

Agile Auslegung optischer Systeme für die Lasertechnik

G. König*, Z. Ali**, C. Fu*, J. Stollenwerk*, P. Loosen*

*Lehrstuhl für Technologie Optischer Systeme TOS, RWTH Aachen;

**Karlsruhe School of Optics & Photonics, Karlsruhe Institute of Technology

mailto: georg.koenig@tos.rwth-aachen.de

Im Sinne der Anwendbarkeit agiler Entwicklungsmethodiken wurde ein Expertensystem zur Auslegung optischer Systeme für die Lasertechnik entwickelt, um Iterationszeiten zu verkürzen. Dieses Expertensystem verwendet ausschließlich Katalogkomponenten.

1 Einführung

Der Entwicklungsprozess vieler physischer Systeme folgt einer sogenannten Stage-Gate oder Wasserfall Methodik, bei der gewisse Qualitätsanforderungen erfüllt sein müssen bevor die nächste Entwicklungsstufe eingeleitet werden kann [1]. Diese Anforderungen werden am Anfang des Prozesses definiert. Auch die Entwicklung optischer Systeme läuft sehr häufig nach dieser Methodik ab. Während der Dauer der einzelnen Stufen, die oft Monate beträgt, wird dementsprechend kein Feedback von Seiten des Auftraggebers eingeholt [2]. Geänderte Vorgaben führen im schlechtesten Fall zu einem kompletten Neustart der Entwicklung.

2 Agile Produktentwicklung

2.1 Konzept

Den genannten Entwicklungsmethodiken stehen agile Entwicklungsmethoden wie SCRUM gegenüber. Ihnen liegt der Gedanke zu Grunde, dass sich bei komplexen Projekten der Lösungsweg nicht am Projektanfang detailliert planen lässt und teilweise sogar Zwischenergebnisse benötigt werden, um Anforderungen überhaupt klar definieren zu können. Daher werden, verglichen mit der Stage-Gate Methodik, kürzere Iterationszyklen mit kleineren Entwicklungsaufgaben definiert und die Ergebnisse mit dem Auftraggeber kommuniziert, der so früh Änderungswünsche einfließen lassen kann. Diese agilen Entwicklungsmethodiken haben ihren Ursprung in der Softwareentwicklung. Daher muss ihre Übertragbarkeit auf die Entwicklung physischer Systeme stets kritisch geprüft werden.

2.2 Agile Produktentwicklung für opt. Systeme

Einer Anwendung agiler Entwicklungsmethodiken mit ihren kurzen Iterationszeiten stehen bei der Entwicklung optischer Systeme praktische Hürden entgegen. So liegt die Dauer für die Auslegung eines optischen Systems zusammen mit der Beschaffung der Komponenten schnell bei einigen Wochen. Daher wird ein Bedarf zur Verkürzung dieser Dauer identifiziert.

3 Entwicklung eines Expertensystems für die Auslegung optischer Systeme für die Lasertechnik

3.1 Ziel

Um die Vorteile agiler Produktentwicklung nutzen zu können und die Entwicklungszeiten generell zu verkürzen, wird angestrebt, die Auslegungs- und Beschaffungsdauer für optische Systeme und deren Komponenten zu verkürzen. Ersteres wird durch ein Expertensystem zur Optikauslegung adressiert, welches auch Personen ohne Vorkenntnisse ermöglicht optische Systeme auszulegen. Die Beschaffungsdauer wird verkürzt, indem die Auswahl der optischen Elemente bei der Auslegung auf schnell lieferbare Katalogkomponenten reduziert wird.

In einem ersten Schritt wurde ein Expertensystem entwickelt, welches in der Lage ist, statische sowie variable Strahlaufweiter ohne Zutun des Nutzers zu berechnen.

3.2 Programmablauf

Der Programmablauf des Expertensystems ist in die folgenden Schritte gegliedert:

Als Erstes definiert der Nutzer die Anforderungen an das gesuchte optische System (1). Basierend auf den Eingaben werden Linsen aller vom Nutzer ausgewählten Händler zu einem Gesamtlinsenkatalog kombiniert (2). Dieser Linsenkatalog wird dazu genutzt dreilinsige Systeme zu erstellen (3). Jedes dieser Systeme wird mit Hilfe verschiedener Methoden auf seine Eignung überprüft. Dafür werden die Linsenabstände mit Hilfe eines paraxialen Ray-Trackings berechnet (4), die Aberrationswerte mit Hilfe der Seidel'schen Aberrationstheorie (5), sowie der Wellenfrontfehler durch nicht-paraxiales Ray-Tracking bestimmt (6). Erfüllt ein Linsensystem alle Anforderungen, so wird dieses als Ergebnis ausgegeben (7). In Abb. 1 ist dieser Programmablauf graphisch dargestellt. Dabei bedeuten die grünen Haken, dass der vorangegangene Schritt erfolgreich geprüft wurde. Die roten Kreuze hingegen stehen für ein negatives Ergebnis.

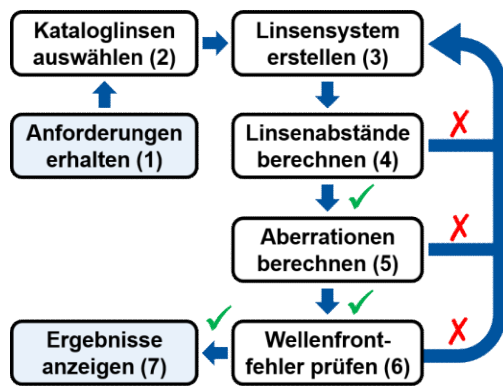


Abb. 1 Programmablauf des automatisierten Optikdesigns.

3.3 Analytische Lösung der Linsenabstände für drei Linsen

Zur Bestimmung der Linsenabstände zwischen den drei Linsen wird die paraxiale Näherung angewendet. Dadurch kann die Berechnung der Strahlen durch eine lineare Matrix-Vektor Multiplikation dargestellt werden. Durch die bekannten Eingangs- und Ausgangsstrahlen erhalten wir ein Gleichungssystem mit zwei Gleichungen und zwei Unbekannten, welches analytisch gelöst werden kann. In Abb. 2 ist das Gleichungssystem mit den bekannten sowie unbekannt Variablen dargestellt. Dieser Schritt erlaubt die Eliminierung untauglicher Linsenkombinationen und wird vor der Berechnung der Aberrationswerte und der Wellenfrontfehler durchgeführt.

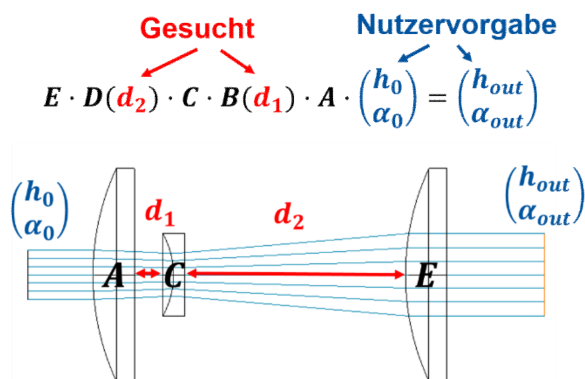


Abb. 2 Lineares Gleichungssystem zur Berechnung der Abstände zwischen den Linsen.

4 Hi, my name is Tracy

Das Expertenprogramm trägt den Namen Tracy. Tracy stellt eine grafische Benutzeroberfläche für den Nutzer zur Verfügung, über welche die Anforderungen an das optische System definiert werden können.

Nach der Berechnung der Linsensysteme werden die Ergebnisse in einem neuen Fenster ausgegeben. Dieses Fenster ist in Abb. 3 exemplarisch für die Berechnung eines variablen Strahlaufläufers

dargestellt. Dem Nutzer werden die Bezeichnungen der Kataloglinsen, sowie deren Abstände für verschiedene Zoomstufen angezeigt. Erfahrene Optikdesigner können sich das berechnete Linsensystem in eine andere Ray-Tracingumgebung exportieren.

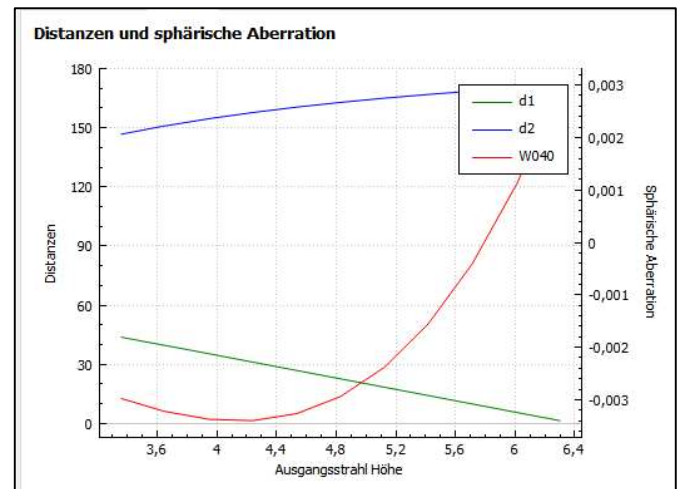


Abb. 3 Exemplarisches Ergebnis des Programms für einen variablen Strahlaufläufer.

5 Ausblick

Die nächsten Schritte in der Entwicklung des Expertensystems zur Unterstützung der agilen Optikauslegung bestehen in der Integration von Robustheitskriterien bei der Auswahl der Linsensysteme sowie der Erweiterung zur Auslegung fokussierender Linsensysteme.

Durch eine holistische Sichtweise auf die Optimierung der Entwicklungszeiten, die auch die Montage und Justage mit einschließt, lassen sich weitere beschleunigende Maßnahmen identifizieren. So ist geplant die Montage durch flexible standardisierte Linsenhaltungen zu beschleunigen, sowie die Justage der Systeme zu automatisieren.

6 Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für ihre Unterstützung im Rahmen des Exzellenzclusters „EXC 2023: Internet of Production“ an der RWTH Aachen University.

Literatur

- [1] Cooper, R. G., "Stage-gate systems: A new tool for managing new products," Business Horizons 33(3), 44–54 (1990).
- [2] Schuh, G., Rudolf, S. and Diels, F., "Methodology for the evaluation and selection of the suitability of highly iterative product development methods for individual segments of an overall development project," 661–665 (06.12.2015 - 09.12.2015).