

# Zur lichttechnischen Bewertung von Hell-Dunkel-Grenzen

Gerhard Kloos

Hella

Lighting Division, Lippstadt

<mailto:gerhard.kloos@hella.com>

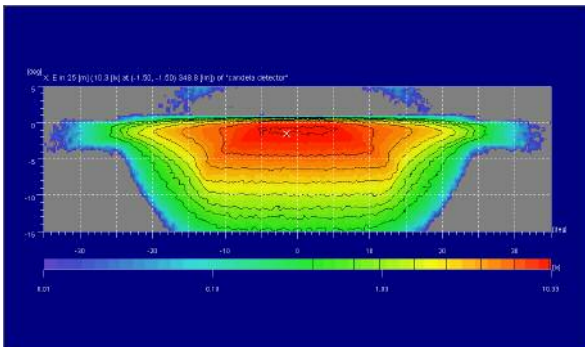
Es werden Kenngrößen zur Beschreibung von Hell-Dunkel-Grenzen vorgestellt, die es erlauben, den Fortgang einer Optimierung mit einem eingeschränkten Parametersatz zu steuern. Einige davon kommen auch bei der Tolerierung der optischen Geräte, die Hell-Dunkel-Grenzen in der Lichtverteilung erzeugen, zur Anwendung.

## 1 Einführung

Die gezielte Realisierung von Hell-Dunkel-Grenzen ist in verschiedenen Bereichen der Beleuchtungstechnik von Bedeutung. Dazu zählen u.a. die Auslegung von Scheinwerfern, die Straßenbeleuchtung in Wohnbereichen sowie die Beleuchtung von Flugfeldern.

In einigen Bereichen gibt es Vorschriften für die zu erzielenden Schärpen und Verläufe der Hell-Dunkel-Grenzen. Insbesondere im Verkehrswesen bestehen Festlegungen, die eine Entblendung des Gegenverkehrs bei ausreichender Scheinwerferwirkung sicherstellen sollen.

Abb. 1 zeigt einen symmetrischen Anteil einer LED-Scheinwerferlichtverteilung mit ausgeprägter Hell-Dunkel-Grenze in der Winkeldarstellung.



**Abb. 1** Mit Primär- und Sekundäroptik erzeugter symmetrischer Anteil einer LED-Scheinwerferlichtverteilung. Auftragung der simulierten Beleuchtungsstärke in 25m Abstand gegen Horizontal- und Vertikalwinkel.

## 2 Beschreibungsweisen und Optimierung

Ein in der Automobiltechnik verbreitetes Verfahren zur Bewertung von Hell-Dunkel-Grenzen zieht das Maximum eines logarithmischen Ausdruckes zur Bewertung eines Vertikalschnittes durch die Hell-Dunkel-Grenze heran [1]:

$$G(\beta) = \lg \frac{E(\beta)}{E(\beta + 0,1^\circ)} \quad (1)$$

$$g = \max[G(\beta)]$$

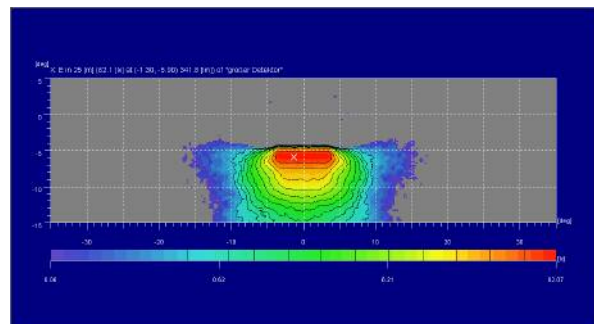
Darin ist  $\beta$  der Vertikalwinkel und  $E(\beta)$  die Beleuchtungsstärke in 25m. Zur Festlegung der Position  $\beta_{HDG}$  der Hell-Dunkel-Grenze wird eine Bedingung an die zweite Ableitung des dekadischen Logarithmus der Beleuchtungsstärke verwendet:

$$\frac{d^2}{d\beta^2} \lg[E(\beta)] = 0 \quad (2)$$

Bei der Auswertung optischer Simulationen erweist sich Gl. (1) als sehr empfindlich gegenüber numerischem Rauschen. Für präzise Aussagen muss daher mit sehr vielen Strahlen gerechnet werden.

Gl. (2) erfasst keine monoton fallenden Hell-Dunkel-Grenzen-Verläufe, die bei neuartigen Optiken durchaus auftreten.

Alternativ lässt sich das Maximum der ersten Ableitung der (logarithmierten) Beleuchtungsstärke zur Bestimmung der Lage und der Gradient an dieser Winkelposition zur Schärfestimmung heranziehen. Dieser Ansatz ist weniger rechenintensiv und breiter anwendbar.



**Abb. 2** Lichtverteilung einer Optik mit hohem Wirkungsgrad für ein LED-Autobahnlicht-Modul

Für eine robuste Auslegung zu Beginn der Optimierung eignet sich der folgende, eingeschränkte Satz an Bedingungen:

$$E_{\max} \geq E_{\max, \text{Soll}} \quad (3)$$

$$\forall \beta \in ]\beta_{Gr}, \beta_{\infty}[ : E \leq E_{Gr} \quad (4)$$

$$|\beta_{Gr} - \beta_{\max}| \leq \Delta\beta_{\text{Soll}} \quad (5)$$

Mit Bedingung (3) wird die Scheinwerferwirkung beschrieben. Gl. (4) legt fest, dass die Blendung einen gewissen Grenzwert nicht überschreiten darf und Gl. (5) beschreibt, dass der Hell-Dunkel-Übergang in einem sehr schmalen Winkelbereich  $\Delta\beta_{\text{Soll}}$  erfolgen soll (Abb. 3).

Die Grundgeometrie der eine Hell-Dunkel-Grenze erzeugenden Beleuchtungsoptik, deren Lichtverteilung in Abb. 2 gezeigt wird, wurde mit diesem Ansatz ausgelegt. Lediglich in der Endphase wurden Feinoptimierungen und Analysen aufgrund der Gln. (1-2) ausgeführt.

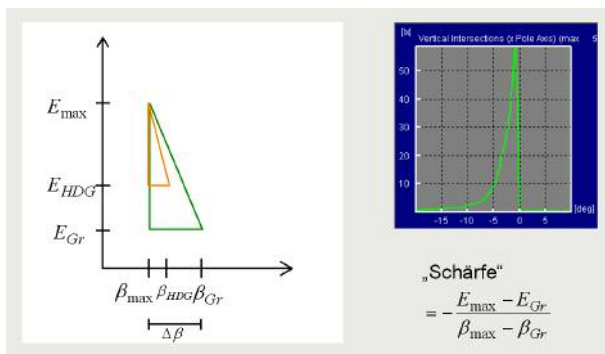


Abb. 3 Die Parameter des Ungleichungssystems (3-5)

### 3 Toleranzuntersuchungen

Die Tolerierung solcher und ähnlicher Beleuchtungsoptiken kann vorteilhaft in drei Schritten erfolgen: Zunächst wird die Optik paraxial bezüglich Lage- und Winkeltoleranzen beschrieben [2,3]. Danach kann eine Tolerierung auf Eigenschaften der Beleuchtungsstärkeverteilungen erfolgen (Abb. 4). Und schließlich müssen rechenintensive Toleranzuntersuchungen gemäß den Formeln (1-2) ausgeführt werden, um die Typprüffähigkeit des lichttechnischen Gerätes sicherzustellen.

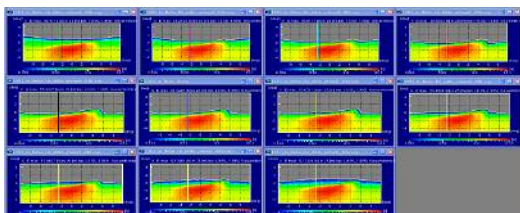


Abb. 4 Änderung einer Lichtverteilung mit 15°-Ast bei axialer Dejustierung

Die einzelnen Graphen in Abb. 5 wurden mit jeweils 200 Millionen Strahlen simuliert, um eine ausreichende Datenqualität zu gewährleisten. Die Toleranzuntersuchungen umfassen Umweltein-

flüsse wie Temperatur sowie Lage- und Winkeltoleranzen (Abb. 6).

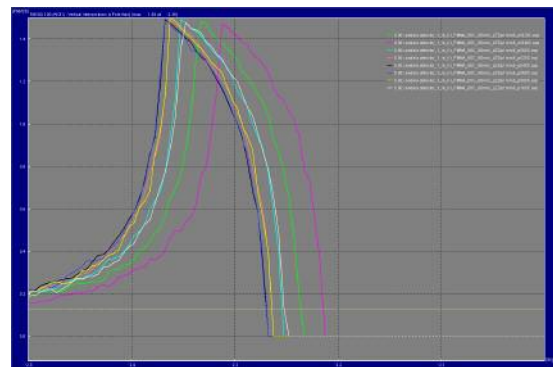


Abb. 5 Tolerierung gemäß den Kriterien (1-2). Aufgetragen wurde die Größe  $G(\beta)$ , deren Maximum zur Bestimmung der Hell-Dunkel-Grenze dient. Diese verlagert sich bei der untersuchten Kunststoffoptik (Abb. 2) im Temperaturintervall  $[-40^{\circ}\text{C}, 100^{\circ}\text{C}]$  lediglich um  $0,06^{\circ}$ .

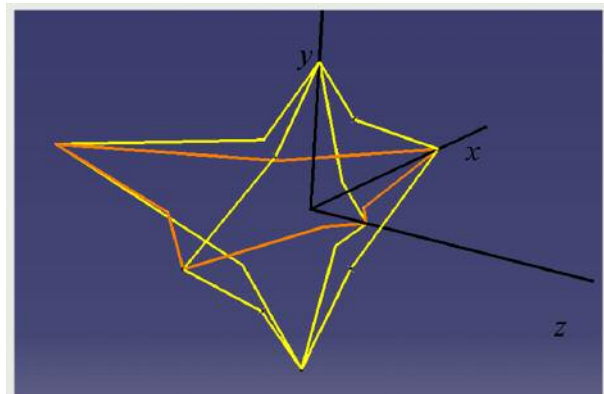


Abb. 6 Hilfsmittel zur Visualisierung von Lagetoleranzen. Ausgehend von der Sollstellung werden die Linsenpositionen abgetragen, bei denen das Gerät noch typprüffähig ist. Die Berandung ist eigentlich kontinuierlich. Sie wird diskretisiert, da die Bestimmung der einzelnen Punkte mit hohem Simulationsaufwand verbunden ist.

Zu Beginn der Auslegung erlaubt die Verwendung eines begrenzten Satzes von Kenngrößen eine beschleunigte und robuste Optimierung. Zur Feinoptimierung und Vorbereitung auf die Typprüfung sind aufwändige Simulationen gemäß den Vorgaben (z.B. ECE-Vorschriften [1]) erforderlich. Mit diesem Vorgehen wurden Optiken entwickelt, die robust bezüglich Lage- und Orientierungstoleranzen sowie stabil im Hinblick auf Temperatureinflüsse sind.

### Literatur

- [1] ECE/TRANS/WP.29/2007/77 (Economic Commission for Europe 2007)
- [2] G. Kloos, *Matrix Methods for Optical Layout*, (SPIE Press 2007)
- [3] Entwurf und Auslegung optischer Reflektoren (expert verlag 2007)