Arbeiten mit räumlich sortierten Teillichtströmen (Strahlendaten)

Wladimir Jordanow, ILEXA GbR, Werner-von-Siemens-Straße 4A, 98693 Ilmenau

Rainer Nolte, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, PF 100565, 98684 Ilmenau

1 Einführung

Jahrzehntelang waren Lichtingenieure und Techniker in der täglichen Praxis auf die sogenannten Lichtverteilungskurven (LVK) zur Charakterisierung der verwendeten Lichtquellen angewiesen. Diese idealisierten und nur im photometrischen Fernfeld exakt zutreffenden Beschreibungsmodelle der Quellen haben trotz ständiger Optimierung ihre festen technologischen Grenzen – insbesondere bei Simulationsaufgaben im Nahfeld oder bei einer Teilabschattung der Lichtquelle. Selbst nach umfangreichen Vergleichstests und Programmanalysen /1/, /2/ wird die begrenzende Auswirkung mangelnder Realitätstreue photometrischer Daten für die Leistungsfähigkeit der Simulationsprogramme erstaunlicherweise nicht genug verdeutlicht.

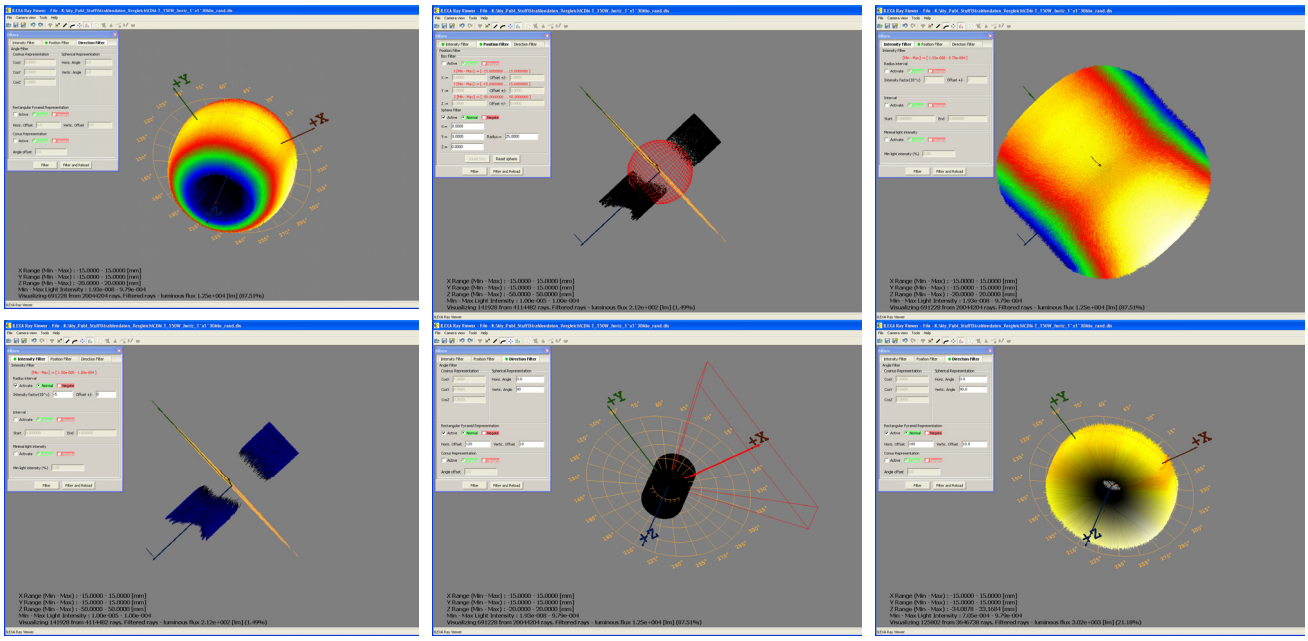

Abb. 1: Strahlendaten-Ansichten mit dem ILEXA-Ray-Viewer

Durch die zunehmend weit reichenden Möglichkeiten der ortsauflösenden, kamerabasierten Lichtmesstechnik /4/ sind in den letzten Jahren photometrische Messungen im Nahfeld verfügbar, die eine unvergleichbar präzisere Lichtquellenbeschreibung ermöglichen. Damit bietet sich eine pragmatische und relativ einfache Methodik an, die bisherige Simulationspraxis gründlich zu verbessern. Sogenannte Strahlendaten-Modelle (Rayset) bilden die technologische Basis dieser Methodik. Sie stellen allerdings keinen automatischen Ersatz für die herkömmlichen „alten LVK“ dar und können zunächst lediglich eine sinnvolle und komfortable Erweiterung bisheriger Berechnungsmethoden bedeuten. Erst bei einer komplexeren Analyse und im Ergebnis einer systematischen Aufbereitung / Optimierung können aus den Strahlendaten weitere Detailinformationen zur Lichtquelle abgeleitet werden, die eine bedarfsgerechte Beschreibung sicherstellen.

Datenstrukturen für Strahlenmodelle wurden zunächst empirisch durch Simulation abgeleitet /3/ und seit kurzem auch aus realen Messungen errechnet /9/. Diese stehen heute in verschiedensten Datenformaten zur Verfügung. Ein allgemein verbindliches Standardformat dafür existiert jedoch noch nicht.

2 Arbeiten mit Strahlendaten – Übersicht zum aktuellen Stand

Fortgeschrittene Optik-Design-Programme /12/, /5/ nutzen bereits seit einiger Zeit die erweiterten Möglichkeiten der Lichtsimulation mit Strahlendaten. Dabei verfolgt jede einzelne Software eigene Entwicklungswege und Algorithmen. Obwohl die Simulationsergebnisse oft verwechslungsgleich erscheinen, sind diese untereinander kaum kompatibel oder vergleichbar. Jede Software besitzt spezielle Besonderheiten – Stärken und Schwächen. Oft gibt die Aufgabenspezifik vor, welche Software für die jeweilige Bearbeitung geeignet ist. Universelle „Alleskönner“ unter den Simulationsprogrammen gibt es selten und selbst wenn, geschieht dies meist auf Kosten des Berechnungsaufwands. Jede Softwareentwicklung erfolgt proprietär und autonom, ohne Rücksicht auf allgemein gültige Austauschformate und Schnittstellen. Ein deutliches Zeichen dafür sind die in mehreren ungleichen Formaten erforderlichen Photometriedaten als Input. Diese lassen sich ohne weitere Spezialkenntnisse nicht ineinander konvertieren. Standalone-Konverter dafür gibt es bislang selten. Die eingebaute „Import-Funktionalität“ mancher Programme erledigt diese Aufgabe oft sehr zeitaufwendig und nicht immer fehlerfrei. Damit können viele Aufgaben nur mühsam und unkomfortabel gelöst werden. Erforderliche Anpassungen an den Strahlendaten erledigen die Programme oft automatisch – also für den Anwender nicht immer nachvollziehbar. Eine gezielte Kontrolle der tatsächlichen Eingangsdaten (Strahlendaten) erfordert eine enorme Erfahrung des Bedieners, oft zusätzliche Berechnungsschritte oder sogar eine separate Kontrollberechnung. Die intuitive Handhabung geht dabei schon aus Zeitgründen verloren. Eine schnelle, orientierende Suche nach geeigneten Lichtquellen für eine bestimmte Aufgabe anhand von Katalogdaten ist schwer möglich.

Die Lichtquellenhersteller sind deswegen oft gezwungen, viele vorab aufbereitete Informationen auf Vorrat zu speichern. Eine kaum überschaubare Vielfalt an Datenformaten und Auflösungen für ein und dieselbe Lichtquelle ist dabei parallel zu erstellen und aktuell bereit zu halten, damit die Arbeit mit den wichtigsten Lichtquellen zumindest für die gängigsten Programme gesichert ist. Laut aktuellem Wissensstand werden die gemessenen Lichtquellenmodelle, aufgrund ihrer übertreffenden Realitätstreue, bevorzugt verwendet gegenüber den theoretisch simulierten Daten, insbesondere für Speziallampen und für weiße LED /5/, /8/, /11/. Alle namhaften Lichtquellenhersteller bemühen sich derzeit intensiv solche Messungen für viele ihrer Produkte zu erstellen.

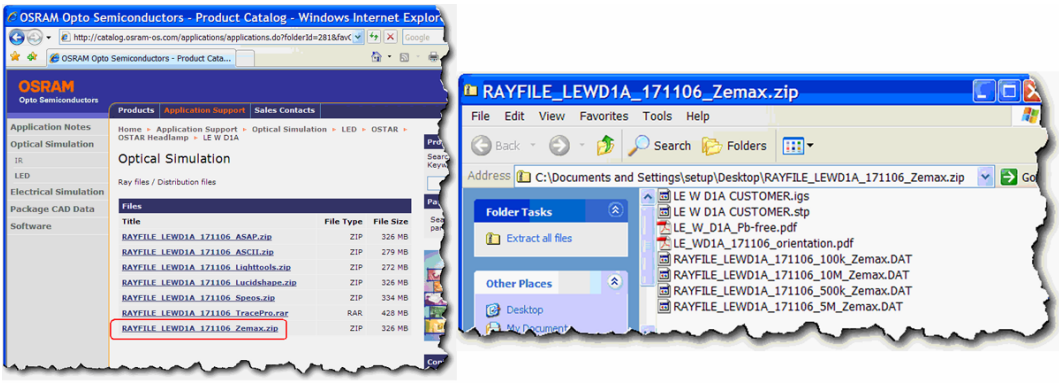

Abb. 2: OSRAM OS stellt die Strahlendaten zahlreicher LED ins Internet

Jüngste Online-Veröffentlichungen zeigen, dass die Führenden in der Lichtbranche dies als wichtigen Vorteil ihrer Serviceleistungen ansehen und die schnell wachsenden Bestände gemessener Strahlenmodelle dynamisch aktualisieren und zur Verfügung stellen – Abb. 2, Abb. 3, /9/, /12/.

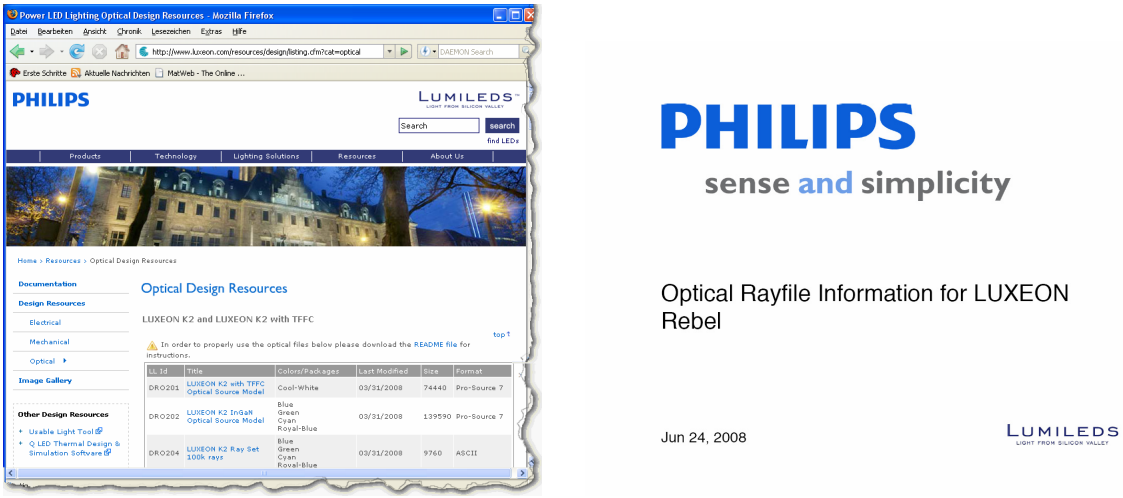

Abb. 3: Lumileds veröffentlicht ebenfalls ausgesuchte LED-Strahlendaten

Anbieter, die ihre Messdaten mit einem integrierten Konverter „zum selber Fertigstellen“ vom Endnutzer liefern /11/, umgehen auf diese Weise das Problem der unterschiedlichen Datenformate. Sie überlassen aber dem Kunden den bei jeder Einzelkonvertierung aufs neue erforderlichen Zeitaufwand. Gleichzeitig lassen solche Konverter die Wahl der gewünschten Strahlenanzahl unterhalb der aus der Rohdatei vorgegebenen Obergrenze zu. Sonstige Freiheiten zur Erstellung bedarfsgerechter Strahlendaten fehlen aber. Oft bleiben so konvertierte Daten in vieler Hinsicht weiter optimierungsbedürftig. Dabei gibt es dringende Gründe dafür, in komplexen, zeitintensiven Simulationen ausschließlich mit sinnvoll aufbereiteten Eingangsdaten zu arbeiten. Je nach Aufgabe und verwendeter Simulationssoftware kann mit adäquaten Strahlendaten viel Berechnungsaufwand, System- und Programmresourcen, sowie wertvolle Rechenzeit gespart werden. Zu optimierende Parameter dabei sind die Strahlenanzahl, die Amplitude, die Anordnung der Einzelstrahlen innerhalb der Datei usw.. Für diese simplen Aufgaben gab es bisher keine geeignete Software, obwohl die Vorverarbeitung in den Simulationsprogrammen nicht befriedigend ist. Oft werden die Strahlendaten in der Unkenntnis der möglichen Nachteile - wie bereitgestellt – unverändert gleich weiter verarbeitet.

3 Optimierung von Strahlendaten

Um einen bestimmten Strahlensatz speziell zu optimieren müssen entweder die Parameter der entsprechenden Lichtquelle ausreichend gut bekannt sein oder es müssen geeignete Plausibilitätstests an den Strahlendaten selbst durchgeführt werden. Die allgemeine Kenntnis der Vor- und Nachteile von Strahlendaten reicht schon aus um eine erste Aufbereitung der Daten durchzuführen. Vollkommen unbekannte Strahlendaten können nicht optimiert werden.

Wesentlicher Nachteil der Strahlendaten ist ihre unhandliche Größe. Je nach verwendetem Datenformat ergeben sich für 100 000 Strahlen die in der Abb. 4. angegebenen orientierenden Dateigrößen.

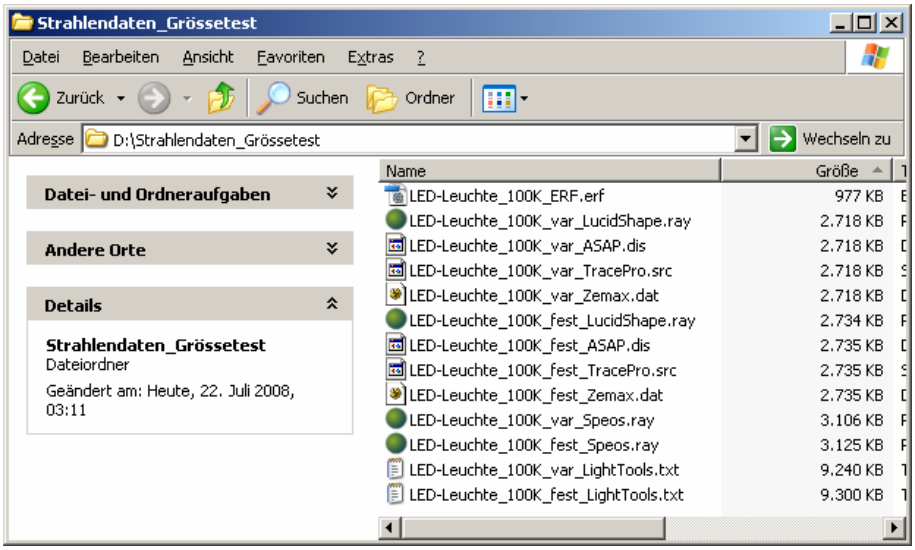

Abb. 4: Orientierende Dateigrößen bei verschiedenen Datenformaten und Einstellungen

Bei Nahfeldmessungen am RiGo /4/, /6/ sind in dem gemessenen Datenfeld alle photometrischen Informationen der Lichtausstrahlung der Quelle enthalten. Augrund der sehr hohen Anzahl von Leuchtdichteaufnahmen (z.B. 50.000 Bilder) ist eine möglichst redundanzarme Speicherung der Daten zwingend erforderlich. Hierzu werden in den einzelnen Leuchtdichtebildern die Leuchtdichtwerte jedes Pixels mit den korrespondierenden Raumwinkeln multipliziert, womit sich Lichtstromanteile ergeben. Nach einer geeigneten Zusammenfassung von Lichtstromanteilen und einer angepassten Komprimierung ergibt sich ein hoch komprimiertes Strahlendatenformat (z.B. 350 MB für 10^9 Strahlen). Damit ist eine verlustfreie Speicherung von insgesamt mehr als 1,5 x 10^9 Strahlen pro Messung möglich /6/. Dieses Format gilt momentan als erstrebenswerte aber schwer erreichbare Grenze der effizienten Speichernutzung. Die sonst verbreiteten Datenformate sind sehr extensiv und erschweren damit die Austauschbarkeit der Daten ungemein. Aus diesem und vielen weiterer Gründen wird die maximal verfügbare Strahlenanzahl pro Datei momentan auf deutlich unter 100 Mio. Strahlen bewusst limitiert.

4 ILEXA-Ray-Viewer – Strahlendaten erleben in „Quasi-Echtzeit“

Wir betrachten die Strahlenmenge einer Messung als einen zusammenhängenden Satz einzelner, jeweils im Raum beliebig ausgerichteter Teillichtströmen der Lichtquelle, die einen räumlich eng begrenzten und bekannten Entstehungsort innerhalb der Lichtquelle oder auf seiner Oberfläche besitzen. Diese können unter dem Aspekt der Erhaltung der wesentlichen Eigenschaften der Gesamtmenge auch einzeln bearbeitet werden. Die photometrische Information, die uns nur ein vollständiger Strahlendatensatz liefert, ist an einer, der physikalischen Lichtquelle „möglichst nah anliegender“, sie vollständig umschließender, geschlossener Hüllgeometrie (Fläche) gekoppelt und kann sie in gewissen Grenzen physikalisch adäquat beschreiben. Mit ihren photometrischen Eigenschaften stellt die so definierte Hüllfläche in vielen (aber nicht ausnahmslos allen) Situationen ein gutes Ersatzmodell für die Beschreibung der Lichtquelle zu lichttechnischen Simulationszwecken dar. Dabei muss sie für weitere Berechnungsschritte als „non-retraceable“ betrachtet werden. Sie darf unter strikter Beachtung bestimmter

Regeln nur in ihrer Gesamtheit verändert werden. Der darin enthaltene Gesamtlichtstrom kann dabei als normierende Grenzbedingung gelten.

Bei der Konzipierung und Entwicklung eines kleinen Tools wurde außer auf einer softwaretechnischen und physikalisch korrekten Behandlung gemessener Strahlendaten nur auf die denkbar knappe Bearbeitungszeit für beliebig große Datenmengen (Strahlendateien bis 2,5GB und mehr) geachtet. Es wurden keine Berechnungsalgorithmen für eine weiterführende Strahlenverfolgung entwickelt, da diese sowieso in den jeweiligen Simulationsprogrammen implementiert sind. Es werden lediglich Sortierungs-, Filterungs- und Optimierungsoptionen für die Daten angeboten, die bei verbesserter oder gleicher Bearbeitungsqualität in Bruchteilen der Berechnungszeit von anderen Programmen laufen. Eine „pseudo-3D-Visualisierung“ ist auf einigermaßen aktuellen Rechnern mit Standardgrafik in „Quasi-Echtzeit“ realisiert.

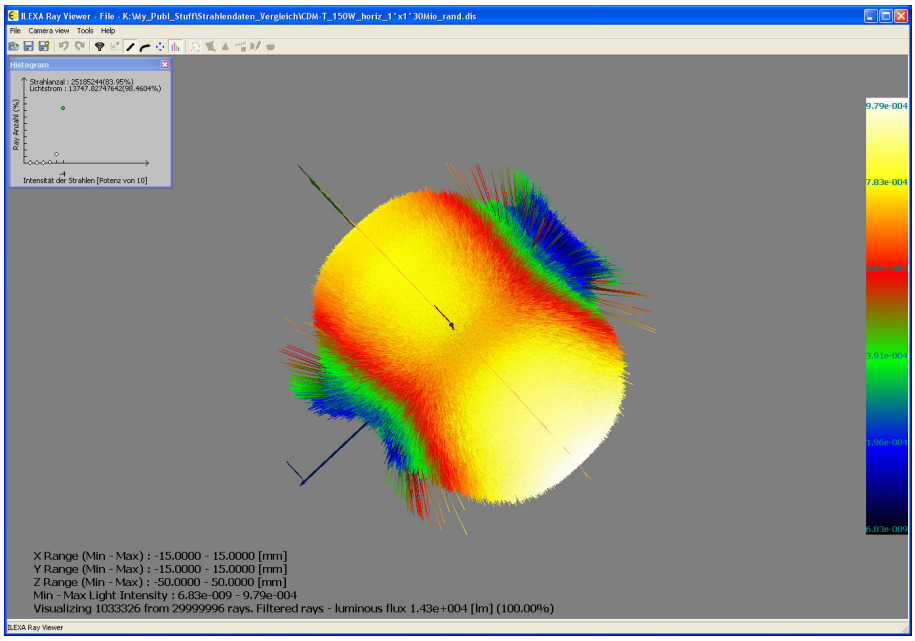

Abb. 5: ILEXA-Ray-Viewer stellt Strahlendaten übersichtlich und schnell dar

Bei extrem verkürzten Berechnungszeiten und Abläufen ist eine fast intuitive Aufbereitung der Strahlendaten nach Trial-and-Error-Prinzip möglich. Jeder Bearbeitungsschritt ist sofort in seiner Auswirkung gut erkennbar und kann zwischengespeichert oder gleich bzw. auch später rückgängig gemacht werden. Der Nutzer merkt sofort die unmittelbare Auswirkung seiner Filterungs- oder Sortierbefehle auf den bearbeiteten Strahlendatensatz. Die wichtigsten Parameter der enthaltenen Strahlen und nach Wunsch auch ihre Häufigkeitsverteilung in der Datei werden stets angegeben. So kann tiefere Erfahrung bei der Arbeit mit diesen Daten systematisch aufgebaut werden und unbekannte Raysets verschiedenster Technologien und Herkunft genauer untersucht oder verglichen werden. Die für die fehlerfreie Berechnung vieler Simulationsprogramme sehr wichtige stochastische Vertauschung räumlich geordneter Daten und die Extraktion beliebiger Subsets (Strahlendatensatz geringerer Strahlenanzahl) aus großen Rohdateien laufen auch für Gigabyte-große Dateien immer noch in Sekunden ab. Ähnliche Vorgänge erfordern bei manch anderer Software Stunden bis Tage. Somit können „geringfügige“ Eingriffe oder eine orientierende Datenüberprüfung schnell und pragmatisch durchgeführt werden ohne dabei schwerfällige Programmmodule zu bemühen. Stellvertretend sind in

der mehrteiligen Abbildung auf der Titelseite die Filterungsmöglichkeiten nach verschiedenen Kriterien - Intensität, Entstehungskoordinate des Strahls oder nach Ausbreitungsrichtung - dargestellt.

Im Vergleichstest ist z.B. eine simple orientierende Datendurchsicht mit anschließendem 3D-Bildexport im ILEXA-Ray-Viewer oft schneller erledigt als manche Simulationsprogramme für ihre Initialisierung brauchen. Dies ist besonders für Ingenieure, die ständig mit großen Daten arbeiten müssen wichtig, da dadurch eine permanente Qualitätskontrolle der aktuellen Zwischenergebnisse während der Bearbeitung oder vor einer Endabgabe möglich ist.

5 Praxisbeispiele

Am Poster werden einige typische Beispiele aus der Praxis gezeigt und erläutert. Die Bearbeitungsqualität und –zeit der entsprechenden Projekte konnten unter der Verwendung der vorgestellten Methodik um Größenordnungen verbessert bzw. verkürzt werden. Bei manchen Aufgaben wie z.B. bei einer Entblendung, bei vorhandener Teilabschattung, sowie bei der Bewertung von Blendung und Lichtimissionen ist die Verfügbarkeit von exakten Nahfelddaten überhaupt entscheidend für die Lösbarkeit der gestellten Aufgabe. Aus Platzgründen werden an dieser Stelle nur einige Beispiele aufgelistet. Weitere ausführlichere Details befinden sich auf der Tagungs-CD oder können später angefordert werden.

- Strahlendaten von LED: weisse LED, Multi-Chip-LED, LED-Arrays, COB-Cluster
- Blendungsbewertung und Entblendung von Flutlicht- und Flächenstrahlern
- LED Signalleuchten und LED-Ersatzlampen zu Beleuchtungszwecken
- Berechnung und Optimierung von optischen Komponenten z.B von Fresnellinsen
- auch weitere Beispiele aus der Diskussion und auf Anfrage

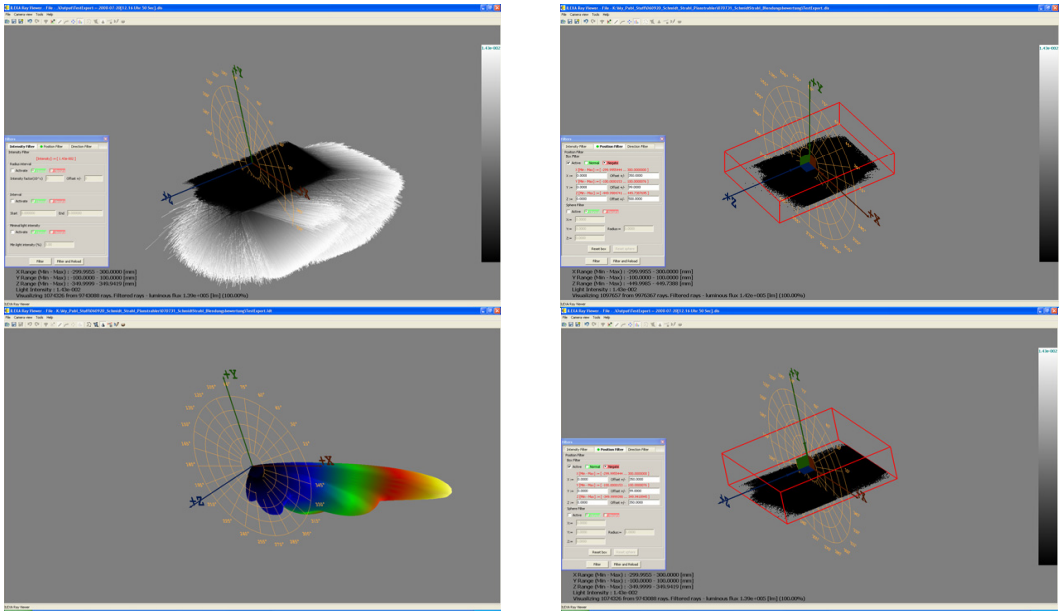

Abb. 6: Arbeitsschritte aus der Bewertung, Optimierung und Entblendung von Flutlichtstrahlern

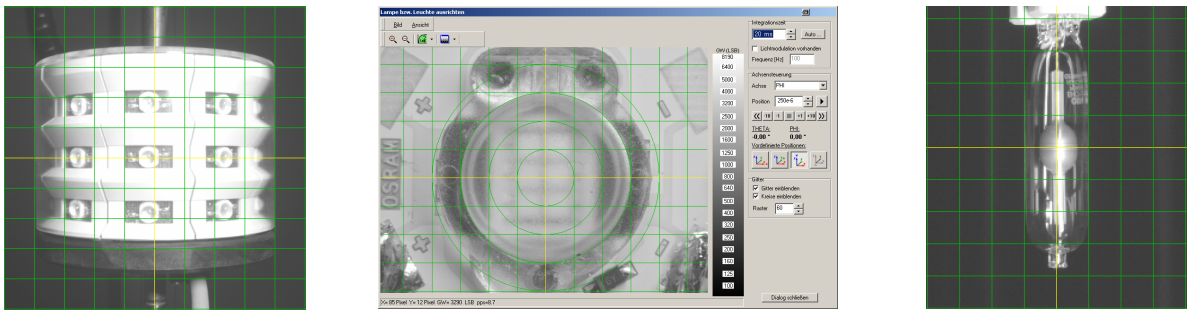

Abb. 7: Messmuster zur Erstellung von Strahlenmodellen

6 Fazit

Anhand ausgesuchter Beispiele und in der simultanen Vorführung vom neu entwickelten ILEXA-Ray-Viewer (***Preprozessing-Software für Nahfeld-Strahlendaten***) stellen die Autoren ihre aktuellen Praxiserfahrungen vor. Es wird gezeigt, dass eine pauschale Anwendung von Strahlendaten unbekannter Lichtquellen als „Blackbox“ egal in welcher Software nicht immer sinnvoll und selten optimal ist. Durch geeignete Aufbereitung (preprocessing) von Strahlendaten kann die Simulationsqualität bei drastisch reduzierten Bearbeitungszeiten der jeweiligen Aufgabenanforderungen angepasst werden. Durch schnelle und nachvollziehbare Filterungs- und Sortierungsschritte, durch stochastische Vertauschung geordneter Daten oder durch die gezielte Separierung spezifischer Subsets (Untergruppen von Strahlen) können neuartige (physikalische sowie simulationstechnische) Effekte besser analysiert und dadurch auch möglicherweise schneller verstanden werden. Den Photometrie-Ingenieuren, die Nahfeldmessungen an stets neuen Lichtquellen durchführen müssen, um daraus realitätsgetreue Lichtquellenmodelle zu erzeugen, ist das Tool eine wirksame Hilfe zur Datenkontrolle und zur Qualitätssicherung. Nicht zuletzt wird das Programm im Labor zur zeitnahen Überwachung und Optimierung der Messabläufe und der anschließenden Datenaufbereitung am RiGo-Messplatz eingesetzt.

7 Literatur

/ 1 / Khoduev, A. B.; Kopylov, E. A.: Physically Accurate Lighting Simulation in Computer Graphics Software, www.keldysh.ru/pages/cgraph/articles/pals/index.htm, Moscow, 1996

/ 2 / Altmann, K.; Apian-Bennewitz, P.: Studie zur Anwendung und Grenzen derzeitiger Programmtypen zur photo-realistischen Darstellung von Licht und Beleuchtung in der Architektur, März 2000

/ 3 / BRO – Optical Sources; Light Source Library, ASAP Technical Publication, März 2006

/ 4 / Schmidt, F.; Fischbach, I.: Nahfeldfotometrie – Neue Wege zur Spezifikation lichttechnischer Objekte, LICHT 2000, Goslar 10.-13.09. 2000 Tagungsband (CD)

/ 5 / Jongewaard, Mark P.: Guide to selecting the appropriate type of light source model, SPIE´s 47th Annual Meeting, Seattle, WA, 2002

/ 6 / Bredemeier, K.; Poschmann, R.; Schmidt, F.: Nahfeldgoniophotometer – Systeme zur Messung der Lichtverteilung an Leuchten, Lampen und LED, LICHT 2006 Bern 10.-13.09.2006, Tagungsband (CD)

/ 7 / Bredemeier, K.; Poschmann, R.; Schmidt, F.: Development of luminous objects with measured ray data, Laser+Photonik, Carl Hanser Verlag, München 2007

/ 8 / Bredemeier, K.; Schmidt, F.; Jordanow, W.: Ray Data of LEDs and Arc lamps, ISAL 2005 Symposium, TU Darmstadt, Tagungsband

/ 9 / OSRAM Opto Semiconductors, Importing Rayfiles of LEDs from OSRAM OS, Application Note (Perliminary), www.osram-os.com/ray-files, April 2008

/10/ Philips, Lumileds, Power LED Lighting Optical Design Resources, www.LUMILEDS.com, Mai 2007

/11/ Weißhaar, J. P.; Close to Reality Models of Light Sources (LEDs) and Materials for the Optical Design Process, 4th Optics-design Symposium, München, 8.10.2004

/12/ ZEMAX Users Knowledge Base: How to Use Osram-LED-data with ZEMAX, www.zemax.com, 2008

Nützliche Web-Adressen:

http://www.technoteam.de

http://www.ilexa.de

http://www.osram-os.com/ray-files

http://www.lumileds.com/resources/design/listing.cfm?cat=optical

http://www.zemax.com/kb/articles/178/1/How-to-Use-Osram-LED-data-with-ZEMAX

http://www.breault.com/software/asap-lightsourcelib.php

http://www.lighting-technologies.com/Products/Photopia/Photopia_LED.htm