

Toleranzierung von Freiformflächen

Harald Ries^{1,2}, Andreas Timinger²

¹ Philipps-Universität Marburg,

² OEC AG München

<mailto:harald.ries@oec.net>

Bei der Toleranzierung von Freiformflächen ist besonders zu beachten, dass praxisrelevante Fehler ausgewählt werden, deren Darstellung nicht unbedingt im gleichen Rahmen wie die der Freiform-Fläche gelingt. Hochfrequente Fehler, die sich besonders auf die Neigung auswirken, haben größere Auswirkungen als niederfrequente Fehler.

1 Einführung

Die Toleranzierung zielt darauf ab, die Verschlechterung der Systemeigenschaften durch Herstellungsfehler vorauszusagen. Klassisch werden dazu Parameter, die das System beschreiben, variiert. Für Freiformflächen, die naturgemäß sehr viele Parameter benötigen, muss der Raum der simulierten Fehler eingeschränkt werden.

Im Folgenden betrachten wir zwei Beispiele, eines aus der Beleuchtungsoptik, das andere aus der abbildenden Optik. Wir illustrieren die Auswirkung sowohl hochfrequenter als auch niederfrequenter Störungen für beide Systeme.

2 Beispiel: Beleuchtungssystem

Als erstes Beispiel dient eine maßgeschneiderte Freiformflächen-Linse, deren erzeugte Bestrahlungsstärke-Verteilung in Abb. 1, links, gezeigt ist. Der Einfluss globaler Positionierungsfehler wie Defokussierung und Verkipfung ist in Abb.1, Mitte und rechts dargestellt.

Man beobachtet eine Verzerrung, die aber qualitativ die Verteilung nicht allzu sehr stört. Diese Abbildung zeigt, dass es wichtig ist, ein geeignetes Maß für die Abweichung zwischen Soll und Ist festzulegen.



Abb. 1 Beleuchtungsverteilung mit einer Freiform-Linse. Effekt globaler Justierung. Links: korrekte Lage. Mitte: defokussiert in Richtung Zielfläche. Rechts: verkippt.

Der Einfluss einer hochfrequenten Störung für dieses System wurde durch Simulation mit LightTools™ untersucht. Die Freiformfläche ist als NURBS dargestellt. Diese Darstellung erlaubt nicht

eine hinlänglich hochfrequente Störung zu modellieren. Um Rillen, wie sie in der Fertigung etwa durch Stirnfräsen entstehen [2], modellieren zu können, wurde eine Mikrostruktur der Freiformfläche überlagert, in Form von Rillen in horizontaler, d.h. X-Richtung. Abbildung 2 zeigt die Simulation des ungestörten Systems.

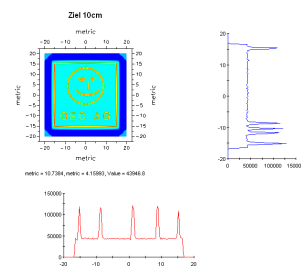


Abb. 2 Simulation des ungestörten Beleuchtungssystems in LightTools™

Abbildung 3 zeigt die Simulation des Systems mit einer hochfrequenten Störung, hervorgerufen durch horizontale Rillen. Man beobachtet, dass vertikale Strukturen durch diese Störung praktisch nicht beeinflusst werden, horizontale Strukturen werden jedoch verbreitert.

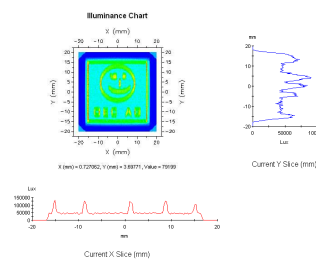


Abb. 3 Simulation des Beleuchtungssystems mit einer hochfrequenten Störung in Form von horizontalen Rillen mit LightTools™

Abbildung 4 zeigt die Simulation des Systems mit einer niederfrequenten Störung. Die Auswirkungen dieser niederfrequenten Störung sind wesentlich geringfügiger als die der hochfrequenten Störung, trotz der wesentlich höheren Amplitude.

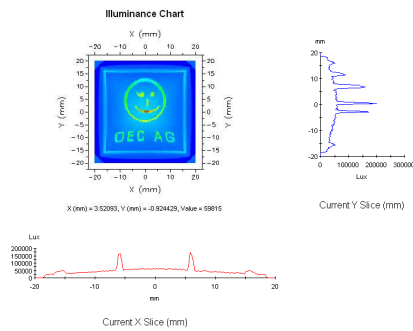


Abb. 4 Simulation des Beleuchtungssystems mit einer niederfrequenten Störung in Form eines Zernike-Polynoms der Ordnung 4,0 mit Amplitude 1mm.

3 Faustregel für Beleuchtungssysteme

Für Beleuchtungssysteme auf der Basis einer Freiformfläche lässt sich eine Faustregel für den zulässigen Neigungsfehler angeben, die auf der Überlegung beruht, dass die Queraberration einzelner Strahlen in der Zielfläche durch die Strukturgröße begrenzt ist. Man erhält die Bedingung

$$|\Delta \vec{N}| \ll f \frac{s}{d} \quad (1)$$

wobei $|\Delta \vec{N}|$ der Neigungsfehler (Betrag der Abweichung des Flächen-Einheits-Normalenvektors) von seinem Sollwert bezeichnet, s die Strukturgröße, d.h. die räumliche Auflösung der gewünschten Verteilung und d der Abstand der Optik zur Zielfläche. $f = 2$ für Spiegel bzw. $f = (n - 1)$ für Linsen, wobei n der Brechungsindex ist.

4 Beispiel: abbildendes System

Als zweites zeigen wir ein praxisnahes Beispiel der Toleranzierung eines ultrapräzisen abbildenden Systems für Interferometrie, das im folgenden Beitrag näher vorgestellt wird [1,2]. Abbildung 5 zeigt die Queraberrationen des ungestörten Systems, simuliert mit CODE V™. Abbildung 6 zeigt die Queraberration des mit einer niederfrequenten Störung behafteten Systems. Die Aberrationen sind von vergleichbarer Größe wie die Störungsamplitude. Abbildung 7 zeigt die Aberration eines Systems, das unbeabsichtigt eine hochfrequente Störung erhalten hat. Diese rührt daher, dass bei der Übertragung des Systems, dargestellt als NURBS, die Koordinaten der Kontrollpunkte auf 5 Stellen nach dem Komma beschränkt wurden. Da die Einheit mm war, bedeutet dies unkorrelierte Fehler mit einer Amplitude von 0.01 µm. Man erkennt, dass das System durch diesen Fehler völlig unbrauchbar wird. Man beachte den um zwei Größenordnungen höheren Maßstab.

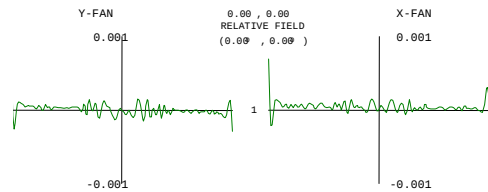


Abb. 5 Queraberrationen des ungestörten abbildenden Systems, modelliert in CODE V™

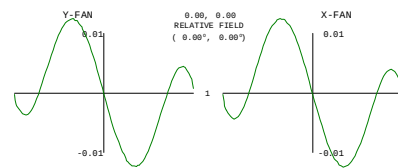


Abb. 6 Queraberrationen des abbildenden Systems mit niederfrequenter Störung, modelliert als Zernike-Polynom der Ordnung 4,0 mit Amplitude 0.1µm. Einheit ist mm

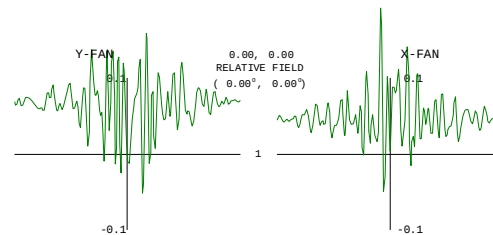


Abb. 7 Queraberrationen des abbildenden Systems, berechnet mit CODE V™ mit hochfrequenter stochastischer Störung. Die Störung wurde hervorgerufen durch Beschränkung auf 5 Dezimalstellen. Man beachte den um 2 Größenordnungen größeren Maßstab.

5 Zusammenfassung

Die Toleranzierung von Freiform-Flächen kann mit herkömmlichen Software-Tools zur Strahlverfolgung erfolgen. Dabei ist eine praxisgerechte Auswahl der Fehler nötig. Deren Modellierung ist nicht immer im gleichen Rahmen wie die der Freiform-Fläche möglich. Generell sind Neigungsfehler störender als Fehler im Ortsraum. Daher ist zwischen hochfrequenten und niederfrequenten Störungen zu unterscheiden.

Literatur

- [1] H. Ries et al. A. Autor: „Fertigung von Freiformflächen für das Darwin-Projekt mittels Ultra-Präzisions-Technologie“ in: DGaO-Tagung (2007) <http://www.dgao-proceedings.de>
- [2] O. Riemer, Ultrapräzisionsbearbeitung, (2007) <http://www.dgao-proceedings.de>