

Die Anwendung der UGR-Formel in der Praxis

Oliver D. Bind

Im März 2003 wurde DIN EN 12464 – 1 als Ersatz für die zurückgezogene Norm DIN 5035 Teil 1 veröffentlicht. Gegenüber der zurückgezogenen Norm wurde in der DIN EN 12464 – 1 das »Unified Glare Rating (UGR)«-Verfahren (vereinheitlichtes Blendungsbewertungsverfahren) zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen festgeschrieben. Es löst das Söllner-Grenzkurvendiagramm als Blendbewertungsverfahren ab. Für den Lichtplaner ergibt sich schon aus praktischen Gründen eine Umstellung. Während das Bewertungsverfahren mit dem Söllner-Diagramm relativ unkompliziert anzuwenden war, muss der Lichtplaner beim UGR-Verfahren mehr Parameter in die Blendungsbewertung mit einbeziehen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass in Planungen meist nicht alle Parameter berücksichtigt werden und es somit zu Planungsfehlern kommen kann.

Die UGR-Formel zur Berechnung des UGR-Wertes lässt sich auf Innenraum-Beleuchtungssituationen anwenden, für die die Positionen der Leuchten, die Leuchtdichten der Leuchten, die Hintergrundleuchtdichte, die Positionen der Beobachter, die Blickrichtungen der Beobachter, die Raumabmessungen und die Reflexionsgrade der Raumbegrenzungsflächen bekannt sind. Der grundsätzliche Unterschied zum Söllner-Diagramm besteht in der zusätzlichen Abhängigkeit des UGR-Wertes von den Leuchtenpositionen und dem Beobachterstandort im Raum.

In der DIN EN 12464 – 1 wird die, auf den ersten Blick nicht gerade einfache, Formel für den UGR-Wert angegeben:

$$UGR = 8 \log_{10} \left(\frac{0,25}{L_b} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right) \quad (1)$$

L_b ist die Hintergrundleuchtdichte,
 L ist die mittlere Leuchtdichte je Leuchte,
 ω ist der Raumwinkel der Lichtaustrittsfläche je Leuchte, bezogen auf den Beobachter,
 p ist der Positionsindex nach Guth je Leuchte, bezogen auf den Beobachter.

In der Praxis wird diese Formel in dieser Form wohl eher selten angewandt. Die Leuchtenhersteller, bzw. Beleuchtungsplanungsprogramme geben UGR-Werte in Form einer UGR-Tabelle, basierend auf den Leuchten-daten und den Raumreflexionsgraden an. Das UGR-Tabellenverfahren (2) ähnelt der Anwendung des Wirkungsgradverfahrens. Es ist für den Lichtplaner ähnlich leicht zu handhaben. Trotzdem erreicht die Anwendung der UGR-Tabelle ihre Grenzen, wenn die Lichtplanung von den Standardbedingungen abweicht. Der Lichtplaner muss dann selbst entscheiden können, ob seine Lichtplanung noch den anerkannten Regeln entspricht. Bei dieser Bewertung hilft eine LITG-Publikation (3).

Die direkte Anwendung der UGR-Formel kann in folgenden Fällen sehr sinnvoll sein:

- in kleinen Einzelarbeitsräumen,
- bei Arbeitsplätzen mit fest zugeordneten Leuchten, deren Lichtaustrittsflächen von anderen Arbeitsplätzen aus nicht sichtbar sind,
- wenn die Leuchtenabstände kleiner als ein Viertel der Höhe zwischen Beobachter und Lichtpunkt sind.

Ohne in die Tiefen der Mathematik einzudringen, kann man an der UGR-Formel einiges ersehen. Der UGR-Wert hängt quadratisch von der Größe der Leuchten-Leuchtdichte ab, sie hat damit den größten Einfluss auf den UGR-Wert und auf die Blendwirkung. Der Positionsindex p berücksichtigt die abnehmende Blendwirkung einer Leuchte mit zunehmendem Abstand vom Beobachter und deren Position im Gesichtsfeld. Die Einflüsse der Hintergrundleucht-

dichte L_b und der Ausdehnung der Leuchte, ausgedrückt durch den Raumwinkel ω , sind geringer, zumal die Hintergrundleuchtdichte L_b noch reziprok mit 4 multipliziert wird.

Dies führt zu einigen qualitativen Überlegungen:

Würde man den Lampenlichtstrom und damit die Leuchten-Leuchtdichte verdoppeln, würde sich der UGR-Wert um $8 \log 2 \approx 2,4$ erhöhen. Die Hintergrundleuchtdichte L_b verdoppelt sich auch im Nenner, aber der Faktor 2 im Zähler wird quadriert.

Die Verdopplung der Leuchtenanzahl ergibt im Zähler vor dem L^2 und wegen der dadurch bewirkten Verdopplung der Hintergrundleuchtdichte auch im Nenner den Faktor 2. Der UGR-Wert bleibt somit unverändert. Es ist also in Bezug auf die Blendung besser, viele Leuchten zu verwenden, als weniger mit einem höheren Lichtstrom, auch wenn die Anschlussleistung nahezu konstant bleibt.

Werden bei einem gleich bleibenden Beleuchtungsniveau und gleicher Hintergrundbeleuchtungsstärke Leuchten mit kleineren Lichtaustrittsflächen eingesetzt, so erhöht sich die Leuchten-Leuchtdichte. Eine Halbierung der Lichtaustrittsfläche hat eine Verdoppelung der Leuchten-Leuchtdichte zur Folge, d.h. es ergibt sich im Zähler der UGR-Formel ein Faktor von $4 \cdot 0,5 = 2$. Dies entspricht einer Erhöhung des UGR-Wertes um $8 \log 2 \approx 2,4$. Somit ergibt sich eine Erhöhung der Blendung.

Ändern sich die Reflexionsgrade der Raumbereiche, so ändert sich umgekehrt auch der UGR-Wert. Die Hintergrundleuchtdichte L_b geht reziprok in die UGR-Formel ein. Hierdurch steigt der UGR-Wert mit abnehmenden Reflexionsgraden, z. B. bei zunehmender Raumverschmutzung, und sinkt bei zunehmenden Reflexionsgraden. Eine Reduzierung der Reflexionsgrade um die Hälfte bringt eine Erhöhung des UGR-Wertes wieder um etwa 2,4.

Diese Betrachtung hat aber Grenzen. Im Vergleich zu direktstrahlenden Leuchten

Dipl.-Ing.(TU) / Dipl.-Wirtschaftsing.(FH)
 Oliver D. Bind, BLP Ingenieurbüro Bind,
 Oberursel (Taunus)

können Leuchten, die einen Indirektanteil haben, besonders in der unmittelbaren Deckenumgebung der Leuchte eine hohe Hintergrundleuchtdichte aufweisen. Dabei werden sie mit wachsender Indirektkomponente und geringem Abstand zur Decke zunehmend als Blendlichtquellen empfunden.

Somit ändert sich die Bedeutung der angestrahlten Flächen. Eine Anhebung der Hintergrundleuchtdichte vermindert zunächst den Blendeindruck, jedoch nimmt der Blendeindruck mit zunehmender Deckenleuchtdichte durch die Wahrnehmung dieser Flächen als Blendquellen zu. Welche Art von Begrenzung für die Anwendung des UGR-Verfahrens bei Direkt/Indirekt-Beleuchtungssituationen für den Übergangsbereich sinnvoll ist, kann pauschal nicht beantwortet werden. In der Literatur wird daher die Anwendung des UGR-Verfahrens für direkt-/indirektstrahlende Leuchten zur Zeit nur bis zu einem Indirektanteil des Leuchtenlichtstromes von 65 % empfohlen [3, 4].

Der UGR-Wert kann nur für Fälle bestimmt werden, in denen sich die Leuchte auch im Gesichtsfeld des Beobachters befindet. Der Positionsindex p ist vertikal bis zu 62,2° und horizontal bis zu einer Breite von 143,2° bzw. 71,6° zu jeder Seite, definiert. Außerhalb dieses Bereichs ist kein UGR-Wert definiert. In kleinen Einzelarbeitsräumen, dort wo sich die Leuchte im Rücken des Beobachters oder direkt über dem Bereich der Sehaufgabe befindet, liefert die Summation der UGR-Formel demnach keine Werte. Zum Positionsindex p ist zu sagen, dass sich horizontale Abweichungen der Leuchtenposition weit weniger stark auswirken, als vertikale Abweichungen. Leuchten, die sich im seitlichen Gesichtsfeld befinden, werden wesentlich störender empfunden, als Leuchten, die sich im oberen Teil des Gesichtsfeldes befinden.

Wie ermittelt man nun die Werte für die UGR-Formel?

Die Hintergrundleuchtdichte L_b entspricht der mittleren Leuchtdichte des Halbraumes vor dem Beobachter. Sie lässt sich beschreiben durch die Beleuchtungsstärke, die durch das an den Raumbegrenzungsflächen reflektierte Licht erzeugt wird. Alle Leuchtdichten, die direkt von den Leuchten herrühren, sind dabei nicht zu berücksichtigen. Es werden die mittleren Beleuchtungsstärken der Flächen ermittelt, die nicht selbst direkt im Gesichtsfeld leuchten. Das sind Wände und Decken, eventuell auch größere Möbelflächen in der Blickrichtung. Mit der bekannten Formel ermittelt man jeweils die Leuchtdichte:

$$L_{bl} = \frac{1}{\pi} E_{mi} \rho_i \tag{2}$$

1 Positionsindex-Tabelle aus [3]

		T/R															
		0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3
H/R	1,9						16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
	1,8			16	15,4	15,1	15	15	15	15,1	15,1	15,1	15,2	15,2	15,3	15,3	15,3
	1,7	16,2	15,7	14,6	14,1	14	14	14	14,1	14,2	14,2	14,3	14,4	14,5	14,5	14,5	14,5
	1,6	14,7	14	13,2	13	12,8	13	13,1	13,3	13,4	13,5	13,6	13,7	13,8	13,8	13,8	13,8
	1,5	13,2	12,7	11,9	11,7	11,8	11,9	12,1	12,4	12,6	12,8	12,9	12,9	13	13	13	13
	1,4	11,7	11,2	10,6	10,5	10,6	10,8	11	11,4	11,8	11,9	12	12,1	12,3	12,3	12,4	12,4
	1,3	10,4	9,9	9,4	9,4	9,5	9,8	10	10,4	10,8	11	11,1	11,3	11,5	11,6	11,7	11,7
	1,2	9,3	8,8	8,3	8,4	8,6	8,8	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,6	10,8	10,9	11	11
	1,1	8,1	7,6	7,3	7,4	7,5	7,9	8,3	8,7	9	9,4	9,6	9,9	10	10,1	10,2	10,2
	1	7	6,5	6,4	6,4	6,6	7	7,5	8	8,4	8,7	8,9	9,2	9,4	9,6	9,7	9,7
	0,9	6	5,5	5,4	5,5	5,8	6,2	6,7	7,3	7,7	8	8,3	8,6	8,8	9	9,1	9,1
	0,8	5	4,6	4,6	4,8	5,1	5,6	6,1	6,5	7	7,4	7,7	8	8,2	8,4	8,5	8,6
	0,7	4,2	3,9	3,9	4,1	4,5	5	5,5	5,9	6,3	6,8	7,1	7,4	7,5	7,7	7,7	7,8
	0,6	3,5	3,2	3,3	3,6	3,9	4,4	4,9	5,4	5,8	6,1	6,4	6,7	6,9	7	7,1	7,2
	0,5	2,9	2,7	2,8	3,1	3,5	3,9	4,4	4,9	5,2	5,6	5,8	6,1	6,3	6,5	6,6	6,6
	0,4	2,4	2,2	2,4	2,7	3,1	3,5	3,9	4,4	4,8	5,1	5,4	5,6	5,8	6	6,1	6,1
	0,3	1,9	1,8	2	2,3	2,7	3,1	3,5	3,9	4,3	4,7	4,9	5,2	5,4	5,5	5,6	5,7
0,2	1,5	1,5	1,7	2	2,3	2,8	3,1	3,5	3,8	4,2	4,5	4,7	4,9	5,1	5,2	5,2	
0,1	1,3	1,3	1,5	1,7	2	2,4	2,8	3,1	3,4	3,7	4	4,3	4,4	4,6	4,6	4,7	
0	1	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7	3	3,3	3,5	3,8	4	4,1	4,2	4,2	

Danach werden die einzelnen L_{bi} gemäß ihrer Größe zu einer gesamten mittleren Hintergrundleuchtdichte L_b gewichtet. Große Fehler kann man bei dieser Vorgehensweise nicht machen. Der UGR-Wert selbst ist relativ unempfindlich gegen Abweichungen von L_b . So führt zum Beispiel ein Fehler von 33 % bei L_b nur zu einem Fehler von einer Einheit des UGR-Werts.

Bei dieser Berechnung muss man den möglichen Einfluss des Wartungsfaktors beachten. Der UGR-Wert verändert sich über die Zeit, da die Leuchten verschmutzen und der Lampenlichtstrom und die Reflexionsgrade zurückgehen. Die Ermittlung des UGR-Werts gilt für den ungünstigsten Fall, in dem die Leuchtenleuchtdichte am größten und die Hintergrundleuchtdichte am kleinsten ist, d. h. dass die Leuchten sauber sind, aber die Umgebung stark verschmutzt ist. Da der Einfluss der Leuchtenleuchtdichte bei der Bestimmung des UGR-Werts am größten ist, sollte man den UGR-Wert dann bestimmen, wenn die Leuchtenleuchtdichte am größten ist und damit bei einem Wartungsfaktor von 1. Bei der Berechnung der Hintergrundleuchtdichte muss man konsequenter Weise den Wartungsfaktor in E_{mi} berücksichtigen, da zum Wartungszeitpunkt die Hintergrundleuchtdichte am kleinsten ist und damit der UGR-Wert am größten. Der Fehler, der bei dieser Berechnung gemacht wird, ist aber vergleichsweise gering, so dass der UGR-Wert im Neuzustand, d. h. bei einem

Wartungsfaktor von 1 bestimmt werden sollte. Das generelle Rechnen mit einem Wartungsfaktor von z. B. 0,67 kann zu Fehlern führen.

Die mittlere Leuchtenleuchtdichte L jeder im Gesichtsfeld befindlichen Leuchte wird durch Division der Lichtstärke I der Leuchte in Lichteinfallrichtung, durch die gesehene leuchtende Fläche A_p der Leuchte ermittelt. Die Lichtstärke ergibt sich aus der Lichtstärkeverteilungskurve. Die gesehene leuchtende Fläche A_p ergibt sich aus der Multiplikation der tatsächlichen leuchtenden Fläche mit dem Cosinus des Winkels zwischen Flächennormaler und gesehener Lichteinfallrichtung.

Der Raumwinkel wird durch Division der jeweiligen gesehenen bekannten leuchtenden Fläche A_p , durch das Quadrat der Entfernung vom Lichtschwerpunkt und der jeweiligen Leuchte zum Beobachteraue bestimmt.

Der Positionsindex p wird durch Interpolation der Tabelle gewonnen. Es sind dies T/R und H/R , wobei R , T und H ein Koordinatensystem mit dem Beobachteraue als Mittelpunkt bilden. R ist der auf die horizontale Blickrichtung projizierte Abstand zum Lichtschwerpunkt, T der horizontale Abstand des Lichtschwerpunkts zur Blickrichtung und H die Höhe des Lichtschwerpunkts über dem Beobachteraue.

Das vorgestellte UGR-Verfahren hat aber Grenzen. Neben den schon angesprochenen 65% Lichtstrom-Indirektanteil einer Leuchte, liefert das UGR-Verfahren auch in anderen Fällen keine anwendbaren Werte.

Bei Leuchten, die einen Raumwinkel von mehr als 0,1 sr einnehmen, kann dies vorkommen. Dies ist vor allem dadurch begründet, dass die Leuchtdichte der Blendquelle den Adaptionszustand des Auges um so stärker beeinflusst, je größer die Abmessungen der Blendquelle sind. Dadurch nimmt der Einfluss der Hintergrundleuchtdichte auf die Blendwirkung ab.

Bei kleinen Lichtquellen, die unter einem Raumwinkel $\omega < 0,0003$ sr gesehen werden,

ist das UGR-Verfahren auch nicht anwendbar. Der Geltungsbereich der UGR-Formel wird in diesem Fall eingeschränkt, da bei sehr kleiner Blendquelle vom menschlichen Auge die Hellempfindung nicht mehr von ihrer Leuchtdichte, sondern von der in der Pupillenebene des Auges erzeugten Beleuchtungsstärke bestimmt werden (Riccoshes Gesetz).

Schon in niedrigen Räumen mit einer Raumhöhe kleiner 3 m, können größere Lichtquellen durchaus kleine Raumwinkel einnehmen, wenn sie sich in größerer Entfernung vom Beobachter befinden. Dabei führt sowohl der Abstand wie auch der normalerweise damit einhergehende flache Beobachtungswinkel zu einem kleinen Raumwinkel. In hohen Räumen erscheinen Leuchten auf Grund der großen Lichtpunkthöhe für den Beobachter unter kleinen Raumwinkeln. Leuchten mit hohen Lichtströmen können, auch wenn sie unter sehr kleinen Raumwinkeln erscheinen, ein Störeffinden hervorrufen, ohne dass dies der berechnete UGR-Wert vermuten ließe.

Zusammenfassung

Zusammenfassend kann man festhalten, dass die Anwendung der UGR-Formel nur auf den ersten Blick kompliziert erscheint. Durch einfache Überlegungen und Berechnungen kann man einen UGR-Wert bestimmen. Es ist aber auch festzuhalten, dass die UGR-Formel nicht in allen Fällen zu einem brauchbaren UGR-Wert führt, der den anerkannten Regeln der Technik entspricht. In solchen Fällen muss der Lichtplaner auf andere Weise störende Blendungseinflüsse der künstlichen Beleuchtung vermeiden.

Literatur

- [1] DIN EN 12 464 – 1, Beleuchtung von Arbeitsplätzen, Teil 1 Arbeitsstätten in Innenräumen
- [2] CIE 117, Psychologische Blendung in der Innenraumbeleuchtung
- [3] LitG-Publikation, Das UGR-Verfahren zur Bewertung der Direktblendung der künstlichen Beleuchtung in Innenräumen, Herausgeber LitG FA Innenbeleuchtung
- [4] DIN 5035 Teil 7, Beleuchtung mit künstlichem Licht, Teil 7 Bildschirmarbeitsplätze