

Entwicklung eines Algorithmus zur Ersetzung eines Optikdesigns durch Kataloglinsen mit kontinuierlicher Designanpassung

Carsten Reichert*, Linda Diebold, Regine Rausch, Alois Herkommer

*Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

mailto: reichert@ito.uni-stuttgart.de

Wir haben einen neuartigen Open-Source-Algorithmus entwickelt, der Designlinsen eines optischen Systems durch Kataloglinsen ersetzt. Das System wird anhand der Variablen jedes Mal optimiert, wenn eine Designlinse durch eine Kataloglinse ersetzt wird. Zudem werden verschiedene Ersetzungs-Strategien vorgestellt, welche erprobt und verglichen wurden.

1 Einführung

Nachdem das Design eines optischen Systems abgeschlossen ist, sollte es möglich sein dieses aufzubauen und in der Praxis zu testen. Da der Designprozess häufig zu Linsenformen führt, welche in exakt dieser Geometrie nicht verfügbar sind, müssen diese in der Regel separat hergestellt werden. Infolgedessen muss mit hohen Herstellungskosten und langen Lieferzeiten gerechnet werden. Daher ist es bei der Auslegung optischer Systeme (vor allem für Demonstratoren und Kleinserien) ratsam Kataloglinsen zu verwenden. Allerdings gestaltet es sich oft schwierig ein optisches System von Beginn an aus Kataloglinsen aufzubauen, da hierbei individuelle Parameter vorgegeben sind.

Wir haben ein Open-Source-Optikdesignprogramm in C++ entwickelt, welches unterschiedliche Flächen, Interaktionen und Optimierungsverfahren enthält. Das gesamte Programm ist unter <https://github.com/CCR01/Tracer-Open-Master> zu finden und erlaubt es die einzelnen Linsen eines optischen Systems durch die am besten geeignete Kataloglinse zu ersetzen. Dies führt unweigerlich zu Aberrationen, da die Kataloglinse in der Regel nicht mit den Parametern der Designlinse übereinstimmt. Aus diesem Grund wechselt sich jeder Ersetzungsschritt immer mit einem Optimierungsschritt ab. Dabei werden die durch die Ersetzung verursachten Aberrationen korrigiert und es ändern sich die Parameter der restlichen Designlinsen im System.

2 Methoden

Der Ablauf des Algorithmus ist in Abb. 1 dargestellt. Zunächst muss der Benutzer ein optisches System entwerfen und Variablen, wie den Krümmungsradius einer Fläche oder den Abstand zwischen zwei Flächen, festlegen. Im nächsten Schritt muss eine Merit-Funktion definiert werden. Diese enthält Grenzen für die einzelnen Variablen, Zielparameter (wie den Abbildungsmaßstab β), welche das optimierte System aufweisen soll und ob der quadratische Mit-

telwert des Spots der einzelnen Feldpunkte minimiert werden soll. Im ersten Schritt wird das Startsystem anhand der definierten Variablen und der Merit-Funktion optimiert. Für die Optimierung stehen verschiedenen Methoden zur Verfügung. Die besten Resultate wurden dabei mit einem genetischen Verfahren erreicht, welches in die multiplikative Damped Least Squares Optimierung übergeht. Das durch die Optimierung erhaltene System ist das Ausgangssystem für die weitere Überführung in ein Kataloglinsensystem.

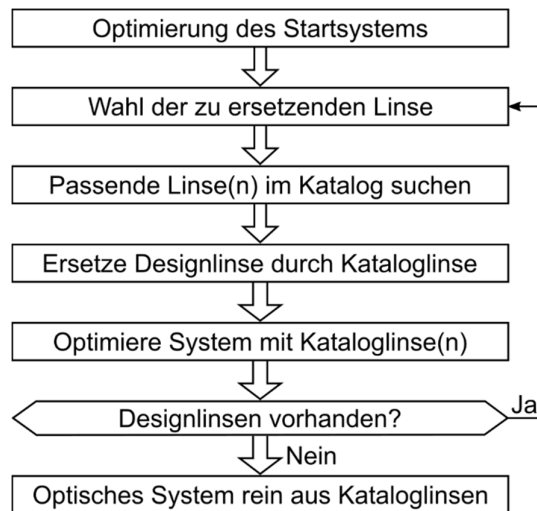


Abb. 1: Ablaufdiagramm des Algorithmus zur Ersetzung eines Optikdesigns durch Kataloglinsen mit kontinuierlicher Designanpassung.

Der Algorithmus nimmt dann eine Designlinse des optimierten Systems und überprüft in Linsenkatalogen welche Linse möglichst gut die Parameter dieser erfüllen. Nachdem die Designlinse ersetzt wurde, wird das restliche System optimiert. Der Prozess der Optimierung und Ersetzung wird so lange wiederholt, bis das System ausschließlich aus Kataloglinsen besteht.

2.1 Passende Linse im Katalog finden

Das Programm muss selbstständig entscheiden können, welche Kataloglinse eine Designlinse gut ersetzen kann. Dazu wird jeder Kataloglinse ein Merit-Wert Ψ zugeordnet, welcher sich auf die Parameter Brennweite f' , Dicke D und Höhe H bezieht:

$$\Psi = \frac{1}{\omega_{Typ}} (\Psi_{f'} + \psi_D + \Psi_H). \quad (1)$$

Über ω_{Typ} kann zudem ein bestimmter Linsen-Typus bevorzugt behandelt werden. Die einzelnen Merit-Werte der Parameter φ lassen sich dabei mit folgender Formel berechnen:

$$\Psi_{\varphi} = \frac{1}{\omega_{\varphi}} \cdot \left| \frac{\varphi_{Ziel} - \varphi_{ist}}{\varphi_{Ziel}} \right|. \quad (2)$$

Dabei steht φ_{Ziel} für den Wert des Parameters der Designlinse und φ_{ist} für den der Kataloglinse. Die einzelnen Parameter können zudem über ω_{φ} unterschiedlich stark gewichtet werden. Außerdem kann der Benutzer auswählen wie viele am besten passende Linsen berücksichtigt werden. Die Designlinse wird durch diese ersetzt und das restliche optische System optimiert. Die Kataloglinse, welche dann im optischen System den geringsten Merit-Wert ausweist, wird in das neue Ausgangssystem eingebaut.

2.2 Ersetzungssequenz

Für eine erfolgreiche Überführung in ein Kataloglinsensystem ist es entscheidend, in welcher Reihenfolge die Linsen ersetzt werden. Hierzu stehen dem Benutzer unterschiedliche Ersetzungssequenzen zur Verfügung. Zum einen können die Linsen von links nach rechts (LnR) bzw. von rechts nach links (RnL) ersetzt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin immer die Designlinse mit den größten (MaxS) oder kleinsten Seidel Aberrationen (MinS) auszuwählen. Des Weiteren kann der Benutzer eine Ersetzungssequenz vorgeben oder das Programm spielt alle möglichen Ersetzungssequenzen durch und gibt das System mit dem geringen Merit-Wert heraus. Wir haben an 40 Systemen untersucht, ob es eine ideale Ersetzungssequenz gibt. Die Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt.

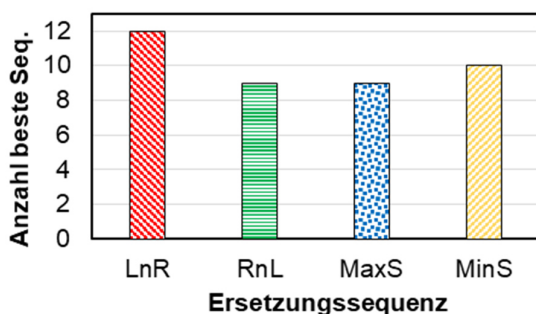


Abb. 2: Vergleich der verschiedenen Ersetzungssequenzen Anhand 40 optischer Systeme.

Auf der y-Achse ist dabei die Anzahl an Systemen angegeben und auf der x-Achse die Ersetzungssequenz, welche den geringsten Merit-Wert im Vergleich zu den anderen Sequenzen erreichen konnte. Wie in Abb. 2 zu sehen, konnte sich keine Ersetzungssequenz klar gegenüber den andern durchsetzen.

3 Beispielsystem

Der hier vorgestellte Algorithmus wurde an unterschiedlichen optischen Systemen getestet. Ein Beispielsystem sowie die darin definierten Variablen (V) sind in Abb.3 dargestellt.

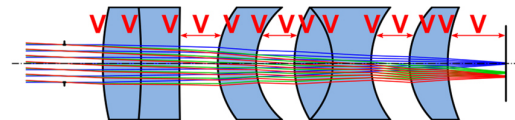


Abb. 3: Startsystem für die Ersetzung mit kontinuierlicher Designanpassung. Variablen sind mit V markiert.

Das System liefert eine farbkorrigierte verkleinerte Abbildung eines 20m entfernten Objektes (Objektfelder bei 0, 707mm, 1000mm, $\beta = -0,00356$). Es wurde nach dem kleinsten Spot der Wellenlängen $\lambda_1 = 486,13nm$, $\lambda_2 = 587,56nm$ und $\lambda_3 = 656,27nm$ sowie den Zielparametern $\beta = -0,003$ und Blendenzahl $WFNO = 6$ optimiert. Der Algorithmus ergab als beste Ersetzungssequenz die Reihenfolge der Linsen zu: 4, 1, 3 und 2. Das so erhaltene optische System aus Kataloglinsen ist in Abb. 4 dargestellt.

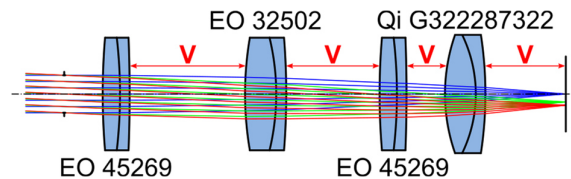


Abb. 4: Resultierendes optische System, wenn der Algorithmus das Startsystem aus Abb. 3 in ein Kataloglinsensystem überführt. EO: Edmund Optics, Qi: Qioptiq

4 Zusammenfassung

Wir haben einen Algorithmus entwickelt, welcher Designlinsen eines optischen Systems in Kataloglinsen überführt. Nach jeder Ersetzung wird das restliche System optimiert um die durch die Ersetzung entstandenen Aberrationen zu korrigieren. Der Algorithmus ist in C++ geschrieben und in einem selbst entwickelten Open-Source-Optikdesignprogramm integriert.

Danksagung

Die Arbeit wurde im Rahmen des BMBF-Projektes „Modulsystem zur Realisierung photonischer Anwendungen“ (FKZ 13N15165) durchgeführt. Wir danken dem BMBF sehr herzlich für die finanzielle Unterstützung.