



Entwickeln von leuchtenden Objekten mit gemessenen Strahlendaten

ORTSAUFGEÖSTE STRAHLENMESSUNG AN LAMPEN UND LEDS

Das Erstellen von physikalischen Strahlenmodellen ist äußerst aufwendig und kann die Realität immer nur endlich genau erfassen. Gemessene Strahlendaten beschreiben die Lichtquelle dagegen genau. Die ermittelten Werte verbessern die Simulation von Leuchtquellen, beschleunigen den Entwicklungsprozess und lassen sich in die Datenformate der gängigen Simulationswerkzeuge exportieren.

**KNUT BREDEMEIER
RALF POSCHMANN
FRANZ SCHMIDT**

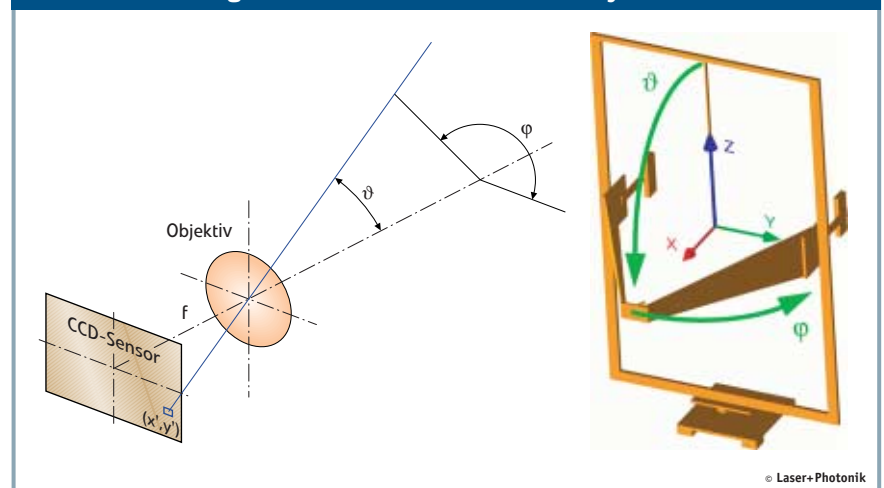
Beim Messen und Bewerten von LEDs gibt es Regeln und Vorschriften. Sie geben Messverfahren und Messmittel vor, mit denen sich wichtige LED-Parameter ermitteln lassen [1,2,3]. Die in der Literatur beschriebenen Messverfahren behandeln die LED als Punktquelle. Bei der Entwicklung von modernen Leuchten, Scheinwerfern oder Baugruppen in denen LEDs als Leuchtmittel eingesetzt werden, benutzt man heutzutage Simulationswerkzeuge wie Speos oder Asap. Dabei geht man über die Beschreibung der LED als Punktquelle hinaus und betrachtet auch die örtliche Verteilung der LED-Ausstrahlung. Die realen Ausstrahlungscharakteristiken von Leuchtmitteln $L_e(x, y, z, \vartheta, \varphi)$ ermittelt man entweder durch komplexe Modellierung oder durch Messungen. Häufig werden Strahlendaten verwendet,

die von den Lampen- oder LED-Herstellern gemessen und zur Verfügung gestellt werden. Sie lassen sich aber auch mit einem Messsystem, zum Beispiel mit dem Goniometer »Rigo« nach Prof. Riemann [4,5,6,7], messen. Diese Goniometer nutzen die bildauflösende Leuchtdichtemesstechnik [8,9,10] zur Messung von Strahlendaten im Nahfeld.

Messprinzip des Nahfeldgoniometers

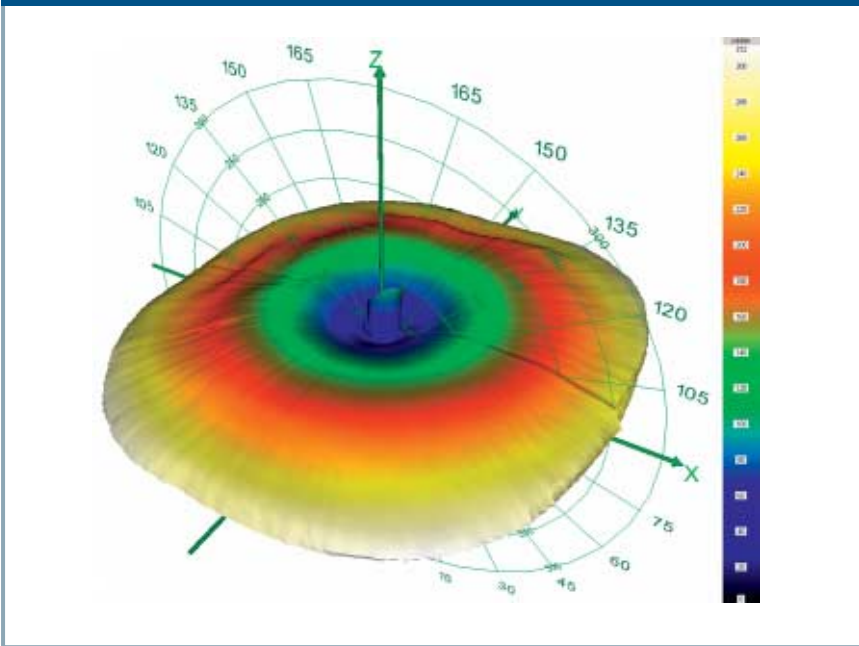
Für die vollständige Beschreibung der Ausstrahlungsverhältnisse eines Körpers benötigt man die Strahlendichteverteilung $L_e(x, y, z, \vartheta, \varphi, \lambda)$ an allen Oberflächenpunkten $(x, y, z) \in$ des Körpers. Diese Daten lassen sich ausschließlich mit bild-

Strahlberechnung und Goniometerkoordinatensystem



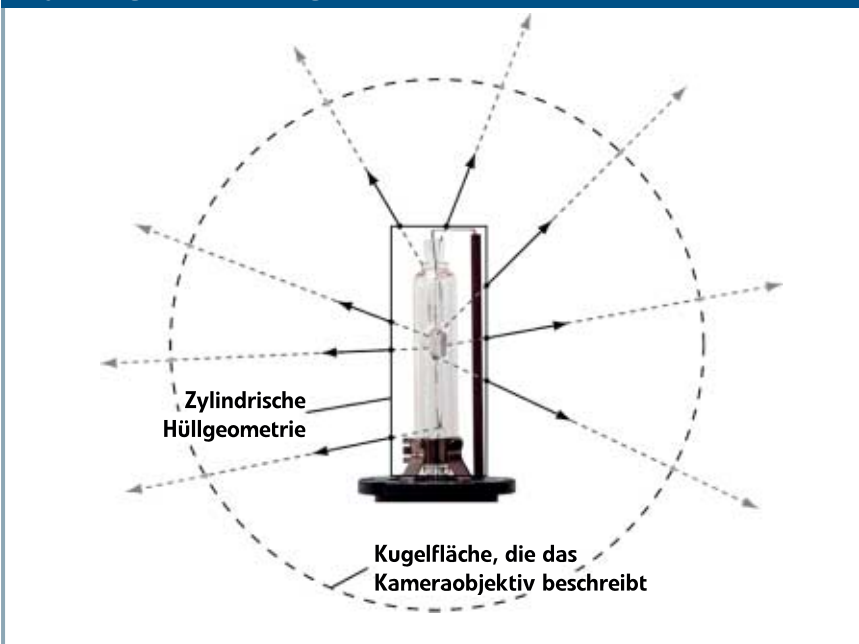
1 Bildkoordinaten und Kamerapositionen ergeben die räumlichen Richtungen

Ausstrahlcharakteristik



2 Aus den Strahlendaten lässt sich die Fernfeld-Lichtstärkeverteilung berechnen

Raytracing auf eine Hüllgeometrie

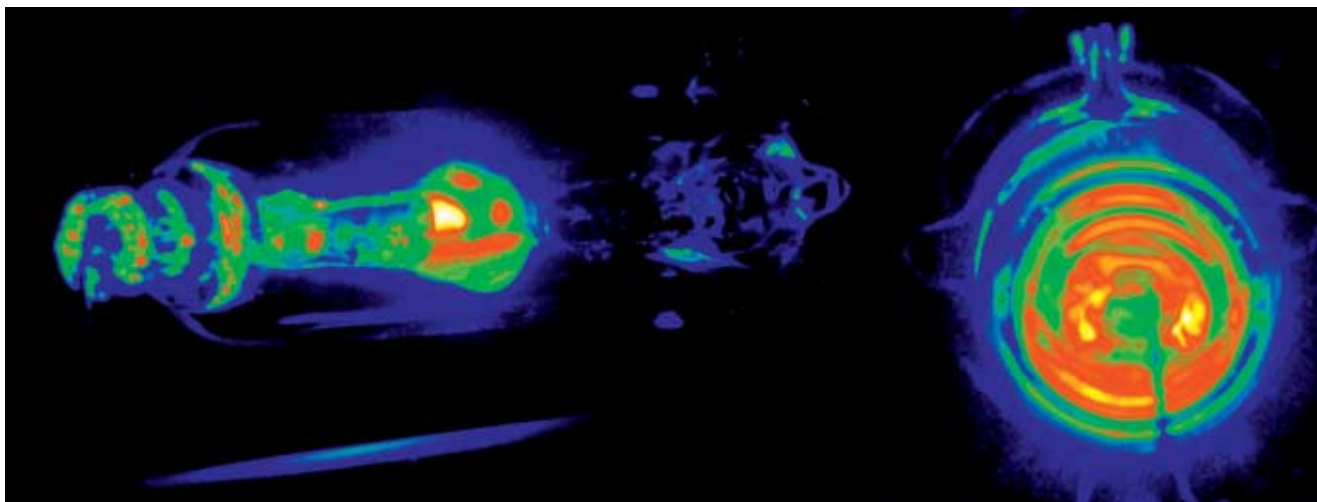


3 Das Konvertierungsprogramm berechnet die Schnittpunkte der Strahlen auf der Hüllgeometrie

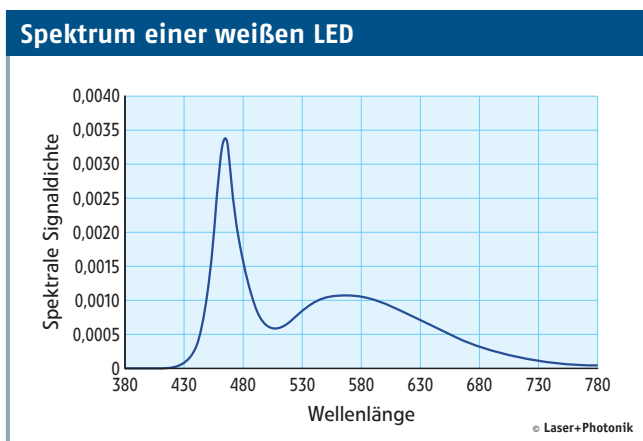
auflösenden Messverfahren erfassen. Bei den »Rigo801«-Nahfeldgoniometern wird eine Messkamera von der Goniometermechanik auf einer Kugelfläche um das Messobjekt herumgeführt. Die Messkamera nimmt in einem definierten Winkelraster Bilddaten auf, die zu einem Strahlendatensatz $L(x, y, \vartheta, \varphi)$ verrechnet werden. Sie ist üblicherweise mit einem speziell angepassten $V(\lambda)$ -Filter ausgestattet, um Leuchtdichten zu messen. Durch andere

geeignete Filter können beispielsweise Normspektralwertfunktionen realisiert werden, um mit mehreren Messdurchgängen mehrkanalige Farbinformationen zu erhalten.

Die Menge aller erfassten Leuchtdichteaufnahmen ergibt ein vierdimensionales Datenfeld $L(x', y', \vartheta_K, \varphi_K)$. Mit der optischen Abbildung durch das Kameraobjektiv können die Bildkoordinaten (x', y') mit der Information der Kamerapositio-



4 Beispiel für die starke Verzerrung an Glaselementen einer D2-Lampe



5 Für die Simulation benötigt man bei weißen LEDs die Abhängigkeit von der Wellenlänge

Da die tatsächliche Geometrie des Messobjekts vom Messsystem nicht erfasst werden kann, liegen die Startpunkte der Strahlen zunächst auf der Kugelfläche, die von der Eintrittspupille des Objektivs beschrieben wird. Das Konvertierungsprogramm transformiert diese Startkoordinaten auf eine wählbare Hüllgeometrie, indem es die Schnittpunkte der Strahlen mit dieser Geometrie berechnet (Bild 3). Strahlen, die die Geometrie nicht schneiden, werden nicht in das Zielformat exportiert. Als Hüllgeometrien stehen zurzeit Kugel, Zylinder und Quader zur Verfügung.

nen (ϑ_k, φ_k) in räumliche Richtungen umgerechnet werden (Bild 1). In dem gemessenen Datenfeld sind alle fotometrischen Informationen der Lichtausstrahlung enthalten.

Aus den Strahlendaten lassen sich abgeleitete Messgrößen wie der gemessene Lichtstrom Φ und die Fernfeld-Lichtstärkeverteilung $I(\vartheta, \varphi)$ (Bild 2) berechnen. Über ein Konvertierungsprogramm werden die Strahlendaten in den gewünschten Da-

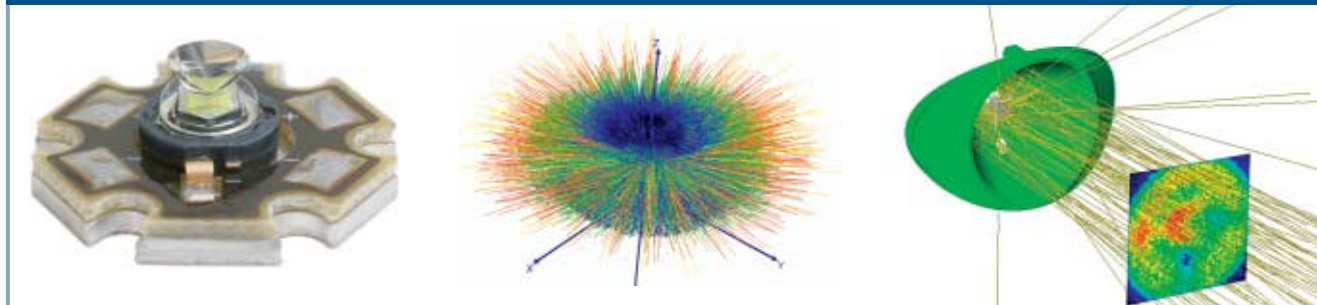


6 Farbbild eines LED-Clusters

tenformaten ausgegeben. Dabei lässt sich eine wählbare Anzahl von Strahlen vom Technoteam-Format in die Standardformate für Asap, Speos, LightTools, Zemax und LucidShape exportieren.

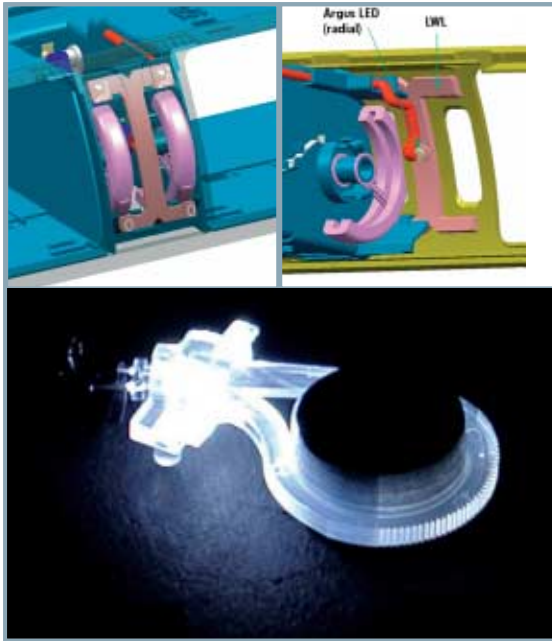
Die Geometrieparameter werden üblicherweise so gewählt, dass sich eine optimale konvexe Hüllgeometrie um das Messobjekt ergibt, um Hinterschnidungen mit eventuell vorhandenen nahen Ob-

Entwicklung eines LED-Fahrradscheinwerfers



7 In der Mitte wird die Ausstrahlcharakteristik der LED (links) gezeigt und rechts der simulierte Strahlengang des Fahrradscheinwerfers

© 2007 Carl Hanser Verlag, München www.laser-photonik.de Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern.



8 Bei dem Bedienelement im Fahrzeuginnenraum (links oben) wird die LED-Strahlung über LWL eingekoppelt (rechts oben); unten: die simulierte Strahlenverteilung

jekten in der Simulation zu vermeiden. Mit der »RiG0801«-Modellreihe lassen sich viele verschieden große Messobjekte, von LEDs über Lampen bis zu Leuchten, mit 2000 mm Länge vermessen. Um die

KONTAKT

TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH,
98693 Ilmenau,
Tel. 0 36 77 /46 24 -0,
Fax 0 36 77 /46 24 -10,
www.technoteam.de

Strahlcharakteristik von kleinen Messobjekten wie LEDs oder kleinen Lampen (bis zu $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$) zu messen, wurde ein spezielles LED-Goniotometer (**Titelbild**) konzipiert. Mit den Goniometern können nur Objekte vermessen werden, die kollisionsfrei in das Goniometer passen oder vom Abbildungssystem vollständig erfasst werden. Andererseits dürfen die Objekte auch nicht zu klein sein, da die mechanischen Toleranzen und die Abbildungseigenschaften sonst nicht genau genug gemessen werden können.

Strahlendaten von LEDs und Bogenlampen

Um während des Entwicklungsprozesses optischer Baugruppen realitätskonforme

Simulationsergebnisse zu erhalten, müssen die Ausstrahlungscharakteristika der Lichtquellen sehr genau beschrieben werden. Hier existieren unterschiedlich komplexe Modelle zur Beschreibung von Lichtquellen, die von einer einfachen Richtungsverteilung einer Punktlichtquelle über komplexe physikalische Modelle bis hin zu real gemessenen Strahlendatenverteilungen reichen. In vielen Applikationen ist ein physikalisches Modell oder ein auf gemessenen Strahlendaten beruhendes Modell erforderlich, da sich optische Bauelemente in unmittelbarer Nähe zur Lampengeometrie befinden.

Das Erstellen physikalischer Modelle ist oft äußerst komplex. Voraussetzung ist die exakte Definition der Geometrien und der optischen sowie der thermischen Eigenschaften aller optisch relevanten Elemente. Insbesondere bei modernen LED-Technologien und Bogenlampen ist der Aufwand für realitätskonforme Modelle immens. **Bild 4** zeigt beispielhaft die schwer zu modellierenden optischen Verzerrungen an einer D2-Lampe.

Gemessene Strahlendaten beschreiben die reale Lichtquelle und machen ein komplexes physikalisches Modell überflüssig. Eine Kombination der gemessenen Daten mit geometrischen Informationen der Lichtquellengeometrie ermöglicht es, den Einfluss der Lichtquelle im optischen Strahlengang (Abschattung) zu berücksichtigen. Die realen Strahlendatenverteilungen berücksichtigen auch die Fertigungstoleranzen, die sich insbesondere bei kleinen Leuchtmitteln wie LEDs störend auswirken. Außerdem können mehrere Stichproben bei einer Lichtquelle vermessen werden, um die Streuung der realen Parameter zu erhalten. Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist das Erfassen der spektralen Eigenschaften von Lichtquellen. Eine vollständige orts aufgelöste Messung der Spektralverteilung ist messtechnisch nicht praktikabel.

Bei farbigen LEDs (schmalbandig) ist die integrale spektrale Verteilung für Simulationen meist ausreichend. Für ▶

weiße LEDs reichen diese Daten nicht aus. Man benötigt die Abhängigkeiten von der Wellenlänge (**Bild 5**), insbesondere da diese ortsabhängig sind (blaue Diode und gelber Farbstoff geometrisch getrennt in **Bild 6**), das heißt eine fünfdimensionale Charakteristik $L(x, y, \vartheta, \varphi, \lambda)$ haben. Erste nutzbare Messergebnisse konnten mit Farbfiltern erreicht werden. Mit einem Blau- und einem Gelbfilter ließen sich die Strahlendaten durch zwei Messungen in blaue und gelbe Strahlen separieren.

Außerdem ist die richtungsaufgelöste Messung von Spektren mittels Spektrometer möglich (Option). Letzteres wird zusammen mit der Kamera von der Goniometermechanik auf einer Kugelfläche bewegt. Als Beispiel dient die Entwicklung eines LED-Fahrradscheinwerfers (**Bild 7**). Hier wurden der Reflektor und die Abdeckkappe optimiert, indem gemessene Strahlendaten einer LED (Side Emitting) eingesetzt wurden. Mit diesen realistischen Daten hat man das System mit nur zwei Iterationen entwickelt. Applikationen, bei denen sich optische Bauelemente im extremen Nahfeld befinden, lassen sich ohne die realen Strahlendaten praktisch nicht simulieren. Ein Beispiel ist die Lichteinkopplung in Lichtwellenleiter mittels LED. **Bild 8** zeigt ein auf diesem Weg entwickeltes Bedienelement für den Fahrzeuginnenraum.

Mit dem Nahfeldgoniometer können neben den kompletten Strahlendaten auch einzelne hochauflösende Leucht-

dichteaufnahmen und Messserien durchgeführt werden. Dafür setzt man die Messsoftware »LMK2000« ein. ■

Fazit: Beschleunigter Entwicklungsprozess

Die Goniometer Rigo nach Prof. Riemann nutzen die bildauflösende Leuchtdichtemesstechnik für das Messen von Strahlendaten im Nahfeld. Außerdem erlaubt diese Methode die orts aufgelöste Messung mit entsprechenden Farbfiltern und in Kombination mit einem Spektrometer auch die richtungsaufgelöste Messung der spektralen Eigenschaften. Die so ermittelten Strahlendaten lassen sich zum Beispiel in die Datenformate Asap, Speos, LightTools, Zemax und LucidShape exportieren. Der Entwicklungsprozess wird selbst bei der Simulation einer Lichteinkopplung in LWL mittels LEDs deutlich schneller.

LITERATUR

- [1] CIE: »Measurement of LEDs«; Publication CIE127-1997, 1997
- [2] Muray, K.; Schanda, G.; Schanda, J.: »Filter fabrication techniques for LED photometry«; CIE LED Symposium 97 on Standard Methods for Specifying and Measuring LED Characteristics, CIEx013, 1997, S. 61-64
- [3] Jones, C.F.: »Colorimetry, chromaticity space and LEDs«; SPIE Conference on Illumination and Source En-

gineering, San Diego, California, July 1998, SPIE Vol. 3428, S. 100-114

[4] Poschmann, R.; Riemann, M.; Schmidt, F.: »Verfahren und Anordnung zur Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten und Lampen«; Patent DE 41 10 574 v. 30.03.1991

[5] Riemann, M.; Schmidt, F.; Poschmann, R.: »Zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung mittels bildauflösendem Goniometer« Licht 7-8/1993; S. 592 – 597

[6] »Anordnung zur Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten und Lampen«; TechnoTeam Bildverarbeitung, Gebrauchsmuster 297 06 488.6 v. 11.04.1997

[7] Nolte, R.; Bredemeier, K.; Poschmann, R.; Schmidt, F.: »10 Jahre Nahfeldgoniometer – Grenzen und Möglichkeiten«; Tagung Licht 2004, Dortmund

[8] Krüger, U.: »Ausgewählte Aspekte der orts aufgelösten Erfassung stationärer Licht- und Farbverteilungen«; Dissertation TU Ilmenau, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, 2004

[9] Bredemeier, K.; Poschmann, R.; Schmidt, F.: »Nahfeldgoniometer – Systeme zur Messung der Lichtverteilung an Leuchten, Lampen und LED«; Licht 2006, Bern 10.-13.09. 2006, Tagungsband (CD)

[10] Krüger, U.; Schmidt, F.; Wolf, St.: »Applications of image resolved light and colour measurement«; Light & Engineering 3/2005, Znack Publishing House, Moscow

AUTOREN

Dipl.-Ing. KNUT BREDEMEIER und Dr.-Ing. RALF POSCHMANN sind Entwicklungsingenieure bei TechnoTeam Bildverarbeitung in Ilmenau.

Dr.-Ing. habil. FRANZ SCHMIDT ist Geschäftsführer von TechnoTeam Bildverarbeitung in Ilmenau.