

Beleuchtung von Straßentunnels und Unterführungen

Berechnung und Messung

DIN
67 524
 Teil 2

Lighting of street tunnels and underpasses; calculation and measurement

Diese Norm wurde in Zusammenarbeit mit dem Bundesminister für Verkehr und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. aufgestellt.

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	2
2 Allgemeines	2
3 Berechnung der Tunnelbeleuchtung	2
3.1 Geometrie der Beleuchtungsanlage	2
3.2 Berechnung der Fahrbahnleuchtdichte	2
3.2.1 Bewertungsfeld, Beobachterstandort und Leuchtenanzahl für die Bewertung ...	2
3.2.2 Berechnung der örtlichen Leuchtdichte auf der Fahrbahn	2
3.2.2.1 Direktanteile von den einzelnen Leuchten	3
3.2.2.2 Indirektanteil von den Tunnelwänden und der Tunneldecke	3
3.2.3 Bestimmung der mittleren Leuchtdichte auf der Fahrbahn	3
3.2.4 Bestimmung der Längs- und Gesamtgleichmäßigkeit	4
3.3 Berechnung der Leuchtdichten der Wände und der Decke	4
3.4 Berechnung von Beleuchtungsstärken	4
3.5 Berechnung der von den Leuchten oder Flächen hoher Leuchtdichte erzeugten äquivalenten Schleierleuchtdichte	4
4 Steuerung oder Regelung der Beleuchtung in der Einsichts- und Übergangsstrecke	5
4.1 Steuerung oder Regelung	5
4.2 Abhängigkeit der Leuchtdichte in der Einsichtsstrecke von der äquivalenten Schleierleuchtdichte	5
5 Messung	5
5.1 Anforderungen an die Meßgeräte	5
5.1.1 Leuchtdichtemeßgeräte	5
5.1.2 Beleuchtungsstärkemeßgeräte	5
5.1.3 Meßgeräte zur Bestimmung der äquivalenten Schleierleuchtdichte	5
5.3 Leuchtdichtemessungen	6
5.3.1 Leuchtdichtemessungen von Standorten außerhalb des Tunnels	6
5.3.2 Messung einzelner und mittlerer Leuchtdichten	6
5.3.2.1 Messung der Leuchtdichte an einzelnen Punkten	6
5.3.2.2 Bestimmung der mittleren Leuchtdichte	6
5.4 Beleuchtungsstärkemessungen	6
5.5 Bestimmung der äquivalenten Schleierleuchtdichte	6
5.5.1 Allgemeines	6
5.5.2 Bestimmung der äquivalenten Schleierleuchtdichte aus einer gemessenen Leuchtdichteverteilung	6
5.5.3 Direkte Messung der äquivalenten Schleierleuchtdichte	7
5.6 Meßprotokoll	7
Zitierte Normen und andere Unterlagen	7

Fortsetzung Seite 2 bis 7

Normenausschuß Lichttechnik (FNL) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

1 Anwendungsbereich

In dieser Norm wird festgelegt, wie die in DIN 67524 Teil 1 enthaltenen Gütemerkmale geplant, berechnet und meßtechnisch geprüft werden sollen.

2 Allgemeines

In dieser Norm sollen Empfehlungen zu folgenden Themen gegeben werden:

- Planung und Berechnung der Tunnelbeleuchtung;
- von den Tageslichtverhältnissen abhängige Steuerung der Tunnelbeleuchtung;
- Messung der für die Tunnelbeleuchtung wichtigen lichttechnischen Größen (äquivalente Schleierleuchtdichte, Fahrbahn- und Wandleuchtdichten, unter Umständen auch Beleuchtungsstärken).

3 Berechnung der Tunnelbeleuchtung

3.1 Geometrie der Beleuchtungsanlage

Die geometrischen Angaben über die Beleuchtungsanlage und den beleuchteten Tunnel sind zur Berechnung von Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte im Tunnel erforderlich (siehe Bild 1). Dazu wird ein rechtwinkliges Koordinatensystem festgelegt, dessen eine Achse (x) in Richtung der Fahrbahnachse in einem gegebenen Tunnelquerschnitt in Höhe der Fahrbahnoberfläche, die zweite (y) in derselben Höhe senkrecht zur Fahrbahnachse und die dritte (z) schließlich vertikal nach oben weist.

Die Lage eines jeden Punktes auf der Fahrbahnoberfläche ($z = 0$) wird dann durch seine x-, y-Koordinaten, die Lage eines jeden Wand- und Deckenpunktes durch seine Koordinaten x, y und z angegeben. Für die Wand- und Deckenpunkte muß außerdem noch die Richtung der Normalen der Flächenelemente bekannt sein, auf denen sie liegen.

Die Lage einer jeden Leuchte wird ebenfalls durch ihre Koordinaten x, y, z angegeben. Zusätzlich muß bekannt sein, um welche Winkel die Leuchte gegenüber ihrer Ausgangs- bzw. Meßlage verdreht ist, wobei folgende Reihenfolge der Drehungen angenommen werden muß:

1. Drehung um die senkrechte Achse um den Winkel ψ ;
2. Drehung um eine zur x-Achse parallele Achse (für $\psi = 0$) um den Winkel δ (Neigung);
3. Drehung um eine zur y-Achse parallele horizontale Achse (für $\delta = \psi = 0$) um den Winkel χ (Drehung um die Leuchtenachse).

3.2 Berechnung der Fahrbahnleuchtdichte

3.2.1 Bewertungsfeld, Beobachterstandort und Leuchtenanzahl für die Bewertung

In Tunnelabschnitten, in denen, vom Beobachter aus gesehen, die Leuchtdichte über 100 m oder mehr konstant ist, können für die Ermittlung der Leuchtdichte-Verteilung die Festlegungen, wie sie für die Straßenbeleuchtung üblich sind, übernommen werden. Dabei genügt es, die Leuchtdichte in Abschnitten von einem ganzen Vielfachen von Leuchtenabständen, mindestens aber 20 m Länge, zu berechnen, wobei das Berechnungsfeld jeweils 60 m vor dem Beobachter an einem Leuchtenfußpunkt beginnen soll.

Quer zur Fahrbahnachse sollte der Beobachter in der Mitte jedes Fahrstreifens angenommen werden.



Bild 1. Beispiel für die Lage eines rechtwinkligen Koordinatensystems an der Tunneleinfahrt

Die Bewertungsfelder werden in deckungsgleiche Teilrechtecke unterteilt, in deren Mittelpunkten die Berechnungspunkte liegen. Der Längsabstand der Berechnungspunkte ist in den Tunnelabschnitten mit konstanten Lichtpunktabständen gleich einem Zehntel des Lichtpunktabstandes.

Quer zur Längsachse sind je Fahrstreifen drei Berechnungspunkte zu berücksichtigen und für jeden Berechnungspunkt alle Leuchten, für die die reduzierten Leuchtdichtekoeffizienten in den Tabellen der Standardfahrbahnbeläge vorliegen.

In Tunnelabschnitten mit nichtkonstanten Lichtpunktabständen kann die sich in Fahrtrichtung ändernde Leuchtdichte dadurch beschrieben werden, daß die Mittelwerte der Leuchtdichten in kurzen Streifen, z. B. quer zur Fahrtrichtung, über die gesamte Fahrbahn ermittelt werden. Hierbei ist der Beobachter jeweils so weit vor den Berechnungspunkten anzunehmen, daß er stets unter 1° geneigt auf die Fahrbahn blickt.

3.2.2 Berechnung der örtlichen Leuchtdichte auf der Fahrbahn

Die Fahrbahnleuchtdichte am Punkt k setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, einem Anteil L_{dir} , der, wie oben beschrieben, von den m Leuchten im berücksichtigten Bereich herrührt, und einem Anteil L_{ind} , der durch das an den Wänden und der Decke reflektierte Licht hervorgerufen wird:

$$L_k = L_{\text{dir}} + L_{\text{ind}} \quad (1)$$

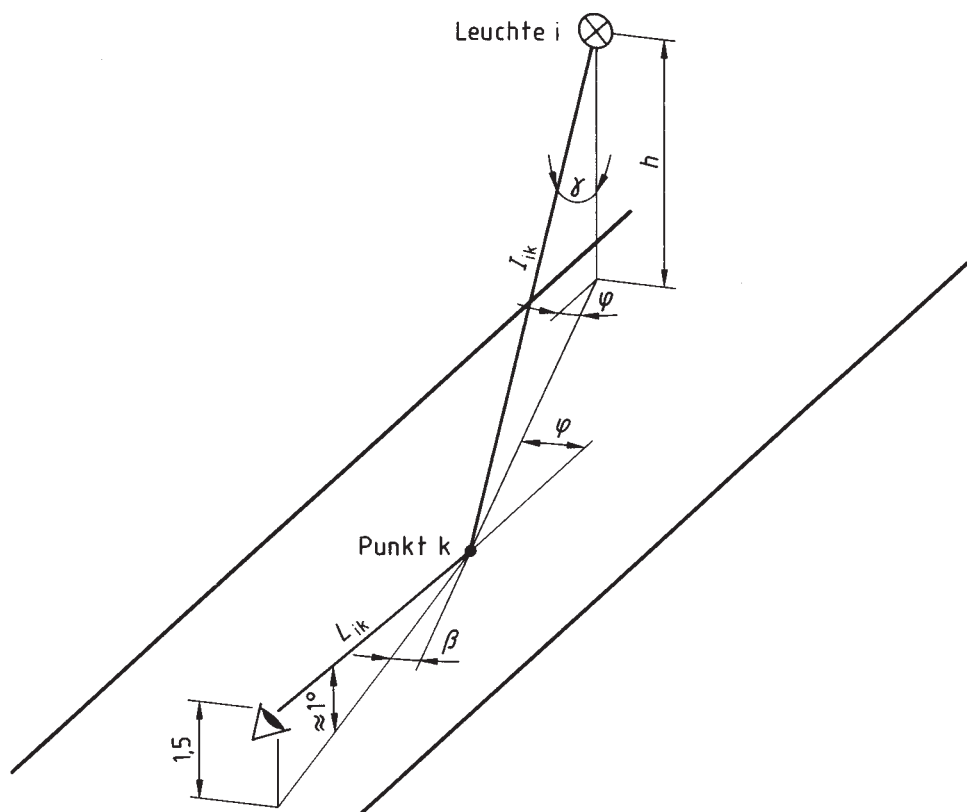


Bild 2. Darstellung der Größen, die für die Berechnung der im Punkt k durch die Leuchte i entstehenden Leuchtdichte L_{ik} benötigt werden

3.2.2.1 Direktanteile von den einzelnen Leuchten

Die Leuchte i mit der Lichtpunkthöhe h erzeugt im Punkt k auf der Fahrbahn mit dem Leuchtdichtekoeffizienten q_{ik} die Leuchtdichte L_{ik} (siehe Bild 2):

$$L_{ik} = \frac{I_{ik}(\varphi, \gamma)}{h^2} q_{ik}(\beta, \gamma) \cos^3 \gamma \quad (2)$$

$$= \frac{I_{ik}(\varphi, \gamma)}{h^2} r_{ik}(\beta, \gamma), \quad (3)$$

denn üblicherweise wird $q \cdot \cos^3 \gamma = r$ gesetzt. Die Werte von r werden in Standardtabellen [1] als r_s angegeben, die jeweils für einen standardisierten Wert des Leuchtkoeffizienten q_{os} gelten. Der Leuchtdichtekoeffizient q_o kennzeichnet die Helligkeit der Fahrbahnoberfläche.

Die Leuchtdichten L_{ik} werden für den wirklichen Wert von q_o unter Verwendung der r -Werte aus den Standardtabellen nach der Gleichung:

$$L_{ik} = \frac{I_{ik}(\varphi, \gamma) \cdot q_o}{h^2 \cdot q_{os}} \cdot r_{sik}(\beta, \gamma) \quad (4)$$

berechnet. Für die Leuchte i ist der Wert I_{ik} der räumlichen Lichtstärkeverteilung bei φ und γ Tabellen der Leuchtenhersteller zu entnehmen. Wird I_{ik} in diesen Tabellen in cd/klm angegeben, muß diese Lichtstärke mit dem Lichtstrom der in die Leuchte eingesetzten Lampen multipliziert werden.

Im allgemeinen müssen die Werte für I_{ik} und $r_{sik}(\beta, \gamma)$ durch Interpolation ermittelt werden. In [1] werden nähere Angaben zur Interpolation der Lichtstärke und der Werte $r_{sik}(\beta, \gamma)$ gemacht.

Der gesamte Direktanteil L_{dir} ergibt sich aus der Summe der Direktanteile der einzelnen Leuchten L_{ik} , wobei insgesamt m Leuchten berücksichtigt werden. Zur Auswahl der zu berücksichtigenden Leuchten siehe Abschnitt 3.2.1 und [2].

$$L_{dir} = \sum_{i=1}^m L_{ik} \quad (5)$$

3.2.2.2 Indirektanteil von den Tunnelwänden und der Tunneldecke

Der Indirektanteil kann analog zum Direktanteil berechnet werden. Dabei werden Wände und Decke des Tunnels in Teilflächen A_t unterteilt und als Leuchten aufgefaßt, deren Leuchtdichte L_t (Berechnung siehe Abschnitt 3.3) bekannt sein muß. Die Lichtstärke I_t dieser Teilflächen folgt dann bei einem Ausstrahlungswinkel ε_1 gegen die Normale auf der Teilfläche nach der Beziehung:

$$I_t = L_t \cdot A_t \cdot \cos \varepsilon_1 \quad (6)$$

Die Unterteilung der Tunnelflächen in Teilflächen muß hierbei unter Beachtung der photometrischen Grenzentfernung erfolgen.

Ein anderes geeignetes Berechnungsverfahren beruht auf der Anwendung des Raumwinkelprojektionsgesetzes.

3.2.3 Bestimmung der mittleren Leuchtdichte auf der Fahrbahn

Die mittlere Leuchtdichte $\bar{L}$ auf der Fahrbahn für n Berechnungspunkte ist:

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n L_k \quad (7)$$