

**Lichtimmissionen,
Messung, Beurteilung und Verminderung**
Gem. RdErl. d. Ministeriums für Umwelt und Naturschutz,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz – V B 2 – 8829 – (V Nr. 5/00) -,
d. Ministeriums für Wirtschaft und Mittelstand,
Energie und Verkehr - III A 4 – 62 – 03 -,
u.d. Ministeriums für Städtebau und Wohnen,
Kultur und Sport - II A 4 – 850.1 -
v. 13.9.2000

Inhaltsübersicht

- 1 Grundsätzliches
- 2 Anwendungsbereich
- 3 Beurteilungsgrundsätze
- 4 Beurteilung und Messung der Raumaufhellung
 - 4.1 Beurteilung
 - 4.2 Zeit und Ort der Messung
 - 4.3 Anforderungen an das Beleuchtungsstärkemessgerät
- 5 Beurteilung und Messung der Blendung
 - 5.1 Beurteilung
 - 5.2 Beurteilung mehrerer Blendlichtquellen im Blickfeld
 - 5.3 Messgrößen und Messgeräte
 - 5.3.1 Leuchtdichte der Blendlichtquelle
 - 5.3.1.1 Berechnung der Leuchtdichte der Blendlichtquelle
 - 5.3.1.2 Messung der Leuchtdichte der Blendlichtquelle
 - 5.3.2 Umgebungsleuchtdichte
 - 5.3.3 Raumwinkel der Blendlichtquelle
- 6 Maßnahmen zur Minderung der Störwirkung
- Verwendete Abkürzungen
- Anlage

1**Grundsätzliches**

Licht gehört gemäß § 3 Abs. 2 des Gesetzes zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 15. März 1974 (BGBl. I S. 721, 1193) in der Fassung der Bekanntmachung vom 26. September 2002 (BGBl. I S. 3830) zu den Immissionen und gem. § 3 Abs. 3 BImSchG zu den Emissionen i.S. des Gesetzes.

Lichtimmissionen gehören nach dem BImSchG zu den schädlichen Umwelteinwirkungen, wenn sie nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder für die Nachbarschaft herbeizuführen. Genehmigungsbedürftige Anlagen sind gemäß § 5 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BImSchG so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen durch Licht nicht hervorgerufen werden können und dass Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen, insbesondere durch die dem Stand der Technik entsprechenden Maßnahmen zur Emissionsbegrenzung getroffen wird.

Nicht genehmigungsbedürftige Anlagen sind gemäß § 22 Abs. 1 Nr. 1 und 2 BImSchG so zu errichten und zu betreiben, dass schädliche Umwelteinwirkungen durch Licht verhindert werden, die nach dem Stand der Technik vermeidbar sind, und dass nach dem Stand der

Technik unvermeidbare schädliche Umwelteinwirkungen auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Dieser Erlass dient dem Schutz der Allgemeinheit und der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Licht sowie der Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Licht. Er enthält Beurteilungsmaßstäbe zur Konkretisierung der Anforderungen aus § 5 Abs. 1 Nrn. 1 und 2 und § 22 Abs. 1 BImSchG sowie aus § 3 Abs. 3 und § 13 des Gesetzes zum Schutz vor Luftverunreinigungen, Geräuschen und ähnlichen Umwelteinwirkungen (Landes-Immissionsschutzgesetz (LImSchG) vom 18. März 1975 (GV. NRW. S. 232), zuletzt geändert durch Gesetz vom 25. September 2001 (GV. NRW. S. 708) zur Abwehr schädlicher Umwelteinwirkungen und zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen durch Licht. Eine für Anlagenbetreiber und Überwachungsbehörden gleichermaßen bundesweit rechtsverbindliche Klärung der Frage, wann Lichtimmissionen als schädliche Umwelteinwirkungen anzusehen sind, existiert nicht. Die Bewertung der Erheblichkeit von Belästigungen durch Lichteinwirkungen i.S. des BImSchG ist daher anhand von Regelwerken sachverständiger Organisationen oder von einzelfallbezogenen Gutachten vorzunehmen. Eine wesentliche Erkenntnisquelle ist die von der Deutschen Lichttechnischen Gesellschaft e.V., Berlin herausgegebene Publikation: „Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen“, LiTG-Publ. Nr. 12 (1996), ISBN 3-927787-14-0. Hierauf aufbauend hat der Länderausschuss für Immissionsschutz (LAI) am 10./12. Mai 2000 „Hinweise zur Messung, und Beurteilung von Lichtimmissionen“ beschlossen, nach denen in Einzelfällen die Schwellen zwischen erheblichen und gerade noch nicht erheblichen Belästigungen im Sinne des BImSchG ermittelt werden können. Diese „Hinweise“ bilden die Basis für wesentliche Inhalte dieses Erlasses.

Die im Immissionsschutz auftretenden Lichteinwirkungen bewegen sich im Bereich der Belästigung. Physische Schäden am Auge können ausgeschlossen werden.

2

Anwendungsbereich

Der Erlass ist zur Beurteilung der Wirkung von Lichtimmissionen auf Menschen durch Licht emittierende Anlagen aller Art anzuwenden, soweit es sich dabei um Anlagen oder Bestandteile von Anlagen i.S. des § 3 Abs. 5 BImSchG handelt. Zu den lichtemittierenden Anlagen zählen künstliche Lichtquellen aller Art wie z.B. Scheinwerfer zur Beleuchtung von Sportstätten, von Verladeplätzen und für Anstrahlungen sowie Lichtreklamen, aber auch hell beleuchtete Flächen wie z.B. angestrahlte Fassaden.

Anlagen zur Beleuchtung des öffentlichen Straßenraumes, Beleuchtungsanlagen von Kraftfahrzeugen und dem Verkehr zuzuordnende Signalleuchten gehören nicht zu den Anlagen i.S. des § 3 Abs. 5 BImSchG.

Er gilt nicht für statische technische oder bauliche Einrichtungen, die das Sonnenlicht reflektieren und nicht für Laser. Für Laser ist eine gesonderte Beurteilung nach den Kriterien des Gesundheitsschutzes erforderlich.

3

Beurteilungsgrundsätze

Schädliche Umwelteinwirkungen liegen dann vor, wenn die Nachbarschaft oder die Allgemeinheit erheblich belästigt wird. Dieser Erlass gibt Maßstäbe zur Beurteilung der Lästigkeitswirkung an. Eine erhebliche Belästigung i.S. des § 5 Abs. 1 Nr. 1 oder des § 22 Abs. 1 BImSchG tritt in der Regel auf, wenn die angegebenen Immissionsrichtwerte überschritten werden.

Die Erheblichkeit der Belästigung durch Lichtimmissionen hängt aber auch wesentlich von der Nutzung des Gebietes, auf das sie einwirken, sowie dem Zeitpunkt (Tageszeit) oder der Zeitdauer der Einwirkungen ab. Die Beurteilung orientiert sich nicht an einer mehr oder

weniger empfindlichen individuellen Person, sondern an der Einstellung eines durchschnittlich empfindlichen Menschen.

Von Bedeutung für die Beurteilung der Lichtimmissionen von Anlagen ist die Schutzbedürftigkeit der Nutzungen in den diesen Anlagen benachbarten Gebieten. Die Art der in Tabelle 1 bezeichneten Gebiete und Einrichtungen ergibt sich aus den Festlegungen in den Bebauungsplänen. Sonstige in Bebauungsplänen festgesetzte Flächen für Gebiete und Einrichtungen sowie Gebiete und Einrichtungen, für die keine Festsetzungen bestehen, sind entsprechend der Schutzbedürftigkeit zu beurteilen.

Liegen aufgrund baulicher Entwicklungen in der Vergangenheit Wohngebiete und lichtemittierende Anlagen eng zusammen, kann eine besondere Pflicht zur gegenseitigen Rücksichtnahme bestehen. Sofern an belästigenden Anlagen alle verhältnismäßigen Emissionsminderungsmaßnahmen durchgeführt sind, kann die Pflicht zur gegenseitigen Rücksichtnahme dazu führen, dass die Bewohner mehr an Lichtimmissionen hinnehmen müssen als die Bewohner von gleichartig genutzten Gebieten, die fernab derartiger Anlagen liegen. Die im Einzelfall noch hinzunehmende Lichtimmission hängt von der konkreten Schutzbedürftigkeit der Bewohner des Gebietes und den tatsächlich nicht weiter zu vermindern den Lichtemissionen ab. Die zu dulddenden Lichteinwirkungen sollen aber die Immissionsrichtwerte unterschreiten, die für die Gebietsart mit dem nächst niedrigeren Schutzanspruch gelten. Eine Untersagung des Betriebs kommt nur unter den in §§ 20 oder 25 BImSchG genannten Voraussetzungen in Betracht.

Bei Beleuchtungsanlagen, die vor dem Datum der Veröffentlichung dieses Erlasses im Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen baurechtlich genehmigt oder - soweit eine Genehmigung nicht erforderlich war - errichtet wurden, soll von einer Festsetzung von Betriebszeiten abgesehen werden, wenn die Immissionsrichtwerte für die Gebietsart mit dem nächst niedrigeren Schutzanspruch nicht überschritten werden.

Die Beurteilung umfasst zwei Bereiche:

a) Raumaufhellung:

Aufhellung des Wohnbereiches, insbesondere des Schlafzimmers, aber auch des Wohnzimmers, der Terrasse oder des Balkons durch die in der Nachbarschaft vorhandene Beleuchtungsanlage, die zu einer eingeschränkten Nutzung dieser Wohnbereiche führt. Die Aufhellung wird durch die mittlere Beleuchtungsstärke $\overline{E_F}$ in der Fensterebene beschrieben.

b) Blendung:

Bei der Blendung durch Lichtquellen wird zwischen der physiologischen und psychologischen Blendung unterschieden. Bei der physiologischen Blendung wird das Sehvermögen durch Streulicht im Glaskörper des Auges vermindert. Dieser Aspekt steht jedoch bei der Immissionssituation im Wohnbereich nicht im Vordergrund der Betrachtung. Die Störempfindung durch Blendung wird als psychologische Blendung bezeichnet und kann auch ohne Minderung des Sehvermögens auftreten und zu erheblicher Belästigung führen. Durch starke Lichtquellen in der Nachbarschaft kann dadurch die Nutzung eines inneren oder äußeren Wohnbereichs erheblich gestört werden, auch wenn aufgrund großer Entfernung der Lichtquelle keine übermäßige Aufhellung erzeugt wird. Die Belästigung entsteht u. a. durch die ständige und ungewollte Ablenkung der Blickrichtung zur Lichtquelle hin, die bei großem Unterschied der Leuchtdichte der Lichtquelle zur Umgebungsleuchtdichte eine ständige Umadaptation des Auges auslöst. Für die Störwirkung sind daher die Leuchtdichte L_s der Blendlichtquelle, die Umgebungsleuchtdichte L_u und der Raumwinkel Ω_s , vom Betroffenen (Immissionsort) aus gesehen, maßgebend.

4

Beurteilung und Messung der Raumaufhellung

4.1

Beurteilung

Mess- und Beurteilungsgröße für die Raumaufhellung ist die nach diesen Hinweisen

gemessene mittlere Beleuchtungsstärke $\overline{E_F}$ am Immissionsort. Immissionsrichtwerte der

mittleren Beleuchtungsstärke $\overline{E_F}$, die von einer Beleuchtungsanlage in ihrer Nachbarschaft nicht überschritten werden sollen, sind in Tabelle 1 (s. Anlage) enthalten, soweit die nachfolgenden Ausführungen dem nicht entgegenstehen.

Wird die mittlere Beleuchtungsstärke am Immissionsort maßgeblich durch andere Lichtquellen bestimmt, sollen Maßnahmen an der zu beurteilenden Beleuchtungsanlage solange ausgesetzt werden, wie die Anlage nicht wesentlich zur Gesamt-Beleuchtungsstärke beiträgt.

Tabelle 1 bezieht sich auf zeitlich konstantes und weißes oder annähernd weißes Licht (das Licht von Natriumdampf-Hochdrucklampen gilt noch als annähernd weiß), das mehrmals in der Woche jeweils länger als eine Stunde eingeschaltet ist. Wird die Anlage seltener oder kürzer betrieben bzw. über Bewegungsmelder geschaltet, sind Einzelfallbetrachtungen anzustellen. Dabei soll der Zeitpunkt und die Häufigkeit des Auftretens, die allgemeine Umgebungshelligkeit, die Ortsüblichkeit sowie insbesondere die Möglichkeit für Minderungsmaßnahmen der Störwirkung berücksichtigt werden. Hieraus können gegebenenfalls auch höhere oder niedrigere Immissionsrichtwerte der Beleuchtungsstärke E_F als in Tabelle 1 vertreten werden. Bei Beleuchtungsanlagen mit veränderbaren Betriebszuständen ist der Beleuchtungszustand mit der maximalen Beleuchtungsstärke zu bewerten.

Beleuchtungsanlagen, deren Betriebszustände sich nicht schneller als in einem 5-minütigen Rhythmus ändern, gelten als zeitlich konstant abstrahlend. Ändern sich die Betriebszustände in weniger als fünf Minuten wesentlich, dann liegt ein Wechsellicht vor. In besonders auffälligen Wechsellichtsituationen (z.B. große Schwankungen der Beleuchtungsstärke, schnelle Hell-Dunkelübergänge, blitzlichtartige Vorgänge, schnelle Folgefrequenzen des Wechsellichtes), die lästiger als zeitlich konstantes Licht empfunden werden, sind bei der Beurteilung der Raumaufhellung die Maximalwerte je nach Auffälligkeit mit einem Faktor 2 bis 5 zu multiplizieren und mit den Immissionsrichtwerten der Tabelle 1 (s. Anlage) zu vergleichen.

Strahlt die Beleuchtungsanlage intensiv farbiges Licht aus, so ist bei besonderer Auffälligkeit (kräftige Farbtöne, die in der Regel lästiger empfunden werden) der Messwert mit einem Faktor 2 zu multiplizieren und mit den Immissionsrichtwerten der Tabelle 1 (s. Anlage) zu vergleichen.

Eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte als Anlass für behördliche Anordnungen nach §§ 17 oder 14 BImSchG kann wegen der Fehlergrenzen der Messgeräte (siehe Abschnitt 4.3) erst dann angenommen werden, wenn das Messergebnis mindestens 10 % oberhalb der Immissionsrichtwerte der Tabelle 1 (s. Anlage) liegt.

4.2

Zeit und Ort der Messung

Es soll zu einer Zeit gemessen werden, die für die Lichtimmissionen am Immissionsort typisch ist. Werden die Messwerte z.B. durch Regen, Schnee oder Nebel beeinflusst, so ist nicht zu messen.

Messort bei der Beurteilung ist für Aufenthaltsräume bei geöffneten Fenstern die jeweilige Fensterebene, bei Balkonen oder Terrassen sind es sinngemäß die Begrenzungsflächen für die

Wohnnutzung. Wird abweichend davon von innen durch die Fensterscheibe gemessen, so muss der Einfluss der Scheibe durch einen Korrekturfaktor berücksichtigt werden. Bei sauberen Scheiben können folgende Korrekturfaktoren näherungsweise eingesetzt werden:

Einfachverglasung: 1,1

Doppelverglasung: 1,25

Dreifachverglasung: 1,4

beschichtete Wärmeschutzverglasung: 1,7

Die Messzellennormale ist bei der Messung der mittleren Beleuchtungsstärke \overline{E}_F parallel zur Normalen der Bezugsfläche auszurichten. Bei örtlich unterschiedlichen Beleuchtungsstärken in der Bezugsfläche ist der arithmetische Mittelwert der Beleuchtungsstärke zu ermitteln. Ist die Bezugsfläche größer als 1,5 m², dann ist der Mittelwert der am stärksten beleuchteten Fläche von 1,5 m² maßgebend. Bei der Messung ist die Zimmerbeleuchtung auszuschalten. Beleuchtungsanteile durch nicht zu beurteilende Lichtquellen aus der Umgebung sind z.B. durch Ausblendung oder Differenzbildung zu beseitigen. Für die Differenzbildung sind die Beleuchtungsstärkewerte $E_{F,i}$ (mit) und $E_{F,i}$ (ohne) an den Messpunkten i zu messen, die sich bei eingeschalteter (d.h. mit) und bei ausgeschalteter (d.h. ohne) Beleuchtungsanlage ergeben. Der durch die zu beurteilende Anlage verursachte mittlere Beleuchtungsstärkewert errechnet sich aus:

$$\overline{E}_F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [E_{F,i}(\text{mit}) - E_{F,i}(\text{ohne})] \quad (1)$$

4.3

Anforderungen an das Beleuchtungsstärkemessgerät

Das Beleuchtungsstärkemessgerät ("Luxmeter") muss gestatten, 0,01 lx zu messen. Die Geräte müssen mindestens den Anforderungen der Klasse B nach DIN 5032-7:1985-12 – Lichtmessung - Klasseneinteilung von Beleuchtungsstärke- und Leuchtdichtemessgeräten mit einem Gesamtfehler $\leq 10\%$ genügen.

5

Beurteilung und Messung der Blendung

5.1

Beurteilung

Als Konvention zur Berechnung von Werten für die maximal tolerable mittlere Leuchtdichte \overline{L}_{\max} einer technischen Blendlichtquelle wird für den Bereich des Immissionsschutzes folgende Beziehung festgelegt:

$$\overline{L}_{\max} = k \sqrt{\frac{L_u}{\Omega_s}} \quad (2)$$

Es bedeuten:

\overline{L}_{\max} = maximal tolerable Leuchtdichte einer Blendlichtquelle in cd/m², gemittelt über den zugehörigen Raumwinkel Ω_s .

L_u = Maßgebende Leuchtdichte der Umgebung der Blendlichtquelle in cd/m^2 . Falls die aus Messungen ermittelte Umgebungsleuchtdichte $\bar{L}_{u, \text{mess}}$ (siehe Nr. 5.3.2) kleiner als $0,1 \text{ cd/m}^2$ ist, wird mit $L_u = 0,1 \text{ cd/m}^2$ gerechnet.

Ω_s = Raumwinkel der vom Immissionsort aus gesehenen Blendlichtquelle in sr.

k = Proportionalitätsfaktor; er dient zur Festlegung der Immissionsrichtwerte

\bar{L}_{max} = (s. Anlage, Tabelle 2)

Die mittlere Leuchtdichte \bar{L}_s der zu beurteilenden Blendquelle (siehe Nr. 5.3.1) soll die nach Gleichung (2) und Tabelle 2 berechneten Werte \bar{L}_{max} nicht überschreiten. Dies gilt für zeitlich konstantes Licht, das mehrmals in der Woche jeweils länger als eine Stunde angeschaltet wird. Bei geringerer Einschaltdauer oder -häufigkeit sind höhere Leuchtdichtewerte als \bar{L}_{max} möglich (z.B. in Sportanlagen). Dies ist je nach Einzelfall gesondert zu behandeln.

Lichtquellen, deren Lichtabstrahlung sich nicht schneller als in einem 5-minütigen Rhythmus verändert, werden zu den zeitlich konstant abstrahlenden Anlagen gerechnet. Ändert sich die Lichtabstrahlung in weniger als 5 Minuten wesentlich, handelt es sich um Wechsellicht. Bei

Wechsellicht wird der zeitliche Maximalwert der Leuchtdichte für die Ermittlung von \bar{L}_s zugrunde gelegt. In besonders auffälligen Situationen (z. B. große Schwankungen der Leuchtdichte, schnelle Hell-Dunkel-Übergänge, blitzlichtartige Vorgänge, schnelle Folgefrequenz des Wechsellichtes) werden die Maximalwerte mit einem Faktor 2 bis 5 multipliziert und mit den Immissionsrichtwerten nach Gleichung 2 und Tabelle 2 verglichen. Der Anwendungsbereich von Gleichung (2) wird auf $0,1 \text{ cd/m}^2 \leq L_u \leq 10 \text{ cd/m}^2$ und $10^{-7} \text{ sr} \leq \Omega_s \leq 10^{-2} \text{ sr}$ beschränkt.

Die Anwendung des Beurteilungsverfahrens gilt nur unter der Voraussetzung, dass vom Immissionsort aus bei üblicher Position der Blick zur Blendquelle hin möglich ist. Als Blickrichtung wird dann dieser Blick zur Blendquelle hin angenommen, weil sich das Auge im Allgemeinen unwillkürlich zur Blendlichtquelle hinwendet, da sie häufig das auffälligste Sehobjekt im Gesichtsfeld ist.

Eine Überschreitung der Immissionsrichtwerte \bar{L}_{max} als Anlass für behördliche Anordnungen kann wegen der Fehlergrenzen des hier zugrunde gelegten Leuchtdichtemessgerätes (siehe Nr. 5.3.1.2) und bei sorgfältiger Messdurchführung (z.B. korrekte Fokussierung und Positionierung) messtechnisch erst dann festgestellt werden, wenn die festgestellte

Leuchtdichte \bar{L}_s der zu beurteilenden Lichtquelle mindestens 40 % oberhalb des entsprechenden Immissionsrichtwertes liegt. Dabei ist für die Messgrößen \bar{L}_s , $\bar{\Omega}_s$, $\bar{L}_{u, \text{mess}}$ ein relativer Fehler von jeweils 20 % zugrunde gelegt.

5.2

Beurteilung mehrerer Blendlichtquellen im Blickfeld

Besteht eine Beleuchtungsanlage aus mehreren einzelnen Leuchten, so muss die Leuchtdichte jeder einzelnen Leuchte zumindest unterhalb der oben beschriebenen Werte liegen. Dabei wird die Störwirkung u.U. zu gering eingestuft, da die Belästigung durch die Gesamtanlage stärker als die durch eine einzelne Leuchte allein ist. Gesicherte Ergebnisse über die Summenwirkung mehrerer Leuchten liegen jedoch bisher nicht vor.

5.3

Messgrößen und Messgeräte

Die Messung von blendungsrelevanten Kenngrößen stellt hohe Anforderungen an die lichttechnischen Kenntnisse und praktischen Messerfahrungen des Sachverständigen sowie dessen Ausstattung mit geeigneten Messgeräten. Daher empfiehlt es sich erforderlichenfalls, einen entsprechend ausgewiesenen Fachmann heranzuziehen.

5.3.1

Leuchtdichte der Blendlichtquelle

Es wird die über den zugehörigen Raumwinkel Ω_s (siehe Nr. 5.3.3) gemittelte Leuchtdichte \bar{L}_s der zu beurteilenden Blendlichtquelle bestimmt und mit den Werten \bar{L}_{\max} nach Gleichung (2) in Verbindung mit den k-Werten der Tabelle 2 verglichen.

5.3.1.1

Berechnung der Leuchtdichte der Blendlichtquelle

Sind die Daten der Blendlichtquelle (Lichtaustrittsfläche der Leuchte, Lichtstärkeverteilung) sowie der Winkel zwischen der Normalen der Lichtaustrittsfläche und dem

Lichtimmissionsort bekannt, so kann die Leuchtdichte der Blendlichtquelle \bar{L}_s berechnet werden:

$$\bar{L}_s = I/F_p \quad (3)$$

Es bedeutet:

\bar{L}_s = Mittlere Leuchtdichte der zu beurteilenden Blendlichtquelle in cd/m^2

I = Lichtstärke in cd

F_p = Projektion der Lichtaustrittsfläche der Leuchte auf eine Ebene senkrecht zur Verbindungsgeraden Immissionsort-Leuchte in m^2 .

Sind diese Daten nicht vorhanden, so ist die Leuchtdichte der Blendlichtquelle durch Messung zu ermitteln.

5.3.1.2

Messung der Leuchtdichte der Blendlichtquelle

Die Messung erfolgt bei Dunkelheit und klarem Wetter vom Immissionsort aus, z.B. vom Aufenthaltsraum bei geöffnetem Fenster, vom Balkon oder von der Terrasse. Das Leuchtdichtemessgerät soll mindestens den Anforderungen der Klasse B nach DIN 5032, Teil 7 [3] mit einem Gesamtfehler $\leq 10\%$ entsprechen. Es sollten möglichst mehrere Messfeldblenden mit Winkeldurchmessern im Bereich von ca. 10° bis ca. 1° zur Verfügung stehen. Der Anzeigeumfang liegt zweckmäßigerweise etwa im Bereich von 10^{-2} cd/m^2 bis 10^6 cd/m^2 .

Bei der Messung ist auf genaue Fokussierung und Ausrichtung des Messgerätes zu achten.

Ist der Raumwinkel der Messfeldblende des Messgerätes Ω_m größer als der der Lichtquelle Ω_s und schließt er ihn vollständig ein, so wird \bar{L}_s wie folgt berechnet:

$$\bar{L}_s = \bar{L}_m \cdot \Omega_m / \Omega_s \quad (4)$$

Es bedeutet:

\bar{L}_m = Angezeigter Messwert, d.h. mittlere Leuchtdichte im Messfeld des Leuchtdichtemessers in cd/m^2

Ω_m = Raumwinkel des Messfeldes des Leuchtdichtemessers in sr.

Es gilt: $\Omega_m = 2 \pi (1 - \cos \alpha/2)$ für Kreiskegel mit dem vollen Öffnungswinkel α .

Ω_s = Raumwinkel der Lichtquelle in sr, vom Immissionsort aus gesehen.

Dabei ist vorausgesetzt, dass die Leuchtdichte im Messfeld außerhalb der Lichtquelle vernachlässigbar ist. Ist der Raumwinkel Ω_s der Lichtquelle größer als Ω_m und überdeckt er Ω_m vollständig, so wird flächenrepräsentativ an mehreren Punkten der Lichtquelle gemessen und aus den Messwerten der arithmetische Mittelwert gebildet. Dieser Wert gibt die mittlere Leuchtdichte \bar{L}_s der Lichtquelle an.

5.3.2

Umgebungsleuchtdichte

Die Leuchtdichte $\bar{L}_{u, \text{mess}}$ der Umgebung ist die durch Messung ermittelte mittlere Leuchtdichte in einem Winkelbereich von $\alpha_u = \pm 10^\circ$ um die zu beurteilende Lichtquelle. Bei der Messung ist die Zimmer- bzw. Terrassen- oder Balkonbeleuchtung auszuschalten. Die zu beurteilende Lichtquelle bleibt jedoch eingeschaltet, da diese die Umgebungsleuchtdichte mit beeinflussen kann. Messungen in Wohnräumen sind bei geöffnetem Fenster durchzuführen.

Die Umgebungsleuchtdichte kann mit einem Leuchtdichtemessgerät mit möglichst großer Messfeldblende (Winkeldurchmesser etwa $\geq 1^\circ$) ermittelt werden, indem räumlich repräsentativ an mehreren Punkten im Winkelbereich von $\pm 10^\circ$ um die zu beurteilende Lichtquelle gemessen wird. Die zu beurteilende Lichtquelle selber und ggf. weitere Blendquellen im 20° -Feld bleiben dabei ausgespart.

Sehr helle Lichtquellen wie z.B. Flutlichtstrahler müssen dabei nicht nur außerhalb des Messfeldes, sondern sogar außerhalb des Gesichtsfeldes des Leuchtdichtemessers bleiben, da andernfalls das Streulicht im Objektiv das Messergebnis zu sehr verfälscht. Die

Umgebungsleuchtdichte $\bar{L}_{u, \text{mess}}$ ergibt sich dann als Mittelwert der einzelnen Leuchtdichtemesswerte L_i .

5.3.3

Raumwinkel der Blendlichtquelle

Der Raumwinkel Ω_s wird bei direkt abstrahlenden Lampen durch die vom Immissionsort aus sichtbaren Lampenabmessungen aufgespannt. Wenn das Licht durch Reflexion, Refraktion oder Streuung an der Leuchte zum Immissionsort gelenkt wird, sind die vom Immissionsort aus sichtbaren lichtabstrahlenden Leuchtenabmessungen ("scheinbare" Leuchtengröße, das heißt die Flächenprojektion auf eine Ebene senkrecht zur Verbindungsgraden Immissionsort-Leuchte) zugrunde zu legen.

Die Ermittlung des Raumwinkels kann rechnerisch aus den Abmessungen der Blendlichtquelle, den Neigungswinkeln relativ zum Beobachter und dem Abstand zwischen der Blendlichtquelle und dem Immissionsort durchgeführt werden.

Der Raumwinkel Ω_s der Lichtquelle wird rechnerisch nach folgender Beziehung ermittelt:

$$\Omega_s = F_p / R^2 \quad (5)$$

mit

$$F_p = F_l \cdot \cos \varepsilon$$

Es bedeuten:

F_p = Projektion der lichtabstrahlenden Lampen- bzw. Leuchtenfläche auf eine Ebene senkrecht zur Verbindungsgeraden Immissionsort-Leuchte ("scheinbare" Leuchtengröße) in m^2

R = Direkter Abstand zwischen Lichtquelle und Immissionsort in m

F_l = Lichtaustrittsfläche der Leuchte, bzw. des Strahlers in m^2

ε = Winkel zwischen Lot auf die Leuchtenfläche und Verbindungsgerade Immissionsort-Leuchte

Da oft nicht alle Größen (R , F_l und ε) bekannt oder einfach zu ermitteln sind, können andere Methoden zur Bestimmung des Raumwinkels vorzuziehen sein.

Einfach zu ermitteln ist der Raumwinkel rechteckiger Flächen durch reine Winkelmessungen mittels Theodolit vom Immissionsort. Der Raumwinkel ergibt sich dann aus der Winkeldifferenz der Eckpunkte der Lichtaustrittsfläche zu:

$$\Omega_s = 4 \sin(\Delta V/2) \sin(\Delta H_z/2) \quad (6 \text{ a}) \text{ oder}$$

$$\Omega_s = \sin \Delta V \sin \Delta H_z \quad (6 \text{ b})$$

ΔH_z , ΔV (s. Anlage, Abb. 1)

Gleichung (6 b) gilt für nicht zu große Winkel. Der Fehler ist $> 0,2 \%$ für Winkel $> 5^\circ$, $> 1,7 \%$ für Winkel $> 15^\circ$.

Liegt das Strahlerfeld verdreht im Messfeld des Theodoliten, dann ergibt sich für kleine Winkel (bzw. Abstand zur Lichtquelle sehr groß im Vergleich zu den Abmessungen):

$$\Omega_s = [(\sin^2 \Delta h_1 + \sin^2 \Delta v_1) (\sin^2 \Delta h_2 + \sin^2 \Delta v_2)]^{1/2} \quad (7)$$

Δh_1 , Δh_2 , Δv_1 , Δv_2 (s. Anlage, Abb. 1)

Der mögliche Fehler bei der Raumwinkelbestimmung mit dem Theodoliten bewegt sich je nach Größe des zu ermittelnden Raumwinkels im Bereich von etwa 5% bis 10% . Als Theodolit eignen sich alle im Vermessungswesen eingesetzten Geräte. Moderne Geräte mit beleuchteter Messwertanzeige sind vorzuziehen. Zur Messung von Flutlichtstrahlern (sehr hohe Leuchtdichte) ist ein Graufilter notwendig.

Für die Messung des Raumwinkels Ω_s aus einer fotografischen Aufnahme, die vom Immissionsort aufgenommen wird, gilt für große Abstände $R \gg f$:

$$\Omega_s = F_{\text{Neg}}/f^2 \quad (8)$$

Es bedeutet:

F_{Neg} = Fläche des Bildes der Lichtquelle auf dem Negativ oder Dia in mm^2 .

f = Brennweite des Photoobjektivs in mm .

Bei der Aufnahme ist auf genaue Fokussierung und Verwacklungsfreiheit zu achten. Die Objektivbrennweite hängt von der Größe der Lichtquelle und ihrer Entfernung zum Immissionsort ab; sie liegt für das Kleinbildformat in einem Bereich von ca. 135 mm bis 1000 mm , um eine möglichst Format füllende Aufnahme zu erhalten. Ein Fotoapparat zur

fotografischen Ermittlung des Raumwinkels Ω_s benötigt verschiedene Objektive geeigneter Brennweite. Die Objektivbrennweite muss einmal an einem Objekt bekannter Größe in bekannter Entfernung überprüft werden. Es müssen stets mehrere Aufnahmen mit unterschiedlicher Belichtung gemacht werden, um eine optimal belichtete Aufnahme für die Auswertung zu erhalten.

6

Maßnahmen zur Minderung der Störwirkung

Insbesondere folgende Maßnahmen zur Minderung von Lichtimmissionen haben sich bewährt.

Bei der Festlegung des Leuchtenstandortes ist darauf zu achten, dass die Nachbarschaft möglichst wenig von Lichtimmissionen betroffen wird. Die evtl. Beeinträchtigung der Nachbarschaft ist abhängig von Ort, Neigung und Höhe der Leuchte. Oftmals sind mehrere räumlich verteilte Leuchten aus der Sicht des Nachbarschutzes günstiger als wenige zentrale Leuchten.

Direkte Blickverbindung zur Leuchte sollte vermieden werden. Ist dies nicht möglich, sind zum Schutz der Nachbarschaft Blenden vorzusehen (s. Abb. 2 a und 2 b im Anhang).

Für größere Plätze, die gleichmäßig ausgeleuchtet werden sollen (z.B. Lager- und Sportplätze), sind Scheinwerfer mit asymmetrischer Lichtverteilung zu verwenden, die oberhalb von 85° Ausstrahlungswinkel (zur Vertikalen) kein Licht abgeben, z.B. Strahler mit horizontaler Lichtaustrittsfläche (s. Abb. 2 c im Anhang).

Zeitlich veränderliches Licht (z.B. bei Leuchtreklamen) sollte durch gleichbleibendes Licht ersetzt werden, soweit dies mit dem Zweck der Anlage zu vereinbaren ist.

Lichtimmissionen aus Gebäuden (z.B. beleuchtete Arbeitsräume, Gewächshäuser etc.) können durch geeignete Abdunklungsmaßnahmen (Rollos, Jalousien o. Ä.) verhindert werden.

Verwendete Abkürzungen

E Beleuchtungsstärke, gemessen in lx

\overline{E}_F mittlere Beleuchtungsstärke am Immissionsort, normalerweise in der Fensterebene, bei Terrassen und Balkonen in der Ebene vertikaler Bezugsflächen

f Brennweite eines Photoobjektivs in mm

F_{Neg} Fläche des Bildes einer Lichtquelle auf einem fotografischen Negativ oder Dia in mm²

F_p Projektion der Lichtaustrittsfläche der Leuchte auf eine Ebene senkrecht zur Verbindungsgeraden Immissionsort-Leuchte in m²

R Direkter Abstand zwischen Lichtquelle und Immissionsort in m

F_l Lichtaustrittsfläche der Leuchte in m²

k Proportionalitätsfaktor zur Festlegung der Werte für die maximal tolerable mittlere Leuchtdichte einer Blendlichtquelle bzw. zur unmittelbaren Beschreibung der Güte der Blendungsbegrenzung

L Leuchtdichte, gemessen in cd/m²

\overline{L}_s Mittlere Leuchtdichte der zu beurteilenden Blendlichtquelle

$\overline{L}_{u, \text{mess}}$ Mittlere Leuchtdichte des (20°)-Umfeldes der zu beurteilenden Blendlichtquelle

L_u Messgebende Leuchtdichte der Umgebung der Blendlichtquelle

\bar{L}_{\max} Maximal tolerable mittlere Leuchtdichte einer Blendlichtquelle

\bar{L}_m Mittlere Leuchtdichte im Messfeld eines Leuchtdichtemessers

I Lichtstärke in cd

Ω Raumwinkel, unter dem eine (leuchtende) Fläche erscheint, gemessen in sr

$\Omega = F_p/R^2$ (F_p = Flächenprojektion; R = Abstand zur Fläche)

$\Omega = 2 \pi \cdot (1 - \cos \alpha/2)$ für Kreiskegel mit Öffnungswinkel α

Ω_s Raumwinkel, unter dem die zu beurteilende Blendlichtquelle erscheint

Ω_u Raumwinkel des Umfeldes; $\Omega_u = 0,095$ sr für $\alpha_u = 20^\circ$

Ω_m Raumwinkel zum Messfeld eines Leuchtdichtemessers,
z. B. $\Omega_m = 0,000239$ sr für $\alpha = 1^\circ$

α Voller Öffnungswinkel eines Kreiskegels, gemessen in Grad

α_u Voller Öffnungswinkel des kreisförmigen Umfeldes um die zu beurteilende Blendlichtquelle

Festlegung $\alpha_u = 20^\circ$

ε Winkel zwischen der Senkrechten auf der Lichtaustrittsfläche der Leuchte und der Verbindungsgeraden Immissionsort-Leuchte

$\Delta V, \Delta H_z, \Delta h_1, \Delta h_2, \Delta v_1, \Delta v_2$

Winkeldifferenzen bei Messung mit Theodolit, siehe Abb. 1

MBL NRW. 2000 S. 1283, ber. MBL.NRW. 2001 S. 457.