



MESSUNG UND SIMULATION POLYCHROMATISCHER STRAHLENDATEN

Beim Einsatz in Fahrzeugen bietet die Funktionalität von LEDs neue Möglichkeiten, und ihre Effizienz wird noch steigen. Allerdings bedarf es spezifischer Designmethoden sowie geeigneter Mess- und Simulationstechnik. Standardmäßige monochrome Strahlendatensätze reichen in diesem Zusammenhang nicht aus. Opsira setzt daher Kamerasysteme kombiniert mit einem Filtersatz ein, die den gesamten Emissionsbereich der Quelle abdecken. Sie lassen die Erhebung polychromatischer Strahlendatensätze zu. So können auch mehrfarbige Lichtquellen genau modelliert werden.



AUTOR



DR. DIRK HANSEN

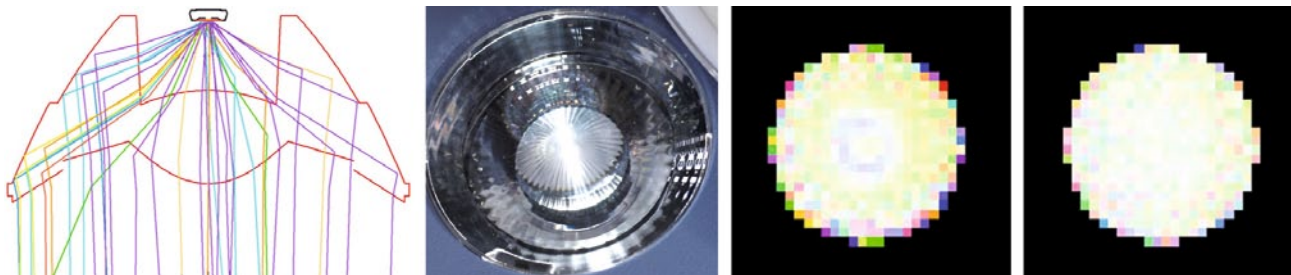
ist Projektleiter Messsysteme und arbeitet im Engineering-Bereich bei Opsira in Weingarten.

HINTERGRUND

Im Automobilbereich müssen LEDs mit dem Standard, den Xenon-Licht in den Premiumsegmenten verschiedener Autofabrikate gesetzt hat, konkurrieren können. Dazu gehören auch alle Funktionen intelligenter Lichtsysteme, zum Beispiel das Landstraßenlicht mit stärker ausgeleuchtetem linken Fahrbahnrand verglichen mit dem normalen Abblendlicht, das Autobahnlicht, das bei höheren Geschwindigkeiten die volle Fahrbahnbreite ausleuchtet und deutlich mehr Sichtweite bringt, das erweiterte Nebellicht mit besser beleuchtetem Fahrbahnrand, das aktive Kurvenlicht mit den Lenkbewegungen folgenden Scheinwerfern und das Abbiegelicht, das die gewünschte Fahrtrichtung zusätzlich aufhellt. Darüber hinaus ist es möglich, LEDs mit einem adaptiven Fernlicht-Assistenten zu verbinden, der die Scheinwerfer kontinuierlich und automatisch auf- und abdimmte sowie die Leuchtweite des Abblendlichts steuert. Die platzsparenden LEDs kommen mittlerweile in fast allen Bereichen der Automobilbeleuchtung zum Einsatz. Dabei bieten sie Licht in unterschiedlichen Farben; fast das gesamte Farbspektrum von Ultraviolett bis Infrarot steht zur Verfügung und kann auch die Fahrassistenten bedienen.

LED- UND XENONSCHWEINWERFER IM VERGLEICH

Ein weiterer Vorteil der LED-Scheinwerfer ist die geringere Blendwirkung gegenüber konventionellen Scheinwerfern, da das Licht aus vielen flächig verteilten LEDs kommt. Die Lichtfarbe weißer LEDs hat mit 5500 K eine dem Tageslicht ähnliche Farbtemperatur. Sie bieten daher eine optimale Ausleuchtung der Straße. Weiterhin ist die lange Lebensdauer zu erwähnen, die mit 10.000 h mehr als fünfmal so lang ist als die einer Xenonlampe. Dazu bieten Hochleistungs-LEDs Leistungen von circa 100, teils schon 150 lm/W. Beim Autoscheinwerfer liegen Xenon und LED bezüglich ihrer Lichtleistung noch ziemlich nahe beieinander. Der neue Voll-LED-Scheinwerfer von Daimler liefert laut Unternehmen wie der aktuell eingesetzte Xenonscheinwerfer etwa 17 lm/W. Für 2013 rechnet man mit LED-Scheinwerfern, die 36 lm/W leisten. Dazu kommt, dass das Lichtdesign des Tagfahrlichts der Fahrzeuge durch LEDs markentypisch unverwechselbar ist.



1 Beispiel einer Optik zur Farbmischung und homogenen Beleuchtung; von links nach rechts: Strahlengang in der Optik; Produktbild der Optik; Detektion der beleuchteten Fläche bei schlechter Farbmischung; gleiche Fläche mit guter Farbmischung (Verpixelung aufgrund begrenzter Detektorauflösung)

Bei allen Möglichkeiten, die der LED-Einsatz den Fahrzeugherstellern etwa zur Gestaltung des Innenraums bietet, sind die Anforderungen an straßenverkehrsrelevante Lichtfunktionen, zum Beispiel Scheinwerfer oder Heckleuchten, gesetzlich streng geregelt. Die Komponenten werden behördlich geprüft und zugelassen. Wichtig sind hier Lichtintensität, Lichtfarbe, Sichtbarkeitswinkel, Anbaumaße sowie elektrische Schaltung und Funktion. Entsprechend hoch ist der Entwicklungsaufwand für einen High-End-LED-Scheinwerfer. Die Gründe dafür sind, dass die Komplexität der Lichtverteilungen und Lichtfunktionen im Zusammenspiel mit Sensorik und Fahrerassistenzsystemen mühsam zu ermitteln und zu designen sind und der Aufwand für Ansteuerung sowie Kühlung der Hochleistungs-LEDs hoch ist. Zusätzlich muss man dem Designanspruch Rechnung tragen.

ANFORDERUNGEN AN WEISSES LED-LICHT

Solange man monochromatische LEDs nutzt, ist der Einsatz wenig problema-

tisch. Der Großteil der Anwendungen erfordert allerdings weißes Licht und somit eine additive Farbmischung. Um diese zu erzeugen, kombiniert man verschiedenfarbige LEDs; meist wird aus Kostengründen aber ein Lumineszenzfarbstoff eingesetzt. Dabei fällt die Wahl wegen der höheren Effizienz in der Regel auf blaue LEDs, die mit einem Lumineszenzfarbstoff kombiniert werden. Dieser wandelt das blaue Licht in langwelligeres um, welches sich mit Blau zu Weiß addiert.

Außerdem haben die LEDs einer Charge herstellungsbedingt nicht alle dieselbe Farbtemperatur. Demnach müssen die erforderlichen Voraussetzungen geschaffen werden, um im Mittel eine einheitliche Farbtemperatur zu erreichen. Zudem wird oft eine bestimmte Farbtemperatur für den Leuchtkörper gewünscht. Lichttechniker stehen in diesem Zusammenhang vor der Herausforderung, über Messungen der Strahlungsparameter der LEDs ein Modell zu erzeugen und über diese Datensätze das Lichtdesign mittels Simulation für den Einsatz zu optimieren, 1.

MESSUNG POLYCHROMATISCHER STRAHLENDATENSÄTZE

Viele LEDs zeigen spektrale Verteilungen, die in Abhängigkeit von Blickwinkel und Ort auf dem Chip variieren. Mit einem goniometrischen System, das eine Strahllichtkamera mit einem Filterrad und einem Spektroradiometer kombiniert, kann diese Variation gemessen werden. Als Ergebnis erhält man einen polychromatischen Strahlendatensatz, der dann als Basis zum Modellieren der Eigenschaften von anspruchsvollen LED-basierten Beleuchtungskörpern, etwa für medizinische, architekturelle oder Automotive-Anwendungen dient.

Mittels Optikentwicklungs- und Simulationstools werden optische Elemente so modelliert, dass die gewünschte Verteilung der Beleuchtungsstärke und -farbe entsteht. Meist wünscht der Auftraggeber eine homogene Verteilung der Parameter. Dazu müssen detaillierte Daten der Lichtquelle verfügbar sein und diese erfordern optimierte Modellertechniken für die Arbeit mit mehrfarbigen Lichtquellen.

2 Strahllichtkamera mit Filterrad (links) und Spektroradiometer (rechts)



Ein Strahlendatensatz charakterisiert die optischen Eigenschaften einer Lichtquelle. Er beinhaltet eine Menge von Vektoren, denen ein Startpunkt auf der Lichtquelle sowie eine Richtung zugeordnet ist. Verschiedene Gewichte der Vektoren charakterisieren unterschiedlich starke Lichtausstrahlung. Um eine Lichtquelle zu simulieren, müssen die Entwickler wissen, wieviel Licht einer bestimmten Wellenlänge von welchem Teil der Lichtquelle in welche Richtung emittiert wird.

ANSATZ

Zur Durchführung der hierzu notwendigen Messreihen benutzt Opsira eine Standard-Strahldichtekamera, ② (links), kombiniert mit einem Filterrad mit bis zu zehn Filtern. Diese Kamera sitzt auf einem goniometrischen Aufbau und kann über die Oberfläche einer imaginären Kugel um die Lichtquelle bewegt werden, um so bezogen auf die Beobachtungsrichtung winkelaufgelöste Strahldichtemessungen durchführen zu können, ③.

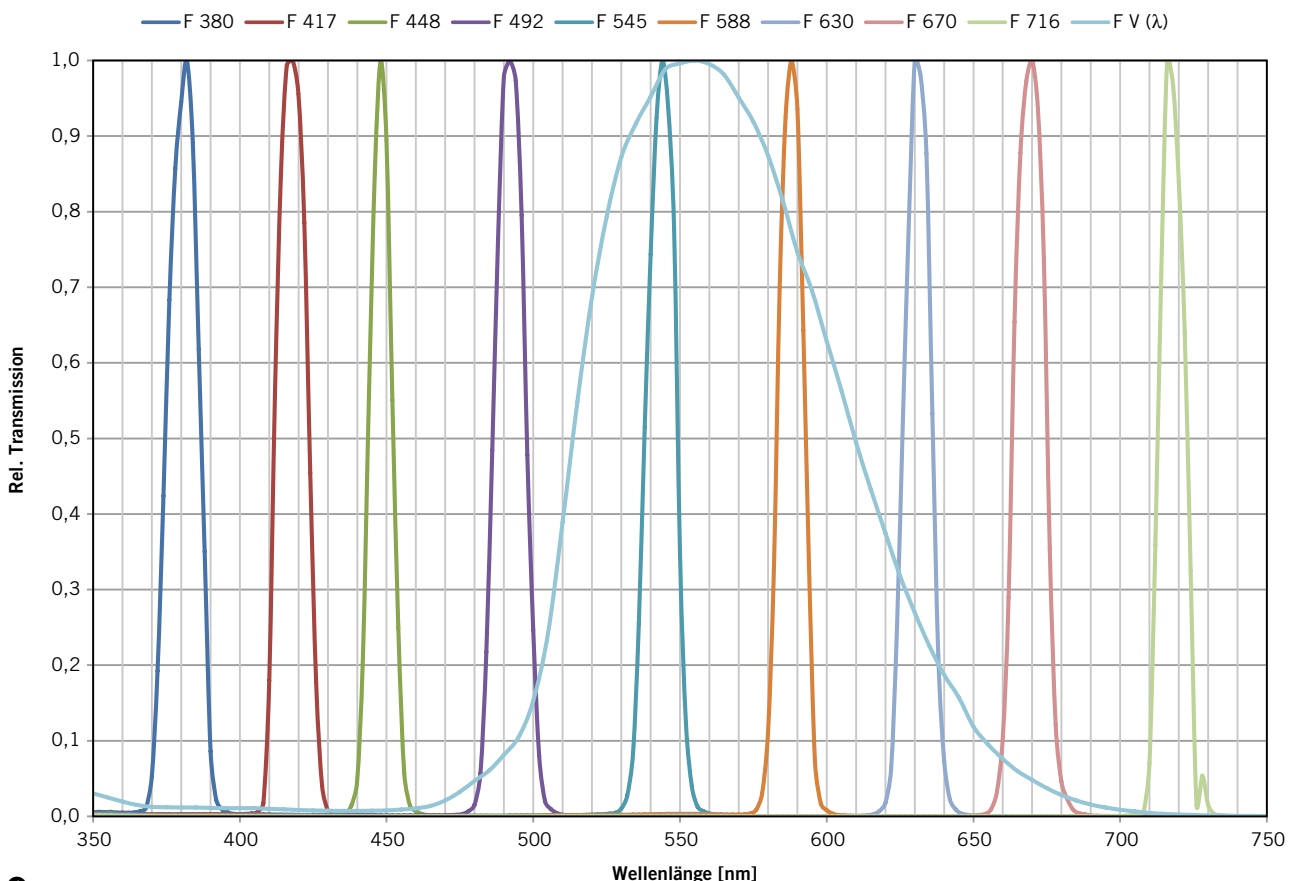
Verschiedene Filter lassen Messungen in unterschiedlichen Spektralbereichen



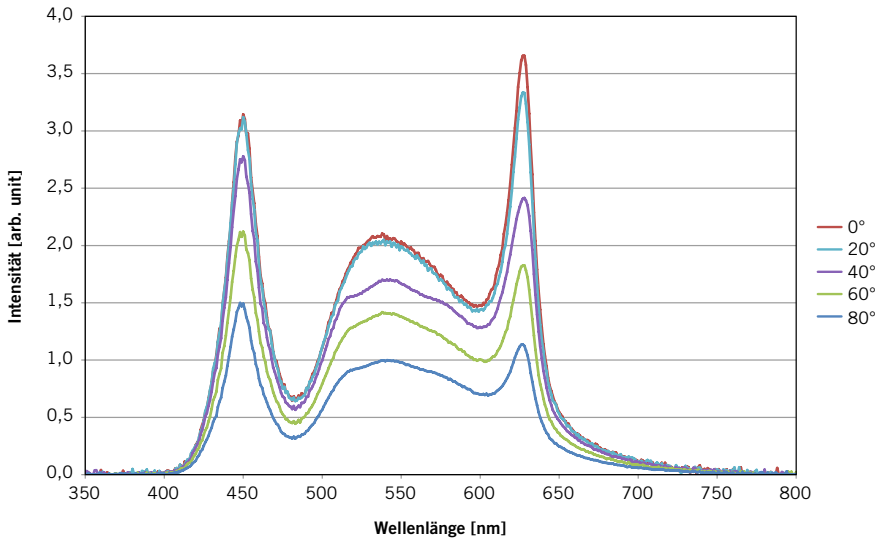
③ Goniometer zur Messung von polychromatischen Strahlendaten; Kamera und Spektroradiometer sitzen oben links auf einem beweglichen Arm, der sich um eine Achse senkrecht zur Rückseite dreht; die zu vermessende LED sitzt im Zentrum des Aufbaus (kleines Bild links)

zu. Eine Standardmessung wird beispielsweise mit einem $V(\lambda)$ -Filter durchgeführt, der die Helligkeitsempfindlichkeit des menschlichen Auges nachahmt. Zur präziseren Vermessung von LEDs kommen statt des $V(\lambda)$ -Filters Bandpass-

filter zum Einsatz, mit denen man die LED in engen Spektralbereichen vermisst, ④. Für jeden Filter wird ein eigener Strahlendatensatz erzeugt. Ein Spektroradiometer, ② (rechts), das sich mit der Kamera bewegt, nimmt in jedem Beob-



④ Transmissionskurven der Bandpassfilter und des $V(\lambda)$ -Filters



aufgebaut ist, die unter einem Lumineszenzfarbstoffverguss sitzen. Einer der vier LED-Chips emittiert rotes Licht bei einer Wellenlänge von etwa 630 nm, die anderen drei blaues Licht um 450 nm. Die Lumineszenzfarbstoffe konvertieren Teile der blauen Strahlung in andere Wellenlängenbereiche. Als Resultat emittiert das komplette LED-Paket ein Weißlichtspektrum, dessen Lichtfarbe durch Variation der Anteile der roten und blauen LEDs noch angepasst werden kann.

MESSERGEBNISSE

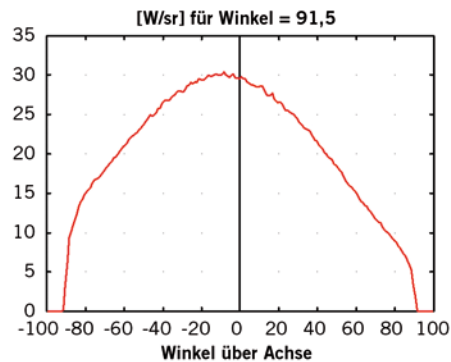
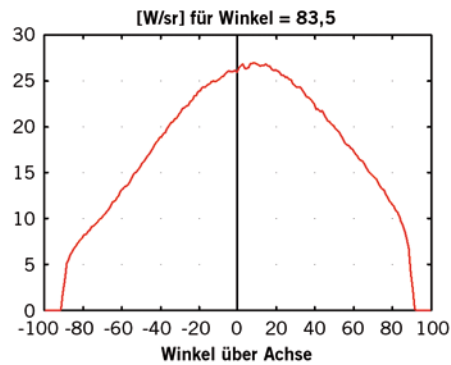
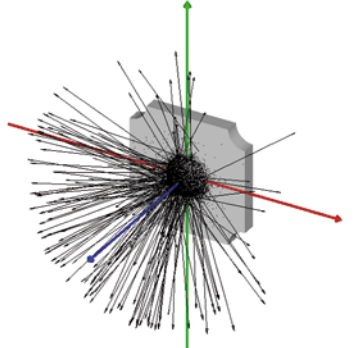
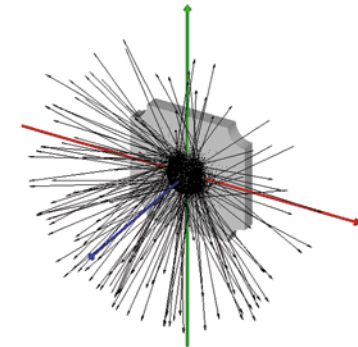
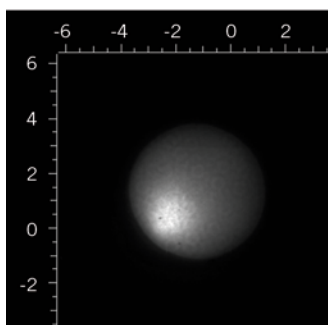
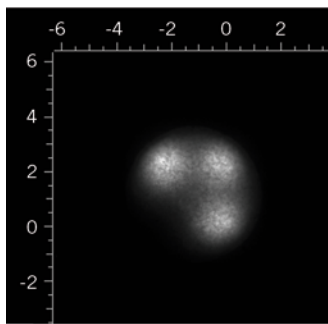
Die Strahlungsintensität der Test-LED sinkt mit wachsendem Zenitwinkel, 5. Dabei ergibt sich ein Wechsel im Verhältnis zwischen dem Peak der blauen und der roten Strahlung: Bei einem Beobachtungswinkel von 0° ragt der rote Peak über den blauen, während bei größeren Beobachtungswinkeln (> 40°) der blaue Peak den roten überragt. Diese Form des Spektrums zeigt deutlich, warum ein polychromatischer Strahlendatensatz für eine genaue Simulation einer Mehrfarb-LED wichtig ist, 6. Mit einem geänderten Beobachtungswinkel verändert das Spektrum deutlich seine Form. Hier wird

5 Spektrum der LED für Beobachtungswinkel zwischen 0° und 80°; mit wachsendem Beobachtungswinkel nimmt der Strahlungsfluss ab, und der rote Peak verliert gegenüber dem blauen an Gewicht

achtungspunkt zusätzlich das Spektrum der Lichtquelle auf. Strahldichtemessungen werden mit den Spektren zu einem polychromatischen Strahlendatensatz kombiniert und eignen sich für die kolorimetrische Simulation der Lichtquelle. Zusätzlich können die Spektroradiome-

terdaten integriert werden, woraus sich der spektral aufgelöste Gesamtfluss der Lichtquelle ergibt. Die Gesamtheit dieser Strahlendatensätze bezeichnet man als polychromatischen Strahlendatensatz.

Für Messungen wurde eine Test-LED benutzt, die aus vier einzelnen Chips



6 Teil des polychromatischen Strahlendatensatzes: Messungen mit Filter 3 (488 nm, oben) und Filter 7 (630 nm, unten); links: Strahldichtebilder; Mitte: Teilmenge der Strahlen und Chip Modell; rechts: Querschnitt durch den Lichtverteilungskörper – klar zu erkennen sind die drei blauen LEDs (oben) und die rote LED (unten), die unterschiedlichen Verteilungen der Strahlen sowie die unterschiedlichen Symmetrien der Lichtverteilungskörper

nicht nur die geometrische Information über den Ursprung des Strahls genau wiedergegeben, die individuelle Gewichtung der verschiedenen Wellenlängenbänder ist ebenfalls enthalten.

FAZIT

Gegenwärtige Technologie nutzt zunehmend LED-Packages, die aus mehreren LED-Chips unterschiedlicher Farbe bestehen oder bei denen mittels zusätzlicher Lumineszenzfarbstoffe die emittierte Strahlung in weitere Wellenlängenbänder verschoben wird. Diese LED-Packages erlauben eine gewisse Variation der kombinierten Strahlung entsprechend der gewünschten Farbeigenschaften der Anwendung. Um solche LED-Anordnungen zum Design von Anwendungen zu simulieren, benötigt man genaue Strahlendaten der Quelle. Standardmäßige monochrome Strahlendaten reichen für diese Aufgabe bei Weitem nicht aus, aber mittels polychromatischer Strahlendaten lässt sich die mehrfarbige Quelle genau modellieren. Ein polychromatischer Strahlendatensatz kann durch ein mit einem Filtersatz kombiniertes Kamerasystem generiert werden, das den gesamten Bereich der Emissionen der Quelle abdeckt. Abhängig von den Eigenschaften des Spektrums der Quelle kann die Auflösung der spektralen Bänder der Filter durch Einbeziehen zusätzlicher Spektrometer-Daten noch erhöht werden.

Diese Modellierung auf Basis der Messungen und die Simulation der Beleuchtungskörper für Fahrzeuge ist die unverzichtbare Basis für das Design der Beleuchtungskörper zukünftiger Fahrzeuge und kann so den Trend unterstützen, Glüh- und sogar Xenon-Lampen nach und nach auch bei Mittelklassefahrzeugen durch LEDs zu ersetzen. Außerdem arbeiten die Hersteller von LED-Scheinwerfern daran, mechanische Teile zu eliminieren und die Kühlung zu vereinfachen. Dadurch wird die Nutzung der LED-Technik auch für zunehmend komplexere Lichtfunktionen einfacher und erschwinglicher werden.



DOWNLOAD DES BEITRAGS
www.ATZonline.de



READ THE ENGLISH E-MAGAZINE
order your test issue now:
springervieweg-service@springer.com