

Photometrische Charakterisierung von Lichtquellen in der Meß- und Simulationspraxis

*Wladimir Jordanow, ILEXA GbR, Ehrenbergstraße 11, 98693 Ilmenau,
e-mail: jordanow@ilexa.de, www.ilexa.de, Tel.: 03677 / 668 222
Rainer Nolte, TU Ilmenau, FG Lichttechnik, PF 100565, 98684 Ilmenau,
e-mail: rainer.nolte@tu-ilmenau.de, Tel.: 03677 / 846 924*

Bis vor wenigen Jahren heiß diskutiert und stets durch neue Ideen aus wissenschaftlichen Publikationen angeregt, ist die Thematik der Messung, der elektronischen Verarbeitung und der Verwendung photometrischer Daten von Lichtquellen und Leuchten zur unspektakulären Alltagspraxis geworden. Zum Großteil auch mit Recht. Die wesentlichen mathematischen Grundlagen der photometrischen Charakterisierung von Lichtquellen, die Messprinzipien zur Gewinnung dieser Daten sowie die dafür notwendigen Voraussetzungen und die Messtechnik sind gut bekannt und für alle verfügbar. Des Weiteren haben sich mittlerweile bei den Programmen, die mit photometrischen Daten arbeiten, de facto Standards etabliert. Damit wird die Bearbeitung einer überwiegenden Vielzahl lichttechnischer Meß- und Simulationsaufgaben beinahe trivial. Komfortable Kataloge und Plug-ins mit Datenbankintegration suggerieren dem Nutzer eine bedingungslose Verfügbarkeit aller benötigten Leuchtendaten, trüben allerdings gleich seinen Blick für wichtige oder gar kritische Details. Gleichzeitig müssen Lichttechniker, um diese enormen Datenmengen simultan aktuell zu halten, andauernd Mess-, Konvertier und Pflegearbeit leisten. Dies muß trotz kürzester Bearbeitungszeit mit viel Sorgfalt erfolgen, sonst ist darin ein nicht zu unterschätzendes Fehlerpotenzial verborgen.

Es gibt Bearbeitungsfälle, die durch besondere Anforderungen, durch Verwendung neuartiger Komponenten und Materialien oder durch extreme Randbedingungen immer noch eine wesentliche Herausforderung bedeuten. Einige solche Fälle werden in der folgenden Ausführung vorgestellt. Es wurden praktische Beispiele für extreme Situationen ausgesucht, für die es noch keine etablierte Standardlösungen gibt. Deshalb wird eine ganz spezifische Sonderbehandlung erforderlich. Die wesentliche Besonderheit dabei ist, dass wegen der enormen Vielfalt der entstehenden Anforderungen, eine photometrische Untersuchung/Messung mit Hilfe nur eines einzigen Messgerätes (Nahfeld- oder Fernfeld-Goniometer) nicht immer ausreichend oder möglich ist. Deswegen ist in Ilmenau ein „Goniometer-Park“ entstanden, der die Möglichkeit einer tiefergehenden Behandlung der Problematik eröffnet. Eine direkte Messung der Nahfeld- und Fernfelddaten von beinahe beliebigen Licht- und Strahlungsquellen ist so möglich. In Verbindung mit einer jahrelangen Erfahrung in der Lichtbewertung, -berechnung und -simulation sind Erkenntnisse entstanden, die hiermit zur Diskussion gestellt werden. Da sich die Arbeit noch in einem frühen Stadium befindet, zeigt die vorliegende Publikation einige der wichtigsten Problemstellungen auf, ohne dabei ins Detail auf alle einzelnen Lösungswege einzugehen. Die Posterpräsentation stellt die wesentlichen verwendeten Meßmethoden, Technologien und Datenverarbeitungs-

techniken, sowie einige der speziell dafür entwickelten Softwareanwendungen, Konverter und Hilfsmittel vor. Demnächst wird Interessenten eine elektronische Sammlung ausgesuchter photometrischer Lichtquellenmodelle verfügbar gemacht, die einige Grenzen oder Nachteile der gegenwärtig verwendeten Meßmethoden, elektronischen Verarbeitungsverfahren photometrischer Daten und Lichtberechnungstechniken veranschaulicht, sowie intuitive Wege beschreibt, wie diese Grenzen aufzuheben sind.

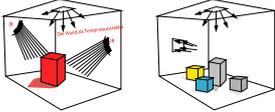
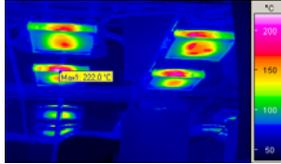
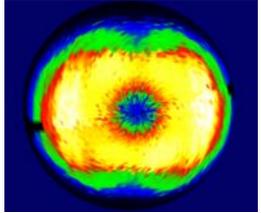
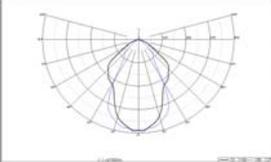
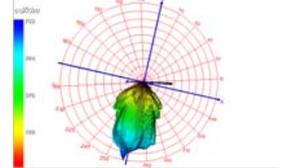
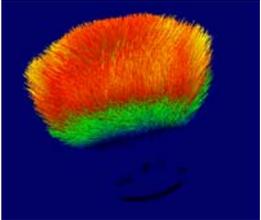
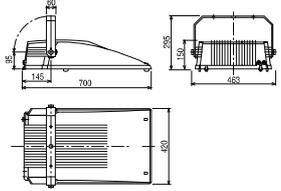
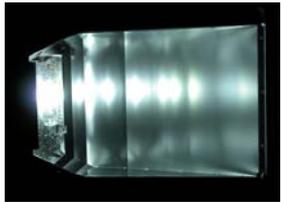
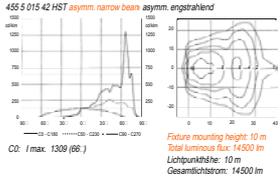
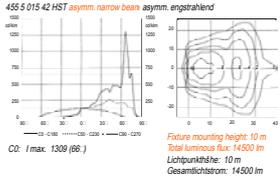
Folgende wichtige Gesichtspunkte werden insbesondere berücksichtigt:

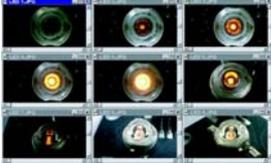
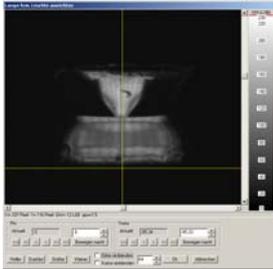
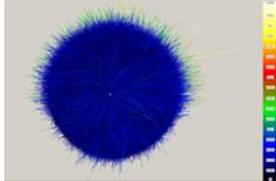
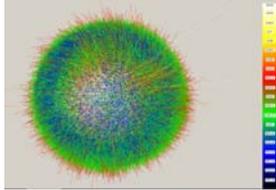
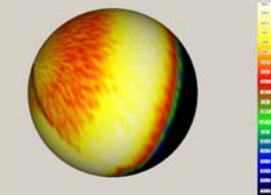
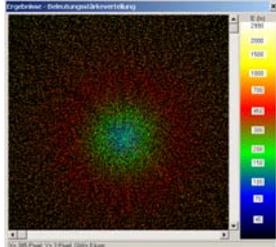
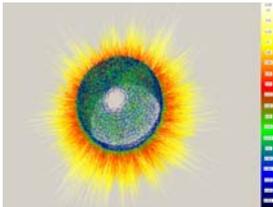
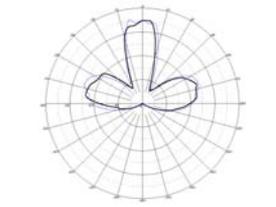
- Viele der verwendeten Methoden zur photometrischen Charakterisierung /3/, /4/ und Simulation /5/ von Lichtquellen basieren auf mathematische Grundlagen, die anhand von Erkenntnissen aus der klassischen Beleuchtungstechnik (Langfeldleuchten) erarbeitet wurden.
- Eine steigende Anzahl neuartiger Materialien, Lichtquellen und Beleuchtungskonzepte lassen sich nicht eindeutig einer Nahfeld- oder Fernfeldsituation zuordnen und strikt danach behandeln – dies betrifft zugleich die klassische Lichtmesstechnik, sowie die gängigen Algorithmen zur lichttechnischen Berechnung.
- Die bildauflösende Lichtanalysetechnik /8/ eröffnet qualitativ neuwertige Möglichkeiten zur photometrischen Datenerfassung. Der allgemeine Trend zur Miniaturisierung der Lichtquellen, die Verwendung von High-End-Materialien, mikro- und nanostrukturierten lichttechnischen und optischen Komponenten bringen oft auch die bildauflösende Lichtanalysetechnik an ihre technische Grenze. Dies betrifft Materialien wie z.B. mikrostrukturierte Folien, Mikroprismen, feinstes Lochblech, integrierte Mikrooptik, Lichtleiter, spektral selektive/aselaktive Reflexionsschichten und Filter, nanostrukturierte Oberflächen u.s.w. Durch Sondermaßnahmen, bzw. durch geeignete Kombination spezialisierter bildauflösender Lichtmeßtechnik kann man allerdings immer noch diese Grenzen verschieben.
- Heutzutage ist im Labor mit Hilfe moderner Goniometertechnik ausreichende photometrische Information vorhanden, mit der die Lichtquellen präzise genug beschrieben werden können. Die meisten verwendeten Formate zur elektronischen Speicherung und Verarbeitung photometrischer Daten /1/, /3/, /4/, können diese Information nur unvollständig aufnehmen. Die vorgesehene Datenredundanz /1/ wird in der Lichtplanungs- und -simulationspraxis selten genutzt um softwaretechnische Fehler zu vermeiden.
- Historisch bedingte Format- und Begriffsunterschiede zwischen den lichttechnischen und optischen Softwareanwendungen sind verständlich. Angesichts der sehr komplexen Durchmischung der lichttechnischen und der optischen Technologien sind diese allerdings nicht mehr vertretbar. Die algorithmischen Unterschiede haben softwaretechni-

sche und keine mathematischen Ursachen. Eine direkte Vergleichbarkeit der entstehenden Simulationsergebnisse ist selten möglich.

- Aus der Computergrafik inspirierten Techniken und Algorithmen sind im lichttechnischen Kontext nicht immer sinnvoll. Die sogenannten Visualisierungsmethoden in den lichttechnischen Programmen beinhalten wenig physikalischen Sinn im Bezug zur Realität. Solche Methoden sind zur Bewertung lichtphysiologischer und –psychologischer Effekte völlig ungeeignet.
- Die ortsauflösende Leuchtdichtemesstechnik in Verbindung mit photogrammetrischen Techniken (Leuchtdichteanalysatoren) erlauben eine effektive Datenerfassung räumlicher und photometrischer Informationen. Sie liefern eine ausreichende Basis für die Durchführung lichtphysiologischer und –psychologischer Bewertungen. Insbesondere ist eine Blendungsbewertung, basierend auf exakt gemessenen Leuchtdichteinformationen im Gesichtsfeld, viel zuverlässiger und präziser im Vergleich zu einer Blendungsbewertung anhand der Fernfeld-LVK.
- Beleuchtungsplanungssoftware für ergonomische Zwecke ist zur Bewertung und die Dimensionierung technischer Beleuchtungsanlagen (z.B. von technologischen Bestrahlungsanlagen) ungeeignet. Es gibt kaum verfügbare Datenquellen für die radiometrische Charakterisierung von Strahlungsquellen. Eine präzise Umrechnung von lichttechnischen in strahlungstechnischen Größen und umgekehrt ist wegen fehlender oder sehr teurer Spektraldaten für den UV- und den IR-Strahlungsbereich kaum möglich. Die Folgen davon können erheblich sein.

Die nachfolgende Tabelle sollte eine Diskussionsgrundlage zur Erläuterung der gemachten Aussagen liefern. Für die Beschreibung der lichttechnischen Komponenten werden eigene gemessene oder theoretische Verteilungsmodelle verwendet wie z.B.: Nahfeld-Daten als Strahlenmodell /8/, Fernfeld-Daten (LVK), Leuchtdichtebilder aus bestimmten Blickpositionen, Spektraldaten, Informationen zur Geometrie und Raumposition der Quellen u.a.

Anwendung	Lichtquelle/Leuchte	Besonderheiten	Bemerkung
Dimensionierung von Anlagen zur künstlichen Bewitterung	Strahler mit Hochdruck Gasentladungslampen (HQI-, HMI-, Halogen- und Xenon-Lampen)	Kompakte Abmessungen, extrem hohe Lichtströme, steile Lichtstärkegradienten, Globalstrahlung – Strahlungsanteile außerhalb des sichtbaren Spektrums, sehr hohe Wärmebelastung-Sekundärstrahler	Nutzung von Nahfeld-Strahlendaten und Fernfeld-LVK
 prinzipielle Skizze	 HMI-Strahler	 Thermographiebild	 Nahfelddaten
 Bestrahlungsanlage	 Fernfeld-LVK 2D	 Fernfeld-LVK 3D	 3D-Strahlenmodell
Planung fernsehgerechter Beleuchtung	u.a. Verwendung asymmetrischer Planstrahler	extrem große Lichtaustrittsfläche, hohe Gradienten	Fernfeld-LVK aus den Nahfeld-Daten
 Ansicht des Planstrahlers (SILL 455)	 Abmessungen des Planstrahlers	 Messanordnung im Goniometer RiGo801	 Messanordnung im Goniometer RiGo801
 Ansicht des Planstrahlers (SILL 456)	 Lichtaustrittsfläche des Planstrahlers	 Gemessene Fernfeld-LVK	 Gemessene Fernfeld-LVK

Anwendung	Lichtquelle/Leuchte	Besonderheiten	Bemerkung
Spezialbeleuchtung mit LED	Hochleistungs-LED mit und ohne aufgesetzter Optik	extremes Nahfeld, richtungsabhängige Spektralverteilung	Nahfeld- / Fernfeld-Datenkonvertierung ist notwendig
  <p>HPWT (oben) und Luxeon-Konus (unten)</p>	 <p>LED-Ansichten aus verschiedenen Winkelpositionen</p>	 <p>Hier klicken!</p>  <p>Hier klicken!</p> <p>Luxeon-Konus-LED-Ansicht frontal (oben) und von der Seite</p>	<p>Hier klicken!</p>  <p>Luxeon Lambertian</p>  <p>Luxeon Konus</p> <p>Luxeon-Strahlenmodelle</p>
 <p>Leuchtdichtebild von drei hochgesetzten LED-Bremsleuchten</p>	 <p>Strahlenmodell der Luxeon-Konus: Ansicht als Kugelprojektion</p>		 <p>Beleuchtungsstärke - berechnet aus dem Strahlenmodell</p>
Signalbeleuchtung (Warnsignalleuchten)	LED-bestückte Signalleuchten	unterschiedliche Nahfeld- / Fernfeldgrenze für LED und Leuchte	Nur Fernfeld-LVK ist gefragt
 <p>Warnsignalleuchte – Blick von oben</p>	 <p>Warnsignalleuchte – Blick von der Seite</p>	 <p>Strahlenmodell der Warnsignalleuchte</p>	 <p>Fernfeld-LVK der Warnsignalleuchte</p>

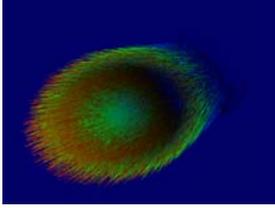
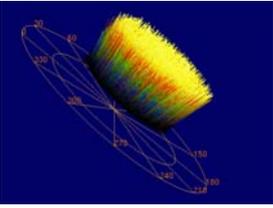
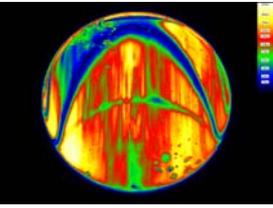
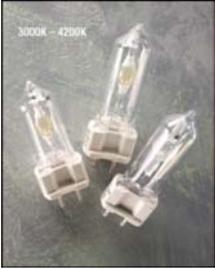
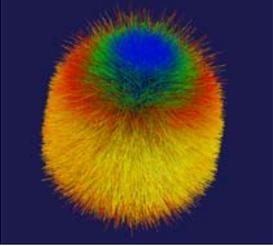
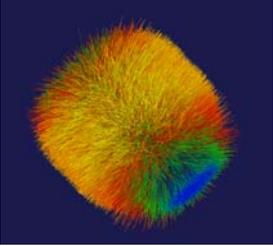
Anwendung	Lichtquelle/Leuchte	Besonderheiten	Bemerkung
Ein- und Auskopplung von Lichtleitern	Hochdruck-Gasentladungs- und Speziallampen	keine Standardlichtquellen, oft unbekannte Parameter	LVK-Simulation wenig sinnvoll
			Hier klicken! 
Lichtaustritt aus einem Lichtleiter – Simulation	Speziallampe für Faseroptik	Strahlenmodell der Lichtaustrittsfläche des Lichtleiters – gemessen (Scheibe)	Blick in den Lichtleiter aus verschiedenen Positionen (Leuchtdichtebild)
Reflektordimensionierung und -entwurf	Fast alle möglichen Lampentypen, insbesondere Gasentladungslampen	Arbeit mit Spezialprogrammen, Herstellungstechnologie wenig berücksichtigt	Nahfeld-Daten der Lampe erforderlich, Fernfeld-LVK der Leuchte ist gefragt
			
Reflektor mit einer Gasentladungslampe	Verschiedene Gasentladungslampen	Strahlenmodell einer Gasentladungslampe	Strahlenmodell einer Gasentladungslampe

Tabelle 1: Anwendungsbeispiele aus der lichttechnischen Praxis

Literatur

- /1/ Stockmar, A.: EULUMDAT/2, ein bewährtes Leuchten-Datenformat in erweiterter Form.
12. Gemeinschaftstagung der Lichttechnischen Gesellschaften Deutschlands, der Niederlande, Österreich und der Schweiz, Licht'96 Leipzig, Tagungsband S. 766-771**
- /2/ Banda, S.: Die lichttechnischen Grundgrößen.
Expert Verlag Renningen-Malmsheim, 1999**
- /3/ DeCusatis, C.: Handbook of Applied Photometry. Optical Society of America and Springer-Verlag New York, 1998.**
- /4/ McCluney, R.: Introduction to Radiometry and Photometry. Artech House, 1994.**
- /5/ Simons, R.H.; Bean, A.R.: Lighting Engineering, Applied Calculations. MPG Books Ltd, Bodmin, Cornwall, 2001.**
- /6/ CIE Technical Report: Recommended File Format for Electronic Transfer of Luminaire Photometric Data. Publ. CIE 102, 1. Edition 1993**
- /7/ CIE Collection in Photometry and Radiometry. Publ. CIE 114-1994**
- /8/ Fischbach, I.; Schmidt, F.: Die Erfassung lichttechnischer Größen mit bildauflösender Leuchtdichtemessung (Leuchtdichte-Analysator).
44th International Scientific Colloquium, TU Ilmenau, 20. – 23. September, 1999**