

DIN EN 13201-3

ICS 93.080.40

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 EN 13201-3:2015**

Road lighting –
Part 3: Calculation of performance;
German version EN 13201-3:2015

Eclairage public –
Partie 3: Calcul des performances;
Version allemande EN 13201-3:2015

Gesamtumfang 65 Seiten

DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument ist in der gemeinsamen Arbeitsgruppe CEN/TC 169/WG 12 des CEN/TC 169 „Licht und Beleuchtung“, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird, und des CEN/TC 226 „Straßenausstattung“, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird, ausgearbeitet worden.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 058-00-11 AA „FNL/FGSV 3.02 Außenbeleuchtung“ im DIN-Normenausschuss Lichttechnik (FNL).

Änderungen

Gegenüber DIN EN 13201-3:2004-04 und DIN EN 13201-3 Berichtigung 1:2007-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Um die Berechnung vor dem Erreichen einer Entfernung von 500 m zu beenden, erfolgt bei der Berechnung der Schleierleuchtdichte L_v keine Prüfung mehr auf den Beitrag von wenigstens 2 % der nächsten Leuchte in der Zeile (dies geschieht, um mehrdeutige Interpretationen, die durch unterschiedliche Ergebnisse mit unterschiedlicher Software erzeugt werden können, zu vermeiden).
- b) Die Standardeinstellung beträgt ungefähr 500 m, aber es gibt eine Alternative, um nur die Leuchten einer kürzeren Anlage zu speichern. Dieser letzte Fall sollte beim Beleuchtungsentwurf durch die Anzahl der Leuchten, die in die Berechnung von f_{TI} einbezogen wurden, deutlich erwähnt werden.
- c) Es gibt eine neue Gleichung zur Berechnung der Schleierleuchtdichte L_v , die einen größeren Bereich von θ -Werten abdeckt. Dadurch kann auch der Fall, bei dem sich Leuchten sehr dicht an der Sichtachse des Beobachters befinden ($0,1^\circ < \theta < 1,5^\circ$) durch Gleichung (38) evaluiert werden.

Frühere Ausgaben

DIN 5044: 1955-05, 1963-08, 1970-07, 1975-06

DIN 5044-1: 1981-09

Beiblatt zu DIN 5044: 1962-09, 1972-04

DIN 5044-2: 1982-08

DIN 67528: 1976-05, 1993-12

DIN EN 13201-3: 2004-04

DIN EN 13201-3 Berichtigung 1:2007-07

Deutsche Fassung

Straßenbeleuchtung — Teil 3: Berechnung der Gütemerkmale

Road lighting —
Part 3: Calculation of performance

Eclairage public —
Partie 3: Calcul des performances

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 6. Juni 2015 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Terminologie	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Liste der Symbole und Abkürzungen	9
4 Mathematische Konventionen	11
4.1 Allgemeines	11
4.2 Dezimalstellen der Anforderungen	11
5 Photometrische Daten	12
5.1 Allgemeines	12
5.2 Die <i>I</i> -Tabelle	12
5.2.1 Koordinatensystem und empfohlene Winkelintervalle der <i>I</i> -Tabelle	12
5.2.2 Lineare Interpolation in der <i>I</i> -Tabelle	14
5.3 Die <i>r</i> -Tabelle	16
5.3.1 Format der <i>r</i> -Tabelle	16
5.3.2 Lineare Interpolation in der <i>r</i> -Tabelle	18
6 Berechnung von $I(C, \gamma)$	19
6.1 Allgemeines	19
6.2 Mathematische Konventionen bezüglich auf der Straße gemessener Abstände	19
6.3 Mathematische Konventionen bezüglich der Drehungen	20
6.4 Berechnung von C und γ	21
6.4.1 Berechnung von x', y' und H'	21
6.4.2 Berechnung des Installationsazimuts φ	22
6.4.3 Berechnung von C	22
6.4.4 Berechnung von γ	22
7 Berechnung der photometrischen Größen	23
7.1 Leuchtdichte	23
7.1.1 Leuchtdichte an einem Punkt	23
7.1.2 Berechnungsfeld für Leuchtdichten	24
7.1.3 Lage der Berechnungspunkte	25
7.1.4 Beobachterstandort	27
7.1.5 Bei der Berechnung zu berücksichtigende Leuchten	29
7.2 Beleuchtungsstärke	29
7.2.1 Allgemeines	29
7.2.2 Horizontale Beleuchtungsstärke an einem Punkt	30
7.2.3 Halbsphärische Beleuchtungsstärke an einem Punkt	30
7.2.4 Halbzylindrische Beleuchtungsstärke an einem Punkt	31
7.2.5 Vertikale Beleuchtungsstärke an einem Punkt	32
7.2.6 Berechnungsfeld für die Beleuchtungsstärken	33
7.2.7 Lage der Berechnungspunkte	33
7.2.8 Bei der Berechnung zu berücksichtigende Leuchten	34
7.2.9 Beleuchtungsstärke auf Flächen mit unregelmäßiger Form	35
8 Berechnung der Gütemerkmale	35
8.1 Allgemeines	35

8.2	Mittlere Leuchtdichte.....	35
8.3	Gesamtgleichmäßigkeit.....	35
8.4	Längsgleichmäßigkeit.....	35
8.5	Schwellenwerterhöhung f_{TI}	36
8.5.1	Festlegung und konventionelle Hypothesen.....	36
8.5.2	Verfahren zur Berechnung der Schwellenwerterhöhung.....	38
8.5.3	Berechnung der Schwellenwerterhöhung für die Beleuchtungsklassen C und P.....	39
8.6	Randbeleuchtungsstärkeverhältnis R_{EI}	40
9	Zusätzliche Daten.....	42
Anhang A (informativ) Konventionen mathematischer Informationstechnologie und Flussdiagramme.....		43
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.....	43
A.2	Lineare Interpolation in den Tabellen.....	48
A.3	Informationstechnologische Anforderungen.....	50
Anhang B (informativ) Erweitertes r -Tabellen-Format für Leuchten mit niedriger Lichtpunkthöhe.....		61
Literaturhinweise.....		63

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 13201-3:2015) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 169 „Licht und Beleuchtung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2016 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN 13201-3:2003.

Im Vergleich zu EN 13201-3:2003 wurden drei wesentliche Änderungen vorgenommen:

- Um die Berechnung vor dem Erreichen einer Entfernung von 500 m zu beenden, erfolgt bei der Berechnung der Schleierleuchtdichte L_v keine Prüfung mehr auf den Beitrag von wenigstens 2 % der nächsten Leuchte in der Zeile (dies geschieht zu Vermeidung von mehrdeutigen Interpretationen, die durch unterschiedliche Ergebnisse mit unterschiedlicher Software erzeugt werden können).
- Die Standardeinstellung beträgt ungefähr 500 m, aber es gibt eine Alternative, um nur die Leuchten einer kürzeren Anlage zu speichern. Dieser letzte Fall sollte während der Planung der Beleuchtung durch die Anzahl der Leuchten, die in die Berechnung von f_{TI} einbezogen wurden, deutlich herausgestellt werden.
- Es gibt eine neue Gleichung zur Berechnung der Schleierleuchtdichte L_v , die einen größeren Bereich von θ -Werten abdeckt. Dadurch kann auch der Fall, bei dem sich Leuchten sehr dicht an der Sichtachse des Beobachters, $0,1^\circ < \theta < 1,5^\circ$, befinden durch Gleichung (38) evaluiert werden.

ANMERKUNG für Programmierer: Die Berechnung der Schwellenwerterhöhung f_{TI} (neues Symbol für die TI-Angabe) wurde mit der Überarbeitung von EN 13201-3:2003 geändert.

Diese Europäische Norm wurde vom Gemeinschaftsarbeitsausschuss der Technischen Komitees CEN/TC 169 „Licht und Beleuchtung“ und CEN/TC 226 „Straßenausstattung“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

EN 13201, *Straßenbeleuchtung* ist eine Reihe von Dokumenten, die aus den folgenden Teilen besteht:

- *Teil 1: Leitfaden zur Auswahl der Beleuchtungsklassen* [Technischer Bericht];
- *Teil 2: Güte Merkmale* ;
- *Teil 3: Berechnung der Güte Merkmale* [dieses Dokument];
- *Teil 4: Methoden zur Messung der Güte Merkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen*;
- *Teil 5: Energieeffizienzindikatoren*.

Entsprechend der CEN-CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Einleitung

Die in diesem Teil von EN 13201 dargestellten Berechnungsmethoden ermöglichen die Berechnung der Gütemerkmale der Straßenbeleuchtung nach vereinbarten Verfahren, damit die Ergebnisse, die von unterschiedlichen Planern stammen, eine einheitliche Grundlage haben.

1 Anwendungsbereich

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

Das Planungsverfahren einer Beleuchtungsanlage erfordert zugleich Kenntnisse über die am beschriebenen Modell beteiligten Parameter, ihre Toleranzen und Schwankungen. Diese Aspekte werden in diesem Teil von EN 13201 nicht berücksichtigt, es wird aber ein Verfahren zur Analyse ihres Beitrages in den erwarteten Ergebnissen in EN 13201-4 vorgeschlagen, welches gleichfalls in der Planungsphase 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 12665:2011, *Licht und Beleuchtung — Grundlegende Begriffe und Kriterien für die Festlegung von Anforderungen an die Beleuchtung*

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

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

3 Terminologie

3.1 Begriffe

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

3.1.1

Ausstrahlungswinkel

γ

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Richtung $\gamma = 0$ zeigt daher auf den Fußpunkt.

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.1.2

Azimut

C

Winkel zwischen der vertikalen Halbebene, die die Lichtausstrahlungsrichtung enthält, und der Referenz-Halbebene

Anmerkung 1 zum Begriff: D. h. die vertikale Halbebene enthält die zweite Achse der Leuchte, wenn sich die Leuchte in ihrer Messneigung befindet

Anmerkung 2 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 3 zum Begriff: Siehe Bild 1.

3.1.3

Lichteinfallswinkel

ε

Winkel zwischen dem Lichtstrahl an einem Punkt der Fahrbahnoberfläche und der Normalen der Fahrbahnoberfläche

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 4, Bild 12 und Bild 13.

3.1.4

Ablenkungswinkel

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 (hinsichtlich des Leuchtdichtekoeffizienten)

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 4.

3.1.5

Leuchtdichtekoeffizient

q

Quotient der Leuchtdichte eines Oberflächenelements in einer gegebenen Richtung und der Beleuchtungsstärke auf dem Oberflächenelement

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit sr^{-1} .

Anmerkung 2 zum Begriff:

$$q = \frac{L}{E} \quad (1)$$

Dabei ist

q der Leuchtdichtekoeffizient, in reziproken Steradian (sr^{-1});

L die Leuchtdichte, in Candela je Quadratmeter ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$);

E die Beleuchtungsstärke, in Lux (lx).

3.1.6

reduzierter Leuchtdichtekoeffizient

r

mit der 3. Potenz des Kosinus' des Lichteinfallswinkels auf dem Oberflächenelement multiplizierter Leuchtdichtekoeffizient eines Oberflächenelements

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit sr^{-1} .

Anmerkung 2 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 3 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 $0,5^\circ$ bis $1,5^\circ$ näherungsweise konstant.

3.1.7

Messneigung

θ_m

Winkel zwischen der definierten Bezugsachse einer Leuchte und der Horizontalen, wenn die Leuchte für die Messung positioniert ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 7.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die definierten Bezugsachse kann durch jedes Merkmal der Leuchte definiert werden, im Allgemeinen liegt sie bei seitlich montierten Leuchten jedoch in der Richtung der Leuchtenabdeckung in einer Linie mit der Achse des Leuchtenansatzes. Ein weiteres, allgemein übliches Merkmal ist die Achse des Leuchtenansatzes.

3.1.8

Neigung für die Berechnung

δ

Winkelunterschied zwischen der Betriebsneigung und der Messneigung einer Leuchte

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 7.

3.1.9

Betriebsneigung

θ_f

Winkel zwischen der definierten Bezugsachse einer Leuchte und der Horizontalen, wenn die Leuchte zum Zweck der Nutzung montiert wurde

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 7.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die definierte Bezugsachse kann durch jedes Merkmal der Leuchte definiert werden, im Allgemeinen liegt sie bei seitlich montierten Leuchten jedoch in der Richtung der Leuchtenabdeckung in einer Linie mit der Achse des Leuchtenansatzes. Ein weiteres, allgemein übliches Merkmal ist die Achse des Leuchtenansatzes.

3.1.10

Orientierungswinkel

ν

Winkel, der aus einer gewählten Referenzrichtung und der $C = 0^\circ$, $\gamma = 90^\circ$ -Messrichtung einer Leuchte gebildet wird, wenn die erste photometrische Achse der Leuchte senkrecht verläuft

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Bei einer geraden Straße ist die Längsrichtung die Referenzrichtung.

Anmerkung 3 zum Begriff: Die Vorzeichenkonventionen sind in Bild 6 dargestellt.

3.1.11

Drehwinkel

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 Messneigung null ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit ° (Grad).

Anmerkung 2 zum Begriff: Siehe Bild 6, in dem die Vorzeichenkonventionen 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 Messneigung 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 Radius der Krümmung am betrachteten Punkt der Straße.

3.1.15

Installationsazimut

φ

Winkel, der bei einer Leuchte in Messneigung von einer gewählten Referenz-Richtung (bei einer geraden Straße die Längsrichtung) mit der vertikalen Ebene gebildet wird, die durch einen gegebenen Punkt auf der Straßenoberfläche und den Lichtschwerpunkt einer Leuchte definiert ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Einheit $^{\circ}$ (Grad).

Anmerkung 2 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		
Symbol	Name oder Beschreibung	Einheit
A_y	Beobachteralter	y
C	photometrischer Azimutwinkel (Bild 1)	$^{\circ}$ (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
$\bar{E}_{hi}$	anfängliche mittlere horizontale Beleuchtungsstärke der beleuchteten Oberfläche (siehe 8.5.3)	lx
E_h	horizontale Beleuchtungsstärke an einem Punkt	lx
E_{hs}	halbsphärische Beleuchtungsstärke an einem Punkt	lx
E_{sc}	halbzylindrische Beleuchtungsstärke an einem Punkt	lx
E_v	vertikale Beleuchtungsstärke an einem Punkt	lx

Größe		
Symbol	Name oder Beschreibung	Einheit
f_M	Gesamtwartungsfaktor	—
f_{TI}	Schwellenwerterhöhung	%
H	Lichtpunkthöhe	m
$I(C, y)$	Lichtstärketabelle im C, y -System, auch I -Tabelle genannt.	cd
j, m	Zeilen- und Spaltennummern einer Tabelle	—
$\bar{L}$	generisches Symbol für die mittlere Leuchtdichte	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
$\bar{L}_i$	anfängliche mittlere horizontale Leuchtdichte der beleuchteten Oberfläche (siehe 8.5.3)	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
L_v	Äquivalente Schleierleuchtdichte	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
L	Leuchtdichte an einem Punkt	$\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$
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}
$r(\tan \varepsilon, \beta)$	Tabelle für reduzierte Leuchtdichtekoeffizienten, auch r -Tabelle genannt.	sr^{-1}
R_{EI}	Randbeleuchtungsstärkeverhältnis	—
S	Abstand zwischen den Leuchten	m
W_L	Breite des Fahrstreifens	m
W_r	Breite der betrachteten Fläche oder der Fahrbahn	m
W_S	Breite des 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 Normalen zur ausgewählten vertikalen Ebene und der vertikalen Ebene, die den Lichtstrahl enthält (Bild 13)	° (Grad)
β	Ablenkungswinkel (Bild 4)	° (Grad)
ρ	mittlerer diffuser Reflexionsgrad einer Oberfläche (siehe 8.5.3)	—
γ	photometrischer Höhenwinkel (Bild 1)	° (Grad)

Größe		
Symbol	Name oder Beschreibung	Einheit
δ	Neigung der Leuchte für die Berechnung (Bild 6 und Bild 7)	° (Grad)
ε	Lichteinfallswinkel (Bild 4)	° (Grad)
ε_k	Lichteinfallswinkel für halbzylindrische und vertikale Beleuchtungsstärke (Bild 12 und Bild 13)	° (Grad)
θ_1	Betriebsneigung der Leuchte (Bild 7)	° (Grad)
θ_m	Messneigung der Leuchte (Bild 7)	° (Grad)
θ_k	Winkel zwischen der Sichtlinie und dem Zentrum der k -ten Leuchte (siehe 8.5 in den Gleichungen)	
ν	Orientierungswinkel der Leuchte (Bild 6)	° (Grad)
φ	Installationsazimut (Bild 4)	° (Grad)
ψ	Drehwinkel der Leuchte (Bild 6)	° (Grad)

4 Mathematische Konventionen

4.1 Allgemeines

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

- die Leuchte wird als punktförmige Quelle 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.

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 Fläche einer einzelnen Leuchte ist. Ist dies nicht der Fall, kann es notwendig sein, Nahfeld-Photometrie durch die Fragmentierung der Leuchte in virtuelle Punktlichtquellen mit derselben Lichtverteilung wie die gesamte Leuchte zu simulieren. Der Lichtstrom jeder virtuellen Lichtquelle hat am Gesamtlichtstrom der Leuchte einen gleichen Anteil.

4.2 Dezimalstellen der Anforderungen

Die Berechnungsergebnisse müssen in der Form und mit mindestens der angegebenen Stellenanzahl nach den Anforderungstabellen aus EN 13201-2 präsentiert werden, die in Tabelle 2 aufgeführt sind.

Tabelle 2 — Anzahl der Dezimalstellen bei den Beleuchtungsanforderungen

	$\bar{L}$	U_o	U_l	f_{TI}	R_{EI}	$\bar{E} < 10 \text{ lx}$	$10 \text{ lx} \leq \bar{E} \leq 20 \text{ lx}$	$\bar{E} > 20 \text{ lx}$
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 Gütemerkmale 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

5.2.1 Koordinatensystem und empfohlene Winkelintervalle der *I*-Tabelle

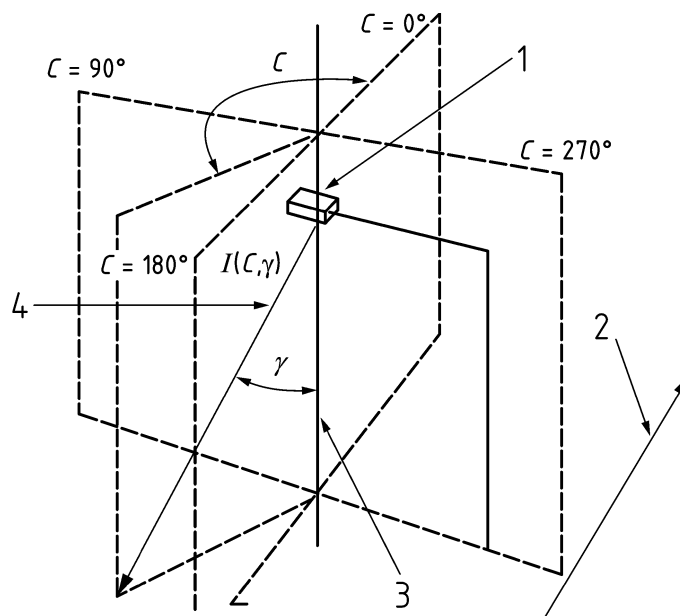
Bei Berechnungen nach dieser Norm muss eine Lichtstärketabelle (*I*-Tabelle), die das Verhalten der Leuchte mit der erforderlichen Genauigkeit für das Ziel der Berechnung beschreibt, genutzt werden. Diese *I*-Tabelle muss in Übereinstimmung mit EN 13032-1 angefertigt sein. Für Leuchten von Straßenbeleuchtungsanlagen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

Falls in der Lichtstärketabelle Candela je Kilolumen ($\text{cd} \cdot \text{klm}^{-1}$) angegeben sind, müssen diese Werte in Candela konvertiert werden, wobei der Lichtstrom aller Lichtquellen der Leuchte berücksichtigt wird.



Legende

- 1 Leuchte in Messneigung
- 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 Interpolationsgenauigkeit anzugeben.

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

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

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

Die oben angegebenen Winkelintervalle 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 Winkelintervallen, die anhand der in der photometrischen Datei enthaltenen Winkel definiert wurden, bereitzustellen.

5.2.2 Lineare Interpolation in der I -Tabelle

Um die Lichtstärke $I(C, \gamma)$ in der Richtung (C, γ) zu bestimmen, ist es notwendig, zwischen den vier Lichtstärkewerten zu interpolieren, die der Richtung am nächsten liegen, siehe Bild 2 und Bild 3.

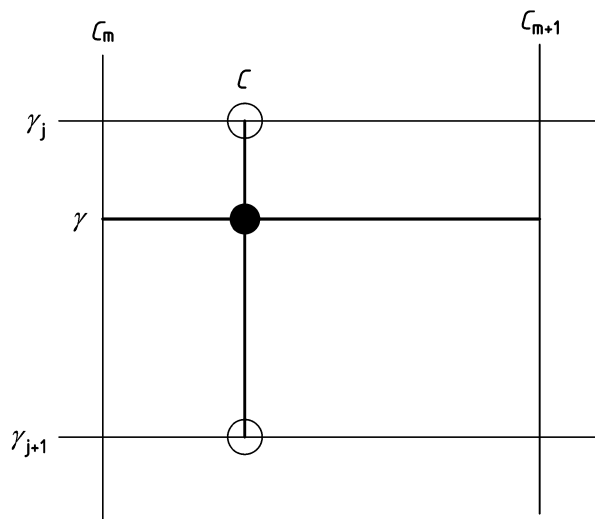


Bild 2 — Für die lineare Interpolation der Lichtstärke erforderliche Winkel

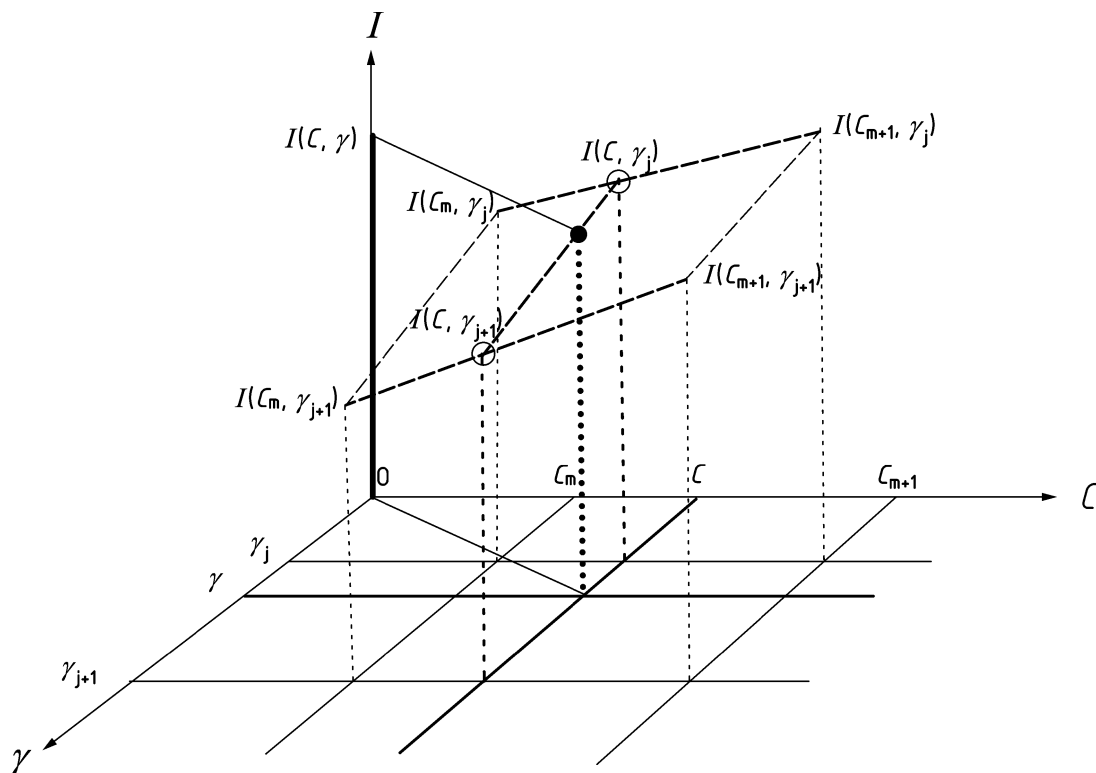


Bild 3 — Für die lineare Interpolation der Lichtstärke erforderliche Winkel
(aus Bild 2, aber mit perspektivischer Darstellung der Intensität auf der z-Achse)

Dazu sind die folgenden oder mathematisch äquivalenten Gleichungen anzuwenden:

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

- $I(C_m, \gamma_j)$ die Lichtstärke in Spalte m und Zeile j der I -Tabelle, und analog bei den anderen, gleichartigen Symbolen.
- C der Azimut, gemessen über der ersten photometrischen Achse;
- γ der vertikaler Winkel, gemessen von der ersten photometrischen Achse;
- $j, m, m+1$ die 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:

$$I(C, \gamma) = I(C, \gamma_j) + \frac{\gamma - \gamma_j}{\gamma_{j+1} - \gamma_j} \cdot (I(C, \gamma_{j+1}) - I(C, \gamma_j)) \quad (8)$$

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.

5.3 Die r -Tabelle

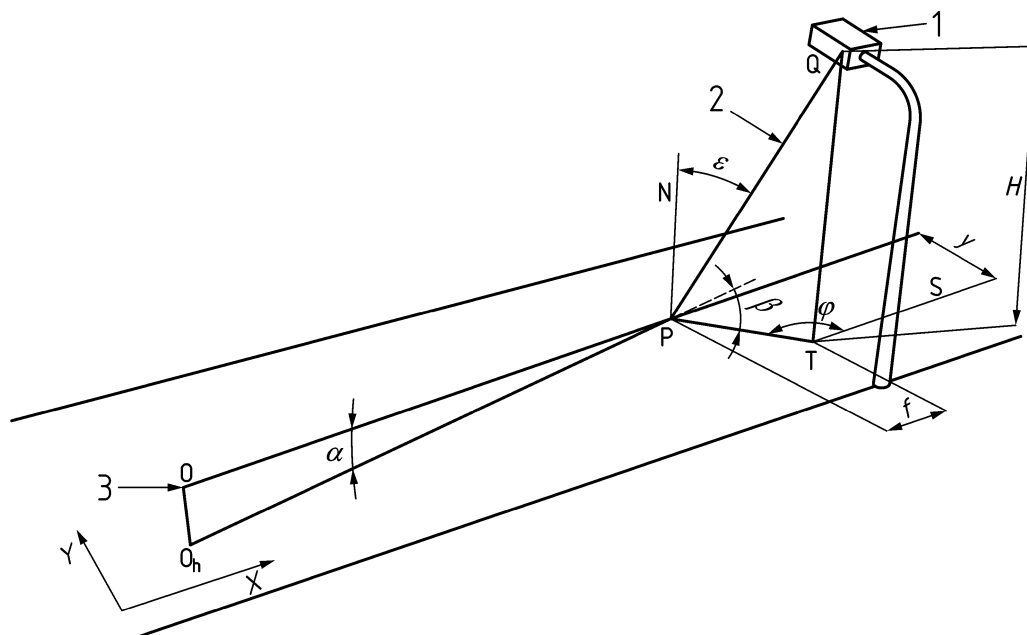
5.3.1 Format der r -Tabelle

Reflexionsdaten der Fahrbahnoberfläche müssen als reduzierte Leuchtdichtekoeffizienten, in den in Tabelle 3 für die Winkel β und ε aus Bild 4 dargestellten Winkelintervallen und Richtungen, angegeben werden.

Die Werte in r -Tabellen werden üblicherweise mit dem Faktor 10^4 multipliziert angegeben. Zu Berechnungszwecken müssen sie in diesem Fall durch 10^4 dividiert werden.

Tabelle 3 gibt die Mindestanzahl der 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 der Beleuchtungsanlage, die in einer Höhe von weniger oder gleich 2 m über der Straßenoberfläche platziert werden, schlägt Anhang B den erweiterten Satz von Winkelrichtungen für die r -Werte vor.



Legende

H	Lichtpunkthöhe
P	beobachteter Punkt
PN	Normale zur Straßenoberfläche am Punkt P
Q	Lichtschwerpunkt der Leuchte
QT	Vertikale, die durch den Lichtschwerpunkt der Leuchte geht
ST	Längsrichtung
O_h	geometrische Projektion des Beobachters auf den Boden
f und y	skalare Bestandteile des Vektors TP (Berechnung von $\tan \varphi$)
β	Winkel zwischen den ausgerichteten Spuren der vertikalen Ebenen in der horizontalen Ebene der Straßenoberfläche:
-	vertikale Ebene, die durch den Punkt der Beobachtung geht und P enthält;
-	vertikale Ebene, die P enthält und durch die Leuchte geht.
ε	Lichteinfallswinkel bei P
α	Beobachtungswinkel
φ	Installationsazimut
1	Leuchte
2	Lichtstrahl
3	Beobachter (O ist die Augenposition des Beobachters)

Bild 4 — Winkelbeziehungen zwischen einer Leuchte in Messneigung, dem Beobachter und dem betrachteten Punkt

Tabelle 3 — Winkelintervalle und Richtungen, die bei der Aufstellung von Reflexionsdaten der Fahrbahnoberfläche zu verwenden sind

$\tan \varepsilon$	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	X										
6,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
7,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
8	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
8,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
9	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
9,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
10,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
11	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
11,5	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										
12	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X										

Ein Kreuz in Tabelle 3 kennzeichnet den benötigten r -Wert, der bekannt sein muss.

ANMERKUNG In Tabelle 3 zeigen leere Zellen an, dass diese Richtungen nicht für die Berechnung genutzt werden sollten, wodurch die Kenntnis von r für diese Richtungen für diese Norm nicht relevant ist.

5.3.2 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.

Das mathematische Verfahren ist dem für die I -Tabelle in 5.2.2 beschriebenen Verfahren ähnlich, wobei $\tan \varepsilon$ die Winkel der C -Halbebene und β die Winkel γ ersetzt.