

DIN EN 13201-3

ICS 93.080.40

Entwurf

Einsprüche bis 2013-11-06
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 13201-3:2004-04 und
DIN EN 13201-3
Berichtigung 1:2007-07

**Straßenbeleuchtung –
Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale;
Deutsche Fassung prEN 13201-3:2013**

Road lighting –
Part 3: Calculation of performance;
German version prEN 13201-3:2013

Eclairage public –
Partie 3: Calcul des performances;
Version allemande prEN 13201-3:2013

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2013-09-06 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an fnl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN, 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 64 Seiten

Normenausschuss Lichttechnik (FNL) im DIN
Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13201-3:2013) ist in der gemeinsamen Arbeitsgruppe 12 des CEN/TC 169 „Licht und Beleuchtung“ und des CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ ausgearbeitet worden, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird. Für die deutsche Mitarbeit war der Arbeitsausschuss NA 058-00-11 AA „FNL/FGSV 3.02 Außenbeleuchtung“ im Normenausschuss Lichttechnik (FNL) verantwortlich.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13201-3:2004-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Norm wurde technisch überarbeitet.

Straßenbeleuchtung — Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale

Eclairage public — Partie 3 : Calcul des performances

Road lighting — Part 3: Calculation of performance

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.5a

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen.....	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Liste der Symbole und Abkürzungen	9
4 Mathematische Vereinbarungen	11
4.1 Allgemeines	11
4.2 Dezimalstellen der Anforderungen	11
5 Photometrische Daten.....	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Die I -Tabelle	12
5.2.1 Lineare Interpolation in der I -Tabelle	14
5.3 Die r -Tabelle	16
5.4 Lineare Interpolation in der r -Tabelle	17
6 Berechnung von $I(C, \gamma)$	18
6.1 Allgemeines	18
6.2 Mathematische Vereinbarungen bezüglich der auf der Straße zu messenden Entfernungen.....	18
6.3 Mathematische Vereinbarungen bezüglich der Drehungen	19
6.4 Berechnung von C und γ	20
7 Berechnung der photometrischen Größen	21
7.1 Leuchtdichte.....	21
7.1.1 Leuchtdichte an einem Punkt.....	21
7.1.2 Berechnungsfeld zur Berechnung von Leuchtdichten.....	23
7.1.3 Lage der Berechnungspunkte	23
7.1.4 Beobachterstandort.....	25
7.1.5 Bei der Berechnung zu berücksichtigende Leuchten.....	27
7.2 Beleuchtungsstärke	27
7.2.1 Allgemeines	27
7.2.2 Horizontale Beleuchtungsstärke an einem Punkt	28
7.2.3 Halbsphärische Beleuchtungsstärke an einem Punkt.....	28
7.2.4 Halbzylindrische Beleuchtungsstärke an einem Punkt	29
7.2.5 Vertikale Beleuchtungsstärke an einem Punkt.....	30
7.2.6 Berechnungsfeld zur Berechnung von Beleuchtungsstärken.....	31
7.2.7 Lage der Berechnungspunkte	31
7.2.8 Bei der Berechnung zu berücksichtigende Leuchten.....	32
7.2.9 Beleuchtungsstärke auf Flächen mit unregelmäßiger Form.....	32
8 Berechnung der Gütemerkmale	32
8.1 Allgemeines	32
8.2 Mittlere Leuchtdichte.....	33
8.3 Gesamtgleichmäßigkeit	33
8.4 Längsgleichmäßigkeit	33
8.5 Schwellenwerterhöhung $TI [f_{TI}]$	33

8.5.1	In der Berechnung enthaltene Leuchten.....	35
8.5.2	Verfahren zur <i>TI</i> -Berechnung	37
8.5.3	Erweiterung der <i>TI</i> -Berechnung von M-Klassen auf C- und P-Klassen (bezogen auf EN 13201-2 Gütemerkmale)	38
8.6	Randbeleuchtungsstärkeverhältnis <i>EIR</i> (Symbol R_{El})	39
9	Zusätzliche Daten	41
Anhang A (informativ) Konventionen mathematischer Informationstechnologie und Flussdiagramme		42
A.1	Mathematische und informationstechnologische Konventionen, die zusätzlich zu Abschnitt 4 genutzt werden, um Variablen zu definieren, die in den folgenden logischen Flussdiagrammen der Beleuchtungsberechnungsprogramme verwendet werden	42
A.2	Lineare Interpolation in den Tabellen.....	46
A.3	Informationstechnologische Anforderungen	48
Anhang B (informativ) Erweitertes <i>r</i> -Tabellen-Format für Leuchten mit niedriger Lichtpunkthöhe		60
Literaturhinweise		62

Vorwort

Dieses Dokument (prEN 13201-3:2013) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 169 „Licht und Beleuchtung“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 13201-3:2003 ersetzen.

Dieses Dokument EN 13201-3 wurde vom Gemeinschaftsarbeitsausschuss der Technischen Komitees CEN/TC 169 „Licht und Beleuchtung“ und CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Straßenbeleuchtung wird von CEN wie folgt behandelt:

CEN/TR 13201-1, *Straßenbeleuchtung — Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen*

EN 13201-2, *Straßenbeleuchtung — Teil 2: Gütemerkmale*

EN 13201-3, *Straßenbeleuchtung — Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale*

EN 13201-4, *Straßenbeleuchtung — Teil 4: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen*

EN 13201-5, *Straßenbeleuchtung — Teil 5: Energieeffizienzindikatoren*

Einleitung

Die in diesem Teil der Europäischen Norm beschriebenen Berechnungsmethoden ermöglichen die Berechnung der Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung nach vereinbarten Verfahren, damit die Ergebnisse, die von unterschiedlichen Planern stammen, eine einheitliche Basis erhalten.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt die Vereinbarungen und mathematischen Verfahren fest, die bei der Berechnung der lichttechnischen Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen zu verwenden sind, und die nach den in EN 13201-2 beschriebenen Parametern ausgelegt wurden, um sicherzustellen, dass jede Lichtberechnung auf denselben mathematischen Prinzipien basiert.

Das Entwurfsverfahren einer Beleuchtungsanlage erfordert auch das Wissen über die am beschriebenen Modell beteiligten Parameter, ihre Toleranzen und Schwankungen. Diese Aspekte werden nicht in diesem Teil der Norm betrachtet, es wird aber ein Verfahren zur Analyse ihres Beitrages in den erwarteten Ergebnissen in Teil 4 vorgeschlagen, welches ebenso in der Entwurfsphase genutzt werden kann.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 13032-1:2004, *Licht und Beleuchtung — Messung und Darstellung photometrischer Daten von Lampen und Leuchten — Teil 1: Messung und Datenformat*

EN 13201-2:2003, *Straßenbeleuchtung — Teil 2: Gütemerkmale*

EN 12665:2011, *Licht und Beleuchtung — Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in EN 12665:2011 angegebenen und die folgenden Begriffe.

3.1 Begriffe

3.1.1

Ausstrahlungswinkel (eines Lichtstrahles)

γ

Winkel zwischen der Lichtausstrahlungsrichtung und der nach unten gerichteten vertikalen Achse, die beide durch den Lichtschwerpunkt der Leuchte gehen

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Richtung $\gamma = 0$ zeigt daher auf den Nadir.

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 1.3.2.

3.1.2

Azimut (eines Lichtstrahls)

C

Winkel zwischen der vertikalen Halbebene, die die Lichtausstrahlungsrichtung enthält, und der Referenz-Halbebene, d. h. die vertikale Halbebene enthält die zweite Achse der Leuchte, wenn sich die Leuchte in der Messlage befindet

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.1.3

Lichteinfallswinkel (eines Lichtstrahls an einem Punkt der Fahrbahnoberfläche)

ε

Winkel zwischen dem Lichtstrahl und der Normalen der Fahrbahnoberfläche

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 4, Bild 12 und Bild 13.

3.1.4

Ablenkungswinkel (hinsichtlich des Leuchtdichtekoeffizienten)

β

Winkel zwischen den ausgerichteten vertikalen Ebenen, definiert durch den Beobachter und den Punkt der Beobachtung und definiert durch den Punkt der Beobachtung und der Leuchte

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 4.

3.1.5

Leuchtdichtekoeffizient (auf einem Element der Fahrbahnoberfläche, in vorgegebener Richtung, unter definierten Beleuchtungsbedingungen)

q

Quotient zwischen der Leuchtdichte des Oberflächenelementes in vorgegebener Richtung und der Beleuchtungsstärke auf der Oberfläche

Einheit sr^{-1}

Anmerkung 1 zum Begriff: $q = \frac{L}{E}$. (1)

Dabei ist

q der Leuchtdichtekoeffizient in reziproken Steradian;

L die Leuchtdichte in Candela je Quadratmeter;

E die Beleuchtungsstärke in lx.

3.1.6

reduzierter Leuchtdichtekoeffizient (für ein Oberflächenelement)

r

der mit der 3. Potenz des Kosinus' des Lichteinfallswinkels des Lichtes auf dem Oberflächenelement multiplizierte Leuchtdichtekoeffizient

Einheit sr^{-1}

Anmerkung 1 zum Begriff: Dies kann durch die Gleichung: $r = q \cos^3 \varepsilon$ beschrieben werden (siehe CIE 66). (2)

Dabei ist

q der Leuchtdichtekoeffizient in reziproken Steradian;

ε der Lichteinfallswinkel in Grad.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der Beobachtungswinkel α (siehe Bild 4) beeinflusst den Wert von r . Nach den in EN 13201-2 spezifizierten Anforderungen wurde dieser Winkel auf 1° festgelegt und dieser Wert wird für die in dieser Norm beschriebenen Berechnungen übernommen, r ist für Werte von α von 0,5° bis 1,5° näherungsweise konstant.

3.1.7

Messlage (einer Leuchte)

θ_m

Winkel zwischen der definiert vorgegebenen Achse und der Horizontalen, wenn die Leuchte für die Messung positioniert ist

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 7.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die definiert vorgegebene Achse kann durch jedes Merkmal der Leuchte definiert werden, im Allgemeinen liegt diese jedoch bei seitlich montierten Leuchten in der Mündung der Leuchtenüberdachung in einer Linie mit der Achse der Muffenverbindung. Ein weiteres allgemein übliches Merkmal ist die Achse des Muffenverbindungseingangs.

3.1.8

Neigung für die Berechnung (einer Leuchte)

δ

der Winkelunterschied zwischen der Betriebsneigung und der Messlage

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 6 und Bild 7.

3.1.9

Betriebsneigung (einer Leuchte)

θ_f

Winkel zwischen der definiert vorgegebenen Achse der für die Anwendung montierten Leuchte und der Horizontalen

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 6.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die definiert vorgegebene Achse kann durch jedes Merkmal der Leuchte definiert werden, im Allgemeinen liegt diese jedoch bei seitlich montierten Leuchten in der Mündung der Leuchtenüberdachung in einer Linie mit der Achse der Muffenverbindung. Ein weiteres allgemein übliches Merkmal ist die Achse des Muffenverbindungseingangs.

3.1.10

Orientierungswinkel (einer Leuchte)

ν

bei senkrecht stehender erster photometrischer Achse der Leuchte ist der Orientierungswinkel der Winkel, den eine gewählte Referenzrichtung mit der $C = 0^\circ$, $\gamma = 90^\circ$ -Messrichtung der Leuchte bildet

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einer geraden Straße ist die Längsrichtung die Referenzrichtung.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Vereinbarungen sind in Bild 6 dargestellt.

3.1.11

Drehwinkel (einer Leuchte)

ψ

Winkel, den die erste photometrische Achse der Leuchte mit dem Fußpunkt der Leuchte in der Ebene $C = 0^\circ$, $C = 180^\circ$ bildet, wenn die Messlage null ist

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 6, in dem die Vereinbarungen dargestellt sind.

3.1.12

erste photometrische Achse (einer Leuchte, die im (C, γ) -Koordinatensystem gemessen wird)

Achse durch den Lichtschwerpunkt der Leuchte und senkrecht zur Ebene, die den Lichtaustrittsschwerpunkt darstellt

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Polachse des (C, γ) -Koordinatensystems stimmt nicht notwendigerweise mit der ersten Achse der Leuchte überein, wenn sich die Leuchte in Messlage befindet.

3.1.13

Längsrichtung

zur Straßenachse parallel liegende Richtung

3.1.14

Querrichtung

rechtwinklig zur Straßenachse liegende Richtung

Anmerkung 1 zum Begriff: In einer Kurve der Straße entspricht die Querrichtung dem Krümmungsradius am betrachteten Punkt der Straße.

3.1.15

Installationsazimut (hinsichtlich eines gegebenen Punktes der Straßenoberfläche und einer gegebenen Leuchte in Messlage)

φ

Winkel, der bei einer Leuchte in Messlage von einer gewählten Referenz-Richtung — bei einer geraden Straße die Längsrichtung — mit der vertikalen Ebene gebildet wird, die durch den gegebenen Punkt und Lichtschwerpunkt der Leuchte definiert ist

Einheit ° (Grad)

Anmerkung 1 zum Begriff: Siehe Bild 4.

3.2 Liste der Symbole und Abkürzungen

Die in dieser Norm verwendeten Symbole und Abkürzungen sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen

Größe		Einheit
Symbol	Name oder Beschreibung	
A	Beobachteralter	Jahre
C	Photometrischer Azimutwinkel (Bild 1)	° (Grad)
D	Abstand zwischen Berechnungspunkten in Längsrichtung (siehe Bild 9 und Bild 14)	m
d	Abstand zwischen Berechnungspunkten in Querrichtung (siehe Bild 9 und Bild 14)	m
$\bar{E}$	Generisches Symbol für die mittlere Beleuchtungsstärke	lx
EIR	Randbeleuchtungsstärkeverhältnis (siehe R_{EI})	—
E_h	Horizontale Beleuchtungsstärke in einem Punkt	lx
E_{hs}	halbsphärische Beleuchtungsstärke in einem Punkt	lx
E_{sc}	halbzylindrische Beleuchtungsstärke in einem Punkt	lx

Größe		Einheit
Symbol	Name oder Beschreibung	
E_V	Vertikale Beleuchtungsstärke in einem Punkt	lx
f_M	Gesamtwartungsfaktor in Abhängigkeit des Lichtquellen-Lichtstrom-Wartungsfaktors und des Leuchten-Wartungsfaktors	—
H	Lichtpunkthöhe	m
$I(c, \gamma)$	Lichtstärketabelle im C, γ -System. Auch I -Tabelle genannt.	cd
j, m	Zeilen- und Spaltennummern einer Tabelle	—
$\bar{L}$	Generisches Symbol für die mittlere Leuchtdichte	cd/m ²
L_V	Äquivalente Schleierleuchtdichte	cd/m ²
L	Leuchtdichte in einem Punkt	cd/m ²
N	Anzahl der Berechnungspunkte in Längsrichtung eines Rasters (siehe Bild 9 und Bild 14)	—
n	Anzahl der Berechnungspunkte in Querrichtung eines Rasters (siehe Bild 9 und Bild 14)	—
n_{Lu}	Anzahl der bei der Berechnung berücksichtigten Leuchten	—
q	Leuchtdichtekoeffizient	sr ⁻¹
Q_0	Mittlerer Leuchtdichtekoeffizient	sr ⁻¹
r	Reduzierter Leuchtdichtekoeffizient	sr ⁻¹
$r(\tan \varepsilon, \beta)$	Reduzierte-Leuchtdichtekoeffizienten-Tabelle. Auch r -Tabelle genannt.	sr ⁻¹
R_{EI}	Randbeleuchtungsstärkeverhältnis	—
S	Abstand zwischen den Leuchten	m
TI	Schwellenwerterhöhung [R_{TI}]	%
W_L	Breite der Fahrspur	m
W_r	Breite der betrachteten Fläche oder der Fahrbahn	m
W_S	Breite eines Streifens	m
x	Abszisse im (x, y) Koordinatensystem (Bild 5)	m
y	Ordinate im (x, y) Koordinatensystem (Bild 5)	m
α	Beobachtungswinkel der Straßenoberfläche (Bild 4)	° (Grad)
α_k	Winkel zwischen der Normalen zur ebenen Oberfläche des Halbzylinders und der vertikalen Ebene, die den Lichtstrahl enthält (Bild 12) oder der Winkel zwischen der Normale zur ausgewählten vertikalen Ebene und der vertikalen Ebene, die den Lichtstrahl enthält (Bild 13)	° (Grad)
β	Ausstrahlungswinkel (Bild 4)	° (Grad)
γ	Photometrischer Höhenwinkel (Bild 1)	° (Grad)
δ	Leuchten-Neigung für Berechnung (Bild 6 und Bild 7)	° (Grad)

Größe		Einheit
Symbol	Name oder Beschreibung	
ε	Lichteinfallswinkel (Bild 4)	° (Grad)
ε_k	Lichteinfallswinkel für halbzylindrische und vertikale Beleuchtungsstärke (Bild 12 und Bild 13)	° (Grad)
θ_f	Betriebsneigung (Bild 7)	° (Grad)
θ_m	Messlage (Bild 7)	° (Grad)
ν	Orientierung der Leuchte (Bild 6)	° (Grad)
φ	Installationsazimut (Bild 4)	° (Grad)
ψ	Drehwinkel der Leuchte (Bild 6)	° (Grad)

4 Mathematische Vereinbarungen

4.1 Allgemeines

Es gelten folgende Grundvereinbarungen für die mathematischen Verfahren, die in dieser Norm beschrieben werden:

- die Leuchte wird als punktförmige Lichtquelle gleichmäßiger Leuchtdichte betrachtet;
- Licht, das von der Umgebung reflektiert wird, und interreflektiertes Licht wird vernachlässigt;
- Abschattung des Lichtes der Leuchten durch Bäume oder andere Objekte wird vernachlässigt;
- die atmosphärische Absorption ist null;
- die Fahrbahnoberfläche ist eben und besitzt innerhalb der betrachteten Fläche einheitliche Reflexionseigenschaften;
- die Berechnung in I -Tabellen und r -Tabellen muss durch lineare Interpolation erreicht werden.

ANMERKUNG Im Falle durchgehender Leuchten-Strecken, gewöhnlich mit niedriger Lichtpunkthöhe, ist es ratsam zu prüfen, ob der Abstand zwischen dem optischen Zentrum jeder Leuchte zum nächstgelegenen Punkt des Berechnungsrasters größer oder gleich der fünffachen Länge der leuchtenden Oberfläche einer einzelnen Leuchte ist. Ist dies nicht der Fall, ist es notwendig, Nahfeld-Photometrie durch die Fragmentierung der Leuchte in virtuelle Punktlichtquellen mit derselben Lichtverteilung wie die gesamte Leuchte, zu simulieren. Der Lichtstrom jeder virtuellen Lichtquelle sollte einen gleichen Anteil am Gesamtlichtstrom der Leuchte haben.

Die Ergebnisse müssen in der Form und in der angegebenen Stellenanzahl entsprechend den Anforderungstabellen aus EN 13201-2 präsentiert werden, die im Folgenden zusammengefasst ist:

4.2 Dezimalstellen der Anforderungen

	$\bar{L}$	u_o	u_l	$TI\%$	EIR	$\bar{E} < 10 \text{ lux}$	$10 \text{ lux} \leq \bar{E} \leq 20 \text{ lux}$	$\bar{E} > 20 \text{ lux}$
Anzahl der Dezimalstellen	2	2	2	0	2	2	1	0

5 Photometrische Daten

5.1 Allgemeines

Die lichttechnischen Daten der Lichtverteilung der in den Beleuchtungsanlagen verwendeten Leuchten werden benötigt, um die Berechnungen der lichttechnischen Eigenschaften der Beleuchtung nach dieser Norm durchführen zu können. Diese Daten werden in Form einer Lichtstärketabelle (*I*-Tabelle), die die Verteilung der von der Leuchte in allen relevanten Richtungen ausgehenden Lichtstärke angibt, dargestellt. Wenn Leuchtdichteberechnungen vorzunehmen sind, sind die photometrischen Daten der Reflexionseigenschaften der Straßenoberfläche in Form einer *r*-Tabelle erforderlich.

Bei der Anwendung beider Tabellen werden Interpolationen benötigt, um Schätzwerte für Richtungen, die zwischen den tabellierten Winkeln liegen, zu ermöglichen.

5.2 Die *I*-Tabelle

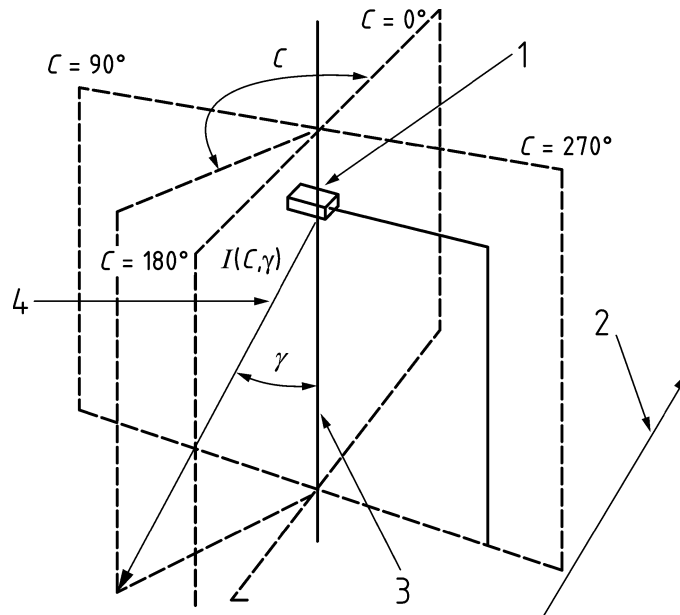
Für die Berechnungen, die in dieser Norm vorgenommen werden, muss eine Lichtstärketabelle (*I*-Tabelle), die das Verhalten der Leuchte mit der erforderlichen Genauigkeit für das Ziel der Berechnung beschreibt, genutzt werden. Diese *I*-Tabelle muss in Übereinstimmung mit EN 13032-1:2004 angefertigt sein. Für Leuchten von Straßenbeleuchtungsanlagen wird das *C*-Ebenen-Koordinatensystem, wie in Bild 1 dargestellt, verwendet. Für Flutlichtanlagen kann die im *B*-Koordinatensystem gemessene Intensitätsverteilung akzeptiert werden, falls das Berechnungsprogramm die Intensitätswerte in das *C*-Ebenen-Koordinatensystem übertragen kann. Im Bild ist die Leuchte in der Messlage dargestellt.

Die Lichtstärke ist in Candela anzugeben.

Der für die Berechnung benutzte Lichtstrom ist im Berechnungsbericht anzugeben.

Sofern nicht spezifische Bedingungen im Berechnungsbericht erwähnt werden, muss der verwendete Lichtstrom, der Lichtstrom von der im Datenblatt der Leuchte erwähnten Lichtquelle sein.

ANMERKUNG Falls in der Lichtstärketabelle Candela je Kilolumen (cd/klm) angegeben sind, müssen diese Werte in Candela konvertiert werden, wobei der Lichtstrom aller Lichtquellen der Leuchte berücksichtigt wird.



Legende

- 1 Leuchte in Messlage
- 2 Längsrichtung
- 3 vertikale Richtung
- 4 Richtung der Lichtstärke

Bild 1 — Orientierungswinkel des (C, γ) -Koordinatensystems in Bezug auf die Längsrichtung der Fahrbahn

Die in dieser Norm festgelegten maximalen Winkelintervalle wurden ausgewählt, um eine akzeptable Interpolations-Genauigkeit zu gewährleisten.

Im (C, γ) -Koordinatensystem müssen die unten angegebenen Winkelintervalle mit Lichtstärkewerten versehen werden.

Für alle Leuchten dürfen die Winkelintervalle in den vertikalen Ebenen von 0° bis 180° (γ) höchstens $2,5^\circ$ betragen. Im Azimut müssen die Intervalle je nach der Symmetrie der Lichtverteilung der Leuchte wie folgt variiert werden:

- a) Leuchten ohne Symmetrie in Bezug auf die $C = 0^\circ$ -Ebene: Beginnend bei 0° und endend bei 355° dürfen die Intervalle höchstens 5° betragen, wenn die Leuchte sich in Messlage befindet.
- b) Leuchten mit Symmetrie in Bezug auf die $C = 270^\circ - 90^\circ$ -Ebene: Beginnend bei 270° und endend bei 90° dürfen die Intervalle höchstens 5° betragen, wenn die Leuchte sich in Messlage befindet.
- c) Leuchten mit Symmetrie in Bezug auf die $C = 270^\circ - 90^\circ$ und $C = 0^\circ - 180^\circ$ -Ebene: Beginnend bei 0° und endend bei 90° dürfen die Intervalle höchstens 5° betragen, wenn die Leuchte sich in Messlage befindet.
- d) Leuchten mit in allen C -Ebenen gleicher Lichtverteilung: Es wird nur eine repräsentative Messreihe in einer Vertikalen (einer C -Ebene) benötigt.

Falls Normen für spezifische Leuchten-Typologien existieren und verbesserte Winkelabstände vorschreiben, müssen diese angewandt werden.

Die oben angegebenen Winkelabstände müssen im Fall einer großen Gradientenvariation aufeinanderfolgender Lichtstärken reduziert werden.

ANMERKUNG In diesem Fall ist es die Aufgabe der photometrischen Labore, die I -Tabelle mit den relevanten verringerten Winkelabständen, die anhand der in der photometrischen Datei enthaltenen Winkel definiert wurden, bereitzustellen.

Dazu sind die folgenden oder mathematisch äquivalente Gleichungen zu verwenden:

Interpolation auf C -Winkeln

$$\frac{I(C, \gamma_j) - I(C_m, \gamma_j)}{I(C_{m+1}, \gamma_j) - I(C_m, \gamma_j)} = \frac{C - C_m}{C_{m+1} - C_m} \quad (3)$$

Dabei ist

$I(C_m, \gamma_j)$ Lichtstärke in Spalte m und Zeile j der I -Tabelle, und analog bei den anderen, gleichartigen Symbolen.

C Azimut, gemessen über der ersten photometrischen Achse;

γ vertikaler Winkel, gemessen von der ersten photometrischen Achse;

$j, j+1, m, m+1$ Spalten- oder Zeilennummern in der I -Tabelle.

Woraus folgt:

$$I(C, \gamma_j) = I(C_m, \gamma_j) + \frac{C - C_m}{C_{m+1} - C_m} \cdot (I(C_{m+1}, \gamma_j) - I(C_m, \gamma_j)) \quad (4)$$

Gleichermaßen:

$$\frac{I(C, \gamma_{j+1}) - I(C_m, \gamma_{j+1})}{I(C_{m+1}, \gamma_{j+1}) - I(C_m, \gamma_{j+1})} = \frac{C - C_m}{C_{m+1} - C_m} \quad (5)$$

Woraus folgt:

$$I(C, \gamma_{j+1}) = I(C_m, \gamma_{j+1}) + \frac{C - C_m}{C_{m+1} - C_m} \cdot (I(C_{m+1}, \gamma_{j+1}) - I(C_m, \gamma_{j+1})) \quad (6)$$

Zuletzt, Interpolation aus γ :

$$\frac{I(C, \gamma) - I(C, \gamma_j)}{I(C, \gamma_{j+1}) - I(C, \gamma_j)} = \frac{\gamma - \gamma_j}{\gamma_{j+1} - \gamma_j} \quad (7)$$

Woraus letztendlich folgt:

$$I(C, \gamma) = I(C, \gamma_j) + \frac{\gamma - \gamma_j}{\gamma_{j+1} - \gamma_j} \cdot (I(C, \gamma_{j+1}) - I(C, \gamma_j))$$

$$\frac{I(C, \gamma_j) - I(C_m, \gamma_j)}{I(C_{m+1}, \gamma_j) - I(C_m, \gamma_j)} = \frac{C - C_m}{C_{m+1} - C_m} \quad (8)$$

In diesen Gleichungen wird die Interpolation zunächst in den C -Halbebenen und dann in den γ -Kegeln ausgeführt. Die Reihenfolge der Interpolation kann auch vertauscht werden (d. h., die Interpolation wird zuerst in den γ -Kegeln und dann in den C -Halbebenen ausgeführt), was zum gleichen Ergebnis führt.

Tabelle 2 — Winkelintervalle und Richtungen, die bei der Aufstellung von Reflexionsdaten der Fahrbahnoberfläche zu verwenden sind

tan ε	β Grad																			
	0	2	5	10	15	20	25	30	35	40	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
0	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0,25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
0,75	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1,25	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
1,75	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
6	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
6,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X											
7	X	X	X	X	X	X	X	X												
7,5	X	X	X	X	X	X	X													
8	X	X	X	X	X	X	X													
8,5	X	X	X	X	X	X	X													
9	X	X	X	X	X	X														
9,5	X	X	X	X	X	X														
10	X	X	X	X	X	X														
10,5	X	X	X	X	X	X														
11	X	X	X	X	X	X														
11,5	X	X	X	X	X															
12	X	X	X	X	X															

Ein Kreuz in Tabelle 2 deutet auf den benötigten r -Wert, der bekannt sein muss.

ANMERKUNG In Tabelle 2 zeigen leere Zellen an, dass diese Richtung nicht für die Berechnung genutzt werden sollte, wodurch die Kenntnis von r für diese Richtungen für diese Norm nicht relevant ist.

5.4 Lineare Interpolation in der r -Tabelle

Wenn ein r -Wert für Werte von $\tan \varepsilon$ und β , die zwischen den in der r -Tabelle angegebenen Werten liegen, benötigt wird, ist eine lineare Interpolation notwendig.

Tabelle 2 gibt die Winkelrichtungen an, für die der reduzierte Leuchtdichtekoeffizient, bei Leuchten, die in einer Höhe von mehr als 2 m über der Straßenoberfläche platziert werden, spezifiziert werden muss.

Für Leuchten von Beleuchtungsanlagen, die in einer Höhe von weniger oder gleich 2 m über der Straßenoberfläche platziert werden, schlägt Anhang B den erweiterten Satz von Winkelrichtungen vor.

Das mathematische Verfahren ist dem für die I -Tabelle in 5.2.1 beschriebenen Verfahren ähnlich, wobei $\tan \varepsilon$ die Winkel der C -Halbebene und β die Winkel γ ersetzen.

Wiederum kann die Interpolation mit diesen Gleichungen erst für die $\tan \varepsilon$ -Werte und danach für die β -Halbebenen durchgeführt werden. Die Reihenfolge der Interpolation kann auch vertauscht werden (d. h., die Interpolation wird zuerst in den β -Halbebenen und dann in den $\tan \varepsilon$ -Werten ausgeführt), was zum gleichen Ergebnis führt.

6 Berechnung von $I(C, \gamma)$

6.1 Allgemeines

Um die Lichtstärke einer Leuchte an einem Punkt zu bestimmen, ist es notwendig, den vertikalen photometrischen Winkel (γ) und den photometrischen Azimut (C) des auf den Punkt gerichteten Lichtstrahls zu ermitteln. Dafür müssen die Messlage, die Betriebsneigung, der Orientierungswinkel und der Drehwinkel der Leuchte berücksichtigt werden. Zu diesem Zweck müssen Vereinbarungen über mathematische Bezeichnungen der Messentfernungen auf der Straße und der Drehungen um Achsen vorgenommen werden. Es wird das rechtshändige kartesische Koordinatensystem verwendet. Die Korrekturen für Drehbewegungen erlauben keine Anpassungen des Lichtstromes der Lichtquelle bezüglich der Drehbewegung.

6.2 Mathematische Vereinbarungen bezüglich der auf der Straße zu messenden Entfernungen

Es wird ein rechtwinkliges (x, y) -Koordinatensystem verwendet (Bild 5). Die Abszisse entspricht der Referenzrichtung, die bei einer geraden Straße in Längsrichtung liegt. Dann gilt:

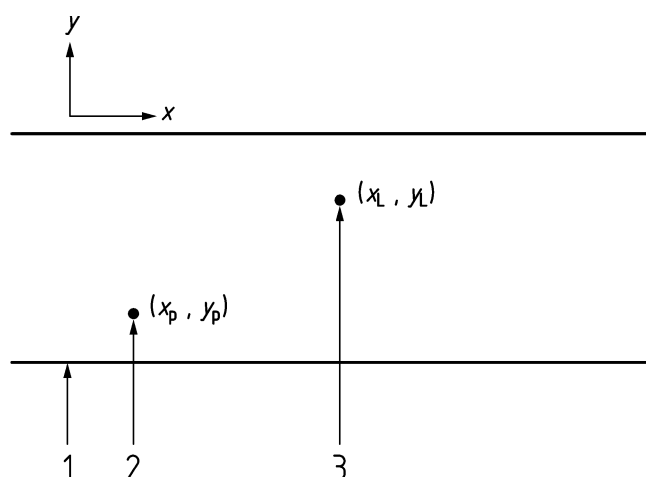
$$x_{LP} = x_P - x_L \quad (9)$$

$$y_{LP} = y_P - y_L \quad (10)$$

Dabei ist

(x_P, y_P) die Koordinaten des Berechnungspunktes;

(x_L, y_L) die Koordinaten der Leuchte.



Legende

- 1 Fahrbahnrand
- 2 Berechnungspunkt
- 3 Leuchte

Bild 5 — (x, y) -Koordinatensystem zur Lokalisierung einer Leuchte im Plan