPS-Normen für die geometrische Produktspezifikation, GPS [1] beschrieben. Obwohl die ISO-GPS-Norm die standardisierte Beschreibung der Fertigungstoleranzen ist, existiert kein standardisiertes Modell zur Überführung der optomechanischen Toleranzangabe aus dem Optikdesign in die GPS oder umgekehrt. So ist

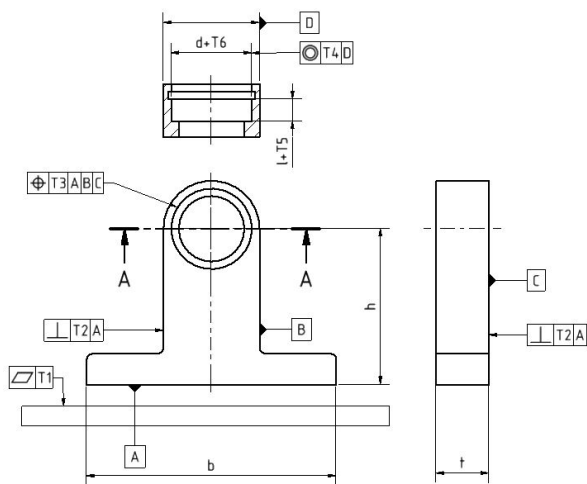
beispielsweise die Beschreibung in der DIN ISO 10110 zu Toleranzangaben für optische Elemente und Systeme nach ISO-GPS-Norm bislang nur auf die optischen Elemente beschränkt [2]. Die Schwierigkeit bei der unterschiedlichen Beschreibung besteht darin, dass die Dezentrierung und Verkippung rein durch die Position des optischen Elementes im Optikdesign bestimmt werden. Jedoch sind die realen Fertigungstoleranz der Optomechanik von der Geometrie der Optomechanik abhängig. Somit sind auch die Grenzen der Fertigbarkeit einer Toleranzangabe im Optikdesign nicht direkt offensichtlich. Hier können zu enge Toleranzen aus dem Optikdesign vorgegeben werden, die einerseits mit erhöhten Fertigungskosten verbunden oder andererseits u.U. nicht fertigbar sind. Eine erste Methodik, die auch die Fertigbarkeit der Optomechanik im Optikdesign berücksichtigt wurde bereits vorgestellt [3]. Um diese Methodik weiterzuentwickeln, sollen die jeweiligen Toleranzangaben nach ISO-GPS-Norm der Beschreibung nach Dezentrierung und Verkippung zugeordnet werden. Hierzu wird im Folgenden ein Modell der Zusammenhänge zwischen ISO-GPS-Norm für die Fertigungsangaben und Dezentrierung und Verkippung einer Linse in der optischen Entwicklungsumgebung vorgestellt.

## 2 Inhalt

Das Modell zur Beschreibung der Zusammenhänge zwischen der Toleranzangabe im Optikdesign und im Fertigungsdokument werden anhand eines vereinfachten Bauteils beschrieben. In Abb.2 ist dieses als sogenanntes Basisbauteil beschrieben. Das Basisbauteil soll eine Linse auf einer bestimmten Position halten und beschreibt somit ein optomechanisches System mit einer Linse. Die Maße für das Basisbauteil können frei gewählt werden. Die in Abb. 2 eingetragenen GPS, die durch die Toleranzwerte  $T_1$  bis  $T_6$  dargestellt werden, haben einen direkten Einfluss auf die Dezentrierung und Verkippung der Linse. Das Modell beschreibt den Einfluss der Toleranzen  $T_1$  bis  $T_6$  im sogenannten „Worst-Case“. D.h. unter Einhaltung der jeweiligen Toleranz der GPS weicht das System weitestgehend vom Ideal ab, sodass jeweils eine maximale Dezentrierung und Verkippung erfolgt. Die Betrachtung der Worst-

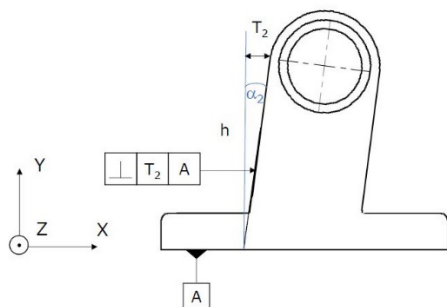
Case-Fälle soll sicherstellen, dass mit dem Modell funktionsfähige Systeme ermittelt werden.

A-A (1:1)



**Abb. 2** Zeichnung des Basisbauteils zur Halterung einer Linse. Folgende GPS sind in der Zeichnung angegeben: Ebenheit der Unterlage, Rechtwinkligkeit des Bauteiloberkörpers zur Bauteilunterseite, Position der Bohrung und Koaxialität der Linseführung. Zusätzlich zu den genannten Form- und Lagetoleranzen sind die Längentoleranz für den Radius  $d$  und Länge  $l$  des Linsensitzes angegeben.

Der Einfluss der GPS auf die Dezentrierung und Verkippung wird am Beispiel der Rechtwinkligkeit in Abb. 3 dargestellt.



**Abb. 3** Auswirkungen von Abweichungen in der Rechtwinkligkeit des Bauteiloberkörpers zur Bauteilunterseite. Die Abweichung ist zur Veranschaulichung überzeichnet dargestellt.

Eine Abweichung der Rechtwinkligkeit um den Wert  $T_2$  führt zu einer maximalen Neigung  $\alpha_2$  gemäß

$$\alpha_2 = \tan^{-1}(T_2/h). \quad (1)$$

Die Dezentrierung entlang der y-Achse wird in diesem Beispiel vernachlässigt. Dementsprechend ergeben sich  $\Delta x = T_2$  und  $\Delta \varphi_x = \alpha_x$ . Das Vorgehen aus dem Beispiel wird auf alle GPS aus Abb. 2 angewendet. Für die Berechnung der gesamten Dezentrierung und Verkippung können die einzelnen bestimmten Werte aufsummiert werden. Teils müssen dabei zusätzliche Einflüsse zwischen den einzelnen GPS beachtet werden. In Tab. 1 sind die Anteile der jeweiligen GPS an den Dezentrierungen und Verkippungen der Linse dargestellt.

**Tab. 1:** Übersicht der Zusammensetzung der Dezentrierung und Verkippung aus der GPS.

|                      | $\square$                                   | $\perp$                     | $\oplus$                              | $\odot$     | $I+T_5$                                   | $d+T_6$<br>(f positiv)                    | $d+T_6$<br>(f negativ)                                     |
|----------------------|---|-----------------------------|---------------------------------------|-------------|---|---|--|
| $\Delta x =$         | $(h - \frac{T_1}{2}) \cdot (\frac{T_1}{b})$ | $+T_2 \cdot \cos(\alpha_1)$ | $+T_3$                                |             |   | $+T_6$                                    | $+(R - D) \tan(\delta)$                                    |
| $\Delta y =$         | $\frac{T_1}{2}$                             | $+T_2 \cdot \sin(\alpha_1)$ | $+T_3$                                |             |   | $+T_6$                                    | $+(R - D) \tan(\delta)$                                    |
| $\Delta z =$         | $(h - \frac{T_1}{2}) \cdot (\frac{T_1}{t})$ | $+T_2 \cdot \cos(\beta_1)$  | $+T_3 \cdot \sin(\beta_1 + \alpha_2)$ |             | $T_5 \cos(\beta_1 + \alpha_2 + \alpha_4)$ | $T_6 \sin(\beta_1 + \alpha_2 + \alpha_4)$ | $(R - D) \tan(\delta) \sin(\beta_1 + \alpha_2 + \alpha_4)$ |
| $\Delta \varphi_x =$ | $\beta_1$                                   | $+\alpha_2$                 |                                       | $+\alpha_4$ |   |   | $+\frac{T_6}{2R \cos^2(\theta)}$                           |
| $\Delta \varphi_y =$ |   |                             |                                       | $+\alpha_4$ |   |   | $+\frac{T_6}{2R \cos^2(\theta)}$                           |

Sind die Maße und die Toleranzwerte  $T_1$  bis  $T_6$  bekannt, kann die maximal resultierende Dezentrierung und Verkippung der Linse über ein eindeutig lösbares Gleichungssystem bestimmt werden. Für die Berechnung der GPS-Werte und mit gegebenen Maßen und Werten für die Dezentrierung und Verkippung, liegt ein unterbestimmtes Gleichungssystem vor. Im erarbeiteten Modell sind daher für die Werte  $T_1$  bis  $T_6$  Toleranzklassen mit zunehmender Feinheit definiert. Die Feinheit der Toleranzklasse wird ausgehend von den Allgometoleranzen DIN ISO 2768-mK so lange erhöht, bis beim Einsetzen in das Gleichungssystem die resultierenden Werte die geforderten Werte für die Dezentrierung und Verkippung nicht mehr überschreiten.

### 3 Zusammenfassung

Das vorgestellte Modell verbessert das Verständnis zwischen den verschiedenen Disziplinen bei der Beschreibung von Toleranzangaben. Dieses Verständnis soll die Zusammenarbeit zwischen den handelnden Entitäten Optikdesign, Konstruktion und Fertigung vereinfachen und eine erfolgreiche Entwicklung von optomechanischen System unterstützen.

### 4 Ausblick

In weiterführenden Arbeiten soll das Modell auf Toleranzketten für optomechanische System, mit mehr als eine Linse, erweitert werden. Als Teil einer kosten- und fertigungsgerechten Toleranzfestlegung wird das Modell in die bestehende Methodik zur Toleranzfestlegung integriert.

### 5 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.

### 6 Literatur

- [1] DIN EN ISO 8015 (2011)
- [2] DIN ISO 10110-1:2020-09
- [3] Grubert, N., et al. „Methodik zur kostenbasierten Toleranzbudgetfestlegung optomechanischer Systeme“, DGaO Proceeding (2020)