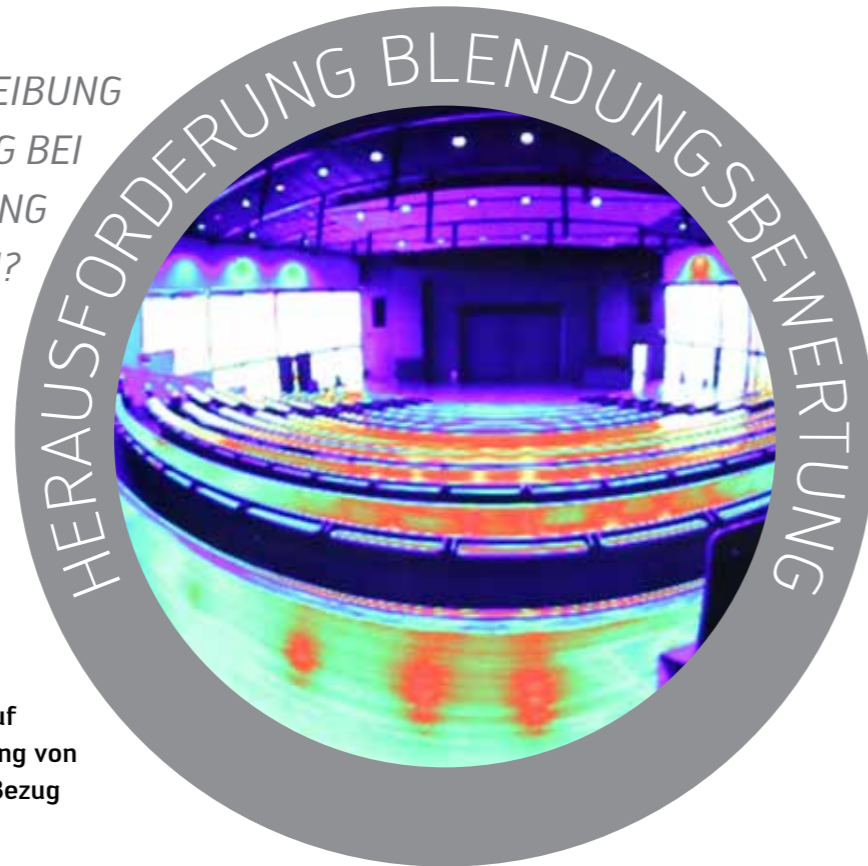


IST EINE OBJEKTIVE BESCHREIBUNG DER STÖRUNGSEMPFINDUNG BEI KÜNSTLICHER BELEUCHTUNG MÖGLICH?

Die visuelle Erfassung von Information durch das menschliche Auge kann durch helle Lichtquellen gestört werden. Diese Effekte werden unter dem Sammelbegriff der Blendung zusammengefasst. Der folgende Beitrag diskutiert, ob zum einen die Simulation und Vorhersage eines belastbaren Blendungsurteils und zum anderen die messtechnische Überprüfung einer realen Beleuchtungssituation anhand der vorhandenen Messdaten, Messmittel und Messmethoden überhaupt möglich sind. Dabei wird auf aktuelle Arbeiten zur messtechnischen Bewertung von subjektiven Blendungsurteilen in Innenräumen Bezug genommen.

1 EINLEITUNG

Das menschliche Auge ist ein komplexer Sehapparat mit einer Vielzahl von verschiedenen Typen von Sehzellen, kombiniert mit einer komplexen Motorik. Die visuelle Erfassung von Information in Blickrichtung kann durch helle Lichtquellen gestört werden. Diese Effekte werden unter dem Sammelbegriff der Blendung zusammengefasst. In der Vergangenheit war es oft ausreichend, während der Planung und Konzeption von Beleuchtungsanlagen im Innenraum einen gewissen Mindestlichtstrom des erzeugten Lichtes auf eine Ebene (horizontale Arbeitsflächen oder vertikale Fokusebenen) zu lenken, um dort eine ausreichende Beleuchtungsstärke zu gewährleisten. Angesichts der anhaltenden Zunahme von Büroarbeitsplätzen mit Bildschirmen, angesichts des demografischen Wandels, der für immer mehr ältere Anwender sorgt, und angesichts der höheren Ansprüche an Ergonomie und gesundheitsfördernde Aspekte der Beleuchtung, genügt das allein nicht mehr. Seitens der Beleuchtungsindustrie wurde dieser Entwicklung durch neue und immer komplexere Technologien zur Lichterzeugung und Lichtverteilung Rechnung getragen. Es sind gleichzeitig eine Vielzahl unterschiedlicher Beleuchtungskonzepte am Markt. Auch in der Wissenschaft laufen weltweit seit einigen Jahren verschiedene Untersuchungen. Ihr gemeinsames Ziel ist es, eine Methodik zur objektiven Bewertung der Störwirkung eines Beleuchtungskonzeptes zu entwickeln. Nicht zuletzt ist es die Aufgabe des Lichtplaners während der Planungsphase aus dieser Vielzahl an Methoden und Informationen ein geeignetes Konzept zu erarbeiten und auch nach der Realisierung der Beleuchtungsanlage zu überprüfen. Dadurch hat die lichtplanerische Tätigkeit enorm an Bedeutung gewonnen. Auf der anderen Seite hat sie sich dadurch auch zu einem beträchtlichen Kostenfaktor entwickelt. In diesem Artikel wird die Frage diskutiert, ob diese Aufgaben – zum einen die Simulation und Vorhersage eines belastbaren Blendungsurteils und zum anderen die messtechnische Überprüfung der reali-



sierten Beleuchtungssituation – mithilfe der vorhandenen Messdaten und Messmittel überhaupt objektiv lösbar sind. Dabei wird auf aktuelle Arbeiten zur messtechnischen Bewertung von subjektiven Blendurteilen in Innenräumen Bezug genommen.

2 MOTIVATION / DAS UGR VERFAHREN

Ein wichtiger Parameter für eine Aussage über den visuellen Komfort einer Beleuchtungsanlage ist das Blendurteil. Neben der rein physiologischen Blendung, also der vor allem im nächtlichen Außenraum nachweisbaren Reduzierung der Kontrastwahrnehmung und der damit verbundenen schlechteren Erkennbarkeit von Objekten, spielt die psychologische Blendung, die durch den Beobachter empfundene Störung und Beeinträchtigung des visuellen Komforts, eine wesentliche Rolle. Um diese Form der Blendung zu bestimmen, wurde das UGR-Verfahren entwickelt [1, 2]. Damit wird dem Leuchtenentwickler und dem Lichtplaner in der Entwicklungs- bzw. Planungsphase ein Werkzeug zur Verfügung gestellt, das es ermöglicht, anhand der zur Verfügung stehenden Messdaten (Strahlendaten oder LVK) des Leuchtmittels oder der Leuchte die psychologische Blendung in die Konzeption mit einfließen zu lassen. Die CIE UGR-Berechnungsformel wurde wie folgt definiert [1]:

$$UGR = 8 \cdot \lg \left[\frac{0,25}{L_b} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \cdot \Omega_{s,i}}{P_i^2} \right]$$

- mit
- UGR Unified Glare Rating ($10 \leq UGR \leq 31$)
- n Anzahl der Blendquellen
- L_s Mittlere Leuchtdichte der Lichtquelle (in cd/m^2)
- Ω_s Raumwinkel, unter dem die Lichtquelle gesehen wird ($0,0003 \text{ sr} \leq \Omega_s \leq 0,1 \text{ sr}$)
- P Positionsindex der Lichtquelle [3] ($1 \leq P \leq 16$)
- L_b Hintergrundleuchtdichte, berechnet aus der indirekten Beleuchtungsstärke am Auge (in cd/m^2)

Mit dem zunehmenden Einzug der LED als primäre Lichtquelle in den Leuchten und den daraus resultierenden Veränderungen der Lichtaustrittscharakteristiken darf aber an der Anwendbarkeit des UGR-Verfahrens für LED-Lichtpunkte aufgrund der oben genannten Grenzen des UGR-Verfahrens gezweifelt werden.

Um die Anwendungsgrenzen des UGR-Verfahrens zu erweitern, wurde eine Untersuchung zur Überprüfung der Gültigkeit der o.g. Formel mit dem Fokus auf LED-Leuchten durchgeführt. Ziel war es, gegebenenfalls Ergänzungen an der ursprünglichen Formel vorzunehmen. Zudem kommt bei einer realen Beleuchtungssituation eine Vielzahl weiterer Faktoren (bspw. die Berechnungsgenauigkeit der tatsächlichen Wandreflexionsgrade bzw. Wandumgestaltung durch Poster, Möblierung, Tageslicht etc.) mit ins Spiel. Diese machen es notwendig, auch reale lichttechnische Messungen zur Validierung der berechneten Ergebnisse durchzuführen.

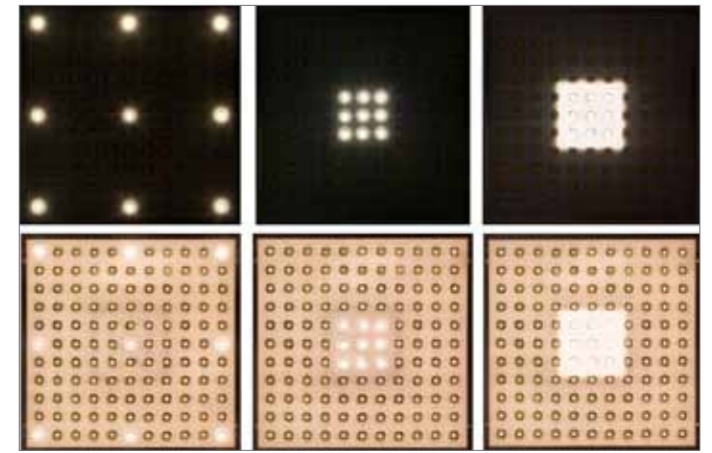
3 BLENDUNGSUNTERSUCHUNGEN IM UNILED-PROJEKT

Damit die gemessenen UGR-Werte mit der tatsächlich wahrgenommenen Störung der Menschen übereinstimmen, wurde das UGR-Verfahren mithilfe von zahlreichen Probandentests entwickelt. Jedoch zeigen neuere Untersuchungen Defizite des UGR-Verfahrens bei der Vorhersage der Blendung durch LED-Leuchten mit sichtbaren LED-Punkten. Diese werden häufig als störender wahrgenommen, als gleich große, homogen leuchtende Leuchten mit gleicher mittlerer Leuchtenleuchtdichte.

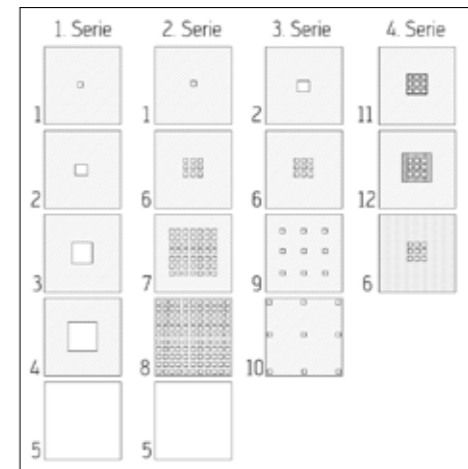
Deshalb wurden im Rahmen des UNILED-Projektes Blendungsuntersuchungen mit LED-Leuchten durchgeführt. Die lichttechnischen Institute der Technischen Universitäten Berlin, Darmstadt und Ilmenau sowie das KIT in Karlsruhe haben das Gemeinschaftsforschungsprojekt UNILED [4] bearbeitet. Es hatte die »Erfassung und Beseitigung von Innovationshemmnissen beim Solid State Lighting« zum Ziel. Einen Unterpunkt, der von der TU Berlin und der TU Ilmenau bearbeitet wurde, stellte die Blendungsbewertung von LED-Leuchten dar.

Besonders bei LED-Leuchten mit sichtbaren LED-Punkten stellt sich immer die Frage, was die mittlere Leuchtdichte der Leuchte und vor allem, welcher Bereich die leuchtende/blendende Fläche der Leuchte ist (siehe Abb. 1). Sind es nur die LED-Punkte oder ist es die gesamte geometrische Fläche der Leuchte? Was ist, wenn die unmittelbare Umgebung der LED-Punkte auch besonders hell wird?

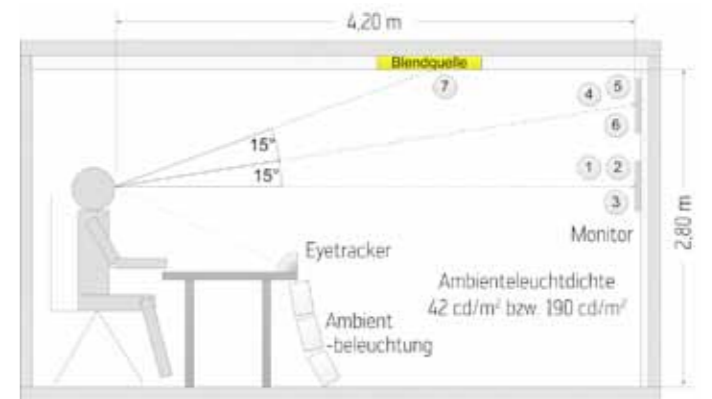
Um zu ermitteln, welche der oben aufgeführten Leuchtdichtesituationen bei gleicher Beleuchtungsstärke am Auge mehr blendet, wurde an der TU Ilmenau eine ausführliche Studie mit 30 Probanden und für unterschiedliche Blickrichtungen durchgeführt [5]. Bei dieser Studie mussten die Probanden die Störung durch eine LED-Leuchte bewerten, welche verschiedene Leuchtdichtestrukturen und Leuchtdichtekontraste aufweist (Abb. 2). Dabei kennzeichnen die schraffierten Flächen in Abb. 2 die dunkleren Bereiche und die weißen Quadrate die hellen Bereiche der Blendquelle. Des Weiteren sollten die Probanden nicht nur horizontal auf einen Monitor schauen, sondern in separaten Experimenten auch kurz direkt in die Blendquelle (Abb. 3). Insgesamt wurden 19170 Blendungsbewertungen abgegeben. Als ein Ergebnis aus dieser Probandenstudie lässt sich festhalten, dass die Situationen in der dritten Serie (Abb. 2) bei gleichen Leuchtdichte-



1 LED-Blendquellen mit unterschiedlichen LED-Abständen und Leuchtdichtekontrasten (Quelle: Ingo Herzog, Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik)



2 Leuchtdichtestrukturen der Blendquelle aufgeteilt in vier Serien



3 Skizze des Untersuchungsaufbaus für die Probandenstudie

verhältnissen gleich störend wirken, der Abstand zwischen den LEDs also keine Rolle auf das Blendempfinden spielt. Außerdem wurde beobachtet, dass die unmittelbare Umgebungsleuchtdichte der LEDs ebenfalls einen negativen Effekt auf das Blendempfinden hat. Das heißt, wenn diese steigt, steigt auch die Störungsempfindung, obwohl die Kontraste innerhalb der Leuchte reduziert werden. Diese Beobachtung wird teilweise durch das UGR-Verfahren abgedeckt. Jedoch stellt sich dadurch erneut die Frage, wie die zu berücksichtigende leuchtende Fläche zu definieren ist. Denn bei dunkler Umgebung der LEDs sind es de facto nur die LED-Punkte, aber bei einem helleren unmittelbaren Umfeld wird die Beantwortung dieser Frage schwierig.

Je nachdem, welche Fläche als die leuchtende Fläche definiert wird, resultiert ein anderer UGR-Wert und damit eine andere Güteklasse der Leuchte bzw. der Beleuchtungssituation. Deshalb ist es wichtig, die leuchtende Fläche sinnvoll so zu wählen, dass sie gut mit dem empfundenen Blendungseindruck übereinstimmt. Dafür existieren mehrere Ansätze, wobei jeder Ansatz seine Vor- und Nachteile hat.

Die Grundlage einer objektiven Bewertung von Beleuchtungssituationen sind Leuchtdichtemessungen mit einer orts aufgelösten Leuchtdichtemesskamera. Bei geeigneter Wahl des Messequipments enthalten die damit aufgenommenen Leuchtdichtebilder alle erforderlichen photometrischen und geometrischen Informationen. Für die Auswahl der leuchtenden Flächen stehen in der Software der Leuchtdichtemesskamera verschiedene Werkzeuge zur Verfügung.



4a – c Typische Messanordnung für die Bestimmung des UGR



Zum einen kann man die leuchtende Fläche nach gewissen Kriterien im Leuchtdichtebild manuell festlegen. Das heißt der Softwarebediener deklariert die blendenden Flächen der vorliegenden Beleuchtungssituation gemäß seinem Blendungsurteil. In der Folge hängt der resultierende UGR-Wert stark von der subjektiven Einschätzung des Bediener ab.

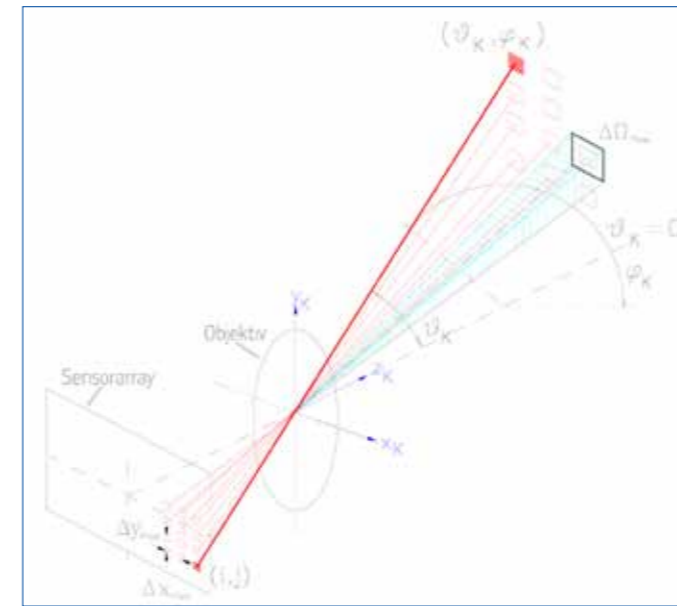
Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung der leuchtenden Fläche ist das Kriterium, dass alle Pixel mit Leuchtdichten über ein Prozent der maximal im Bild vorhandenen Leuchtdichte, also des hellsten Pixels, liegen. Dieses Verfahren basiert auf der Annahme, dass die Blendquellen immer viel heller sind als die nicht leuchtenden Teile der Szene. Dadurch werden objektiv nur die hellen Bereiche des Bildes für die Berechnung des UGR-Wertes angenommen, jedoch hängt die ermittelte Leuchtdichteschwelle und damit auch der UGR-Wert sehr stark von der Auflösung des verwendeten Messsystems ab.

Die dritte Möglichkeit zur Detektion der leuchtenden Fläche der Blendquelle ist das Verwenden einer fixen Leuchtdichteschwelle, ab der die Pixel als Blendquelle angesehen werden. Für Leuchten mit Leuchtstofflampen schlägt das UGR-Verfahren [1, S. 25 ff.] jeweils 300 cd/m², 500 cd/m² oder 1000 cd/m² vor, abhängig von der Bauart der Leuchtstofflampenleuchte. Diese Variante ermöglicht eine Vergleichbarkeit der UGR-Werte von verschiedenen Leuchten und Beleuchtungssituationen, jedoch wird damit nicht berücksichtigt, dass bei sehr hellen Räumen mit viel Tageslicht die Blendempfindlichkeit weit über den beschriebenen 1000 cd/m² liegt. Außerdem existieren (noch) keine verbindlichen Schwellenleuchtdichtewerte für LED-Leuchten mit sichtbaren LEDs. Deshalb wird in [5] die Verwendung einer dynamischen Leuchtdichteschwelle vorgeschlagen, welche aus dem vorhandenen Leuchtdichtebild des Raums ermittelt werden kann. Dieses Verfahren wurde ursprünglich für die Detektion von konventionellen und deutlich homogeneren Lichtquellen entwickelt [6], funktioniert aber grundsätzlich auch zur Bestimmung der leuchtenden Fläche von kontrastreichen LED-Leuchten. Jedoch wirkt sich bei LED-Leuchten aufgrund der geringen Größe und hohen Leuchtdichte der LED-Lichtpunkte die Auflösung des Messsystems stark auf die gemessenen Leuchtdichtewerte und damit auch auf die ermittelten UGR-Werte aus. Dieser Aspekt soll in weiterführenden Untersuchungen noch näher betrachtet und im Technischen Komitee JTC7 »Discomfort caused by glare from luminaires with a non-uniform source luminance« der CIE sowie dem Expertenforum Innenbeleuchtung der LiTG diskutiert werden. In diesen Gremien werden auch andere Vorschläge zur Bewertung von LED-Matrixleuchten besprochen.

4 UGR-KENNZAHLEN AUS LEUCHTDICHTEMESSBILDERN

Bildauffösende Leuchtdichtemesskameras (LMK) erfassen alle erforderlichen photometrischen und geometrischen Informationen [7] aus Gleichung 1 in einem Leuchtdichtebild (Abb. 4). Zu diesem Zweck wird ein HDR-Messbild (high dynamic range) aufgenommen um den Anforderungen an die hohe photometrische Dynamik der Messsituation gerecht zu werden.

Um die in dem Leuchtdichtemessbild vorhandene Information zur Leuchtdichte der Lichtquellen mit der Information zur Hintergrundleuchtdichte richtig zu verknüpfen, ist es wichtig, in der Bildaufnahme das gesamte Gesichtsfeld eines menschlichen Beobachters abzubilden. Zu diesem Zweck ist ein geeignetes Abbildungssystem zu verwenden.



5 Zusammenhänge der geometrischen Abbildung einer Kamera

Für die hier beschriebene Untersuchung kam ein hemisphärisches Fischeugenobjektiv zum Einsatz. Dies gewährleistet die Abbildung eines Bildfeldwinkels von 180° (circular) im Messbild. Über eine rückwärtige Koordinatentransformation $x, y \leftrightarrow \vartheta$ der Bildkoordinaten in das ursprüngliche Winkelkoordinatensystem der Messsituation können die in Gleichung 1 erforderlichen geometrischen Bezüge pixelgenau ausgerechnet werden [8, 9] (Abb. 5).

Ein weiteres technisches Detail stellt die Klassifizierung der Pixel im Leuchtdichtemessbild $L_{S(i,j)}$ dar, welche die Lichtquellen abbilden. Diese Klassifizierung kann dabei vom Nutzer manuell erfolgen, was aber einen nicht zu unterschätzenden zusätzlichen Zeitaufwand bedeutet.

Daher wurde für die Untersuchungen das angesprochene automatisierte Verfahren angewandt [6].

Diese Methode nutzt die Auswertung eines modifizierten Leuchtdichtehistogramms des Leuchtdichtemessbildes zur Festlegung eines globalen Leuchtdichteschwellwertes um die Leuchten vom Hintergrund abgrenzen zu können. Die softwaregestützte Umsetzung dieser automatischen Klassifizierungsmethode wurde mit Hinblick auf eine nutzerfreundliche Bedienbarkeit realisiert [10]. Die mit dieser Methode erzielten Ergebnisse sind sehr zuverlässig. Trotzdem wird es dem erfahrenen Nutzer überlassen, das vorgeschlagene Resultat der automatischen Lichtquellenerkennung zu korrigieren. Basierend auf dieser pixelgenauen Zuordnung bzw. Unterteilung des Leuchtdichtemessbildes in Lichtquellenleuchtdichten $L_{S(i,j)}$ und die Leuchtdichte der weiteren Umgebung $L_{B(i,j)}$ werden für die Berechnung einer UGR-Kennzahl nach dem UGR-Verfahren auch die geometrischen Bezüge im Messbild hergestellt. b durch den Raumwinkel $\Omega_{S(i,j)}$ der einzelnen Lichtquellen, als auch die Position der Lichtquelle im Gesichtsfeld des Beobachters (vgl. Abb. 6 bis 8). Abhängig von der Position der Lichtquelle im Gesichtsfeld wird deren Störwirkung vom Auge unterschiedlich wahrgenommen. Diese Beziehung wird durch den Positionsindex $P_{(\vartheta, \varphi)}$ ausgedrückt. Wobei die Winkel ϑ und φ für die Position der Lichtquelle bezüglich der Blickrichtung in einem Winkelkoordinatensystem stehen.

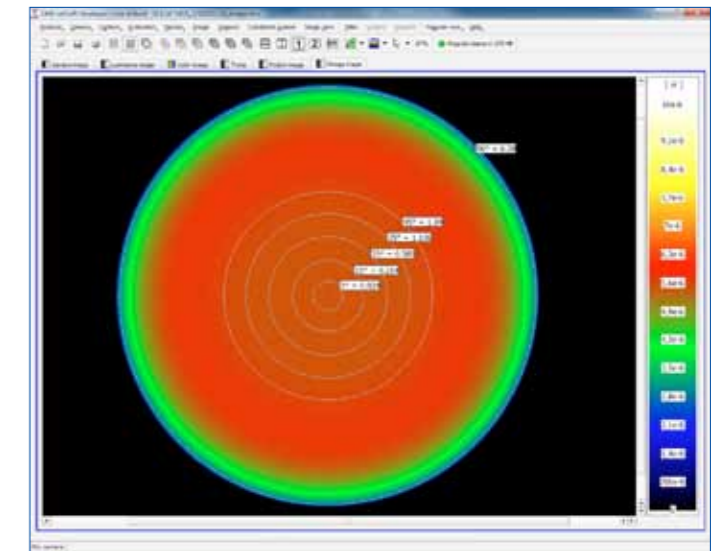
Die für die lichtmesstechnischen Untersuchungen verwendete Soft-

ware ist in der Lage, verschiedene Modelle für den Positionsindex anzuwenden. Als Standard wird der Positionsindex gemäß LUCKIESH und GUTH für den oberen und gespiegelt für den unteren Halbraum verwendet. (Für den unteren Halbraum ist im UGR-Verfahren jedoch keine Blendungsbewertung vorgesehen).

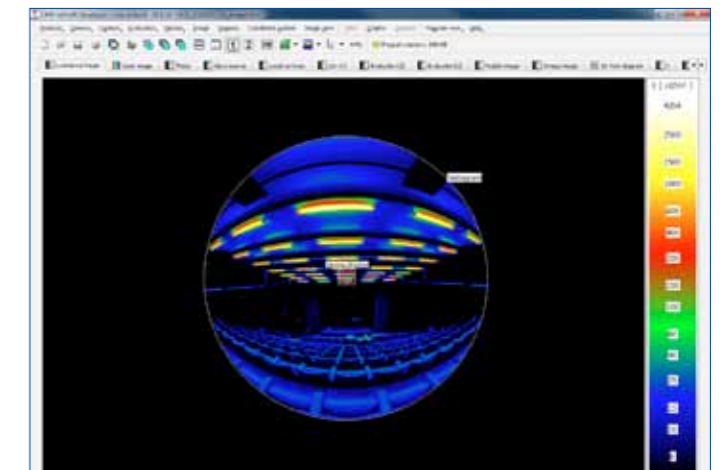
5 ANDERE ARBEITEN ZU DIESER THEMATIK

Die hier vorgestellte Studie und die Entwicklungsarbeit der Autoren zum Thema sind nicht die einzigen ihrer Art. Speziell zum Thema der Vorhersage und Validierung des UGR-Wertes mit der vorhandenen Lichtmesstechnik haben sich mehrere wissenschaftliche Gruppen beschäftigt.

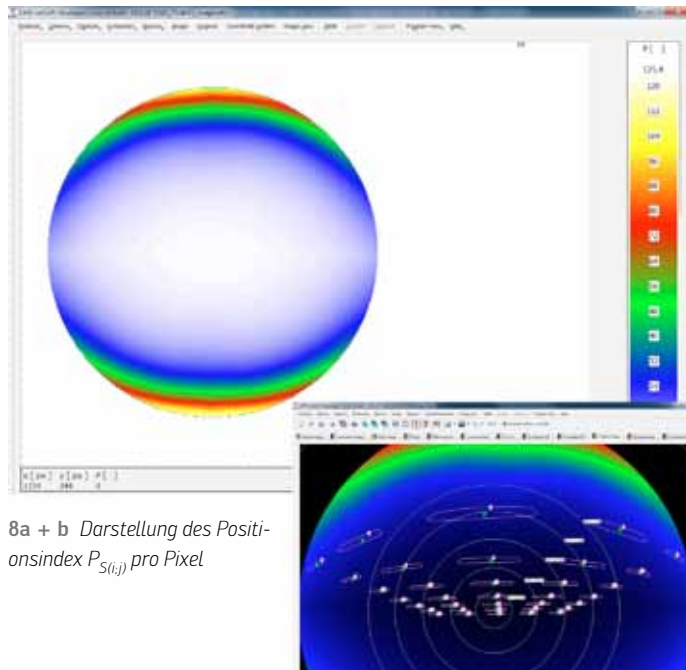
So veröffentlichten im Frühjahr 2015 die Autoren SAWICKI und WOLSKA



6 Darstellung des Raumwinkels $\Omega_{S(i,j)}$ pro Pixel



7a + b Darstellung der klassifizierten Leuchtenleuchtdichten $L_{S(i,j)}$



8a + b Darstellung des Positionindex $P_{S(i,j)}$ pro Pixel

von der TU Warschau eine umfangreiche Untersuchung mit dem Titel »Discomfort glare prediction by different methods« [11]. In ihr wurden die Blendurteile von 65 Testpersonen für insgesamt zwei Beleuchtungssituationen mit Leuchtstofflampen-Büroleuchten mit den simulierten UGR-Werten aus der DIALux-Beleuchtungsplanungs- und Lichtsimulationsssoftware und mit den aus LMK-Leuchtdichtemessbildern berechneten UGR-Werten miteinander verglichen. Als Ergebnis konnten die Autoren konstatieren, dass die mit der LMK bestimmten UGR-Werte meist unter den subjektiven Blendungsurteilen liegen, dass jedoch beide insgesamt gut übereinstimmen. Die berechneten DIALux-Werte liegen mindestens einen UGR-Wert unter dem subjektiven Störepfinden. SAWICKI und WOLSKA empfehlen deshalb, bei Planungen mit DIALux mindestens einen UGR-Wert Reserve einzuplanen.

Des Weiteren untersuchten HARA und HASEGAWA in einer Probandenstudie in Japan die Blendungsbewertung von LED-Leuchten [12]. In dieser Studie, die 2012 veröffentlicht wurde, bewerteten sowohl junge Probanden (20 bis 29 Jahre) als auch ältere Teilnehmer (60 bis 69 Jahre) LED-Deckenleuchten mit unterschiedlichen Kontrasten innerhalb der Leuchten, die sich 17° über ihrer Blickachse befanden. Für homogen leuchtende Blendquellen fanden sie eine gute Übereinstimmung zwischen den mit einer Leuchtdichtemesskamera bestimmten UGR-Wert und der subjektiven Blendungsbewertung. Bei LED-Matrixleuchten mit hohen Kontrasten innerhalb der Leuchte stimmte der »gemessene« UGR-Wert mit Mittelung der Leuchtdichte über die gesamte Leuchtenfläche jedoch nicht mit dem subjektiven Blendempfinden überein. Abgesehen davon fanden die beiden Autoren heraus, dass die älteren Teilnehmer sich fast immer mehr geblendet fühlen als die jüngeren.

6 FAZIT UND AUSBLICK

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine Bewertung der psychologischen Blendung in Innenräumen mithilfe von ortsaufgelöster Leuchtdichtemesstechnik grundsätzlich möglich ist. Besonders für Leuchten mit geringen Kontrasten innerhalb der physischen Leuchtenfläche stimmen die berechneten UGR-Werte gut mit der subjektiven

Störepfindung von Testpersonen überein. Bei Leuchten mit hohen Kontrasten oder sehr kleinen Blendquellen innerhalb der Leuchte, wie beispielsweise LED-Leuchten mit sichtbaren LEDs, kann das UGR-Verfahren in seiner aktuellen Form nicht angewandt werden. Für diese Leuchtentypen existieren momentan Vorschläge, wie sie mit ortsaufgelöster Messtechnik hinsichtlich psychologischer Blendung bewertet werden können. Diese Vorschläge sollen in der Zukunft näher betrachtet und schließlich in die Auswertungssoftware der LMK sowie in die Lichtplanungsprogramme integriert werden.

7 LITERATUR

- [1] CIE (Hrsg.): Technical report CIE 117:1995. Discomfort Glare in Interior Lighting. Vienna: CIE 1995. ISBN 978-3-900-734-70-4.
- [2] LiTG (Hrsg.): Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen. 1. Aufl. Berlin: LiTG-Publikation 20:2003, Deutsche Lichttechnische Gesellschaft 2003.
- [3] Luckiesh, M.; Guth, S. K.: Brightnesses in Visual Field at Borderline Between Comfort and Discomfort (BCD). In: Illuminating Engineering 44, S. 650–670, 1949.
- [4] Völker, St.; Schuhmacher, H. (Hrsg.): UNILED – Erfassung und Beseitigung von Innovationshemmnissen beim Solid State Lighting, Ausgewählte Ergebnisse des Forschungsvorhabens, Schriftenreihe des Fachgebiets Lichttechnik Band 4, Universitätsverlag der TU Berlin, ISBN 978-3-7983-2707-5.
- [5] Funke, C.; Schierz, Ch.: Extension of the unified glare rating formula for non-uniform LED luminaires, CIE Proceedings 216, Vol.1, Part 2, S. 1471–1480, Manchester 2015.
- [6] CIE Div.2 TC2-59: Characterization of Imaging Luminance Measurement Devices (ILMD), Draft 2.0., CIE 2013.
- [7] Wolf, St.: Entwicklung und Aufbau eines Leuchtdichte-Analysators zur Messung von Blendungskennzahlen, Dissertation, Publikationsreihe des FG Lichttechnik der TU Ilmenau Nr. 7, Der Andere Verlag Osnabrück 2004, ISBN 3-89959-280-8.
- [8] Schmidt, F.; Krüger, U.; Porsch, T.: Erfassung von Blendwerten mittels bildauflösender Leuchtdichtemesstechnik, LICHT 2006, Bern 10.–13.09.2006, Tagungsband
- [9] Porsch, T.; Schmidt, F.: Blendungsbewertung mit bildauflösender Lichtmesstechnik in Theorie und Praxis, Lux-Junior 2007, Ilmenau.
- [10] Porsch, T.; Funke, C.; Schmidt, F.; Schierz, Ch.: Measurement of the unified glare rating (UGR) based on using ILMD, CIE Proceedings 216, Vol.1, Part 1, S. 536-542, Manchester 2015.
- [11] Sawicki, D., Wolska, A.: Discomfort glare prediction by different methods, Lighting Res. Technol.; online verfügbar seit 12. Mai 2015, S. 1–14.
- [12] Hara, N.; Hasegawa, S. (2012): Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. In: Journal of Illuminating Engineering Institute Japan 96 (2), S. 81–88.

Autoren: Tobias Porsch, Prof. Dr.-Ing. habil. Franz Schmidt, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH, www.technoteam.de
 Carsten Funke, Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz, TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik, www.tu-ilmenau.de/lichttechnik
