

# Nahfeldgoniophotometer – Systeme zur Messung der Lichtverteilung an Leuchten, Lampen und LED

Bredemeier, Knut; Poschmann, Ralf; Schmidt, Franz; TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH; Werner-von-Siemens-Straße 10; 98693 Ilmenau; <http://www.technoteam.de>

## Einleitung

Für die Entwicklung und Bewertung von Leuchten ist die Messung der Lichtstärkeverteilungscharakteristik (LVK) wesentlich. Moderne Reflektorsysteme von Leuchten oder Scheinwerfern und die Simulation von LED Baugruppen erfordern oftmals die reale Ausstrahlungscharakteristik der Leuchtmittel, die entweder durch komplexe Simulationen oder durch Messungen ermittelt werden. Vielfache Anwendung finden gemessene Strahlendaten (4D Leuchtdichtedaten), die üblicherweise von den Lampen- bzw. LED – Herstellern zur Verfügung gestellt werden oder auf einem geeigneten Meßsystem gemessen werden können.

Die Goniophotometer RiGO nach Prof. Riemann nutzen die bildauflösende Leuchtdichtemesstechnik zur Messung von Strahlendaten im Nahfeld. Ein Goniometersystem bewegt eine CCD – Leuchtdichtemesskamera auf einer Kugelfläche mit kleinem Radius um ein ruhendes Messobjekt herum. Die Messkamera nimmt in einem definierten Winkelraster Bilddaten auf, die zu einem Strahlendatensatz verrechnet werden. Aus den Strahlendaten wird eine Fernfeld Lichtstärkeverteilung (LVK) berechnet und es können Strahlendatenformate für alle gebräuchlichen Simulationsprogramme (z.B. ASAP, Speos, LightTools, Zemax). ausgegeben werden.

Gegenüber der Fernfeldmessung mit Drehspiegelgoniophotometern oder Goniometern mit langem Arm ergeben sich neben der Möglichkeit Strahlendaten zu messen einige ganz wesentliche Vorteile. Die Nahfeldgoniophotometer RiGO erfordern lediglich einen Raum, der es gestattet eine Messkamera um das Messobjekt herum zuführen. Es sind also Raumgrößen  $L \cdot B \cdot H$  von etwa jeweils dem Zweifachen der Messobjektgrößen erforderlich. Ein weiterer wesentlicher Vorteil ist, dass das Messobjekt bei der Messung in Ruhelage verbleiben kann.

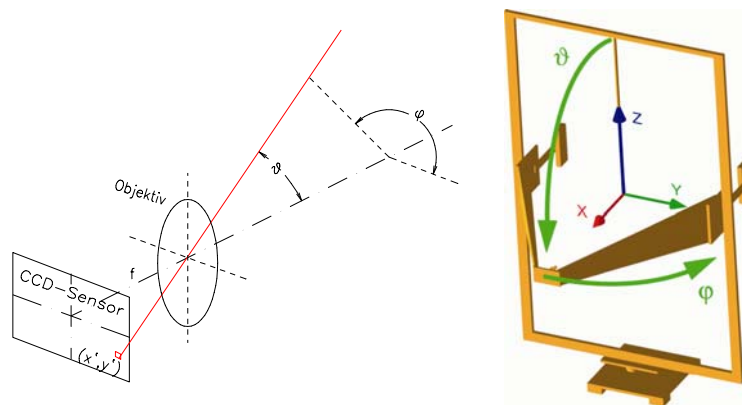
Die Modellreihe RiGO 801 besteht aus drei bewährten Grundtypen zur Vermessung von LEDs, Lampen und kleinen Leuchten und großen Leuchten bis 2000 mm. Die größeren Goniophotometer zur Messung von Leuchten können individuell an die Größe von Laborräumen bzw. an das zu vermessende Leuchtensortiment angepasst werden, wobei bereits einige Systeme zwischen 1600 mm und 2000 mm Leuchtengröße realisiert wurden, die somit als fertige Konstruktion vorliegen.

## Messprinzip - Nahfeldgoniophotometer

Die vollständige Beschreibung der Ausstrahlungsverhältnisse eines Körpers erfordert die Angabe der Strahldichtevertelung  $L_e(x, y, z, \vartheta, \varphi, \lambda)$  an allen

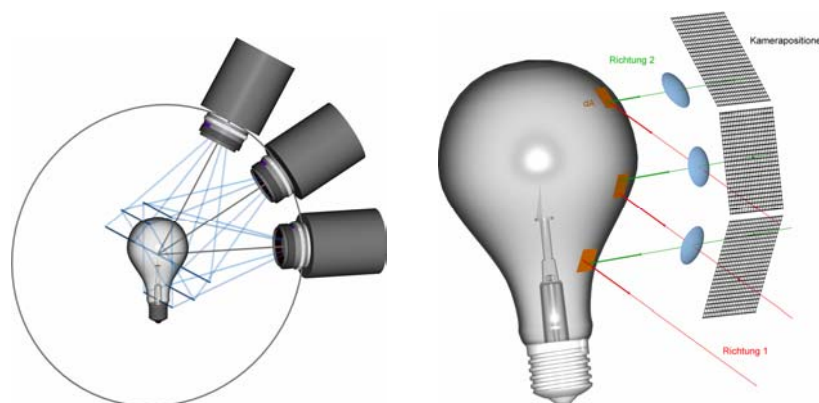
Oberflächenpunkten  $(x, y, z) \in \text{Oberfläche}$  des Körpers. Die Erfassung dieser Daten kann nur mit bildauflösenden Messverfahren realisiert werden. Bei den RiGO801 Nahfeldgoniophotometern wird eine Messkamera mittels einer Goniometermechanik auf einer Kugelfläche um das Messobjekt herumgeführt und in einem definierten Winkelraster Bilddaten aufgenommen. Die Messkamera 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 mehrfachen Messdurchgängen mehrkanalige Farbinformationen zu messen.

Die Menge aller erfassten Leuchtdichteaufnahmen ergibt ein vierdimensionales Datenfeld  $L(x', y', \vartheta_K, \varphi_K)$ . Mit der Kenntnis der optischen Abbildung durch das Kameraobjektiv können die Bildkoordinaten  $(x', y')$  mit der Information der Kamerapositionen  $(\vartheta_K, \varphi_K)$  in räumliche Richtungen umgerechnet werden (s. Abbildung 1).



**Abbildung 1 : Strahlberechnung und Goniometerkoordinatensystem**

In dem gemessenen Datenfeld sind alle photometrischen Informationen der Lichtausstrahlung enthalten. Aufgrund der sehr hohen Anzahl von Leuchtdichteaufnahmen (z.B. 50.000 Bilder) ist eine möglichst redundanzarme Speicherung der Daten erforderlich. Hierzu werden in den Bildern die Leuchtdichtewerte jedes Pixels  $L(x', y')$  mit den korrespondierenden Raumwinkeln  $\Delta\Omega(x', y')$  multipliziert, womit sich Lichtstromanteile  $\Delta\Phi(x', y')$  ergeben. Nach einer geeigneten Zusammenfassung von Lichtstromanteilen und einer angepassten Komprimierung ergibt sich ein hoch komprimiertes Strahlendatenformat (z.B. für  $10^9$  Strahlen ca. 350 MB).



**Abbildung 2: Prinzip der Leuchtdichtebilderfassung**

Aus den Strahlendaten können selbstverständlich abgeleitete Messgrößen, wie der gemessene Lichtstrom  $\Phi$  und die Fernfeld – Lichtstärkeverteilung  $I(\vartheta, \varphi)$  berechnet werden. Die Ausgabe der Strahlendaten in die gewünschten Strahlendatenformate erfolgt mit einem Konvertierungsprogramm, das eine wählbare Anzahl von Strahlen vom internen Technoteamformat in verschiedene Standardformate exportiert. Aktuell stehen die Exportformate ASAP, Speos, LightTools, Zemax und LucidShape zur Verfügung.

Da die tatsächliche Geometrie des Messobjektes 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 (s. Abbildung 3). Strahlen, die die Geometrie nicht schneiden, werden nicht in das Zielformat exportiert.

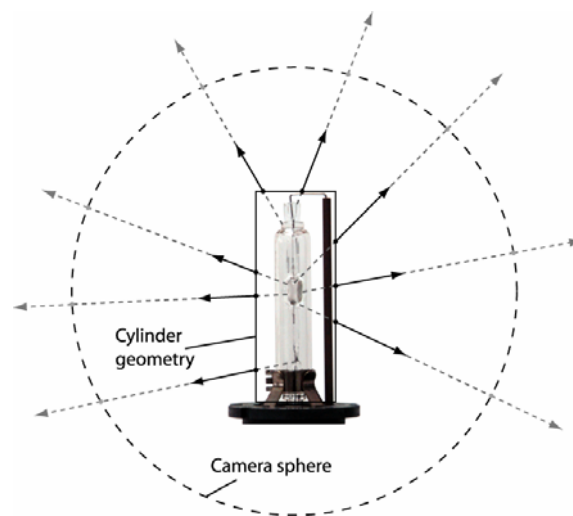


Abbildung 3: Raytracing auf eine Hüllgeometrie

Als Hüllgeometrien stehen zur Zeit Kugel, Zylinder und Quader zur Verfügung. Die Geometrieparameter werden üblicherweise so gewählt, dass sich eine optimale konvexe Hüllgeometrie um das Messobjekt ergibt, um Hinterschnidungen mit evtl. vorhanden nahen Objekten in der Simulation zu vermeiden.

## Messsysteme

Die RiGO801 - Modellreihe (s. Abbildung 4) umfasst ein breites Spektrum von Messobjektgrößen, von LEDs über Lampen bis zu Leuchten mit 2000 mm Länge. Für die Vermessung kleiner Messobjekte, wie LEDs und kleine Lampen (bis zu  $50 \times 50 \times 50 \text{ mm}^3$ ) wurde ein kompaktes LED – Goniophotometer konzipiert. Ein spezielles Goniophotometer für Lampen und kleine Leuchten (bis zu  $300 \times 300 \times 300 \text{ mm}^3$ ) ist komplett schwenkbar, so dass sich beliebige statische Brennlagungen realisieren lassen. Die großen Leuchtengoniophotometer sind bei der Konzeption der Messanlage in ihrer Größe skalierbar und somit an das zu messende Leuchtenspektrum adaptierbar (bis zu  $2000 \times 2000 \times 2000 \text{ mm}^3$ ).



*Abbildung 4: LED – Goniophotometer, schwenkbares Lampengoniophotometer, Leuchtgoniophotometer*

Die Goniometertypen decken jeweils ein gewisses Größenspektrum von Messobjekten ab, natürlich nur Messobjekte vermessen werden können, die kollisionsfrei in das Goniometer passen. bzw. vom Abbildungssystem vollständig erfasst werden. Andererseits dürfen die Objekte für Strahlendatenmessungen nicht zu klein werden, da sonst die mechanischen Toleranzen und die Abbildungseigenschaften keine ausreichend genaue Vermessung zulassen. So ist es beispielsweise ungünstig in einem großen Leuchtgoniophotometer Strahlendaten von kleinen Lampen aufzunehmen, wobei die Messung der Lichtstärkeverteilung statt mit dem bildauflösenden Kamerasystem nun problemlos mit dem vorhandenen Photometer erfolgen kann (Fernfeldmessung).

### **Messung von Fernfeld – Lichtstärkeverteilungen**

Wie bereits erläutert ist die Strahlendatenmessung das Grundprinzip der RiGO Nahfeldgoniophotometer. Falls nur die Lichtstärkeverteilung benötigt wird, werden nur die aus den Strahlendaten parallel zur Messung berechneten Lichtstärkedaten gespeichert. Lichtstärkeverteilungen kleiner Messobjekte, für die die fotometrische Grenzentfernung zum Photometer eingehalten wird, können direkt mit den Photometerdaten gemessen werden.

Lichtstärkeverteilungen finden aufgrund ihres geringen Datenvolumens und der seit Jahrzehnten bewährten Messtechnik eine breite Verwendung bei der Leuchtenentwicklung und der Lichtplanung. Nachteilig für einige Anwendungen ist die Abstraktion auf eine Punktlichtquelle, was je nach Leuchtengröße und Abstand zur Berechnungsebene zu Fehlern führt.

Abbildung 5 zeigt beispielhaft die gemessene Lvk einer Spiegelrasterleuchte.

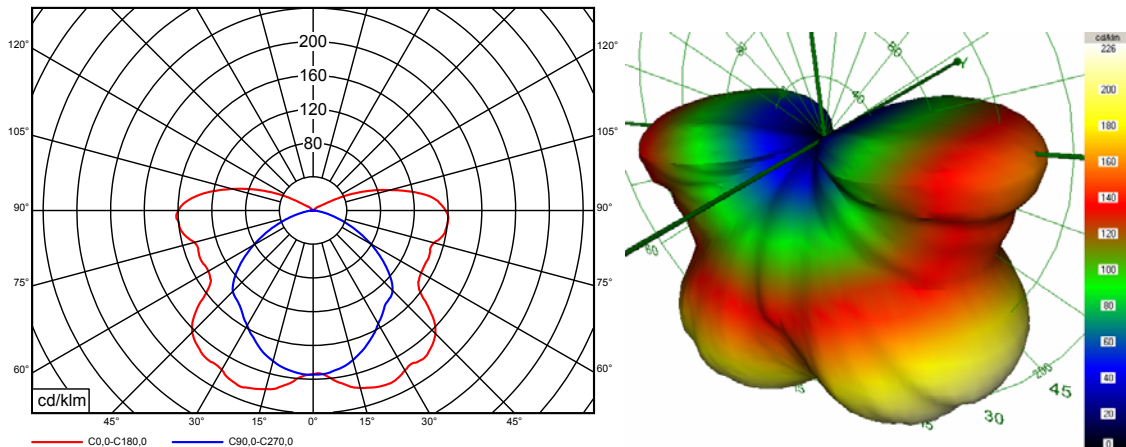


Abbildung 5: Lvk einer Spiegelrasterleuchte als Polardiagramm und 3D - Darstellung

## Strahlendaten von LEDs und Bogenlampen

Um während des Entwicklungsprozesses optischer Baugruppen realitätskonforme Simulationsergebnisse zu erhalten, bedarf es einer hochqualitativen Beschreibung der Ausstrahlungscharakteristika der eingesetzten Lichtquellen. Hier existieren unterschiedlich komplexe Modelle zur Beschreibung von Lichtquellen, die von der einfachen Richtungsverteilung einer Punktlichtquelle über komplexe physikalische Modelle bis zu real gemessenen Strahlendatenmodellen reichen. In vielen Applikationen ist der Einsatz eines physikalischen Modells oder eines auf gemessenen Strahlendaten beruhenden Modells erforderlich, da sich optische Bauelemente in unmittelbarer Nähe zur Lampengeometrie befinden.

Die Erstellung physikalischer Modelle ist oftmals äußerst komplex und erfordert 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. Abbildung 3 zeigt beispielhaft schwer zu modellierende optische Verzerrungen an einer D2 – Lampe.

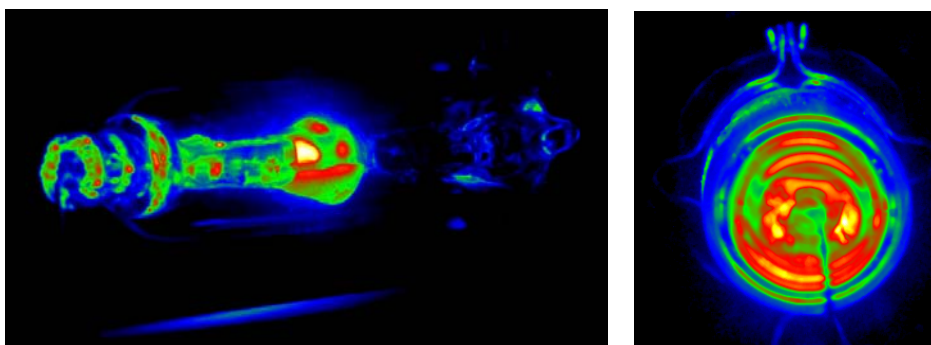


Abbildung 6: Beispiele starker Verzerrungen an Glaselementen einer D2 Lampe

Gemessene Strahlendaten beschreiben die reale Lichtquelle und umgehen damit die Notwendigkeit eines komplexen physikalischen Modells. Eine Kombination der gemessenen Daten mit geometrischen Informationen der



Lichtquellengeometrie ermöglicht die Berücksichtigung des Einflusses der Lichtquelle im optischen Strahlengang (z.B. Abschattung).

Die realen Strahlendatenmodelle enthalten ebenfalls die Auswirkungen von Fertigungstoleranzen, die sich insbesondere bei LEDs störend auswirken. Hier besteht die Möglichkeit, mehrere Stichproben einer Lichtquelle zu vermessen um so die Streuung der realen Parameter zu erhalten.

Ein weiterer wichtiger Gesichtspunkt ist die Erfassung der spektralen Eigenschaften von Lichtquellen. Eine vollständige orts aufgelöste Messung der Spektralverteilung ist messtechnisch nicht praktikabel. Die RiGO801 - Nahfeldgoniophotometer bieten jedoch die Möglichkeit, über Filter spektrale Bewertungsfunktionen zu realisieren und so z.B. mit mehrfachen Messdurchgängen mehrkanalige Spektralbewertungen zu erhalten. Weiterhin ist die richtungsaufgelöste Messung von Spektren mittels eines Spektrometers möglich (Option), welches zusammen mit der Kamera von der Goniometermechanik auf einer Kugelfläche bewegt wird.

Beispielhaft soll die Entwicklung eines LED – Fahrradscheinwerfers (Optimierung von Reflektor und Abdeckkappe) aufgeführt werden, bei der gemessene Strahlendaten einer LED (Side Emitting) eingesetzt wurde (Abbildung 7).

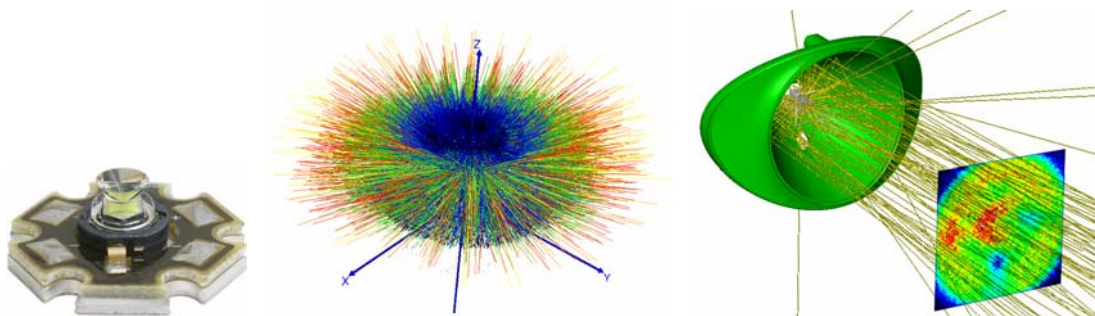


Abbildung 7: Entwicklung eines LED - Fahrradscheinwerfers

Die Nutzung von gemessenen Strahlendaten hat die schnelle Realisierung des Systems in nur zwei Iterationen erst ermöglicht.

Applikationen, bei denen sich optische Bauelemente im extremen Nahfeldbereich befinden, lassen sich ohne reale Strahlendaten kaum simulieren. Ein Beispiel hierfür ist die Lichteinkopplung in Lichtleiter mittels LEDs, hier ein Bedienelement im Automobil Innenraum.

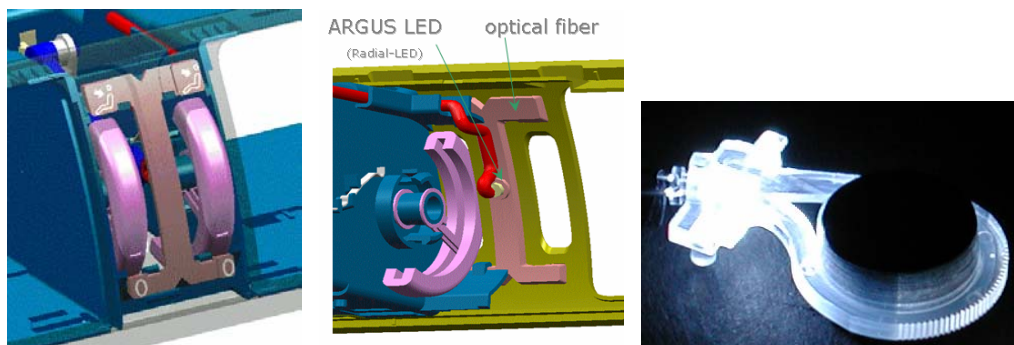


Abbildung 8: Lichtleitersystem eines Bedienelementes

Auch für die Entwicklung neuer Lampentypen (z.B. Hg – freier Bogenlampen) sind hochauflösende Leuchtdichtebilder vielfach unverzichtbar. Mit dem Nahfeldgoniophotometer können neben kompletten Strahlendaten auch einzelne hochauflösende Leuchtdichteaufnahmen und Messserien mit der Leuchtdichte – Messsoftware LMK2000 vorgenommen werden.

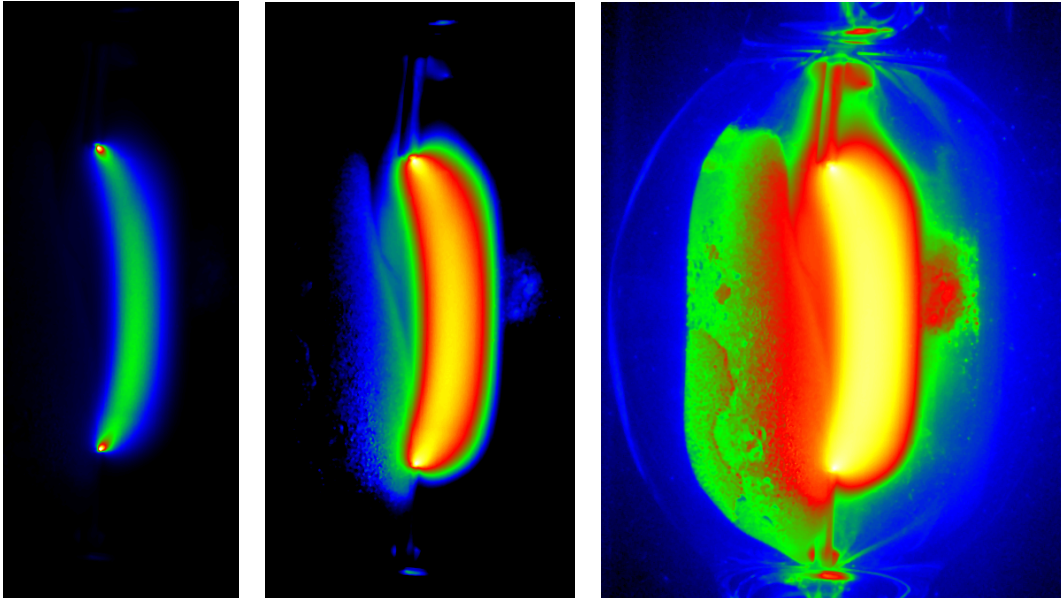


Abbildung 9: Lichtbogen einer D2 – Lampe mit linearer, 3- und 4-facher logarithmischer Skalierung

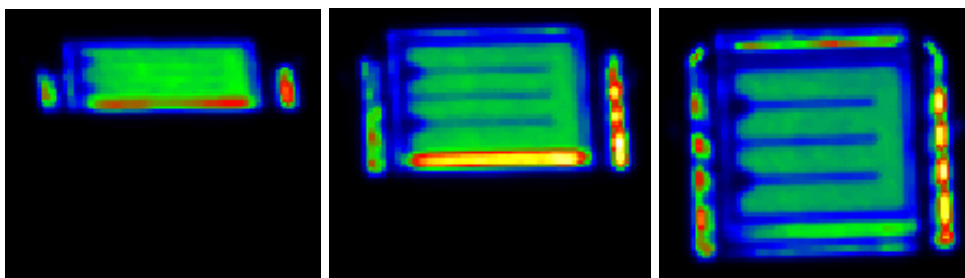


Abbildung 10: Leuchtdichteaufnahmen eines LED – Chips

## Literatur

- [1] 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
- [2] Riemann, M.; Schmidt, F.; Poschmann, R.: Zur Bestimmung der Lichtstärkeverteilung von leuchten innerhalb der fotometrischen Grenzentfernung mittels eines bildauflösenden Gonimeters. LICHT 7-8/1993; S.592 - 597
- [3] Fischbach, I.; Riemann, M.; Schmidt, F.: Zur Leistungsfähigkeit der Messung von Lichtstärkeverteilungskurven mittels bildauflösender Fotometrie. LICHT 7-8/1995
- [4] Fischbach, I.; Riemann, M.; Schmidt, F.: Anwendungen angepasster CCD-Sensortechnik in der orts aufgelösten Lichtmesstechnik. LICHT 7-8/1997; S. 582 – 587
- [5] Anordnung zur Messung der Lichtstärkeverteilung von Leuchten und Lampen, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, Gebrauchsmuster 297 06 488.6 v. 11.04.1997
- [6] Jordanow, W.; Nolte, R.: Photometrische Charakterisierung von Lichtquellen in der Meß- und Simulationspraxis, Postervortrag, Luxjunior 2003
- [7] Nolte, R.; Bredemeier, K.; Poschmann, R., Schmidt, F.: 10 Jahre Nahfeldgoniophotometer – Grenzen und Möglichkeiten. Tagung LICHT 2004 Dortmund