

Volladaptiver Laserscheinwerfer – Alle Lichtfunktionen aus einem System

Julien Hansen*, Fabian Schüler*, Dr. Benjamin Willeke**, Marc Kaup**, Bernd Fischer**

*L-LAB, Lippstadt

**HELLA GmbH & Co. KGaA, Lippstadt

<mailto:julien.hansen@l-lab.de>

Das Ziel ist es, einen vereinfachten Beleuchtungspfad eines hochauflösenden Laserscheinwerfers zu realisieren. Dabei soll eine möglichst farb- und intensitätshomogene Beleuchtung eines DMD-Chips umgesetzt werden. Hierzu wird das aus einer Glasfaser austretende Laserlicht mittels eines einzigen Freiform-Facetten-Reflektors auf der aktiven DMD-Fläche abgebildet.

1 Einführung

Für die Umsetzung unterschiedlicher Lichtfunktionen sind in aktuellen automobilen Scheinwerfersystemen mehrere Module nötig. Um mit Hilfe eines hochauflösenden Scheinwerfers auf DMD-Basis mehrere Lichtfunktionen (wie beispielsweise ein klassisches Abblendlicht, ein blendfreies Fernlicht und adaptives Kurvenlicht) darstellen zu können, sollte der Ausleuchtungsbereich möglichst weit aufgezogen werden. Hierzu muss allerdings ein hoher Lichtstrom auf der begrenzten aktiven Fläche des DMD-Chips zur Verfügung gestellt werden. Die Abstrahlcharakteristik von Laserdioden begünstigt aufgrund der geringen Étendue die Ausleuchtung kleinster Flächen. Für den hochauflösenden Scheinwerfer wird eine sogenannte Remote-Laser-Lichtquelle verwendet, welche auf mehreren RGB Laserdioden basiert und bereits von HANSEN UND KAUP [1] vorgestellt wurde. Die Nutzung von RGB Laserdioden bringt allerdings neue Herausforderungen bezüglich einer Farb- und Intensitätshomogenisierung sowie einer Speckle-Reduzierung mit sich. Die benötigten optischen Systeme sind oftmals zu aufwändig für eine Verwendung im automobilen Scheinwerfer. Zur Vereinfachung wird an dieser Stelle ein Freiform-Facetten-Reflektor (FFR) vorgestellt, welcher einen aufwändigen optischen Beleuchtungspfad ersetzen soll und das austretende Laserlicht homogenisiert sowie entsprechend der Fläche des DMD-Chips abbildet.

2 Remote-Laser-Lichtquelle

Die genutzte Lichtquelle zur Realisierung eines volladaptiven Laserscheinwerfers besteht aus mehreren RGB Laserdiodenchips. Die Blau und Grün emittierenden Laserdiodenmodule werden auf Basis von Single-Emittern aufgebaut und in einem Faserausgang zusammengeführt. Das Modul zur roten Wellenlängenemission besteht aus Laserdiodenchip-Barren. Aus Tab. 1 gehen die Kennzahlen der verwendeten Lasermodule einer aktuellen Versuchsanordnung hervor. Die einzelnen Laserdiodenmodule sind mit SMA-Faseranschlüssen ausgestattet und werden in drei Glasfasern mit

Querschnitten von 400 μm eingekoppelt. Mittels eines 3x1 Faserkopplers werden die Eingangsfasern zu einer einzelnen Ausgangsfaser kombiniert, in welcher das Laserlicht bereits bis zu einem gewissen Grad vorgemischt wird. Die Ausgangsfaser besitzt hierbei einen Querschnitt von 800 μm . Das adaptierte Spektrum der drei Module resultiert in einem für den automobilen Scheinwerfer zulässigen Farbort im ECE-Weißbereich. Mit einem Wirkungsgrad des Faserkopplers von $\eta_{\text{Koppler}} = 0,9$ ergibt sich für den maximalen Strahlungsfluss der Lasermodule am Faserende ein Lichtstrom von 15000 lm.

	Rot	Grün	Blau
Wellenlänge	638 nm	525 nm	445 nm
Strahlungsfluss	40 W	20 W	10 W

Tab. 1 Kennzahlen der genutzten Laserdiodenmodule für den Aufbau der Remote-Laser-Lichtquelle

Es ist an dieser Stelle anzumerken, dass der aus der Ausgangsglasfaser austretende Lichtkegel keinen homogen ausgeleuchteten Bereich realisiert. In Abb. 1 sind die Speckle-Effekte sowie diverse Farbringe deutlich erkennbar, welche ohne die Nutzung weiterer optischer Elemente hinter der Glasfaser entstehen.

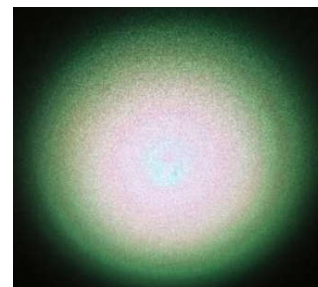


Abb. 1 Ausleuchtung des Lichtkegels aus der Ausgangsglasfaser der Remote-Laser-Lichtquelle ohne weitere optische Elemente

Für eine homogene Ausleuchtung des DMD-Chips gilt es, diese Effekte mit dem Beleuchtungspfad zu eliminieren. Dies wird zunächst mit einem aus vier Optiken bestehendem Initialsystem realisiert.

3 Beschreibung des Initialsystems

In dem Initialsystem wird die aus der Ausgangsfaser austretende Laserstrahlung mittels einer einfachen Bikonvexlinse kollimiert. Um den rechteckigen DMD-Chip homogen ausleuchten zu können, wird die horizontale und vertikale Aufweitung jeweils mit einem doppelseitigen Zylinderlinsen-Array realisiert, sodass bereits das richtige Aspektverhältnis der aktiven DMD-Fläche erreicht wird. Eine weitere Feldlinse bildet die Laserstrahlung auf dem DMD ab. Aus Abb. 2 geht die gemessene Beleuchtungsstärkeverteilung auf der aktiven Fläche des DMD-Chips hervor. Es zeigt sich eine homogene Lichtverteilung, welche allerdings über die horizontale Achse einen leichten Intensitätsabfall von rechts nach links aufweist. Dies ist dadurch bedingt, dass der DMD mit diesem Initialsystem über einen Winkel von etwa 30° beleuchtet wird.

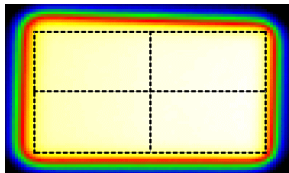


Abb. 2 Beleuchtungsstärkeverteilung resultierend aus dem initialen Beleuchtungspfad mit vier optischen Komponenten und eingezeichneter aktiver Fläche des DMD-Chips (gestricheltes Rechteck)

Dieses für den automobilen Scheinwerfer aufwändige optische System besitzt acht Grenzflächen, wovon lediglich die Kollimationslinse und die Feldlinse ein AR-Coating aufweisen. Der Wirkungsgrad für diesen Beleuchtungspfad beläuft sich aufgrund der restlichen Verluste an den Grenzflächen auf $\eta_{Initial} = 0,78$. Zusätzlich wird hier bei der Nutzung eines DMD-Chips ein sogenannter Overfill (also das Licht außerhalb der gestrichelten Linie in Abb. 2) von etwa 10% angestrebt, um alle Spiegel für die Erzeugung der Lichtverteilung nutzen zu können. Bei diesem Initialsystem wird ein Overfill von etwa 13,5% erzielt. Der Gesamtwirkungsgrad dieses optischen Beleuchtungspfades ergibt sich somit zu $\eta_{Initial_ges} = 0,67$. Es gilt allerdings, dieses optische System zu vereinfachen, indem die Anzahl der optischen Grenzflächen und die zueinander zu justierenden Komponenten reduziert werden.

4 Freiform-Facetten-Reflektor

Die Vereinfachung des Initialsystems soll durch eine Reduzierung der optischen Grenzflächen umgesetzt werden. Die einfachste Variante wäre es demnach, einen einzelnen Freiform-Reflektor zu realisieren, der das aus der Ausgangsfaser austretende Laserlicht auf die rechteckige Form des DMD-Chips abbildet. Hierbei tritt allerdings das Problem auf, dass die Speckle-Effekte nicht reduziert und die Farbringe nicht durchmischelt werden können. Bei der Auslegung des neuen optischen Systems soll somit die Funktionalität des Initialsystems als

grundlegende Bedingung angenommen werden. Hieraus ergibt sich ein facettierter Reflektor, welcher, in Anlehnung an ein Mikrolinsen-Array, eine Unterteilung des einfallenden Lichtbündels in eine der Facetten entsprechenden Anzahl N mit anschließender Überlagerung dieser Teilbündel in der Zielebene realisiert. Wie in Abb. 3 dargestellt, besitzt jede einzelne Facette hierbei eine Freiform, welche die Eigenschaft hat, den gesamten Ausleuchtungsbereich der aktiven Fläche des DMDs zu beleuchten.

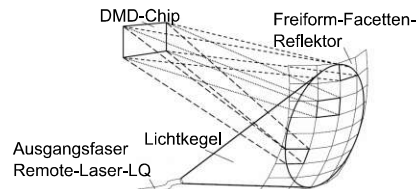


Abb. 3 Schematische Skizze des FFR [2]

Die Anzahl an Facetten auf dem Reflektor ergibt sich aus einem Kompromiss zwischen der Homogenität und den Verlusten, da diese beiden Kriterien bei einer Erhöhung der Facettenanzahl ansteigen. Bei der Auslegung des FFR wird ein Overfill von etwa 10% angestrebt. Wird die Reflektoroberfläche mit einer Silberbeschichtung und einer daraus resultierenden Reflektivität von 0,9 angenommen, so ergibt sich ein simulativer Gesamtwirkungsgrad des FFR von $\eta_{FFR_ges} = 0,8$. Somit kann der Wirkungsgrad laut Simulation im Vergleich zu dem Initialsystem um etwa 13% gesteigert und die Komplexität durch die Reduzierung der Grenzflächen reduziert werden.

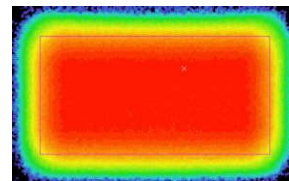


Abb. 4 Beleuchtungsstärkeverteilung aus der Simulation mit realen Strahldaten der Remote-Laser-Lichtquelle [2]

Ein Vergleich der Beleuchtungsstärkeverteilung des Initialsystems aus Abb. 2 mit der simulierten Verteilung aus Abb. 4 zeigt eine ausreichende Homogenität des Ausleuchtungsbereichs auf der aktiven Fläche des DMD-Chips. Somit kann die Vereinfachung des Initialsystems mit dem FFR realisiert werden.

Literatur

- [1] J. Hansen, M. Kaup: „Next Generation of Digital Light – Remote-Laser-Light Source supports DLP™“ in: *Proceedings of the 12th International Symposium on Automotive Lighting (ISAL 2017)*, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh (Hrsg.) (Darmstädter Lichttechnik), Volume 17, S. 291-297
- [2] F. Schüler: „Konzeptionierung und Realisierung eines optimierten Beleuchtungspfades für einen voll-adaptiven Laser-DMD-Scheinwerfer im Automobil“, *Masterthesis*, Ernst-Abbe-Hochschule Jena, Juni 2018