

Funke, Carsten; Vandahl, Cornelia; Dehoff, Peter Ulrich; Ruggaber, Benjamin:

**Praktische Anwendung der CIE 232:2019 – Korrigiertes UGR-  
Verfahren zur Bewertung der Direktblendung von inhomogenen  
Leuchten**

*DOI:* [10.22032/dbt.51576](https://doi.org/10.22032/dbt.51576)

*URN:* [urn:nbn:de:gbv:ilm1-2022200135](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2022200135)

Korrigierte, um 2 fehlende Seiten erweiterte Ausgabe, 2022.  
Seiten 110-120b (insg. 14 Seiten).

---

*Original veröffentlicht in:* LICHT 2021 : 21.-24.03., online : Tagungsband zum 24. Europäischen Lichtkongress. - Berlin : Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (LITG), 2021, S. 110-120.

*Konferenz:* Europäischer Lichtkongress ; 24 (Online) : 2021.03.21-24

*URL:* <https://www.licht2021.de/>

*Erscheinungsjahr:* 2021

---

# **Praktische Anwendung der CIE 232:2019 – Korrigiertes UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung von inhomogenen Leuchten**

*Dr.-Ing. Carsten Funke, Ingolstadt; Dr.-Ing. Cornelia Vandahl, TU Ilmenau;  
Dipl.-Ing. Peter Dehoff, Zumtobel Lighting; Dr.-Ing. Benjamin Ruggaber, TechnoTeam  
Bildverarbeitung GmbH*

## **1 Einleitung**

LED-Leuchten sind mittlerweile stark in der Innenbeleuchtung verbreitet. Durch die kompakte Bauweise der LEDs und ihre hohe Intensität können LED-Leuchten sehr vielfältig im Hinblick auf Design, Form und Größe ausgeführt werden. Ebenso bieten LED-Leuchten eine sehr hohe zeitlich und örtliche dynamische Steuerbarkeit und eine hohe Energieeffizienz, sodass völlig neuartige Lichtinstallationen möglich sind. Allerdings können LED-Leuchten aufgrund ihrer hohen lokalen Leuchtdichte stark blenden, wenn die LEDs nicht hinreichend abgeschirmt werden. Damit die Leuchten ausreichend hinsichtlich Blendung begrenzt werden, ist ein allgemein anerkanntes Blendungsbewertungsverfahren notwendig. Da mit der Einführung der LED-Leuchten festgestellt wurde, dass das „konventionelle“ UGR-Verfahren aus dem Jahr 1995 aufgrund der kleinen, hellen LED-Punkte und der teilweise sehr hohen Leuchtdichteinhomogenität nicht für alle LED-Leuchten angewendet werden kann, wurde im Jahr 2019 durch die Internationale Beleuchtungskommission (CIE) eine Korrektur des UGR-Verfahrens vorgestellt, um die Inhomogenität ausreichend zu berücksichtigen (CIE232:2019 /Cie 19/).

Dennoch bestehen auf Seiten der Anwender des korrigierten Verfahrens – also der Leuchtenhersteller, Lichtplaner, Lichtsimulationssoftware-Hersteller, Messtechnik-Hersteller, Messlabore und Gutachter – viele Fragen zur praktischen Anwendung des Verfahrens. Diese Fragen werden in diesem Beitrag adressiert und in einer 2021 erscheinenden LiTG-Schrift detailliert beantwortet.

Da die Inhomogenität sich in der Leuchtdichtestruktur der Leuchte abbildet, wird der Korrekturfaktor anhand von Leuchtdichtebildern der Leuchte ermittelt. Grundlage für den Korrekturfaktor ist die Erkenntnis, dass bei inhomogenen Leuchten mit sehr hellen Punkten die Messauflösung entscheidend für eine gute Übereinstimmung mit der menschlichen Wahrnehmung ist. Die ideale Messauflösung ist die Sehschärfe bzw. die Größe der rezeptiven Felder auf der Netzhaut des Auges (für Details, siehe /Fun

17; Cie 19/. Außerdem dürfen mit dieser Auflösung nur die Bereiche der Leuchte als leuchtend betrachtet werden, die oberhalb einer bestimmten Leuchtdichteschwelle liegen, da nur ab einer gewissen Mindestleuchtdichte eine psychologische Blendung hervorgerufen wird.

Zur Berücksichtigung der Leuchteninhomogenität wurde in /Cie 17/ ein Korrekturfaktor  $k$  eingeführt, der den UGR-Blendungstermin für jede einzelne Leuchte  $i$  anpasst:

$$R_{UG,korr} = 8 \cdot \log_{10} \frac{0,25}{L_b} \sum_{i=1}^n k^2 \frac{L_s^2 \cdot \omega}{p^2} \quad (1)$$

Die weiteren Formelzeichen bedeuten (vgl. auch Abb. 1):

- $R_{UG}$  UGR-Wert
- $L_s$  mittlere Leuchtdichte der Blendquelle
- $\omega$  Raumwinkel der Blendquelle
- $p$  Positionsindex der Blendquelle, der den Versatz der Blendquelle zur Beobachtungsrichtung berücksichtigt
- $L_b$  mittlere Leuchtdichte des Hintergrunds (ohne Berücksichtigung der Blendquellen)

Der Korrekturfaktor  $k$  wird initial aus zwei bzw. vier Leuchtdichtebildern der Leuchte ermittelt. Am präzisesten wäre es zwar, für möglichst jeden Beobachtungswinkel einen eigenen Korrekturfaktor zu bestimmen (und dann daraus eine Korrekturfaktortabelle zu generieren). Jedoch, um den Mess- und Berechnungsaufwand gering zu halten, wurde im Rahmen der Entstehung der CIE232:2019 entschieden, Leuchtdichtebilder aus zwei Beobachtungswinkeln, jeweils für die Längs- und Querrichtung (falls notwendig), aufzunehmen. Anschließend wird nach einem Worst-Case-Ansatz der größte dieser vier Korrekturfaktoren als „Gesamt-Leuchtenkorrekturfaktor“ gesetzt. Die Beobachtungswinkel  $\alpha_B$  der Leuchtdichtekamera in Richtung der Leuchte für die Leuchtdichtebilder sind:

- $25^\circ \pm 5^\circ$  gegenüber der Horizontalebene ( $65^\circ \pm 5^\circ$  gegenüber der Vertikalebene),
- $40^\circ \pm 5^\circ$  gegenüber der Horizontalebene ( $50^\circ \pm 5^\circ$  gegenüber der Vertikalebene).

Zur Bestimmung des Korrekturfaktors müssen für jeden Beobachtungswinkel sowohl die konventionelle mittlere Leuchtdichte und der Raumwinkel als auch die effektive leuchtende Fläche und die effektive mittlere Leuchtdichte ermittelt werden:

1. Nachdem das Bild (mit einer Mindestauflösung von 12 mm/10px an der Leuchte) aufgenommen wurde, werden daraus die mittlere Leuchtdichte  $L_s$  und der Blendquellenraumwinkel  $\omega$  nach dem konventionellen UGR-Verfahren berechnet.
2. Daraufhin wird das Bild geglättet mit einer Halbwertsbreite von 12 mm/px (Details zu den Leuchtdichtebildern s. Kap. 3.3). Anschließend werden alle Pixel unter der Leuchtdichteschwelle von 500 cd/m<sup>2</sup> entfernt.
3. Aus den verbleibenden Pixeln oberhalb der Schwelle wird die effektive Fläche  $A_{eff}$  bzw. der effektive Raumwinkel  $\omega_{eff}$  durch Summation der einzelnen Pixel-Flächen bzw. Pixel-Raumwinkel bestimmt.
4. Analog wird die effektive mittlere Leuchtdichte  $L_{eff}$  durch Mittelwertbildung aller Pixel-Leuchtdichten (über der Leuchtdichteschwelle) berechnet.
5. Abschließend werden noch alle Teilflächen zu einer Gesamtfläche gruppiert, damit alle Teilflächen den gleichen Positionsindex bekommen.

Anmerkung 1: In CIE232:2019 wurde die Mindestauflösung des Leuchtdichtebilds auf  $d = 12 \text{ mm}$  festgelegt (Details, s. /Cie 19, A.1/). Überträgt man diese Forderung auf die Mindestauflösung des Leuchtdichtebilds einer Leuchtdichtemesskamera (LMK), würden 12 mm/px Messauflösung theoretisch ausreichen. Allerdings empfehlen LMK-Hersteller mindestens 10 px vorzuhalten, um Details bzw. Leuchtdichtepeaks korrekt zu erfassen. Somit wird in dieser Schrift die Mindest-Messauflösung als 12 mm/10 px (=1,2 mm/px) an der Leuchte festgelegt. Eine höhere Auflösung als die Mindestauflösung hat damit weniger Millimeter pro Pixel. Der Zusammenhang zur für Messtechniker relevanten Auflösung °/px wird in Kap 3.3 und Anhang A.1 erläutert.

Anmerkung 2: In CIE232:2019 wurde auch die Halbwertsbreite des Gaußfilters auf 12 mm festgelegt. Im Gegensatz Mindestauflösung des Leuchtdichtebilds muss diese nicht auf 12 mm/10 px angepasst werden, sondern wird auf 12 mm/px beibehalten. Beim Gaußfilter handelt es sich um eine mathematische Operation und technische Einschränkungen müssen nicht berücksichtigt werden.

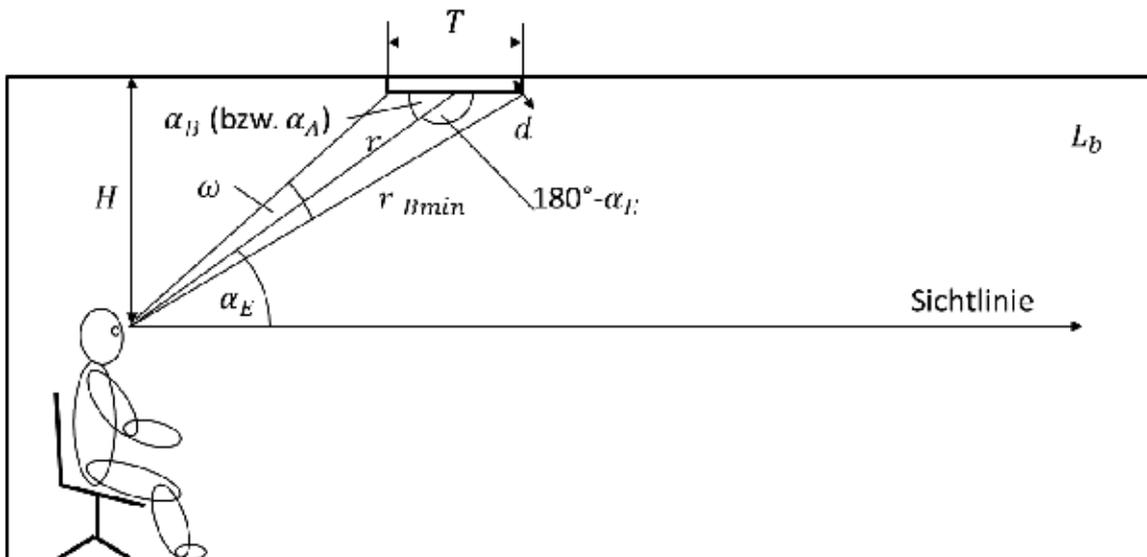


Abb. 1: Kleinstes sichtbares Element  $d$  und Exzentrizitätswinkel  $\alpha_E$  für einen Beobachter mit horizontaler Sichtlinie und Abstand  $r_{Bmin}$  der am weitesten entfernten Kante der Blendquelle. Zum besseren Verständnis sind auch die Beobachtungswinkel der LMK  $\alpha_B$  und der Mindestabschirmwinkel  $\alpha_A$ , jeweils bezogen auf die Leuchte, eingezeichnet. (modifiziert entnommen aus /Cie 19/)

## 2 Anwendungsbeispiele

### 2.1 Bestimmung des korrigierten UGR-Werts einer Leuchte aus Herstellersicht

Für die Bestimmung des korrigierten UGR-Werts wird die eine ähnliche Leuchte wie in Kap. 3 verwendet. Jedoch wird bewusst eine Leuchte mit wenigen sichtbaren LEDs (9 LEDs), aufgehellter unmittelbarer Umgebung (ca.  $400 \text{ cd/m}^2$ ) und sehr hoher LED-Leuchtdichte (ca.  $500\,000 \text{ cd/m}^2$ ) verwendet. Der Beobachtungswinkel liegt mit  $30^\circ$  innerhalb der in /Cie 19/ geforderten  $25^\circ \pm 5^\circ$ . Die Berechnung wird zur Veranschaulichung auf zwei Wegen durchgeführt, die beide in der Praxis möglich sind, da die Unterschiede zwischen beiden sehr gering ausfallen.

#### 2.1.1 Auswertung eines nicht entzerrten Leuchtdichtebilds

Als erstes wird überprüft, ob die Messauflösung ausreichend ist ( $R_o < R_{o,min}$ ). Die Auflösung der Kamera ( $1392 \text{ px} \times 1040 \text{ px}$ ) mit 25mm-Objektiv beträgt laut LMK-Hersteller  $R_o = 0,014^\circ/\text{px}$  /Tec 19/. Die minimal erforderliche Auflösung  $R_{o,min}$  wird mittels Gleichung (2) unter Hinzunahme von  $\gamma_{Bmin} = 9,73^\circ$  aus dem Leuchtdichtebild bestimmt (s. Abb. 2). Daraus ergibt sich  $R_{o,min} = 0,0195^\circ/\text{px}$ . Da die tatsächliche Auflösung weniger Grad pro Pixel als die minimal erforderliche Auflösung aufweist, ist die Bildauflösung hoch genug.

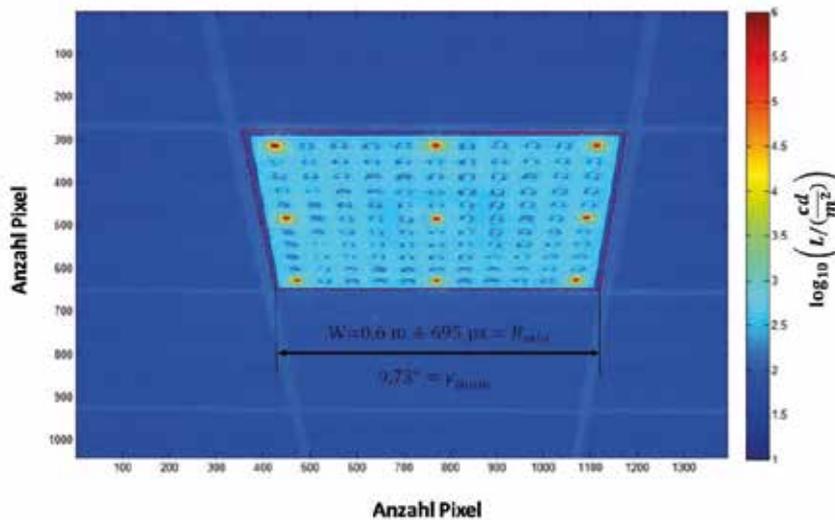


Abb. 2: Leuchtdichteaufnahme der Beispielleuchte und Bestimmung der minimalen Breite  $B_{min}$  bzw.  $\gamma_{min}$  über die LMK-Winkelinformationen

$$R_{o,min} = \frac{1}{10px} \cdot \frac{d}{W} \cdot \gamma_{Bmin} = \frac{1}{10px} \cdot \frac{12mm}{600mm} \cdot 9,73^\circ = 0,0195^\circ/px \quad (2)$$

Bevor das Bild geglättet wird, werden nach dem konventionellen UGR-Verfahren  $L_s$  und  $\omega$  bestimmt, da die projizierte Fläche und die Lichtstärke für die Leuchte nicht bekannt sind. Diese werden für den **rot umrandeten Bereich** in Abb. 2 mit einem Bildverarbeitungsprogramm ermittelt. Für das vorliegende Bild sind  $L_s = 1793 \text{ cd/m}^2$  und  $\omega = 0,0187 \text{ sr}$ .

Die Filterparameter für die Bildglättung lassen sich aus Gl. (3) – (5) bestimmen:

$$\text{Halbwertsbreite (in px)} \quad FWHM_o = \frac{R_{o,min}}{R_o} \cdot 10px = 13,9px \quad (3)$$

$$\text{Standardabweichung (in px)} \quad \sigma_o \approx \frac{FWHM_o}{2,3548} = 5,9px \quad (4)$$

$$\text{Filterlänge / -breite (in px)} \quad F_o = 2 \cdot [3 \cdot \sigma_o] + 1 = 37px \quad (5)$$

Anschließend wird das Bild gefiltert, die Leuchtdichteschwelle von  $500 \text{ cd/m}^2$  angewendet, und die Pixelleuchtdichten oberhalb der Schwelle gemittelt (Abb. 3). Die resultierende effektive Leuchtdichte beträgt  $L_{eff} = 12916 \text{ cd/m}^2$  und der effektive Raumwinkel  $\omega_{eff} = 0,0021 \text{ sr}$  (vgl. Abb. 3). Der Korrekturfaktor  $k$  für diesen Beobachtungswinkel ist nach Gl. (6)  $k = 2,42$  (bzw.  $k^2 = 5,83$ ).

$$k^2 = \frac{L_{eff}^2 \omega_{eff}}{L_s^2 \omega} = \frac{(12916 \text{ cd/m}^2)^2 \cdot 0,0021 \text{ sr}}{(1793 \text{ cd/m}^2)^2 \cdot 0,0187 \text{ sr}} = 5,83 \quad (6)$$

Da die Leuchte quadratisch ist und eine gleiche Lichtstärkeverteilung in Längs- und Querrichtung aufweist, muss diese Prozedur ausschließlich für  $40^\circ \pm 5^\circ$  wiederholt werden. Anschließend muss der größere Korrekturfaktor als relevant für die Leuchte gewählt werden. Die Betrachtung des  $40^\circ$ -Winkels wird an dieser Stelle nicht vorgeführt und es wird im nachfolgenden davon ausgegangen, dass der oben bestimmte Korrekturfaktor der größere von beiden ist.

Setzt man diesen Korrekturfaktor in Gl. (3) aus /Cie 19/ ein, erhält man den Unterschied zwischen dem korrigierten /Cie 19/ und dem konventionellen UGR-Verfahren /Cie 95/. Der korrigierte UGR-Wert wäre für diese Leuchte somit um  $8 \cdot \log_{10} k^2 = 6,15$  Einheiten auf der UGR-Skala größer als der konventionelle UGR-Wert nach /Cie 95/.

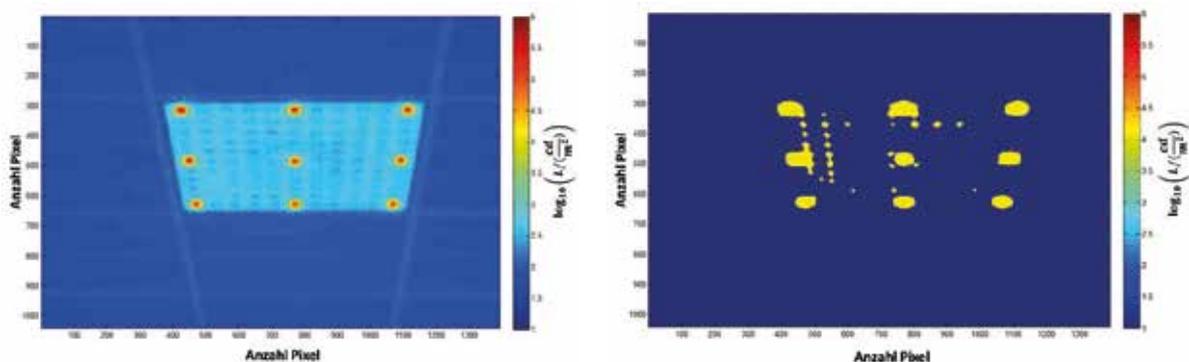


Abb. 3: Leuchtdichteaufnahme nach der Filterung (links) sowie Anwendung der Leuchtdichteschwelle und Mittelwertbildung (rechts)

Abschließend wird noch die neue leuchtende Fläche  $A_{new}$  für die Leuchtdokumentation nach Gl. (7) berechnet:

$$k^2 = \frac{A_p}{A_{p,new}} = \frac{A}{A_{new}} \quad \rightarrow \quad A_{new} = \frac{A}{k^2} = \frac{0,36m^2}{6,15} = 0,061m^2 \quad (7)$$

Bei der Berechnung des UGR-Werts wurde die gesamte geometrische Fläche der Leuchte ( $0,6 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,36 \text{ m}^2$ ) zu Grunde gelegt (s. Abb. 2). Die neue leuchtende Fläche  $A_{new}$  muss als leuchtende Fläche in die Leuchtdokumentation aufgenommen werden. Da in Leuchtendaten häufig Länge und Breite der leuchtenden Fläche angegeben werden, muss die neue leuchtende Fläche noch „proportioniert“ werden. Hierbei wird empfohlen, das Aspektverhältnis der Leuchte zu berücksichtigen. Bei einer quadratischen Leuchte wird folglich die Quadratwurzel aus  $A_{new}$  gezogen, jeweils den gleichen Wert (=  $0,25 \text{ m}$ ) für die Länge und Breite der leuchtenden Fläche zu erhalten.

## 2.2 Nachträgliche Korrektur der UGR-Tabelle

Falls eine UGR-Tabelle noch nicht korrigiert durch den Leuchtenhersteller angegeben wurde, kann sie gemäß /Lit 03, S. 39f./ im Hinblick auf die leuchtende Fläche korrigiert werden. Dafür ist entweder der Korrekturfaktor  $k$  oder die korrigierte leuchtende Fläche  $A_{neu}$  notwendig:

$$UGR_{korr} = UGR + 8 \log_{10} k^2 = UGR + 8 \log_{10} \frac{A}{A_{neu}} \quad (17)$$

Für das Beispiel aus 5.1 ergäbe sich folgende Korrektur:

<b>A. Raum und Anlagedaten</b>		
Aufhängehöhe über dem Boden:           2,8 m - Augenhöhe:               -1,2 m über Augenniveau:   H = 1,6 m	Reflexionsgrade: Decke:           0,5 Wände:          0,6 Boden:          0,1	
Raumabmessungen:  längs:   3,2 m = 2 H quer:    6,4 m = 4 H	Koordinaten bei Blickrichtung quer parallel X                        Y Y                        X	
<b>B. UGR-Ermittlung</b>		
UGR-Tabellenwert (konventionell, Beispielwerte)	12,2	13,1
Korrekturwert aus Korrekturfaktor (Kap. 5.1.1)	+ 6,15	
UGR-Wert (korrigiert)	18,35	19,25

Tab. 1: Korrektur einer UGR-Tabelle mittels Korrekturfaktor bzw. korrigierter leuchtender Fläche (nach /Lit 03, S. 44/, für Beispiel aus Abschnitt 5.1)

## 2.3 Ergebnisse für sehr kleine Leuchten bei Anwendung CIE117:1995, CIE147:2002 und CIE232:2019

Das UGR-Verfahren nach CIE117:1995 /Cie 95/ ist nur gültig für Leuchten ab einer Größe von 0,0003 sr. Um auch kleine Lichtquellen zu bewerten, wurde in CIE147:2002 /Cie 02/ eine Formel vorgestellt, die für kleine Lichtquellen die Lichtstärke und eine konstante Fläche  $A_p = 0,005 \text{ m}^2$  verwendet. An dieser Stelle sollen mehrere kleine

Lichtquellen mit lambertscher Abstrahlung und unterschiedlicher Leuchtdichte bzw. Größe untersucht werden (s. Tab. 2), um die Ergebnisse nach CIE232:2019 mit den bisherigen Verfahren und Probandendaten zu vergleichen. Dafür wurden typische runde und quadratische Lichtquellen ausgewählt. Zur Vereinfachung wurde angenommen, dass sie senkrecht zum Beobachter stehen. Für das CIE232:2019-Verfahren wurden drei verschiedene Messauflösungen untersucht, die anschließend auf die Zielauflösung  $R_{mm} = 12 \text{ mm/px}$  geglättet werden.

Beschreibung	Lichtstrom $\Phi$ in lm	Lichtstärke $I$ in cd	Fläche $A_p$ in $\text{m}^2$	Raumwinkel $\omega$ aus 3 m in sr	Leuchtdichte $L_s$ in $\text{cd}/\text{m}^2$
Glühlampe (d = 80 mm)	1000	159	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$5,6 \cdot 10^{-4}$	$3,2 \cdot 10^4$
High-Power Multi-Chip-LED (d = 16 mm)	1000	159	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-5}$	$6,1 \cdot 10^5$
High-Power Single-Chip-LED (1 mm x 1 mm)	400	64	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^7$
Mid-Power Single-Chip-LED (1 mm x 1 mm)	100	16	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$1,1 \cdot 10^{-7}$	$1,6 \cdot 10^7$

Tab. 2: Übersicht untersuchte kleine Leuchten  
(alle mit lambertscher Abstrahlung im Halbraum  $2\pi$  sr, senkrecht zum Beobachter)

In Tab. 3 sind die UGR-Werte der vier Leuchten für die einzelnen Verfahren zu dargestellt. Dabei wird deutlich, dass die UGR-Werte für CIE117 und CIE147 gleich sind. Dies ist darin begründet, da die mattierte Glühlampe mit 80 mm Durchmesser der Referenzpunkt für die CIE147 ist und für diese Geometrie der UGR-Wert aus CIE117 abgeleitet wurde. Das Verfahren nach CIE232 gibt für die Glühlampe etwas niedrigere Werte an als CIE117 und CIE147. Das ist korrekt, da bereits in CIE147 erwähnt wurde, dass das konventionelle Verfahren sehr kleine Leuchten im unteren Gültigkeitsbereich (und besonders darunter) zu kritisch bewertet.

<b>Beschreibung</b>	<b>CIE117</b> $\frac{L_s^2 \cdot \omega}{p^2}$	<b>CIE147</b> $200 \cdot \frac{I^2}{r^2 \cdot p^2}$	<b>CIE232</b> (12mm/px Auflösung & Glättung)	<b>CIE232</b> (1,2mm/px Auflösung & Glättung)	<b>CIE232</b> (0,12mm/px Auflösung & Glättung)
Glühlampe (d = 80 mm)	25,6	25,6	23,9	23,9	23,9
High-Power Multi-Chip- LED (d = 16 mm)	35,7	25,6	28,4	27,7	27,7
High-Power Single-Chip- LED (1 mm x 1 mm)	48,8	19,2	23,9	24,9	25,1
Mid-Power Single-Chip- LED (1 mm x 1 mm)	39,2	9,6	16,2	15,7	15,8

Tab. 3: UGR-Werte für kleine Leuchten

(Annahme: Positionsindex  $p = 3$ , Abstand  $r = 3$  m, Hintergrundleuchtdichte  $L_b = 10$  cd/m<sup>2</sup>)

So werden die Unterschiede zwischen klassischem UGR-Verfahren und CIE232 besonders deutlich bei den Single-Chip-LEDs. Ebenso fällt auf, dass das Verfahren nach CIE232 für die LEDs kritischer ist als die CIE147. Die Ursache dafür ist in Tab. 4 dargestellt: Während aus Gründen der Einfachheit in CIE147 eine konstante Fläche von 0,005 m<sup>2</sup> zu Grunde gelegt wurde, aus der das Licht der kleinen Lichtquelle austritt, wird in CIE232 abhängig von der tatsächlichen Größe und Intensität der Lichtquelle sowie der Auflösung des Auges eine effektive Leuchtdichte und effektive Fläche ermittelt. Diese effektiven Größen decken sich gut mit den subjektiven Eindrücken aus Zahlen Probandenstudien /Cie 19/.

Beschreibung	CIE117	CIE147	CIE232 (12mm/px Auflösung & Glättung)	CIE232 (1,2mm/px Auflösung & Glättung)	CIE232 (0,12mm/px Auflösung & Glättung)
Glühlampe (d = 80 mm)	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$8,2 \cdot 10^{-3}$	$8,1 \cdot 10^{-3}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$
High-Power Multi-Chip- LED (d = 16 mm)	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
High-Power Single-Chip- LED (1 mm x 1 mm)	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$9,6 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \cdot 10^{-4}$
Mid-Power Single-Chip- LED (1 mm x 1 mm)	$1,0 \cdot 10^{-6}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$8,5 \cdot 10^{-4}$	$8,2 \cdot 10^{-4}$

Tab. 4: Leuchtende Flächen  $A_{eff}$  bzw.  $A_p$  bzw.  $A$  nach CIE232:2019 in  $m^2$

(Anmerkung: In dieser Betrachtung ist  $A_{eff} = A_p = A$ , da die Leuchten die Leuchtdichte der unmittelbaren Umgebung der LEDs vernachlässigbar ist und die Leuchten senkrecht zur Beobachtungsrichtung stehen.)

### 3 Allgemeine Hinweise / Häufige Fragen:

#### 3.1 Woran erkenne ich als Lichtplaner, ob der Leuchtenhersteller das korrigierte oder konventionelle UGR-Verfahren anwendet?

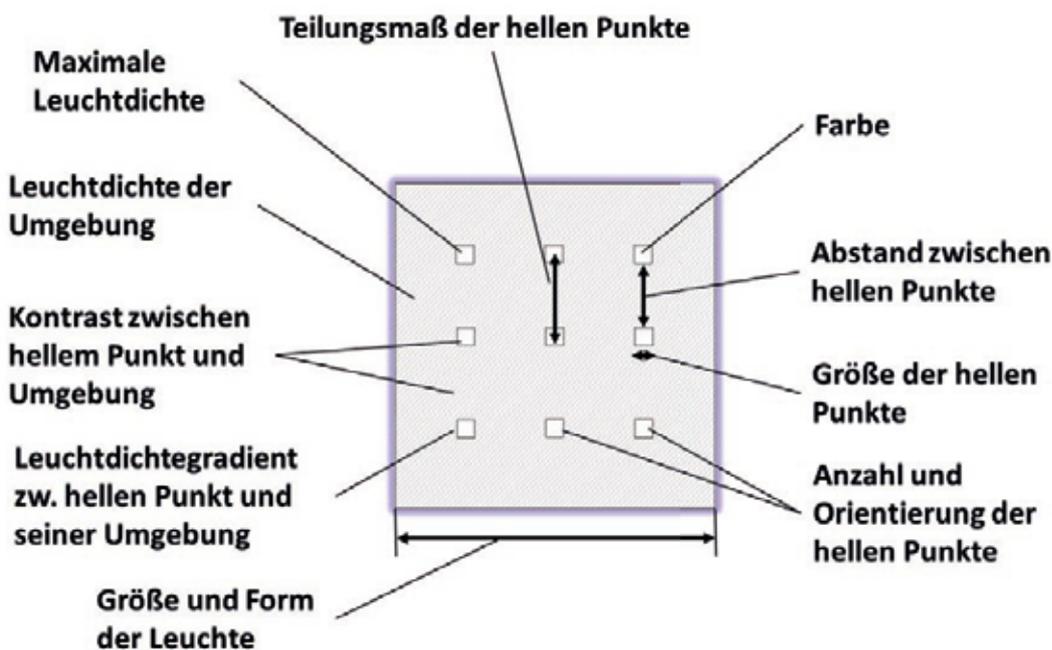
Falls der Hersteller es nicht in den Produktbroschüren angibt, dass das korrigierte UGR-Verfahren angewandt wurde, kann man nur nach Indizien in der Leuchtendokumentation suchen. Für eine inhomogene Leuchte wird die leuchtende Fläche (Zeile 16 und 17 in der EULUMDAT) in der Regel deutlich kleiner sein als die Größe der Leuchte (Zeile 13 und 14 in der EULUMDAT). Analog sind die leuchtende Länge und Breite in der IES-Datei angegeben und können mit den Abmessungen im Leuchtendatenblatt verglichen werden. Wer sicher gehen möchte, welches Verfahren in der Leuchtendokumentation verwendet wurde, muss sich im Zweifel an den Hersteller wenden.

### 3.2 Falls der Leuchtenhersteller seine Leuchten mit konventionellem UGR-Wert und Tabelle angibt, wie kann ich als Lichtplaner den korrigierten Wert ermitteln?

Ein Bestimmung ist nur mit einem geeigneten Messequipment – wie Leuchtdichtemesskamera (LMK), Objektiv und hinreichend dunklem Lichtmesslabor – möglich. Bei Bedarf können Leuchtenhersteller oder zertifizierte Messlabore den Korrekturfaktor ermitteln. Daraufhin kann die leuchtende Fläche in der Leuchtdokumentation korrigiert werden.

### 3.3 Reduziert eine Aufhellung der unmittelbaren Umgebung die psychologische Blendung?

Eine Aufhellung der unmittelbaren Umgebung der LEDs (s. schraffierte Fläche in Abb. 4), also des Direktanteils der Leuchte, erhöht die psychologische Blendung /Fun 17/. Dieser Effekt wird durch das UGR-Verfahren durch die Lichtstärke in Beobachterrichtung  $I$  bzw. die mittlere Leuchtdichte der Leuchte  $L_s$  erfasst.



#### Beobachter-bezogene Parameter:

Position im Gesichtsfeld, Beobachtungsabstand, Hintergrundleuchtdichte, Aufgabetypp, ...

Abb. 4: Einflussgrößen von inhomogenen Leuchten, die die Blendungswahrnehmung beeinflussen /Gee 16; Fun 17; Cie 19/

Im Gegensatz zur unmittelbaren Umgebung der LEDs wirkt sich die Hintergrundleuchte – also der indirekte Lichtstromanteil des Raums – positiv auf die psychologische Blendung aus. Eine Erhöhung des indirekten Lichtanteils einer Pendel-

oder Stehleuchte verringert die psychologische Blendung. Dieser Effekt wurde in zahlreichen Studien belegt und wird in der UGR-Formel durch die (erhöhte) Hintergrundleuchtdichte im Nenner berücksichtigt.

### 3.4 Hilft es, die LEDs in einer Leuchte zu konzentrieren oder auseinanderzuziehen?

Nein, für Innenraumlichtverhältnisse hat der Abstand der LEDs innerhalb einer Blendquelle keinen Einfluss auf die psychologische Blendung (vgl. /Fun 17; Cie 19/ bzw. Abb. 4). Im korrigierten UGR-Verfahren nach CIE232:2019 spielt die LED-Anordnung durch die einheitliche Verwendung einer Leuchtdichteschwelle von 500 cd/m<sup>2</sup> (fast) keine Rolle (vgl. Abb. 2 in /Cie 19/).

### 3.5 Wie sind die Abschirmwinkel für Lampen hoher Leuchtdichte im Hinblick auf LED-Leuchten zu sehen?

Die Abschirmwinkel für Lampen hoher Leuchtdichte sind gemäß /Lit 03, S. 45/ bzw. DIN EN 12464-1:2011 /Nor 11, S. 15/ bzw. prEN 12464-1:2019 /Nor 19, S. 18/ auch für inhomogene LED-Leuchten relevant. Da die Mindestabschirmwinkel nach DIN EN 12464-1 unabhängig vom UGR-Wert sind, werden sie auch in dieser Schrift für LED-Leuchten empfohlen (s. Tab. 6).

Leuchtdichte von Lampen in kcd·m <sup>-2</sup>	Mindestabschirmwinkel $\alpha_A$
20 bis < 50	15°
50 bis < 500	20°
≥ 500	30°

Tab. 5: Mindestabschirmwinkel bei festgelegten Lampen-Leuchtdichten /Nor 11, S. 15/

Anmerkung: Für inhomogene LED-Leuchten wird die Lampenleuchtdichte beispielsweise von einzelnen LEDs gemäß der Messvorschrift in Kap. 3 mit mind. 12 mm/10 px gemessen und anschließend mit der Halbwertsbreite von 12 mm/px geglättet. Falls dann eine Pixelleuchtdichte oberhalb der jeweiligen Grenze ist, sollte diese durch konstruktive Maßnahmen abgeschirmt werden.

Zusätzlich wurde in prEN 12464-1:2019 /Nor 19, S. 18/ eine Begrenzung der mittlere Leuchtenleuchtdichte eingeführt, um auch LED-Leuchten mit Vorsatzoptiken und Diffusoren wirksam in der Blendung zu begrenzen.

<b>Abstrahlwinkelbereich</b> $\alpha_A$	<b>Maximale mittlere Leuchtenleuchtdichte</b> in $\text{kcd}\cdot\text{m}^{-2}$
$0^\circ \leq \alpha_A < 15^\circ$	$\leq 20$
$15^\circ \leq \alpha_A < 20^\circ$	$\leq 50$
$20^\circ \leq \alpha_A < 30^\circ$	$\leq 500$

Tab. 6: Leuchtdichtebeschränkung für Abstrahlwinkelbereiche /Nor 19, S. 18/

## 4 Literaturverzeichnis

- /Cie 95/ CIE (Hrsg.): Discomfort glare in interior lighting. Publication CIE No. 117. Bd. 117, CIE: Wien, 1995.
- /Cie 02/ CIE (Hrsg.): Collection on glare. Teil 2: Glare from small, large and complex sources. Publication CIE No. 147. CIE: Wien, 2002.
- /Cie 19/ CIE (Hrsg.): CIE 232:2019, Discomfort Caused by Glare from Luminaires with a Non-Uniform Source Luminance, Technical Report 232, Commission Internationale de l'Eclairage (CIE), CIE:Wien, 2019. online verfügbar unter doi:10.25039/TR.232.2019
- /Fun 17/ Funke, Carsten: Blendungsbewertung von LED-Leuchten in Innenräumen, Dissertation, TU Ilmenau, Schriften der Ilmenauer Lichttechnik: Band 21, Hrsg.: Schierz, Christoph, Fachgebiet Lichttechnik der TU Ilmenau, Universitätsverlag Ilmenau, 2017. online verfügbar unter urn:nbn:de:gbv:ilm1-2017000219
- /Lit 03/ Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V. (Hrsg.): Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen, LiTG-Publikation Nr. 20:2003, LiTG: Berlin, 2003.
- /Nor 11/ Norm DIN EN 12464 Teil 1: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; Deutsche Fassung EN 12464-1:2011.
- /Nor 19/ Norm prEN 12464-1 Teil 1: Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen; prEN 12464-1:2019.
- /Tec 19/ TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH (Hrsg.): Prospekt LMK 6, [https://www.technoteam.de/apool/tnt/content/e5183/e5432/e5733/e8233/Prospekt2019\\_web1\\_ger.pdf](https://www.technoteam.de/apool/tnt/content/e5183/e5432/e5733/e8233/Prospekt2019_web1_ger.pdf), zuletzt geändert am 02.05.2019, Zugriff am 04. Januar 2021.