

Positionspapier

UGR-Verfahren – Anwendung und Grenzen

Unified Glare Rating



Positionspapier
UGR-Verfahren – Anwendung und Grenzen

Herausgeber:

ZVEI e. V.

Fachverband Licht

Lyoner Straße 9

60528 Frankfurt am Main

Verantwortlich:

Dr. Jürgen Waldorf

Telefon: +49 69 6302-294

juergen.waldorf@zvei.org

www.zvei.org

Oktober 2021

Diese Schrift wurde erstellt vom ad hoc Arbeitskreis „Verfahren zur Bewertung der Blendung insbesondere unter Betrachtung der physiologischen Blendung“ im AAT2 – Innenbeleuchtung im ZVEI-Fachverband Licht unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. habil. Bruno Weis.

Wissenschaftliches Lektorat: Univ.-Prof. Dr. sc. nat. habil. Christoph Schierz

Inhalt

1	Einleitung – Güte­merkmale der Beleuchtung – Was ist Blendung und Begrenzung der Blendung	4
2	Aktueller Stand zum UGR-Verfahren – Prinzip und Anwendung	5
2.1	Der einzelne UGR-Datenblattwert für den überschlägigen Leuchtenvergleich	6
2.2	Einhaltung der UGR-Grenzwerte nach DIN EN 12464-1 mit Hilfe der UGR-Tabellenmethode	7
2.3	Anwendung der UGR-Formel	9
3	Die Grenzen des UGR-Verfahrens	9
3.1	Grenzen einzelner UGR-Datenblattwerte	9
3.2	Grenzen der UGR-Tabellenmethode	10
3.3	Grenzen der UGR-Formel	10
3.4	Grenzen bei der Größe der Lichtquellen	10
3.5	Grenzen bei den Blickrichtungen, insbesondere bei Industrieanwendungen	11
3.6	Grenzen bei unterschiedlichen Lichttechniken	11
3.7	Grenzen durch verschiedene Leuchtentypen in einem Raum	12
3.8	Grenzen durch altersbezogene Sehveränderungen und Sehkorrekturhilfen	12
3.9	Grenzen bei hohen Räumen, z. B. Sport- und Industriehallenbeleuchtungsanlagen	12
3.10	Grenzen durch „Dynamische Blendung“ bei tiefstrahlenden Leuchten	13
3.11	Grenzen durch Einschränkungen bei Raumgeometrie und Reflexionsgraden	13
3.12	Grenzen durch Alterung der Anlage	13
4	Fazit und Ausblick	14
	Anhang: Literaturverzeichnis	15

Anwendung und Grenzen des UGR-Verfahrens zur Blendungsbewertung bei der Innenbeleuchtung (mit Fokus auf die Industriebeleuchtung)

Motivation dieses Positionspapiers

Als Planer ist es wichtig die Grenzen des UGR-Verfahrens zu kennen.

In dem vorliegenden Positionspapier werden die wesentlichen Gesichtspunkte des „Unified Glare Rating (UGR)“-Verfahrens (vereinheitlichtes Blendungsbewertungsverfahren) zur Bewertung der psychologischen Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen beschrieben. Der Aufbau und die Anwendung des UGR-Verfahrens werden im Zusammenhang dargestellt.

1 Einleitung – Gütemerkmale der Beleuchtung – Was ist Blendung und Begrenzung der Blendung?

Blendung ist u.a. abhängig von

- der Leuchtdichte und Größe der blendenden Fläche,
- der relativen Lage der blendenden Fläche zur Beobachtungsrichtung,
- der Helligkeit des Umfelds, d.h. der Leuchtdichte der Oberflächen, auf welche der Beobachter blickt und auf die sein Auge adaptiert ist.

Blendung wird durch zu große Leuchtdichten (Absolutblendung) oder zu große Leuchtdichteunterschiede (Relativblendung) im Gesichtsfeld eines Beobachters hervorgerufen. Es wird zwischen Direktblendung, die z.B. durch Leuchten hervorgerufen wird, und Reflexblendung, die durch spiegelnde Reflexe auf Oberflächen hervorgerufen wird, unterschieden.

Blendung, bei welcher ein unangenehmes Gefühl hervorgerufen wird, ohne dass damit notwendigerweise eine merkbare Herabsetzung des Sehvermögens verbunden sein muss, wird als psychologische Blendung bezeichnet.

Blendung, die eine Herabsetzung der Sehfunktion zur Folge hat, ohne dass damit notwendigerweise ein unangenehmes Gefühl verbunden sein muss, wird als physiologische Blendung bezeichnet.

Zu den Definitionen siehe auch das Internationale Lichttechnische Wörterbuch ILV der CIE (CIE S 017, 2020, Einträge 17-22-098 ff.)

Blendung ist eine belastende Stresssituation für den Beobachter und sollte daher zur Vermeidung von Ermüdung, erhöhten Fehlerraten und Unfällen begrenzt werden.

Blendung kann u.a. durch die richtige Auswahl und Anordnung von Leuchten sowie eine angepasste Raumgestaltung geringgehalten werden. Für eine blendungsoptimierte Raumgestaltung sollten die Raumflächen möglichst hell und matt sein. Leuchten können u.a. konstruktiv mit Abschirmungen und angepassten Lichtstärkeverteilungen blendungsoptimiert werden. Hinweise hierzu finden sich im „Leitfaden zur DIN EN 12464-1“ (ZVEI 2013).

Der Grad der psychologischen Direktblendung einer Beleuchtungsanlage kann über das UGR-Verfahren bestimmt werden.

2 Aktueller Stand zum UGR-Verfahren – Prinzip und Anwendung

Nach DIN EN 12464-1 ist die Einstufung der psychologischen Direktblendung durch Leuchten einer Beleuchtungsanlage im Innenraum nach der UGR-Tabellenmethode des CIE Unified-Glare-Rating-Verfahrens (UGR-Verfahren) vorzunehmen. Das UGR-Verfahren berücksichtigt alle Leuchten der Anlage, die zu einem Blendeindruck beitragen. Die UGR-Tabellenmethode vereinfacht das Verfahren durch die Anwendung einschränkender Randbedingungen: die Werte für die UGR-Tabelle werden auf Basis der UGR-Formel mit fest vorgegebenen Parametern berechnet, siehe auch 2.2. Die UGR-Formel lautet wie folgt:

$$R_{UG} = 8 \cdot \log_{10} \frac{0,25}{L_B} \cdot \sum_i \frac{L_i^2 \cdot \Omega_i}{p_i^2}$$

Dabei ist:

R_{UG} : Der UGR-Blendwert nach dem international vereinheitlichten Verfahren (CIE 117:1995) zur Beschreibung der psychologischen (Direkt-)Blendung

Anwendungshinweis: Für den Vergleich mit den UGR-Grenzwerten der DIN EN 12464-1 sind die UGR-Werte einer Beleuchtungsanlage nach der UGR-Tabellenmethode zu ermitteln

L_B : Die Hintergrundleuchtdichte in cd/m^2 berechnet aus der vertikalen Indirekt-Beleuchtungsstärke E_{ind} am Beobachterauge zu $L_B = E_{\text{ind}}/\pi$

Anwendungshinweis 1: Bei der Anwendung der UGR-Tabellenmethode werden vorgegebene Reflexionsgrade verwendet, in der realen Anwendung können diese Werte und die daraus resultierenden Hintergrundleuchtdichten ganz anders aussehen, siehe 3.11

Anwendungshinweis 2: Nach CIE 117:1995 wird die Hintergrundleuchtdichte durch ein stark vereinfachtes Verfahren bestimmt, das nicht berücksichtigt, dass sich die Leuchtdichten auf den Längs- und Querwänden stark unterscheiden können. Die CIE 117:1995 lässt andere Methoden zu, die dies berücksichtigen. Z. B. unterscheidet das Interflexionsmodell zwischen den Raumbegrenzungsflächen, s. Haeger, Stockmar, 1980 und Gall, 2004

L_i : Die mittlere Leuchtdichte in cd/m^2 der Lichtaustrittsfläche der Leuchte i in Richtung des Beobachterauges

Anwendungshinweis: Die UGR-Formel berücksichtigt nur die mittlere Leuchtdichte der Lichtaustrittsfläche, unabhängig davon, ob es lokale Maxima und Minima gibt. Siehe 3.6

Ω_i : Der Raumwinkel in sr (Steradian) der Lichtaustrittsfläche der Leuchte i , bezogen auf das Beobachterauge

p_i : Guth-Positionsindex für die Leuchte i . Er ist abhängig von der Position dieser Leuchte bezüglich der Blickrichtung

Anwendungshinweis: Für die UGR-Tabellenmethode sind die Blickrichtung, Beobachterposition und die Augenhöhe fest vorgegeben und befinden sich jeweils in der Mitte der Längs- oder Querseite des Raumes bzw. der Halle. Siehe 2.2 und 3.5

Alle bei der Ermittlung des UGR-Wertes getroffenen Annahmen müssen in der Planungsdokumentation aufgeführt werden. Die in der DIN EN 12464-1 festgelegten UGR-Grenzwerte R_{UGL} sind von der Schwierigkeit und Dauer der Sehaufgabe abhängig und dürfen von den gerundeten UGR-Werten nicht überschritten werden. Die UGR-Grenzwerte bilden eine Reihe, deren Stufen eine merkliche Änderung der Blendung darstellen.

Die Folge der UGR-Grenzwerte in der DIN EN 12464-1 ist: 16, 19, 22, 25, 28. Eine passende Stufung nach den Rundungsregeln für mit einem UGR-Verfahren ermittelte Werte R_{UG} ergibt sich wie folgt:

Stufe ≤ 16 , wenn	$R_{UG} \leq 16,4$
Stufe ≤ 19 , wenn	$16,5 \leq R_{UG} \leq 19,4$
Stufe ≤ 22 , wenn	$19,5 \leq R_{UG} \leq 22,4$
Stufe ≤ 25 , wenn	$22,5 \leq R_{UG} \leq 25,4$
Stufe ≤ 28 , wenn	$25,5 \leq R_{UG} \leq 28,4$
Stufe > 28 , wenn	$28,5 \leq R_{UG}$

Beispiele für obere UGR-Grenzwerte gibt Tabelle 1.

Technisches Zeichen, Präzisionsarbeiten	≤ 16
Lesen, Schreiben, Unterrichtsräume, Computerarbeit, Kontrollarbeiten	≤ 19
Arbeiten in Industrie und Handwerk, Empfang	≤ 22
Grobe Arbeiten, Lagerräume, Maschinenhallen, Treppen	≤ 25
Korridore, Verkehrsflächen	≤ 28

Bei Anwendung der Tabellenmethode ist es geboten, dass Leuchten nur anhand ihrer Einteilung in diese Stufen $\leq 16, \dots \leq 28$ miteinander verglichen werden. So sind z.B. zwei Leuchten mit den Werten 19,8 und 21,2 gleichwertig in die Gruppe ≤ 22 einzuteilen, wohingegen zwei Leuchten mit 19,1 und 19,6 in zwei Gruppen (≤ 19 und ≤ 22) fallen. Ein numerischer Vergleich nur anhand der Werte inklusive einer Dezimalstelle ist nicht vorgesehen und ermöglicht allein keine Aussage „besser“ oder „schlechter“.

2.1 Der einzelne UGR-Datenblattwert für den überschlägigen Leuchtenvergleich

Im Datenblatt einiger Leuchtenhersteller wird nur ein einzelner UGR-Wert angegeben. Dieser spiegelt den Einsatz einer Leuchte in einem speziellen Standardraum wider, mit vorgegebenem Abstands- zu-Höhen-Verhältnis (4H/8H) und Standardreflexionsgraden (s. Bild 1). Abweichungen von diesen Referenzparametern, bei Einsatz der Leuchte in der tatsächlichen Anwendung, haben einen Einfluss auf den UGR-Wert. Weicht der zu beleuchtende Raum nicht zu stark von diesem Standardraum ab, ist der UGR-Datenblattwert für einen ersten, relativen Vergleich der Leuchten untereinander geeignet.

Der spezielle Standardraum des UGR-Datenblattwerts ist aufgrund seiner Abmessungen und Reflexionsgrade nicht mit Industriehallen vergleichbar. Der einzelne UGR-Datenblattwert ist daher für eine Bewertung von Leuchten in Industrieanwendungen nicht geeignet.

2.2 Einhaltung der UGR-Grenzwerte nach DIN EN 12464-1 mit Hilfe der UGR-Tabellenmethode

Gemäß DIN EN 12464-1 muss der Lichtplaner eine Einstufung der psychologischen Direktblendung einer Beleuchtungsanlage mit Hilfe der Tabellenmethode des CIE Unified-Glare-Rating-Verfahrens (CIE 117:1995) vornehmen. Mit dem so ermittelten UGR-Tabellenwert ist die Einhaltung der UGR-Grenzwerte R_{UGL} nach DIN EN 12464-1 zu überprüfen. Abgesehen von der Forderung der Norm stellt die Tabellenmethode für den Planer auch eine Vereinfachung im Vergleich zur numerisch aufwendigeren UGR-Formel dar.

Anwendungshinweis: In der DIN EN 12464-1:2021 ist für den Fall, dass die Tabellenmethode nicht anwendbar ist, auch die Anwendung der Formel zulässig. Der so ermittelte UGR-Wert ist jedoch kein Beleg dafür, dass die Grenzwerte eingehalten werden.

Um die UGR-Tabellenmethode anzuwenden, wird für die Auswahl einer Leuchte in der Tabelle ein vergleichbar großer Standardraum, wie ihn der Planer zu planen hat, ausgewählt. Die in der Tabelle gewählten Reflexionsgrade sollen den geplanten möglichst nahekommen, aber kleiner als diese sein. Leuchtenhersteller stellen UGR-Tabellen in Katalogen oder Datenbanken zur Verfügung (Beispiel s. Bild 1). Die UGR-Tabellenmethode wird auch von Lichtberechnungsprogrammen wie Relux oder Dialux unterstützt. Die Blickrichtung und die Beobachterposition sind hierbei fest vorgegeben und befinden sich jeweils an der Längs- oder Querseite des Raumes bzw. der Halle (s. Bild 2). Die Grenzen der UGR-Tabellenmethode liegen unter anderem bei den in der Beispieltabelle in Bild 1 vorgegebenen Raumgeometrien und Reflexionsgraden.

UGR-Tabelle		Standardraum									
Reflexionsgrad Decke		0,7	0,7	0,5	0,5	0,3	0,7	0,7	0,5	0,5	0,3
Reflexionsgrad Wände		0,5	0,3	0,5	0,3	0,3	0,5	0,3	0,5	0,3	0,3
Reflexionsgrad Boden		0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Raumabmessungen		Blickrichtung quer zur Leuchte (C0)					Blickrichtung längs zur Leuchte (C90)				
x	y										
2H	2H	20,9	22,2	21,2	22,5	22,8	20,4	21,7	20,7	22,0	22,3
	3H	21,3	22,4	21,7	22,8	23,1	20,9	22,0	21,3	22,4	22,7
	4H	21,4	22,5	21,8	22,8	23,2	21,1	22,2	21,5	22,5	22,9
	6H	21,4	22,4	21,8	22,7	23,1	21,2	22,1	21,6	22,5	22,9
	8H	21,5	22,3	21,9	22,7	23,1	21,3	22,1	21,7	22,5	22,9
	12H	21,5	22,2	21,9	22,6	23,0	21,3	22,0	21,7	22,4	22,8
4H	2H	20,8	21,8	21,2	22,2	22,6	20,3	21,3	20,7	21,7	22,1
	3H	21,4	22,2	21,8	22,6	23,0	20,9	21,8	21,3	22,2	22,6
	4H	21,5	22,3	22,0	22,7	23,1	21,2	22,0	21,7	22,4	22,8
	6H	21,5	22,2	22,0	22,6	23,1	21,4	22,0	21,8	22,5	22,9
	8H	21,5	22,1	22,0	22,5	23,0	21,4	22,0	21,9	22,4	22,9
	12H	21,5	22,0	22,0	22,4	22,9	21,4	21,9	21,9	22,4	22,9
8H	4H	21,5	22,1	22,0	22,6	23,0	21,3	21,9	21,7	22,3	22,8
	6H	21,5	22,0	22,0	22,5	23,0	21,5	21,9	22,0	22,4	22,9
	8H	21,5	21,9	22,0	22,4	22,9	21,5	21,9	22,0	22,4	22,9
	12H	21,5	21,8	22,0	22,3	22,9	21,5	21,8	22,0	22,3	22,9
12H	4H	21,5	22,0	22,0	22,5	23,0	21,3	21,8	21,8	22,2	22,7
	6H	21,6	21,9	22,1	22,4	23,0	21,5	21,8	22,0	22,3	22,9
	8H	21,5	21,8	22,0	22,3	22,9	21,5	21,8	22,0	22,3	22,9

Bild 1: Beispiel einer UGR-Tabelle mit den Standardräumen zur Anwendung der UGR-Tabellenmethode. Der spezielle Standardraum 4H/8H für den einzelnen UGR-Datenblattwert ist hervorgehoben.

Quelle: Siteco GmbH

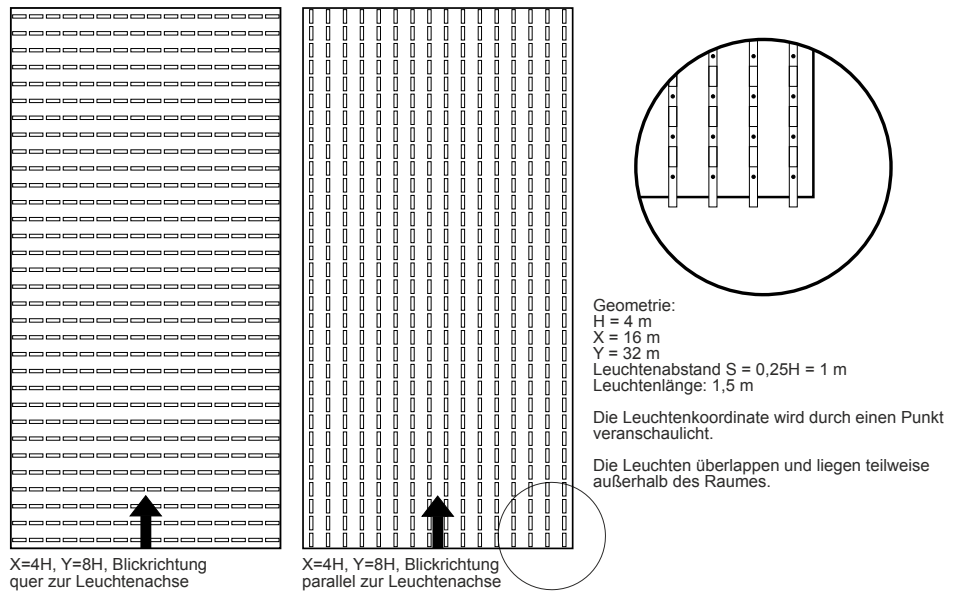


Bild 2: Beleuchtungsanlage mit gleichmäßiger Anordnung der Leuchten in einer horizontalen Ebene, deren Lichtschwerpunkt sich in der Höhe H über dem Beobachterraum befindet. In der Mitte der Leuchten befinden sich die Bewertungspunkte, an denen bei der Erstellung der UGR-Tabelle mit der UGR-Formel ein UGR-Wert berechnet wurde. Die Abmessungen des Raums beziehen sich auf die jeweils mit einem Pfeil gekennzeichnete Blickrichtung, wobei X quer und Y parallel zur Blickrichtung liegt.

Quelle: TU Ilmenau, Fachgebiet Lichttechnik

Bild 2 zeigt Beleuchtungsanlagen mit regelmäßiger Anordnung der Leuchten, für welche die UGR-Tabelle berechnet wird. Es sind dort auch die Beobachterpositionen als Pfeil eingetragen, auf denen die UGR-Tabelle beruht. Der Lichtschwerpunkt der Leuchten befindet sich in der Höhe H über dem Beobachterraum (Bild 3). Die Raumabmessungen sind in der UGR-Tabelle in Vielfachen der Leuchtenhöhe H über dem Beobachterraum angegeben.

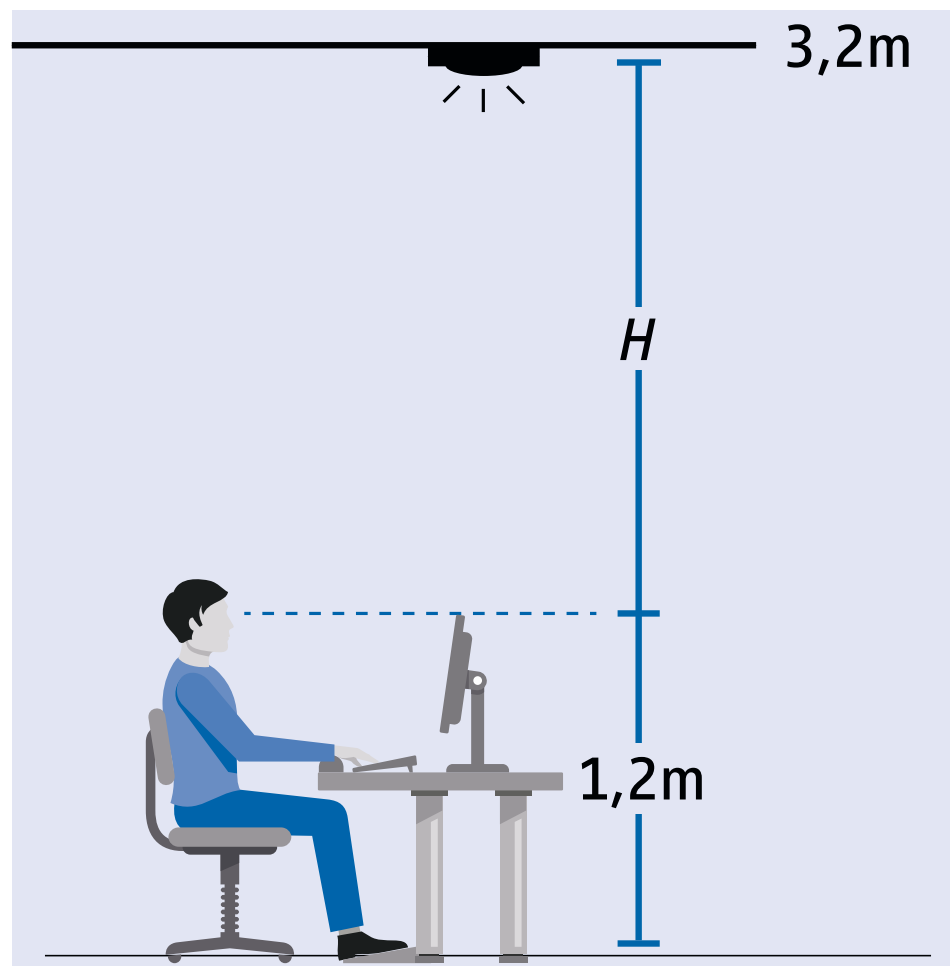


Bild 3: Darstellung der Leuchtenhöhe H über dem Beobachterraum.

Quelle: Siteco GmbH

Angesichts des engen Leuchtenrasters in Bild 2 mag es verwundern, dass sich größere Leuchten in diesem Raster sogar überlappen oder die Raumbegrenzung überschreiten können. Tatsächlich setzt sich der UGR-Tabellenwert aus zwei Anteilen zusammen: Einem Anteil, der vom gewählten Raster unabhängig ist und einem zweiten Anteil, der einem Mittelwert über alle Rasterpunkte entspricht. Die Größe der leuchtenden Fläche gehört, wie auch ihr Lichtstrom, zum ersten Anteil. Zwischen der Wahl des Rasters und der Größe der leuchtenden Fläche gibt es daher keine Wechselwirkung. Die Mittelung im zweiten Anteil erfolgt über gewichtete Werte der (quadratierten) LVK und das Raster soll alle möglichen potentiellen Positionen im Gesichtsfeld eines Beobachters erfassen. Das gelingt in einem engen Raster besser.

Dass es bei einer Mittelung immer Werte gibt, die größer sind als der Mittelwert, macht klar, warum der UGR-Tabellenwert keinen Worst Case in Bezug auf einzelne Leuchten darstellen kann. Die kritischsten Leuchten tragen aber überproportional zum Mittelwert bei. Die UGR-Grenzwerte der DIN EN 12464-1 beziehen sich auf die UGR-Tabellenmethode, also auf den mit einem definierten Raster bestimmten Mittelwert.

Ein von einer Berechnungssoftware mit der UGR-Formel berechnetes UGR-Maximum ist somit nicht mit den UGR-Grenzwerten vergleichbar.

2.3 Anwendung der UGR-Formel

Wenn bei der zu bewertenden Beleuchtungslösung die vorhandene Raum- bzw. Hallengeometrie den Umfang der UGR-Tabelle überschreitet, kann die Tabellenmethode nicht angewendet werden. Bei bekannter Beobachter-Position und -Blickrichtung kann der UGR-Wert der Anlage mit einer Lichtberechnungssoftware (z.B. Dialux oder Relux) nach der UGR-Formel ermittelt werden. Da das Bewertungsraster dieser Berechnung nicht mit demjenigen der Grenzwerte von DIN EN 12464-1 aus der UGR-Tabellenmethode übereinstimmt, können die Grenzwerte nur als Richtwerte betrachtet werden.

Die mit der Lichtberechnungssoftware ermittelten UGR-Werte sind kein Beleg dafür, dass die Grenzwerte eingehalten werden.

3 Die Grenzen des UGR-Verfahrens

Für eine applikationsbezogene Blendungsbewertung, insbesondere bei Industrieanwendungen, ist es für einen Planer wichtig, die Grenzen des UGR-Verfahrens (UGR-Tabellenmethode und Anwendung der UGR-Formel) zu kennen.

Eine Bewertung der physiologischen Blendung ist mit dem UGR-Verfahren nicht möglich.

3.1 Grenzen einzelner UGR-Datenblattwerte

Blendung ist die Eigenschaft einer Beleuchtungsanlage, nicht einer einzelnen Leuchte. Ein einzelner UGR-Datenblattwert ist nur dann eine Eigenschaft der Leuchte, wenn diese sich in dessen speziellem Standardraum mit definierten Eigenschaften befindet. In der Praxis kann der UGR-Wert wesentlich anders aussehen, er dient lediglich als eine Art grobe Orientierung für den Planer.

Auch wenn der UGR-Wert an sich keine Produkteigenschaft ist, so lassen sich häufig in Datenblättern verschiedener Hersteller Angaben wie „UGR < 19“ finden. Der naheliegende Schluss, dass es sich dabei um eine Leuchteigenschaft handelt, erweckt den irreführenden Eindruck, dass die Leuchte für sämtliche Anwendungsfälle die angegebene Grenze einhalten würde. Sofern der Hersteller keine weiteren Angaben macht, handelt es sich dabei aber um den UGR-Wert, den die Leuchte in einem Standardraum mit den Raumabmessungen 4H/8H und den Reflexionsgraden Boden 20 %, Wände 50 % und Decke 70 % erreicht. In der realen Anwendung können UGR-Werte daher auch niedriger oder höher sein.

Die UGR-Tabellenmethode erweitert die Anzahl der Räume auf Standardräume mit 19 verschiedene Raumabmessungen zu je fünf Reflexionsgrad-Kombinationen für zwei Leuchtausrichtungen. Dadurch werden mit einer als Datenblatt veröffentlichten UGR-Tabelle deutlich mehr Anwendungsfälle berücksichtigt.

3.2 Grenzen der UGR-Tabellenmethode

Dadurch, dass die UGR-Tabellenwerte auf einem Mittelwert über verschiedene Blickrichtungen beruhen, kann es Positionen im Raum geben, bei denen einzelne Leuchten eine stärkere Blendung erzeugen als es der ermittelte UGR-Tabellenwert erwarten lässt.

Die UGR-Tabellenmethode ist auf Raumabmessungen zwischen $2H$ und $12H$ begrenzt (mit H der Leuchtenhöhe über dem Beobachteraue, s. Bild 3). Bei Raummaßen, die kleiner als $2H$ sind, ist eine psychologische Blendung unwahrscheinlich. Bei Raummaßen $> 12H$ kann nach DIN EN 12464-1:2021 $12H$ als repräsentativer Wert angenommen werden. In Produktionsstätten mit großen Höhenunterschieden zwischen der Augenhöhe des Anwenders und der Leuchtenebene (z. B. $> 7\text{ m}$) sollte nach DIN EN 12464-1:2021, Anhang A.2.7 geprüft werden, ob das UGR-Verfahren angewendet werden kann oder ob in diesen Fällen die physiologische Blendung wichtiger sein könnte als die psychologische Blendung.

Die UGR-Tabellenmethode verwendet eine 'virtuelle' Leuchtenanordnung, um den UGR-Wert zu ermitteln. Die tatsächliche Leuchtenanordnung bleibt dabei unberücksichtigt. In extremen Fällen z.B. wie bei engen Leuchtengruppierungen, kann die UGR-Tabellenmethode nicht angewendet werden.

Auch in den Anwendungsfällen, bei denen die UGR-Tabellenmethode angewendet werden kann, ergibt sich nicht immer der korrekte UGR-Tabellenwert. Nach DIN EN 13032-2 reicht es aus, die LVK mit Winkelabständen $\Delta C=15^\circ$ und $\Delta \gamma=5^\circ$ zu betrachten. Bei modernen Leuchten kann sich die tatsächliche Lichtstärke innerhalb dieser Intervalle stark ändern, was sich dann in den berechneten Tabellen nicht abbildet. In diesen Fällen sollten die LVK mit kleineren Winkelabständen dokumentiert werden (z. B. Schritte von jeweils $2,5^\circ$ oder 1°).

3.3 Grenzen der UGR-Formel

Mit der UGR-Formel lassen sich UGR-Werte für viele Fälle berechnen, für die die UGR-Tabellenmethode nicht geeignet ist. Da aber die Grenzwerte der DIN EN 12464-1 auf der UGR-Tabellenmethode beruhen, können die mit der Formel ermittelten UGR-Werte nicht als Beleg dafür verwendet werden, dass die Grenzwerte eingehalten sind. Ein Vergleich verschiedener Lichtlösungen oder eine Einordnung der Leuchten für den konkreten Fall ist damit aber möglich.

Eine Bewertung der subjektiv empfundenen Blendung jedes einzelnen Nutzers ist mit dem UGR-Verfahren nicht möglich. Im Einzelfall, z. B. bei blendempfindlichen Personen, kann auch bei Einhalten der Grenzwerte störende Blendung vorkommen.

3.4 Grenzen bei der Größe der Lichtquellen

Das UGR-Verfahren ist bei großen Lichtquellen, deren wahrnehmbare leuchtende Fläche einen Raumwinkel von mehr als $0,1\text{ sr}$ einnehmen, nicht anwendbar. Diese Grenze ergibt sich, weil zu große Blendquellen den Adaptationszustand des Auges zusätzlich zur Hintergrundleuchtdichte beeinflussen, was das Verfahren nicht berücksichtigt.

Das UGR-Verfahren ist bei kleinen Lichtquellen, deren leuchtende Fläche einen Raumwinkel von weniger als $0,0003\text{ sr}$ einnehmen, nicht anwendbar. Die in der UGR-Formel enthaltene Quadrierung der Leuchtdichte ist für sehr kleine Blendquellen nicht mehr gültig. Das kann z. B. in großen Hallen der Fall sein, wenn sich die Leuchten auf großer Höhe, d.h. weit weg befinden.

Das UGR-Verfahren ist daher nicht anwendbar für:

- Wandfluter (Wand als leuchtende Fläche),
- vollständig indirekte Leuchten (Decke als leuchtende Fläche),
- leuchtende Decken (zu große Fläche),
- verstellbare Scheinwerfer (zu kleine Fläche),
- andere sehr kleine oder sehr große leuchtende Flächen.

Basierend auf Studien der Deutschen Bundesanstalt für Arbeitsschutz rät die LiTG auch bei Beleuchtungsanlagen mit Leuchten, die einen Indirektanteil von mehr als 65% haben, von einer Anwendung des UGR-Verfahrens ab (LiTG Publ. 20). Dabei kann es sich um mehr oder weniger vollständig angestahlte Decken handeln.

In großen Hallen können sich einige Leuchten soweit vom Beobachter entfernt befinden, dass ihre leuchtende Fläche die untere Grenze für den Raumwinkel unterschreiten. Aufgrund einer Empfehlung der LiTG (LiTG Publ. 20) werden solche Leuchten bei der Erstellung der Tabellen dennoch berücksichtigt. Welche Tabellenwerte davon betroffen sind, wird bislang nicht kenntlich gemacht.

3.5 Grenzen bei den Blickrichtungen, insbesondere bei Industrieanwendungen

Die übliche Anwendungsweise beim UGR-Verfahren geht von einer horizontal verlaufenden Blickrichtung aus und setzt voraus, dass sich die Leuchten nicht unterhalb der Blickrichtung befinden. Bei der UGR-Tabellenmethode wird meistens mit einem statischen Beobachter mit 1,2 m Augenhöhe gerechnet, mit einer Blickrichtung längs und quer zu den Leuchten, aber z. B. keine diagonale Blickrichtung. Auch stehende oder gehende Personen mit einer Augenhöhe über 1,2 m bleiben unberücksichtigt.

Anwendungshinweis: Nach CIE 117:1995 kann für stehende Personen eine Augenhöhe von 1,7 m angenommen werden. Auch in hohen Hallen kann der Abstand zwischen Auge und Leuchtenebene klein sein, z. B. bei Dacharbeitsbühnen in Fahrzeug-Wartungshallen.

Damit bildet das UGR-Verfahren keine Varianz bei der Blickrichtung ab, wie sie z. B. bei vielen Industrieanwendungen vorkommen (z. B. Montagetätigkeiten, Portalkranbedienung, Gabelstaplerfahren). Besondere Sorgfalt zur Vermeidung von Blendung ist geboten, wenn die Blickrichtung über der Horizontalen liegt. Hierbei ist durch den Planer mit einer angepassten Leuchtenanordnung und Leuchtenauswahl hinsichtlich geeigneter Abschirmwinkel die Blendung auf ein Minimum zu reduzieren. Auch eine mögliche Blendung bei direktem Einblick in die Lichtaustrittsfläche z. B. bei Überkopparbeiten wird vom UGR-Verfahren nicht abgebildet.

Anwendungshinweis: Bewährt hat sich in einigen solchen Fällen, dass Leuchtdichten den Wert von 10 000 cd/m² nicht überschreiten.

Zur Berücksichtigung anderer Blickrichtungen kann es z. B. für Industrieanwendungen sinnvoll sein, die Blendung für eine höhere Anzahl an Betrachtern und Betrachtungswinkeln zu berechnen. Hierzu können die Ergebnisse für eine weitere Verdeutlichung graphisch in einem Grundrissplan dargestellt werden (siehe z. B. Stockmar, 2000).

3.6 Grenzen bei unterschiedlichen Lichttechniken

Das UGR-Verfahren berücksichtigt nur die gesamte leuchtende Fläche einer Leuchte, unabhängig davon, ob sie lokale Leuchtdichtemaxima oder -minima enthält. Linsen- und prismenbasierte Leuchten werden vom Nutzer hinsichtlich der psychologischen und physiologischen Blendung, je nach Anwendung, baulichen Gegebenheiten und Blickrichtung oft unterschiedlich bewertet, auch wenn sie den gleichen UGR-Datenblattwert haben.

In der Peripherie des Gesichtsfeldes können Strukturen innerhalb der Leuchte nicht erkannt werden. Erst wenn sich die Leuchte in der Nähe der Blickrichtung befindet, können die Strukturen den Blendeeindruck erhöhen. Für Leuchten mit inhomogener Leuchtdichtestruktur wurde daher von der CIE das UGR-Verfahren mit einem Korrekturfaktor ergänzt (CIE 232:2019). Eine Anleitung zur praktischen Umsetzung dieses Korrekturfaktors ist derzeit bei der CIE in Arbeit.

Bei asymmetrischen und doppelt asymmetrischen Leuchten ist zwar die UGR-Formel anwendbar, nicht aber die UGR-Tabellenmethode.

3.7 Grenzen durch verschiedene Leuchtentypen in einem Raum

Die UGR-Tabellenmethode muss für jeden Leuchtentyp einzeln angewendet werden, sofern verschiedene Leuchten in einem Raum vorhanden sind. Denn jeder Leuchtentyp hat eine eigene UGR-Tabelle.

Anwendungshinweis: Gemäß DIN EN 12464-1:2021, Anhang A.2.5 kann dann für das Worst-Case-Szenario der Vergleich mit dem Grenzwert für den Leuchtentyp mit dem höchsten UGR-Wert vorgenommen werden.

Berechnungen mit der UGR-Formel können auch dann angewendet werden, wenn die bewertete Beleuchtungsanlage unterschiedliche Leuchten aufweist.

3.8 Grenzen durch altersbezogene Sehveränderungen und Sehkorrekturhilfen

Da das UGR-Verfahren lediglich Blendungsklassen für eine durchschnittliche Population liefert, werden individuelle Abweichungen, wie altersbezogene Sehveränderungen, nicht berücksichtigt.

Insbesondere die Sehschärfe und die Akkommodationsbreite des Auges sind stark altersabhängig. Es ist ferner bekannt, dass ältere Menschen mehr Licht benötigen als jüngere, um die gleiche Sehaufgabe ebenso gut erfüllen zu können. Auch die Blendempfindlichkeit steigt im Alter, auf Grund der höheren Streuung der Augenmedien, stark an.

Nach LitG Publ. 20 sind die Abweichungen, die sich bei Berücksichtigung obiger Faktoren für das UGR-Verfahren ergeben können, nicht bekannt. In Untersuchungen ergab sich eine Tendenz zur erhöhter Blendempfindlichkeit für Brillenträger.

3.9 Grenzen bei hohen Räumen, z. B. Sport- und Industriehallenbeleuchtungsanlagen

In hohen Hallen z. B. ab 7 m erscheinen Leuchten auf Grund der großen Lichtpunkthöhe für den Beobachter unter kleinen Raumwinkeln. Insbesondere Leuchten mit sehr hohen Lichtströmen und Leuchtdichten können, auch wenn sie unter sehr kleinen Raumwinkeln erscheinen, eine Störempfung hervorrufen. Nach CIE 117:1995 ist für solche Fälle die Anwendung des UGR-Verfahrens nicht möglich.

Anwendungshinweis: Nach Vorschlag der LitG Publ. 20 kann die untere Raumwinkelgrenze entfallen. Für maximale Transparenz wären davon betroffene Tabellenwerte aber zu kennzeichnen (z. B. mit einem Stern), was bislang nicht der Fall ist. In hohen Hallen kann dies auch Raummaße $< 12H$ betreffen.

3.10 Grenzen durch „Dynamische Blendung“ bei tiefstrahlenden Leuchten

Das UGR-Verfahren bildet keine dynamischen Änderungen bei der Position des Beobachters ab, es wird stets mit einem statischen Beobachter gerechnet. Bei Personen, die sich im Raum bewegen, unter Leuchten mit stark ändernden Lichtstärken innerhalb kleiner Winkelbereiche, kann sogenannte „Dynamische Blendung“ auftreten. Sitzt eine Person in dem entsprechenden Ausstrahlungsbereich einer Leuchte, kann durch Kopfbewegungen eine Leuchte mal als dunkel und mal als hell erlebt werden. Diese Störung durch plötzlich in der Peripherie erscheinende Leuchtdichten bei Personen, die sich im Raum bewegen, wird durch den statischen UGR-Wert nicht erfasst.

3.11 Grenzen durch Einschränkungen bei Raumgeometrie und Reflexionsgraden

Die UGR-Tabellenmethode ist nur für rechteckige Räume anwendbar. L-förmige Räume können durch getrennte Berechnung der Teilräume bewertet werden. Die UGR-Tabellenmethode ist für polygonale oder runde Raumgeometrien nicht geeignet. Mit der UGR-Formel können in solchen Räumen UGR-Werte ermittelt werden, die aber nicht als Beleg für die Einhaltung der Grenzwerte von DIN EN 12464-1 herangezogen werden können.

Die UGR-Tabellenmethode ist nur eine Abschätzung für typische Raumgeometrieverhältnisse mit Kategorien von typischen Reflexionsgraden. So hat der Boden nach der UGR-Tabellenmethode maximal einen Reflexionsgrad von 20 %. Wände liegen hier bei 30 % oder 50 % und die Decke bei 30 %, 50 % oder 70 %. Weiße Wände oder Decken mit einem Reflexionsgrad von etwa 75 % bis 90 %, wie sie in Industriehallen vorkommen können, werden mit der UGR-Tabellenmethode nicht berücksichtigt. Bei hellen Umgebungen ist die Blendwirkung allerdings geringer als bei dunklen. Umgekehrt ist bei dunklen Decken z. B. in Industriehallen mit Reflexionsgraden unter 30 %, die UGR-Tabellenmethode nicht anwendbar.

Hier zeigt sich auch die Problematik der Verwendung eines einzelnen UGR-Datenblattwertes für den speziellen Standardraum. So weist zum Beispiel eine Leuchte, welche im Datenblatt mit Reflexionsgraden des Büros und damit des Standardraums eine geringe Blendwirkung aufweist ($R_{UG} \leq 19$), in der realen Anwendung der Industriehalle einen größeren UGR Wert auf. Dies liegt in der deutlichen Abweichung zwischen den Randparametern des Standardraums und der Anwendung der Industriehalle, denn eine Industriehalle weist typischerweise deutlich dunklere Decken und andere Raumgeometrien als der Standardraum auf. Die Leuchte sollte daher immer bei der Raumgröße der realen Anlage und nicht im Standardraum bewertet werden.

3.12 Grenzen durch Alterung der Anlagen

Besonders in Industriehallen mit rauen Umgebungsbedingungen können sich im Verlauf der Nutzung die Reflexionsgrade der Raumboflächen durch Verschmutzung stark ändern. Helle Wände mit großem Reflexionsgrad ρ_w werden mit der Zeit dunkler, was eine Erhöhung der Blendwirkung zur Folge haben kann. Sehr dunkle Wände können hingegen in sehr seltenen Fällen durch Verschmutzung auch heller werden. Je nach der verwendeten Beleuchtungstechnologie vermindert sich zudem der Lichtstrom Φ der Anlage mehr oder weniger stark mit der Betriebsdauer, was eine Reduktion der Blendung bedeuten würde. Die größte Blendung ist zu dem Zeitpunkt zu erwarten, bei dem der Quotient Φ / ρ_w sein Maximum erreicht.

4 Fazit und Ausblick

Der einzelne UGR-Datenblattwert kann für einen ersten relativen Vergleich von Leuchten untereinander verwendet werden, wenn der Raum der geplanten Anlage nicht zu stark vom Datenblatt-Standardraum abweicht. Für eine Abschätzung der psychologischen Blendungsbewertung einer Leuchte in unterschiedlichen Anlagen kann die UGR-Tabellenmethode genutzt werden. Für die Bewertung an speziellen Positionen und Blickrichtungen im Raum muss die UGR-Formel für diese Blickrichtung verwendet werden. Auch bei unregelmäßiger Leuchtenanordnung und gleichzeitiger Verwendung verschiedener Leuchtentypen kann mit der UGR-Formel ein UGR-Wert ermittelt werden, der zum Vergleich verschiedener Lichtlösungen geeignet ist. Dieser Wert kann aber nicht als Beleg dafür verwendet werden, dass die Grenzwerte der DIN EN 12464-1 eingehalten sind.

Für einen Planer ist es wichtig, die Methode, die Annahmen und die Grenzen der UGR-Tabellenmethode zu kennen. Eine Simulation der Anlage mit der ausgewählten Leuchte in einem Lichtplanungsprogramm mit Variation der Blickrichtungen an signifikanten Positionen kann hier weiterhelfen. Eine Bemusterung der geplanten Leuchte in der realen Anwendung kann weitere Hilfestellung für die Auswahl geben.

Die für die Sehleistung und damit für die Arbeitssicherheit und Unfallverhütung wesentliche physiologische Blendung wird durch das UGR-Verfahren nicht erfasst. Es besteht zwar die Behauptung, dass in hellen Räumen das Einhalten des UGR-Wertes auch physiologische Blendung verhindert. Für dunklere Umgebungen, wie etwa in Industriehallen, kann diese Annahme jedoch nicht getroffen werden. In Industriehallen kann die physiologische Blendung deutlich kritischer sein als die psychologische Blendung. Das UGR-Verfahren ist für die physiologische Bewertung nicht geeignet, da es nicht dafür entwickelt wurde. Das UGR-Verfahren kann auch nicht zur Bewertung von Reflexblendung an Bildschirmen oder anderen spiegelnden Flächen im Arbeitsbereich verwendet werden.

Gemäß der Deutschen Arbeitsstättenverordnung (ArbStättV) müssen Arbeitsstätten mit Einrichtungen ausgestattet sein, die eine angemessene künstliche Beleuchtung ermöglichen, so dass die Sicherheit und der Schutz der Gesundheit der Beschäftigten gewährleistet sind. Die Beleuchtungsanlagen sind so auszuwählen und anzuordnen, dass dadurch die Sicherheit und die Gesundheit der Beschäftigten nicht gefährdet werden. Daraus leitet die Technische Regel für Arbeitsstätten ASR A3.4 ab, dass störende Blendung oder Reflexionen zu minimieren sind und dass Blendung, die zu Unfällen führen kann, vermieden werden muss.

Die Bewertung der psychologischen Blendung mit dem UGR-Verfahren kann zwar die subjektive Störung erfassen, nicht aber die objektive Störung der Sehleistung, die im Extremfall auch zu Unfällen führen kann. Die Störung der Sehleistung, sei es durch Streulicht im Auge oder durch Nachbilder nach einem Blendereignis, wird derzeit bei der Beleuchtungsplanung in Industrieanlagen trotz der gesetzlichen Vorgaben nicht bewertet.

Die Bewertung der physiologischen Blendung kann gerade bei Industrieapplikationen eine entscheidende Rolle für die Arbeitssicherheit und Fehlervermeidung spielen. Für diese Anwendungsfälle sollten zukünftig geeignete Verfahren entwickelt werden.

Anhang: Literaturverzeichnis

- ArbStättV (2017). Arbeitsstättenverordnung. BMAS, Bonn.
- ASR A3.4 (2014). Technischen Regel für Arbeitsstätten – Beleuchtung. Ausschuss für Arbeitsstätten (ASTA). BAuA, Dortmund.
- CIE S 017:2020: ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd Edition. CIE, Wien. <https://cie.co.at/e-ilv>
- CIE 117:1995 Discomfort glare in interior lighting.
- CIE 232:2019 Discomfort caused by glare from luminaires with a non-uniform source luminance.
- DIN EN 12464-1:2021 Licht und Beleuchtung – Beleuchtung von Arbeitsstätten – Teil 1: Arbeitsstätten in Innenräumen.
- DIN EN 13032-2:2018 Licht und Beleuchtung – Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten – Teil 2: Darstellung der Daten für Arbeitsstätten in Innenräumen und im Freien.
- Gall, D. (2004): Grundlagen der Lichttechnik. Pflaum Verlag, München, Kap. 6.4.2.
- LiTG Publ. 20:2003 Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen. Deutsche Lichttechnische Gesellschaft e.V., Berlin.
- Stockmar, A. (2000): Lighting 2000, CIBSE/ILE Joint Conference, University of York, Conference Papers, S. 159–176.
- Haeger, F.; Stockmar, A. (1980): Ein Konzept zur Berechnung der zylindrischen Beleuchtungsstärke. Licht-Forschung 2 (1), S. 2–15.
- ZVEI (2013): Leitfaden zur DIN EN 12464-1. 2. Aufl., Frankfurt am Main: ZVEI - Zentralverband der Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V., www.licht.de



ZVEI e. V.
Lyoner Straße 9
60528 Frankfurt am Main
Telefon: +49 69 6302-0
Fax: +49 69 6302-317
E-Mail: zvei@zvei.org
www.zvei.org