

UNTERSUCHUNGEN ZUR ERWEITERUNG DES UGR-BLENDUNGSBEWERTUNGSVERFAHRENS FÜR STRUKTURIERTE LED-LEUCHTEN

Carsten Funke¹, Christoph Schierz¹

¹) Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik,
carsten.funke@tu-ilmenau.de

ABSTRACT

In der Innenbeleuchtung hat sich das Unified Glare Rating Verfahren (UGR-Verfahren) zur Bewertung der psychologischen Blendung durchgesetzt. Es wurde für Blendquellen entwickelt, die einen Raumwinkel zwischen 0,0003 und 0,1 sr einnehmen [1]. Da sich LED-Lichtpunkte meist unterhalb dieses Größenbereichs befinden, können Leuchten mit direktstrahlenden LED nicht mit dem UGR-Verfahren bewertet werden. Obwohl die CIE-Schrift 147 [2] eine Erweiterung des UGR-Verfahrens für kleine und komplexe Lichtquellen einführt, zeigen zahlreiche Untersuchungen [3; 4; 5] Widersprüche bei der Blendungsbewertung von LED-Leuchten.

Im Rahmen von psychometrischen Untersuchungen im Sommer 2014 sollte ermittelt werden, inwiefern Leuchtdichteunterschiede innerhalb der Blendquelle einen Einfluss auf die Blendungsbewertung bei psychologischer Direktblendung haben. Dafür wurde ein Versuchsraum mit einer veränderbaren Testleuchte ausgestattet, mit der folgende Parameter verändert werden können:

- Leuchtdichte und Lichtstrom der sichtbaren LED
- Anzahl der sichtbaren LED
- Abstand der sichtbaren LED
- Leuchtdichte der homogen leuchtenden unmittelbaren Umgebung
- Größe der homogen leuchtenden unmittelbaren Umgebung

Die Ergebnisse der Untersuchung werden auf der Tagung im Rahmen der Präsentation vorgestellt.

Schlagwörter: UGR, psychologische Blendung, Blendungsbewertung, LED-Leuchten

1 UNTERSUCHUNGSMETHODE

Zur Variation der oben genannten Parameter wurde eine Blendquellenanordnung gewählt, welche an die von EBERBACH [6] für den mesopischen Bereich durchgeführte Untersuchung angelehnt ist (vgl. Abb. 1). Die dargestellten Leuchtdichtestrukturen wurden mit einer 60 x 60 cm großen LED-Leuchte realisiert, welche am Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau für diesen Test entwickelt wurde. Sowohl die „dunkleren“ als auch die „hellen“ Bereiche der Leuchte lassen sich in der Leuchtdichte variieren.

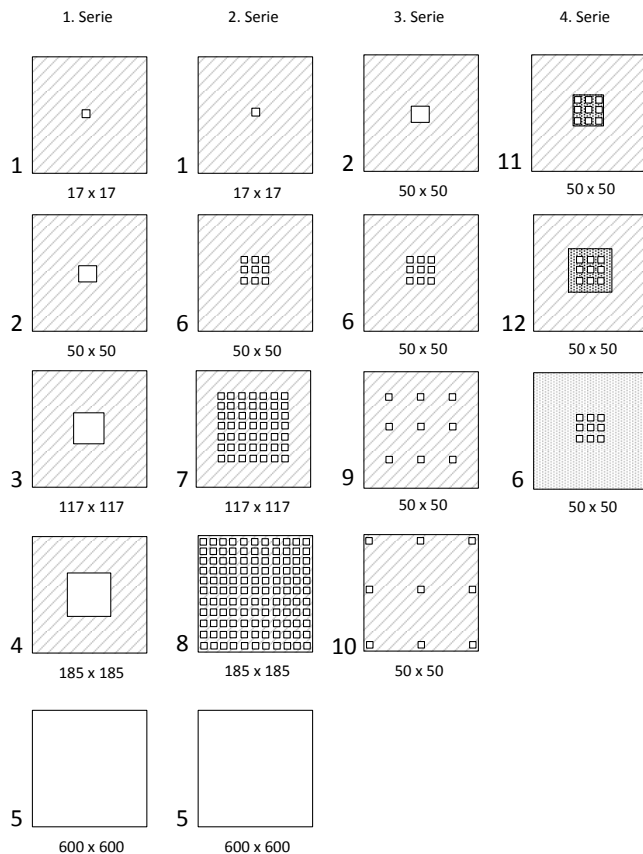


Abbildung 1 – Leuchtdichtestrukturen der Blendquelle in vier Serien geordnet. Die schraffierten und gepunkteten Bereiche kennzeichnen die „dunkleren“ Bereiche, die weißen die „hellen“ Bereiche der Blendquelle. Alle Maße in Millimeter.

Durch Vergleich der Serien 1 und 2 lässt sich die Summation von LED-Lichtquellen auf die Blendung überprüfen. Dabei stellt Struktur Nummer 5 die homogen leuchtende Standardblendquelle dar. Ein Vergleich innerhalb der 3. Serie ermöglicht Aussagen über den Abstand der LED innerhalb einer Leuchte. Mithilfe der 4. Serie soll die Größe und Leuchtdichte der unmittelbaren Umgebung bei LED-Lichtquellen untersucht werden. Als Bewertungsmethode für die psychologische Blendung wurde die im Innenraum übliche siebenstufige Blendungsskala gewählt (0 = keine Blendung wahrnehmbar ... 6 = Blendung unerträglich).

Forschungshypothesen:

- Die von einer Leuchte ausgehende Blendung steigt mit zunehmendem Leuchtdichtekontrast innerhalb der Leuchte.
- Bei gleicher mittlerer Leuchtdichte weisen Leuchten mit großem Lichtquellenabstand mehr Blendung auf.
- Die Gesamtblendzahl der Leuchte ist größer als die Summe der Einzelblendzahlen der Teilleuchten.

2 UNTERSUCHUNGSaufbau UND - ABLAUF

Die Untersuchungen wurden in einem büroähnlichen Untersuchungsraum (insgesamt 6,6 m x 3,5 m, Höhe 2,8 m) durchgeführt (s. Abb. 2 und 3). Abgesehen von der Blendquelle, welche in die abgehängte Decke eingehängt wurde, wurden insgesamt neun nicht sichtbare Ambientleuchten installiert, um die Adaptationsleuchtdichte während der Versuche einzustellen. Alle Leuchten haben eine ähnlichste Farbtemperatur zwischen 4000 K und 4500 K. Der Wände des Raums sind farbneutral ausgestattet. Die Ambientleuchten wurden mit DALI gedimmt und die Blendquelle mit Pulsweitenmodulation (14 bit, PWM-Frequenz 750 Hz). Für alle 12 Strukturen der Blendquelle wurden jeweils die „hellen“ und die „dunklen“ Bereiche mit verschiedenen Leuchtdichten kombiniert (vgl. Tab. 1), sodass insgesamt 71 Beleuchtungskonfigurationen entstanden.

Tabelle 1 – Auflistung der Parameterwerte. L_s Leuchtdichte des hellen Bereichs; ω_s Raumwinkel des hellen Bereichs; ϕ_{LED} Abstand der sichtbaren LED innerhalb der Leuchte (bei Struktur 6, 9 und 10); L_d Leuchtdichte des dunklen Bereichs.

Leuchtdichte L_s (cd/m ²)	Raumwinkel ω_s (sr)	Abstand ϕ_{LED} (°)	Leuchtdichte L_d cd/m ²
800	(1 LED) $1,58 \cdot 10^{-5}$	0,0	80
8 000	(9 LED) $1,39 \cdot 10^{-4}$	1,0	400
80 000	(49 LED) $7,74 \cdot 10^{-4}$	2,9	800
400 000	(121 LED) $1,90 \cdot 10^{-3}$	4,8	4 000
	(homogen) $2,20 \cdot 10^{-2}$		8 000

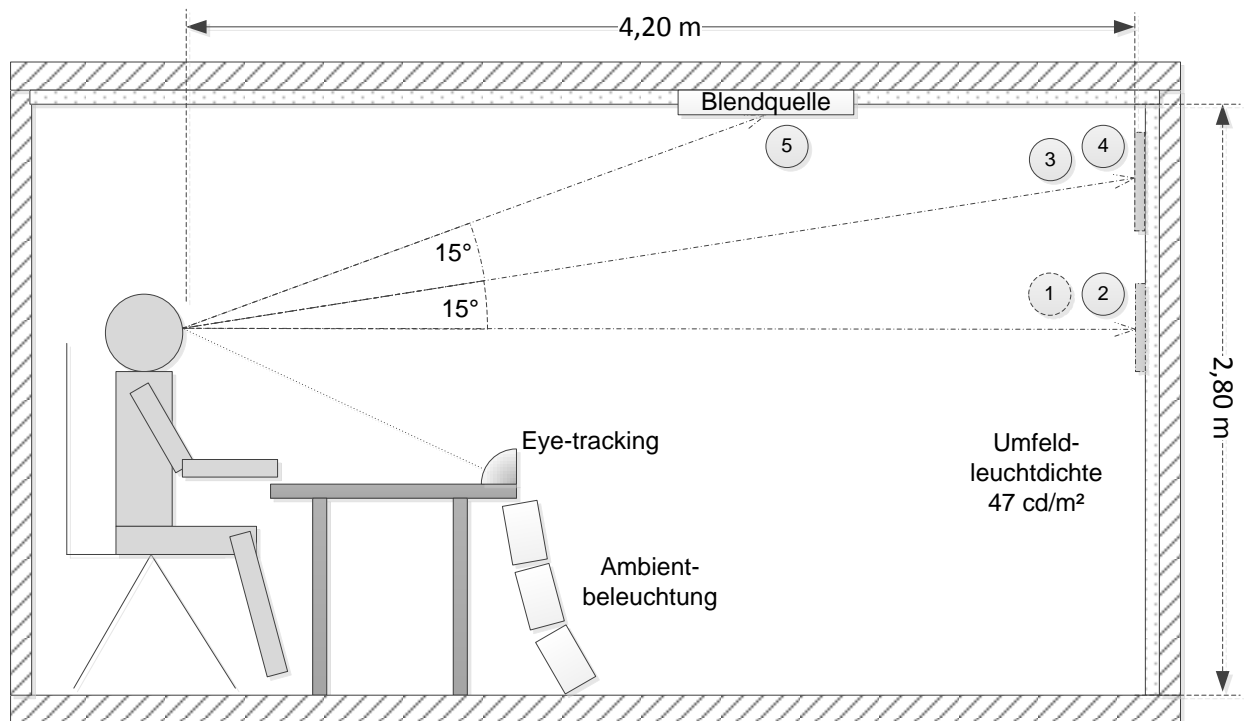


Abbildung 2 – Position des Probanden im Untersuchungsraum. Die Zahlen 1 bis 5 symbolisieren die Aufgabennummern bei den einzelnen Blickrichtungen.

Alle 71 Konfigurationen wurden bei fünf verschiedenen Aufgaben blockweise dargeboten, d. h. die nächste Aufgabe wird erst durchgeführt, wenn alle 71 Beleuchtungssituationen für eine Aufgabe erledigt wurden (vgl. Aufgabennummern in Abb. 2). Als Hauptsehaufgabe während der Untersuchung wurde ein Konzentrations-Leistungs-Test (KLT) mit Schwierigkeitsstufe C ausgewählt. Das Lösen von KLT-Aufgaben erfordert nach Brickenkamp [7, S. 286] die Koordination folgender Einzeltätigkeiten: Auffassen, Rechnen, Merken, Vorstellen und Entscheiden. Damit spiegelt der KLT typische Büroaufgaben vergleichsweise gut wieder und gleichzeitig bleibt die Blickrichtung der Probanden am Monitor. Neben dem visuellen KLT wurde auch ein auditiver KLT durchgeführt, der im weitesten Sinne ein Telefongespräch simulieren soll. Um den Einfluss der Aufgabenschwierigkeit auf die Blendungsbewertung zu überprüfen, wurde zusätzlich eine einfache Punktsehaufgabe auf dem Monitor dargeboten, um den Blick zu fixieren. In einem letzten Aufgabenblock sollte der Proband kurz in die Blendquelle schauen und sein Blendurteil für diese Situation abgeben. Nachfolgend eine Übersicht der Aufgabenblöcke:

- Aufgabe 1: KLT visuell, $\theta_{\text{Leuchte}} = 30^\circ$, Darbietungszeit: 15s
- Aufgabe 2: KLT, auditiv, freier Blick, Darbietungszeit: 15s
- Aufgabe 3: KLT visuell, $\theta_{\text{Leuchte}} = 15^\circ$, Darbietungszeit: 15s
- Aufgabe 4: Punkt auf Monitor beobachten, $\theta_{\text{Leuchte}} = 15^\circ$, Darbietungszeit: 7s
- Aufgabe 5: kurzer Blick in die Leuchte, $\theta_{\text{Leuchte}} = 0^\circ$, Darbietungszeit: 7s

Die fünf Aufgabenblöcke wurden an zwei Untersuchungsterminen à 90 Minuten mit Zwischenpausen durchgeführt. Alle Probanden hatten einen Visus von mindestens 0,6 für die Entfernungen 0,5 m und 4,2 m. Es wurden insgesamt 30 Probanden (13 Frauen, 17 Männer) untersucht, davon sind vier Mitarbeiter am Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau (Alter von 33 bis 54 Jahre). Die verbleibenden 26 Probanden waren lichttechnisch ungeübt und wiesen eine Altersstruktur von 20 bis 33 Jahren auf (Mittelwert 25,1 Jahre).

Während der gesamten Untersuchung wurden die Blickbewegungen von einem Eyetracker mit Stereo-Kamerasystem aufgezeichnet (s. Abb. 3). Aufgrund des Eyetrackers konnten keine Brillenträger für die Untersuchung herangezogen werden. Acht Personen trugen Kontaktlinsen während der Untersuchung.



Abbildung 3 – Probandin während Aufgabe 1. Die Probanden rechnen zunächst die beiden Zeilergebnisse aus und subtrahieren anschließend das kleinere vom größeren Ergebnis. Oben im Bild ist die Blendquelle auf eine homogene Leuchtdichte von 8000 cd/m^2 eingestellt.

3 ERGEBNISSE

Zum Zeitpunkt der Abgabe des Papers lagen die Ergebnisse noch nicht vor. Diese werden auf der Tagung vorgestellt.

DANKSAGUNG

Diese Forschungsarbeit wurde mit finanzieller Förderung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Forschungsprojekts UNILED (Förderkennzeichen: 13N10751) durchgeführt.



Darüber hinaus möchten sich die Autoren bei Prof. Dr. Peter Husar vom Fraunhofer-Institut für Digitale Medientechnologie in Ilmenau für die Bereitstellung des Eyetrackers bedanken.

QUELLEN

- [1] Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (Hrsg.) (2003): Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen. Berlin: Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LiTG-Publikation 20).
- [2] International Commission on Illumination (Hrsg.) (2002): CIE collection on glare. 2002. Vienna: CIE Central Bureau (Technical report no. 146, 147).
- [3] Kasahara, Tappei et al. (2006): Discomfort Glare Caused by White LED Light Sources. *Journal of Light and Visual Environment* 30 (2), S. 49–57.
- [4] Lee, Chang-Mo; Kim, Hoon; Choi, Dai-Seub (2007): A Study on the Estimation of Discomfort Glare for LED Luminaires. CIE (Hrsg.): *Proceedings of the 26th CIE Congress 2007*. Proceedings of the 26th CIE Congress 2007. Beijing, China, 04. bis 07. Juli 2007. CIE, S. D3-33 - D3-36.
- [5] Hara, Naoya; Hasegawa, Sanae (2012): Study on Discomfort Glare Rating on the Luminaire with LED Array. *Journal of Illuminating Engineering Institute Japan* 96 (2), S. 81–88.
- [6] Eberbach, Klaus (1974): Der Einfluss der Leuchtdichtestruktur von Lichtquellen auf die Blendempfindung. *Lichttechnik* 6, S. 283–286.
- [7] Brickenkamp, Rolf; Brähler, Elmar; Holling, Heinz (2002): *Brickenkamp Handbuch psychologischer und pädagogischer Tests*, 2 Bde., Bd.1. 3. Aufl. s.l.: Hogrefe Verlag. 1415 Seiten.