

Simulation von Zoomsystemen mit Monte Carlo Methoden der Tolerierung

Martin Peschka, Dietmar Gängler

Zentralbereich Forschung und Technologie, Carl Zeiss AG, D-73446 Oberkochen

<mailto:m.peschka@zeiss.de>

Eine Methode zur Simulation und Tolerierung von Zoomsystemen wird vorgestellt, die auf einer steuerbaren Monte Carlo Simulation mit Justagemöglichkeiten beruht. Hierfür wird ein deterministischer Zwischenschritt benötigt, welcher während der Monte Carlo Simulation die Zoomgröße des Systems, wie z.B. die Brennweite einstellt.

1 Einleitung

Ein Zoomsystem beinhaltet wenige ausgesuchte bewegliche Linsengruppen (im folgenden Zoomgruppen), die es ermöglichen, eine zu zoomende Eigenschaft (im Folgenden Zoomgröße) des Systems innerhalb eines Bereichs kontinuierlich einzustellen. Dies sind z.B. Brennweite oder Vergrößerung etc. Der Zusammenhang zwischen der Bewegung der Zoomgruppen und der Zoomgröße ist durch Zoomkurven gegeben. Für N diskrete Werte der Zoomgröße liegen N verschiedene Zoomstellungen oder auch Konfigurationen des Zoomsystems vor, welche sich durch die Positionen der Zoomgruppen auf den Zoomkurven unterscheiden. Beim Design eines Zoomsystems werden die Anzahl N benötigter Zoomstellungen und die dazugehörigen Werte der Zoomgröße festgelegt. Dann erfolgt die Optimierung des Systems für die gewählten Zoomstellungen, wobei auch die N zugehörigen Punkte auf den Zoomkurven ermittelt werden. Simulationen und Tolerierung von Zoomsystemen werden gewöhnlich für die gewählten N Zoomstellungen durchgeführt. Die hier vorgestellte Methode ist eine dazu alternative Vorgehensweise für weitere Simulationen und die Tolerierung eines erreichten Designzustandes des Zoomsystems über einen gewünschten Zoombereich. Die Methode kommt dabei ohne die explizite Definition einer eigenen Zoomstellung pro Zoomgrößenwert aus und erlaubt die Bewertung und Tolerierung des Systems auch für wesentlich mehr Zoomgrößenwerte als die Anzahl der N im Design definierten Zoomstellungen.

2 Methode

Die Methode basiert auf einer Monte Carlo Simulation (Monte Carlo im folgenden MC) des Zoomsystems, welche von einem Startsystem in einer ausgewählten Zoomstellung ausgeht. Dieses Startsystem wird in jedem MC Zyklus in drei Schritten verändert, wobei für eine höhere Anpassungsfähigkeit an die durchzuführende

Simulation oder Tolerierung Schritte optional auch ausgelassen werden können.

Schritt 1: Hier werden Justageschritte $i_1, i_2, \dots, i_k$ ausgeführt, z.B. zur Brennweitereinstellung, bevor zufällige Toleranzen (Schritt 2) am System angebracht werden. Es handelt sich also um einen primär deterministischen Schritt, welcher jedoch optional durch die Berücksichtigung von zufällig nach festgelegten Verteilungen ausgewürfelten Mess- und Einstellfehlern um statistische Abweichungen ergänzt werden kann.

Schritt 2: Toleranzen werden zufällig nach wählbaren Verteilungen ausgewürfelt und am System angebracht. Dies ist ein rein statistischer Schritt wie man ihn für eine MC-Tolerierung des Systems benötigt.

Schritt 3: Hier werden nach dem Anbringen der Toleranzen in Schritt 2 Justageschritte $i_m, \dots, i_n$ zur Kompensation von Toleranzeffekten ausgeführt. Dieser Justagevorgang kann ebenfalls optional durch die Berücksichtigung von zufällig nach festgelegten Verteilungen ausgewürfelten Mess- und Einstellfehlern um weitere statistische Abweichungen ergänzt werden.

Durch geeignete Verwendung der Schritte 1 bis 3 können unterschiedliche Fragestellungen an Zoomsystemen untersucht werden. Zur gezielten und schnellen Auswertung und Visualisierung der Ergebnisse über den untersuchten Zoombereich werden MC Auswerte- und Darstellungsmöglichkeiten verwendet, die nur einen einzigen MC-Lauf benötigen.

3 Anwendungen

3.1 Ideale Kurven über Zoombereich: Auswertung und Berechnung von Bewertungsgrößen über den gewünschten Zoombereich $[f_1, f_2]$ mit Schritt 1. Zufällige Einstell- oder Messfehler der Justage werden nicht verwendet. Mit der Justage werden die Zoomgruppen (als Justierfreiheitsgrade) in jedem der N_{MC} MC-Zyklen $i = 1, \dots, N_{MC}$ für den jeweils gefor-

derden Zielwert $\tau_f(i)$ der Zoomgröße f eingestellt auf

$$\tau_f(i) = f_1 + (i-1) \cdot \frac{f_2 - f_1}{N_{MC} - 1} \quad (1)$$

Neben der Zoomgröße können auch weitere Größen kontrolliert werden, wie Bildhöhen, Schnittweite oder Bildgütekriterien. Diese können in der Meritfunktion der Optimierung zum Justageschritt berücksichtigt werden. Ggf. können dazu mehrere Justageschritte mit eigenen Meritfunktionen nötig sein, die wiederum aus mehreren Bewertungsgrößen aufgebaut sein können. Meist sind dann auch weitere Justierfreiheitsgrade wie Feldwinkel erforderlich und ggf. müssen während deren Optimierung wiederholt Strahlbündel gezielt werden. So lassen sich neben Zoomkurven auch Kurvenverläufe beliebiger Bewertungsgrößen in Abhängigkeit von der Zoomgröße über N_{MC} Werte im Zoombereich ermitteln. Dazu genügen ein Programmablauf und eine Zoomstellung als Ausgangskonfiguration.

3.2 Zoomkurven mit Einstellfehlern: Hierzu führt man Schritt 1 analog zu 3.1 aus, ergänzt um die statistische Auswürfelung und Berücksichtigung von Einstellfehlern der Zoomgruppen. Damit können Einstellfehlereffekte auf die Kurvenverläufe von Bewertungsgrößen über die Zoomgröße untersucht werden, insbesondere auf die Zoomgröße selbst. Man wählt

$$N_{MC}^* = N_{MC} \cdot M \quad (2)$$

$$\tau^*(i) = f_1 + (n(i)-1) \cdot \frac{f_2 - f_1}{M-1} \quad (3)$$

M : Anzahl der gewünschten Zoomstellungen
 N_{MC} : Anzahl der pro Zoomstellung zu simulierenden Systeme und $n(i)=1$ für $1 \leq i \leq N_{MC}$,
 $n(i)=2$ für $N_{MC}+1 \leq i \leq 2 \cdot N_{MC}$, ..., $n(i)=M$ für $(M-1) \cdot N_{MC} + 1 \leq i \leq M \cdot N_{MC}$.

3.3 Tolerierung mit Justage für Zoomsysteme: Verwendung der Schritte 1 bis 3. In Schritt 1 werden die Zoomgruppen eingestellt. Die Zielwerte für die Zoomgröße werden nach (2), (3) gewählt. In Schritt 2 werden Toleranzen ausgewürfelt und am System angebracht. In Schritt 3 werden Justagevorgänge am gestörten System simuliert, optional mit Einstell- und Messfehlern. Für die M Zoomstellungen werden dieselben N_{MC} Sätze von Toleranzen ausgewürfelt, so dass für alle Zoomstellungen dieselben Toleranzen zugrunde liegen. In Schritt 3 können Montageschritte (z.B. Einstellen einer Zentrierlinse) und Justageschritte zum Einstellen des Zoomsystems während seiner Verwendung (z.B. Fokussieren) berücksich-

sichtigt werden. Die Justageschritte können immer direkt in der momentan eingestellten Zoomstellung berechnet und durchgeführt werden. Die Meritfunktion(en) zu den einmalig durchzuführenden Montageschritten beim Systemzusammenbau können in zusätzlichen festen Zoomstellungen berechnet werden. Das Einstellen der Zoomgruppen in Schritt 1 erfolgt dann nicht für diese Montagezoomstellungen. Die Toleranzen aus Schritt 2 werden hingegen auch in den Montagezoomstellungen angebracht. Die ermittelten Stellwerte für die Kompensatoren der Montage werden immer in allen Zoomstellungen angebracht.

4 Auswertemöglichkeiten

Vor der Durchführung der MC-Simulation können beliebige Bewertungsgrößen festgelegt werden, welche in der Simulation berechnet werden sollen. Dies können Bildgütekriterien, Bildfehler, Systemeigenschaften wie Brennweite, Feldwinkel etc. und auch die Stellwerte der Zoomgruppen und Kompensatoren sein. Die Ergebnisse zu diesen Größen aus der MC Simulation werden vom Programm gespeichert und stehen somit für weitere, unterschiedliche Auswertemethoden zur Verfügung. Trägt man z.B. die Zoomgröße in x-Richtung und eine interessierende Bewertungsgröße in y-Richtung auf, erhält man diesbezüglich einen Überblick über den Zoombereich und kann kritische Bereiche identifizieren. Aus den Ergebnissen können außerdem Histogramme erzeugt und statistische Kenngrößen ermittelt werden. Durch die Formulierung von Ausschusskriterien für Bewertungsgrößen kann die zu erwartende Ausschussquote näherungsweise als der Prozentsatz der die Kriterien verletzenden Systeme ermittelt werden.

5 Zusammenfassung

Es wurde eine alternative Möglichkeit zur Simulation und Toleranzanalyse von Zoomsystemen vorgestellt, welche auf einer MC Simulation beruht. Die Formulierung des Zoomsystems in Abhängigkeit von der Zoomgröße erfolgt dabei nicht durch die parallele Formulierung mehrerer Zoomstellungen, sondern das System wird während der MC-Simulation sequentiell mittels Justage über den gewünschten Zoombereich eingestellt und ausgewertet. Dies ist insbesondere auch für im ursprünglichen Design nicht berücksichtigte Zwischenwerte der Zoomgröße über einen gewünschten Zoombereich möglich. Montage und Justage können berücksichtigt werden. Die Auswertung kann graphisch und statistisch erfolgen.