

Konzepte zur Beleuchtung von Lichtmodulatoren

Peer-Phillip Ley*, Marcel Philipp Held*, Alexander Wolf*, Roland Lachmayer*

*Institut für Produktentwicklung und Gerätebau, Leibniz Universität Hannover
mailto:ley@ipeg.uni-hannover.de

Hochauflösende Pixellichtsysteme werden mithilfe verschiedener Modulatortechnologien in unterschiedlichen Anwendungsbereichen eingesetzt. Zur Umsetzung wirkungsgradstarker Systeme sind geeignete Beleuchtungskonzepte der Modulatorfläche erforderlich. Dieses Paper stellt anwendungsbezogene Vor- und Nachteile abbildender und nichtabbildender Beleuchtungskonzepte gegenüber.

1 Motivation

Lichtmodulatoren wie Liquid Crystal Displays (LCDs), Digital Micromirror Devices (DMDs) und Liquid Crystal on Silicon (LCoS) werden heutzutage in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen eingesetzt. Abgesehen von den technologischen Restriktionen der verschiedenen Lichtmodulatoren stellen die Anwendungsbereiche weitere Anforderungen an die Umsetzung wirkungsgradstarker Systeme. Hierzu zählt beispielsweise die präzise Beleuchtung des Lichtmodulators bei gleichzeitiger Ausschöpfung des Étenduepotentials [1]. Darüber hinaus besteht durch die individuelle Beleuchtung einzelner Segmente der aktiven Modulatorfläche die Möglichkeit eine inhomogene Beleuchtung zu realisieren. Die Generierung eines Hot Spots (**Abb. 1**) auf der Modulatorfläche ist beispielsweise für das Anwendungsgebiet der Fahrzeuglichttechnik vorteilhaft.

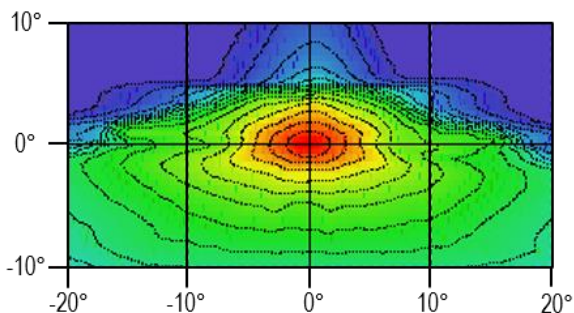


Abb. 1 Ausschnitt einer KFZ-Fernlichtverteilung auf einer 25 m entfernten Wand.

2 Beleuchtungskonzepte

Die in Tabelle 1 dargestellten Beleuchtungskonzepte verdeutlichen skizzenhaft abbildende und nichtabbildende Beleuchtungen einer Modulatorfläche. Der wesentliche Unterschied dieser Konzepte liegt in der reinen Ausleuchtung der Modulatorfläche (nichtabbildend) beziehungsweise der Überlagerung der einzelnen Abbilder von der Emissionsfläche der Lichtquellen auf der Modulatorfläche (abbildend) (**Abb. 2**).

Darüber hinaus können die abbildenden Konzepte

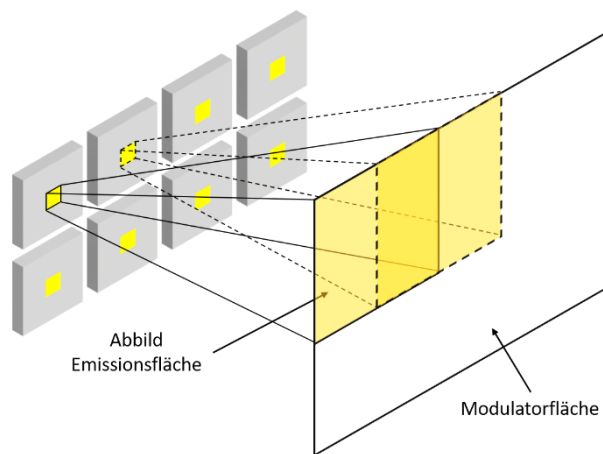


Abb. 2 Schematische Darstellung der Überlagerung der Emissionsflächen auf der Modulatorfläche.

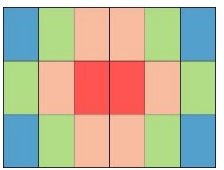
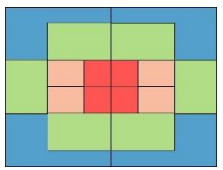
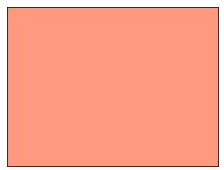
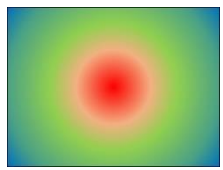
hinsichtlich des Abbildungsmaßstabes (konstant und individuell) unterteilt werden. Bei einem konstanten Abbildungsmaßstab sind die Abbilder der Emissionsflächen gleich groß. Konträr dazu weisen die Abbilder der Emissionsflächen bei einem individuellen Abbildungsmaßstab unterschiedliche Größen auf, welches den allgemeinen Fall widerspiegelt. Nichtabbildende Beleuchtungskonzepte können in homogen und inhomogen differenziert werden. Bei einer homogenen Ausleuchtung ist die Beleuchtungsstärke über der gesamten Modulatorfläche konstant, während sie bei einer inhomogenen Ausleuchtung variiert. Die Konzeptskizzen der Beleuchtungsstärke auf der Modulatorfläche sind farblich klassifiziert. Rote Bereiche weisen auf eine hohe Beleuchtungsstärke und blaue Bereiche auf eine niedrige Beleuchtungsstärke hin.

3 Bewertungskriterien

Um anwendungsbezogene Vor- und Nachteile unter Verwendung einer abbildenden beziehungsweise nichtabbildenden Beleuchtung der Modulatorfläche bewerten zu können, wird eine Bewertungsmatrix mit den folgenden Kriterien erarbeitet:

Segmentierung

In Abhängigkeit vom Beleuchtungskonzept kann die aktive Modulatorfläche beispielweise in ein Segment (nichtabbildende homogene Beleuchtung) be-

| Beleuchtungskonzept | Abbildend | | Nichtabbildend | |
|--|---|---|--|---|
| Konzeptskizze der Beleuchtungsstärke auf der Modulatorfläche |  |  |  |  |
| Bewertungskriterium | | | | |
| Segmentierung | + | ++ | -- | -- |
| Wärmeeintrag | - | -- | ++ | - |
| Toleranzsensitivität | - | -- | ++ | + |
| Überfüllung | ++ | ++ | o | - |
| Étenduelimit | + | o | + | - |

Tab. 1 Bewertungsmatrix der Beleuchtungskonzepte

ziehungweise in mehrere Segmente (abbildend) unterteilt werden. Bei abbildenden Beleuchtungskonzepten wird jedem Segment eine eigene Lichtquelle zugeordnet. Dadurch kann eine Effizienzsteigerung durch Abschalten einzelner Segmente erreicht werden.

Wärmeeintrag

Auf der aktiven Modulatorfläche kann eine Varianz der Beleuchtungsstärke zu einem inhomogenen Wärmeeintrag führen. Sehr hohe Intensitäten erzeugen lokale Temperaturspitzen die den Modulator beschädigen können.

Toleranzsensitivität

Die Toleranzsensitivität beschreibt die Umsetzbarkeit des Beleuchtungskonzepts bei Formabweichungen der optischen Elemente. Kontraststarke Beleuchtungskonzepte mit scharfen Konturen sind hinsichtlich der Formtoleranzen besonders empfänglich. Kleine Formabweichungen können innerhalb einzelner Segmente inhomogene Beleuchtungsstärken erzeugen, welche durch den Modulator kompensiert werden müssen.

Überfüllung

Die Beherrschbarkeit der Überfüllung berücksichtigt das Vermögen die aktive Modulatorfläche präzise zu beleuchten. Dabei beschreibt die Überfüllung das Verhältnis aus aktiver Modulatorfläche zur beleuchteten Fläche. Eine Überfüllung >1 führt zur Reduktion des nutzbaren Lichtstroms.

Étenduelimit

Die Étendue charakterisiert die räumliche und angulare Ausbreitung von Licht in einem optischen System. Unter der Annahme eines verlustfreien optischen Systems ohne Streuung, Fresnel-Reflexion, Absorption und Polarisation ist die Étendue des Lichtmodulators lediglich von der Größe der aktiven Modulatorfläche und dessen Akzeptanzwinkel abhängig. Die Ausschöpfung des Étenduelimits charakterisiert die Möglichkeit, das Étenduepotential des Modulators in Abhängigkeit vom Beleuchtungskonzept vollumfänglich zu nutzen.

4 Fazit

Eine nichtabbildende, homogene Beleuchtung der Modulatorfläche ist Stand der Technik in Projektionseinheiten, die eine dynamische und individuelle Darstellung von Bildern fordern.

Für Anwendungsgebiete mit inhomogenen Lichtverteilungen, wie in **Abb. 1** beispielhaft dargestellt, eignet sich dieses Beleuchtungskonzept weniger. Ein inhomogenes nichtabbildendes Beleuchtungskonzept besitzt die Herausforderung, dass eine rechteckige Modulatorfläche rotationssymmetrisch ausgeleuchtet wird. Dies führt zu einer Überfüllung oder einer unvollständigen Ausschöpfung des Étenduepotentials. Um dies zu vermeiden eignen sich abbildende Beleuchtungskonzepte mit mehreren individuell beleuchteten Segmenten.

Darüber hinaus kann die Systemeffizienz durch Abschalten der Lichtquellen nicht genutzter Segmente gesteigert werden. Das durch die Überlagerung resultierende, inhomogene Beleuchtungskonzept weist eine hohe Toleranzsensitivität und ähnliche Wärmeeinträge wie beim nichtabbildenden inhomogenen Konzept auf. Durch die individuelle Anpassung einzelner Segmente (Konzept 2 in **Tab. 1**) an das jeweilige Anwendungsgebiet kann der Effizienzvorteil maximiert werden. Für eine Fernlichtverteilung wie in **Abb. 1** dargestellt wäre dies das effizienteste Konzept.

5 Danksagung

Dieses Projekt wurde vom Ministerium für Wissenschaft und Kultur im Rahmen des Promotionsprogramms *Tailored Light* unterstützt.

Literatur

- [1] P.-P. Ley and M. P. Held and A. Wolf and R. Lachmayer: „Konzepte für hochauflösende Fahrzeugscheinwerfer unter Berücksichtigung der Étendue“ DGaO Proceedings 2017 (2017). URL http://www.dgao-proceedings.de/download/118/118_p19.pdf