

Konzepte für hochauflösende Fahrzeugscheinwerfer unter Berücksichtigung der Étendue

Peer-Phillip Ley, Marcel Philipp Held, Alexander Wolf, Roland Lachmayer
Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, Leibniz Universität Hannover
mailto:ley@ipeg.uni-hannover.de

Die Auslegung effizienter Beleuchtungssysteme stellt eine zentrale Herausforderung bei der Entwicklung hochauflösender Fahrzeugscheinwerfer dar. In diesem Paper werden unterschiedliche Konzepte von Weißlichtquellen für pixelbasierte Beleuchtungssysteme vorgestellt.

1 Motivation

Hochauflösende Fahrzeugscheinwerfer stellen eine zukunftsweisende Technologie dar, mit der Sicherheit und Komfort im Straßenverkehr gesteigert werden können. Beispielsweise lässt sich die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer [1] und die Selbstblendung an retroreflektierenden Verkehrszeichen durch Anpassung der Lichtverteilung vermeiden [2]. Gleichzeitig können Navigations- oder Fahrhinweise auf die Straßenoberfläche projiziert werden [3]. Die Bilderzeugung basiert dabei auf flächenmodulierenden Elementen (FEs) wie Mikrospiegelarrays (DMD) [4], Flüssigkristalldisplays (LCD) [5] oder LED-Arrays [6].

Während LCDs und DMDs als subtraktive Bilderzeuger eine Lichtverteilung durch gezielte pixelweise Absorption generieren und über mehrere Millionen Bildpunkte verfügen können, werden bei LED-Arrays nur die tatsächlich benötigten LEDs bestromt. Dafür ist die Pixelanzahl dieser Systeme zurzeit noch auf mehrere Tausend begrenzt.

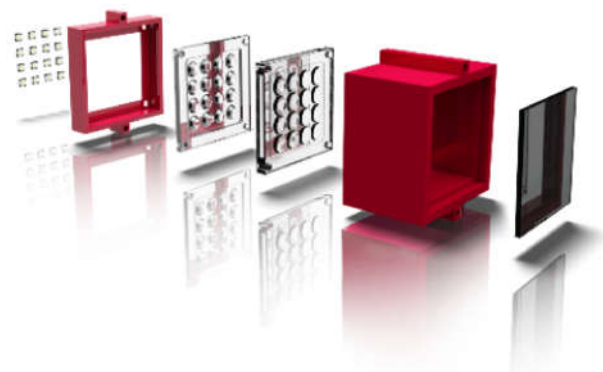


Abbildung 1 Modulare LED-Array-Leuchteinheit

Beim Einsatz von LED-Arrays als Bilderzeuger soll einerseits möglichst viel des Lichtstroms jeder Halbleiterlichtquelle erfasst werden. Andererseits sind die Abbilder der Emissionsflächen ohne Lücken oder Intensitätsunterschiede auf einer Zwischenbildebene nebeneinander zu positionieren [6], (vgl. Abb. 1).

DMDs und LCDs hingegen müssen für ein wirkungsgradstarkes System möglichst präzise ausgeleuchtet werden. Gleichzeitig darf der Akzeptanzwinkel des Lichtmodulators für eine kontrastreiche Darstellung nicht überschritten werden.

Bei beiden Ansätzen müssen somit der Abstrahlwinkel und die lichtemittierende Fläche der Quelle auf den Akzeptanzwinkel des Lichtmodulators bzw. der Zwischenbildebene und deren Größe abgestimmt werden. Dies geschieht unter Zuhilfenahme der Étendue [7].

2 Étendue

Die Étendue G ist eine rein geometrische Größe, welche sich aus dem Produkt der lichtemittierenden Fläche δA und dem zugehörigen Raumwinkel $\delta\Omega$ gemäß

$$\delta^2 G = \delta A \delta\Omega = A \iint \sin\theta \cos\theta \delta\theta \delta\phi = A\pi \sin^2\theta \quad (1)$$

zusammensetzt und eine Erhaltungsgröße darstellt (vgl. Abb. 2).

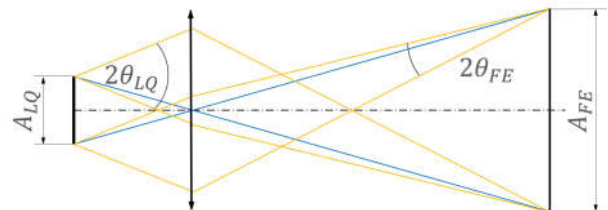


Abbildung 2 Geometrische Definition der Étendue

Für ein ideales optisches System gilt $G_{LQ} = G_{FE}$. Mit der Größe und dem Akzeptanzwinkel des flächenmodulierenden Elements kann über die Étendue G_{FE} des Modulators die maximal nutzbare Étendue G_{LQ} der Lichtquelle bestimmt werden. Da es jedoch oft nicht sinnvoll ist, das in beliebige Richtungen von einer Quelle emittierte Licht einzufangen, kann bei $G_{FE} < G_{LQ}$ der zu nutzende Abstrahlwinkel der Lichtquelle bestimmt werden.

3 Konzepte für substraktive Bilderzeuger

Um für alle Fahrsituationen und unter Berücksichtigung der Verluste im optischen System beispielsweise eines DMD-basierten Scheinwerfers eine ideale Lichtverteilung bereitstellen zu können wird eine Lichtquelle mit mindestens 6000 lm benötigt. Die hierfür erforderliche Überlagerung des Lichtstroms mehrerer LEDs wird anhand von zwei Konzepten betrachtet.

Das erste Konzept basiert auf einer Arrayanordnung weißer LEDs. Zur Erhaltung der Étendue ist es empfehlenswert, die einzelnen LEDs nebeneinander auf einer Zwischenbildebene abzubilden, wobei alle einen identischen Öffnungswinkel aufweisen. Eine weitere Alternative besteht in der Kollimation des Lichts jeder einzelnen LED und die nahezu parallelen Strahlen nebeneinander zu legen (Abb. 3).

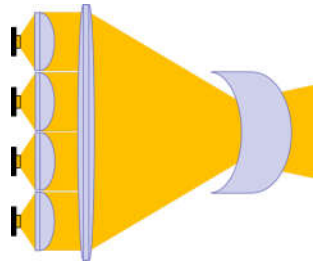


Abbildung 3 High-Power-LED-Array als Weißlichtquelle

Analog zu den obigen Überlegungen für eine Lichtquelle kann bei bekanntem Lichtmodulator die erforderliche Anzahl n der LEDs bestimmt werden, welche gemäß

$$G_{Array} = n \cdot G_{LQ} \geq G_{FE} \quad (2)$$

abhängig vom genutzten Abstrahlwinkel θ_{LQ} der Lichtquelle ist.

Das zweite Konzept basiert auf der Überlagerung von LEDs mit unterschiedlichen Wellenlängen durch dichroitische Bauelemente (Abb. 4). Hier lassen sich die virtuellen Emissionsflächen mehrerer Lichtquellen exakt überlagern, so dass die Étendue des Systems gleich der maximalen Étendue der eingesetzten LEDs ist.

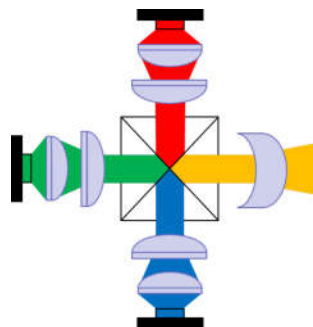


Abbildung 4 RGB-Weißlichtquelle mit dichroitischem Kreuzprisma

Um entsprechende hochauflösende Scheinwerferkonzepte in zukünftigen Probandenstudien testen und validieren zu können, wurde am Institut für Produktentwicklung und Gerätebau ein Fahrzeug umgerüstet. Das Versuchsfahrzeug wurde mit einem Versuchsträger zur Aufnahme der Scheinwerferprototypen ausgestattet und ein Kamerasystem zur Detektion der Straßentopologie integriert (Abb. 5).



Abbildung 5 Testfahrzeug mit Versuchsträger

4 Danksagung

Die Autoren wurden vom Niedersächsischen Ministeriums für Wissenschaft und Kultur im Rahmen des Programms Tailored Light unterstützt.



Literatur

- [1] S. Michenfelder (2015): *Konzeption, Realisierung und Verifikation eines automobilen Forschungscheinwerfers auf Basis von Digitalprojektoren*. KIT Scientific Publishing, ISBN: 978-3-7315-0301-9.
- [2] Ch. Jürgens (2015): *Der kontrastadaptive Scheinwerfer*. TEWISS Verlag, ISBN: 978-3-90900-015-4.
- [3] A. Z. Krahnstöver (2017): *Licht führt!?*. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ISBN: 978-3-658-17160-5.
- [4] A. Wolf, G. Kloppenburg, R. Danov, R. Lachmayer (2016): *DMD Based Automotive Lighting Unit*, DGaO Proceedings 2016, ISSN: 1614-8436.
- [5] H. Hesse (2015): *BMBF-Project VOLIFA 2020 - High resolution light distribution by using a LCD*, In: Khanh (Hrsg.): *Proceedings of the 11th International Symposium on Automotive Lighting*. München : Herbert Utz Verlag GmbH, S. 495-502, ISBN: 978-3-8316-4482-7.
- [6] A. Kusch, M. Wurz, M. P. Held, A. Wolf, R. Lachmayer (2017): *LED packaging with optimized heat dissipation for a micro LED array*, In T. Otto (Hrsg.): *Smart Systems Integration*, S. 399-402, ISBN: 978-3-95735-057-2.
- [7] G. Kloppenburg, A. Wolf, R. Lachmayer (2016): *High-resolution vehicle headlamps: technologies and scanning prototype*, In: *Advanced Optical Technologies* 5, Nr. 2, S. 147-155.