

**Entwurf einer Verordnung über die Ausarbeitung von
Beleuchtungsstudien für Straßenbau und Tunnel im Freien – Entwurf und
angemessene Umsetzung**

Inhalt

1.	Einleitung.....	5
2.	Kategorisierung der Straßenbeleuchtungsklasse.....	6
2.1	Allgemeine Informationen zur Straßenbeleuchtungsplanung.....	6
2.2	Auswahl von Straßenbeleuchtungsklassen.....	6
2.2.1	Allgemeine Informationen zu Straßenbeleuchtungsklassen.....	6
2.2.2	Straßen mit Kraftfahrzeugen (M) als Hauptnutzer.....	7
2.2.3	Risikobereiche Beleuchtungsklassen (C).....	10
2.2.4	Straßen mit Fußgängern und langsam fahrenden Fahrzeugen (P) als Hauptnutzer.....	15
2.2.5	Adaptive Beleuchtungsklassen.....	16
2.3	Leitfaden zur Bestimmung von Straßenbeleuchtungsklassen.....	17
2.3.1	Leitfaden zur Bestimmung der Beleuchtungsklassen von Autobahnen und Abschnitten des nationalen Straßennetzes.....	17
2.3.2	Leitfaden zur Bestimmung der Beleuchtungsklassen von Standardstraßen innerorts.....	19
2.3.3	Beispiele für die Auswahl von nominalen und adaptiven Beleuchtungsklassen.....	22
2.4	Anforderungen an Straßenbeleuchtungsklassen.....	26
3.	Straßenbeleuchtungsdesign, Beleuchtungsstudien.....	27
3.1	Auswahl von Standardgeometrien.....	28
3.2	Wartungsfaktor.....	30
3.3	Beleuchtungsplanungssoftware.....	31
3.4	Planungsoptimierung.....	32
3.4.1	Indikator der Leistungsdichte – Power Density Indicator.....	32
3.4.2	Leuchtdichtefaktor.....	32
3.4.3	Gesamteffizienzindikator der Anlage.....	33
3.4.4	Jährlicher Energieverbrauchsindikator.....	33
3.5	Lichtverschmutzungsbegrenzung und Farbtemperatur von Lichtquellen.....	34
4.	Spezifikationen für Geräte.....	34
4.1	Technische Mindestspezifikationen für Straßenbeleuchtungsleuchten.....	34
4.1.1	Konstruktionsmerkmale einer Leuchte.....	34
4.1.2	Schutzabdeckung.....	35
4.1.3	Optische Einheitsmaterialien.....	35
4.1.4	Betriebseigenschaften.....	35
4.2	Technische Mindestspezifikationen für Fernsteuerungssysteme der Außenbeleuchtung.....	38
4.2.1	Interoperabilität.....	38
4.2.2	Betriebseigenschaften.....	38

5.	Betriebsverfahren für adaptive Beleuchtung.....	39
5.1	Einleitung.....	39
5.2	Planung von Arbeiten zur adaptiven Beleuchtung.....	39
6.	Konformitätskontrolle von Straßenbeleuchtungsgeräten.....	40
6.1	Einleitung.....	40
6.2	Labormessungen.....	41
6.3	Messungen vor Ort.....	41
6.3.1	Kategorien von Messungen vor Ort.....	41
6.3.2	Definition von Bereichen für Messungen vor Ort.....	42
6.3.3	Messgeräte vor Ort.....	45
6.3.4	Leuchtdichtemessungen (M-Beleuchtungsklasse).....	46
6.3.5	Beleuchtungsstärkemessungen (Beleuchtungsklassen C und P).....	47
6.3.6	Messung geometrischer und elektrischer Eigenschaften.....	47
7.	Internationale und europäische technische Richtlinien für Tunnelbeleuchtung.....	48
7.1	CIE 88 – Leitfaden zur Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen.....	48
7.2	CIE 189 – Berechnung der Kriterien für die Qualität der Tunnelbeleuchtung.....	48
7.3	CEN CR 14380 – Beleuchtungsanwendungen – Tunnelbeleuchtung.....	48
8.	Anforderungen an die Tunnelbeleuchtung.....	49
8.1	Trennung von Tunneln in lange und kurze Tunnel.....	49
8.2	Untersuchung der Notwendigkeit der Tagbeleuchtung (LTP-Methode).....	49
8.3	Berechnung der maximalen externen Leuchtdichte L_{20}	52
8.4	Auswahl der Beleuchtungsklasse und des k-Faktors.....	53
8.5	Anforderungen an die Tag- und Nachttunnelbeleuchtung.....	55
8.5.1	Schwellenzone (threshold zone).....	57
8.5.2	Übergangszone (transition zone).....	57
8.5.3	Innenzone (interior zone).....	58
8.5.4	Ausfahrzone (exit zone).....	58
8.5.5	Zugangs- und Trennzone und Tunnel-Nachtbeleuchtung.....	58
8.5.6	Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte.....	59
8.5.7	Wandbeleuchtung.....	59
8.5.8	Begrenzung von Lichtflimmern und Blendung.....	59
9.	Spezifikationen der Tunnelbeleuchtungsgeräte.....	59
9.1	Technische Mindestspezifikationen für Tunnelbeleuchtungsleuchten.....	59
9.1.1	Konstruktionsmerkmale einer Leuchte.....	60
9.1.2	Schutzabdeckung.....	60
9.1.3	Optische Einheitsmaterialien.....	60
9.2	Betriebseigenschaften.....	60

9.2.1	Photometrische Daten.....	60
9.2.2	Elektrische Eigenschaften.....	61
9.2.3	Schutzart gegen äußere Einflüsse.....	61
9.2.4	Konnektivität.....	61
9.2.5	Aufrechterhaltung des Lichtstroms.....	61
9.2.6	Zertifizierungen.....	62
10.	Zusätzliche Anforderungen an die Tunnelbeleuchtung.....	63
10.1	Notbeleuchtung der Parkbucht (Lay-by).....	63
10.2	Notbeleuchtung.....	63
10.3	Fluchtwegbeleuchtung.....	63
10,4	Anstrich von Wänden, Asphalt und Mundloch des Tunnels.....	65
11.	Vorbereitung von Studien zur Tunnelbeleuchtung.....	65
11.1	Allgemeine Anforderungen.....	65
11.2	Wartungsfaktor.....	66
11.3	Positionierung von Leuchten im Tunnel.....	66
11.4	Beleuchtungskreise und adaptive Beleuchtung.....	66
11.5	Dynamische Steuerung über externe und interne Messgeräte.....	68
11.6	Beleuchtung von Tunneln mit zwei Fahrtrichtungen.....	68
11.7	Optimierung der Tunnelbeleuchtungsplanung.....	68
12.	Konformitätskontrolle der Tunnelbeleuchtung.....	69
12.1	Einleitung.....	69
12.2	Labormessungen.....	69
12.3	Messungen vor Ort.....	70
12.3.1	Kategorien von Messungen vor Ort.....	70
12.3.2	Definition von Bereichen für Messungen vor Ort.....	71
12.3.3	Messgeräte vor Ort.....	71
12.3.4	Messung der Leuchtdichte.....	71
12.3.5	Beleuchtungsstärkemessungen.....	72
12.3.6	Messung geometrischer und elektrischer Eigenschaften.....	72
13.	Vorkehrungen für die Einhaltung bestehender Straßenbeleuchtungs- und Tunnelbeleuchtungsanlagen.....	73
13.1	Straßenbeleuchtungsanlagen.....	73
13.2	Tunnelbeleuchtungsanlagen.....	73
14.	Überprüfung der Verordnung.....	73

1. Einleitung

Diese Verordnung betrifft und legt auf Beschluss der zuständigen Behörden die Methode und die Parameter für die Planung neuer Beleuchtungsanlagen im Straßenbau oder die Änderung/Verbesserung/Wartung von Elementen einer bestehenden Beleuchtungsanlage in Straßenbauarbeiten fest.

Insbesondere bei bestehenden Netzen gelten die Bestimmungen dieser Verordnung individuell für die Elemente der bestehenden Anlage, die geändert/aufgerüstet/gewartet werden. Der Arbeitsplaner stellt in Absprache mit den zuständigen Behörden sicher, dass die Gesamtanlage so weit wie möglich an diese Verordnung angepasst wird.

Diese Verordnung erstreckt sich aus fototechnischer Sicht auf alle Aspekte der technischen Planung, Durchführung und Inspektion von Straßenbeleuchtungsarbeiten.

2. Kategorisierung der Straßenbeleuchtungsklasse

2.1 Allgemeine Informationen zur Straßenbeleuchtungsplanung

Diese Verordnung betrifft und enthält im Einklang mit der Europäischen Norm EN 13201 eine Reihe von Schritten/Maßnahmen, die vom Arbeitsplaner vom Beginn der Arbeiten bis zu ihrer Durchführung durchzuführen sind. Die notwendigen Schritte für die ordnungsgemäße und integrierte Gestaltung von Straßenbeleuchtungsarbeiten sind die folgenden:

1. Festlegung der anwendbaren Straßenbeleuchtungsklassen
2. Festlegung der Anforderungen an Straßenbeleuchtungsklassen
3. Erstellung einer Studie zur Straßenbeleuchtung
4. Berechnung der Energieeffizienzindikatoren

Darüber hinaus ist eine Bewertung der Beleuchtungsinstallation durch Messungen vor Ort erforderlich. Messungen können (im Extremfall) die Notwendigkeit einer Neugestaltung der Beleuchtung auslösen, um jegliche Abweichungen von den Zielen zu korrigieren.

2.2 Auswahl von Straßenbeleuchtungsklassen

2.2.1 Allgemeine Informationen zu Straßenbeleuchtungsklassen

Beleuchtungsklassen, wie in der europäischen Norm CEN/TR 13201-1 definiert, sind in drei Hauptkategorien gruppiert: Klassen M – Motorized (motorisierter Verkehr), Klassen C – Conflict Areas (Konfliktbereiche) und Klassen P – Pedestrians and pedal cyclists (Fußgänger und Langsamfahrbereiche).

Die Beleuchtungsklassen der Kategorie M (motorisierter Verkehr) sind dann auszuwählen, wenn es sich bei den Hauptverkehrsteilnehmern um Kraftfahrzeuge handelt und die Beleuchtung für ein sicheres Fahren wichtig ist. Die wichtigste messbare Eigenschaft, für die Berechnungen und Messungen vor Ort durchgeführt werden, ist die Leuchtdichte (cd/m^2), die im Wesentlichen ausdrückt, wie hell der Asphalt erscheint und insbesondere in einem Abstand von 60 m vor dem Beobachtungspunkt. Bei diesen Straßen handelt es sich hauptsächlich um Autobahnen (Verkehrsspuren einschließlich der Notfallspur), das provinzielle Straßennetz, Alleen oder Straßen in städtischen Gebieten, in denen die Nutzungsfläche deutlich von der Nutzungsfläche anderer Nutzer getrennt ist, z. B. durch Bürgersteige, Trennspuren usw.

Die Definition der Klassen M hängt von den geometrischen Merkmalen der Straße, dem Verkehrsfluss und den jeweiligen Nutzungsparametern ab. Die Auswahl der entsprechenden Klasse erfolgt unter Berücksichtigung des Straßenbetriebs, der Fahrgeschwindigkeit, des Verkehrsflusses und der Umgebungsbedingungen. Grundlegende messbare Eigenschaften dieser Kategorie sind Leuchtdichte und Blendungsindex (TI).

Beleuchtungsklassen der Klasse C (Konfliktbereiche) werden für Gebiete ausgewählt, die als Gebiete mit erhöhtem Risiko eingestuft sind, wie z. B. bestimmte Abschnitte von Straßenkreuzungen, Knotenpunkten, Straßen mit hoher Häufigkeit von Kreuzungen und innerhalb städtischer Zentren, in denen mehrere Nutzerkategorien (Fußgänger, Radfahrer,

Zweiräder und Kraftfahrzeuge) nebeneinander existieren. Die wichtigste messbare Eigenschaft, für die die Berechnungen und die Messungen vor Ort durchgeführt werden, ist die Beleuchtungsstärke (lx), die die Menge des Lichtstroms auf einer Oberfläche angibt, unabhängig von der Richtung, in der sie betrachtet wird. Der wichtigste Aspekt in dieser Kategorie ist die Identifizierung von Objekten durch alle Verkehrsteilnehmer aus relativ naher Entfernung und aus mehreren Richtungen.

Klassen C beziehen sich im Allgemeinen auf Fälle, in denen sich Fahrzeugströme kreuzen oder auf Bereiche treffen, in denen sich andere Nutzer befinden (Fußgänger, Zweiräder, Fahrräder, andere Nutzer) oder wenn sich die Verkehrsgeometrie erheblich ändert. In mehreren Fällen werden sie so ausgewählt, dass das Niveau ihrer Beleuchtungsstärke größer ist als auf den Zufahrtsstraßen und so, dass sie die Aufmerksamkeit im Knotenpunktbereich erhöhen, was eine große Gleichmäßigkeit der horizontalen Beleuchtungsstärke erfordert.

In jedem Fall sollte die als Klasse C eingestufte Fläche nicht eine Beleuchtungsklasse C aufweisen, die niedriger ist als die entsprechende Beleuchtungsklasse M der Zufahrtsstraßen (wenn Zufahrtsstraßen als Klasse M eingestuft wurden).

Die Beleuchtungsklassen der Klasse P (Fußgänger und Langsamfahrbereiche) werden bei Fußgängerzonen, Langsamfahrbereichen ($< 40 \text{ km/h}$), Parkspuren, städtischen Nahverkehrsstraßen für Wohnstraßen, Parkstationen usw. ausgewählt. Die primär messbare Eigenschaft, für die Berechnungen und Messungen vor Ort durchgeführt werden, ist, wie in Klasse C, die Beleuchtungsstärke (lx).

2.2.2 Straßen mit Kraftfahrzeugen (M) als Hauptnutzer

Es betrifft Straßenbeleuchtung und Bereiche, in denen die Hauptnutzer hauptsächlich Kraftfahrzeuge sind, die mit niedriger, mittlerer oder hoher Geschwindigkeit fahren. Das messbare Merkmal für die Auslegung und Bewertung der Straßenbeleuchtungsklasse **M** ist die Leuchtdichte der Fahrbahn (in cd/m^2).

Die Kriterien für die Auswahl der Klassen M sind die folgenden acht Kriterien und wurden aus dem technischen Bericht CEN/TR 13201-1:2014 entnommen.

Das erste Kriterium ist die **Nenngeschwindigkeit oder Straßengeschwindigkeitsbegrenzung**. Ändert sich die Geschwindigkeitsbegrenzung einer Straße entlang ihrer Länge oder während der Nacht, so ist für jeden Fall das entsprechende Gewicht auszuwählen. Die Nenngeschwindigkeit ergibt sich aus der jeweiligen Verkehrsstudie. Das zweite Kriterium ist **das Straßenverkehrsaufkommen als Prozentsatz der Höchstkapazität**. Bei Autobahnen mit mehreren Fahrspuren ist es nach Richtung oder kleineren Straßen zu trennen. Ändert sich die Verkehrslast entlang ihrer Länge oder während der Nacht, so ist für jeden Fall das entsprechende Gewicht auszuwählen.

Das dritte Kriterium ist die **Zusammensetzung der Verkehrsteilnehmer** d. h. ob es sich bei den Hauptverkehrsteilnehmern um Kraftfahrzeuge, langsam fahrende Fahrzeuge, Radfahrer und die Kombination der Obengenannten handelt. Ändert sich die Zusammensetzung der Nutzer entlang ihrer Länge oder während der Nacht, so ist für jeden Fall das entsprechende Gewicht auszuwählen.

Das vierte Kriterium ist **ob es eine Trennung der Richtungen einer Straße gibt**. Die Trennung können Leitschienen, Metallgeländer, Pflanzen, Gräben usw. sein. Variiert die Trennung entlang der Straße, so ist für jeden Fall das entsprechende Gewicht auszuwählen.

Das fünfte Kriterium ist **die Dichte der Straßenkreuzungen**. Kreuzungen beziehen sich auf Straßen, die sich auf derselben Ebene (Straßenkreuzungen) treffen, während sich Knotenpunkte in mehreren Ebenen auf Zufahrten, Abfahrten usw. in mehreren Ebenen beziehen. Dichte bezieht sich auf die Abschnitte, die untersucht werden, wenn sie mehr als eine Kreuzung haben.

Das sechste Kriterium ist die **Anwesenheit oder Abwesenheit von geparkten Fahrzeugen** auf der Straße, die in Betracht gezogen wird. Es sei darauf hingewiesen, dass bei Straßen, auf denen es informell geparkte Fahrzeuge gibt, d. h. an nicht reservierten und nicht speziell ausgewiesenen Orten, diese aus Sicherheitsgründen als geparkte Fahrzeuge anzusehen sind.

Das siebte Kriterium ist die **Umgebungsbeleuchtung** der Straße, die in Betracht gezogen wird. Intensive Beleuchtung kann auf eine hohe Dichte von beleuchteten Gebäuden neben der Straße, Plakatwänden, Geschäften, Sport- und Außenbeleuchtungsanlagen usw. zurückzuführen sein. In der Praxis findet sich intensive Beleuchtung im Zentrum von städtischen Gebieten, wo es intensive kommerzielle Aktivitäten gibt.

Die durchschnittliche Umgebungsbeleuchtung bezieht sich auf normale Bedingungen in Städten, die nicht in den vorherigen Fall fallen, während niedrige Beleuchtung in der Regel auf Straßen außerhalb des Stadtgefüges gefunden wird, ohne dass eine andere künstliche Beleuchtung als Straßenbeleuchtung vorhanden ist. Ändert sich die Umgebungsbeleuchtung in der Nacht (z. B. nach Öffnungszeiten der Geschäfte) oder entlang der Straße, so ist für jeden Fall das entsprechende Gewicht auszuwählen.

Der Anschluss der Umgebungshelligkeit an die jeweiligen Umweltzonen wird durch die nachfolgende Verbindung/Standardisierung der folgenden Tabellen 4 und 5 bestimmt.

Tabelle 4. Umgebungshelligkeitszonen nach ILP GN01:2011

Zone	Umgebungsbeleuchtung	Beispiele
E0	Völlig dunkel	UNESCO-Schutzgebiete, IDA dark-sky
E1	Dunkel	Relativ unbewohnte ländliche Gebiete
E2	Niedrige Helligkeit	Dünn besiedelte ländliche Gebiete
E3	Mittlere Helligkeit	Dicht besiedelte ländliche und städtische/halbstädtische Gebiete
E4	Hohe Helligkeit	Stadtzentrum, wichtigstes städtisches Gefüge, Gewerbegebiete mit intensiver Helligkeit und Aktivität

Tabelle 5. Passende Umweltzonen und Hintergrundleuchtdichte

CEN/TR 13201-1:2014	CIE 150:2017
<i>Niedrig</i>	E2, E1, E0
<i>Mittel</i>	E3
<i>Hoch</i>	E4

In den Umweltzonen E0 wird keine Beleuchtung vorgeschlagen.

Das achte Kriterium sind die **Fahrschwierigkeiten**, die sich auf das Sichtfeld des Fahrers und den Aufwand beziehen, der aufgrund der ihm vorgelegten Informationen oder anderer sich ändernder Umstände erforderlich ist, um eine Straße oder Fahrspur zu wählen und die Geschwindigkeit oder Position auf der Straße beizubehalten oder zu ändern. Laut CIE 100:1992 kann die Fahrschwierigkeit in folgende Einzelstufen unterteilt werden:

- Positionsniveau. Es spiegelt den Aufwand wider, den der Fahrer benötigt, um in der richtigen Position auf der Fahrbahn zu bleiben, indem er seine Route und/oder die Geschwindigkeit des Fahrzeugs usw. anpasst.
- Lageniveau. Es spiegelt die Maßnahmen wider, die der Fahrer zur Bewältigung von Veränderungen in der Struktur/Geometrie der Straße, Änderungen in seiner Route, Änderungen der Wetterbedingungen, Änderungen der Betriebsbedingungen auf der Straße, z. B. Arbeiten, benötigt. Diese Maßnahmen können Geschwindigkeitsänderung, Änderung der Richtung und Position auf der Straße usw. sein.
- Navigationsniveau. Es spiegelt den Aufwand des Fahrers wider, einer bestimmten Route zu folgen, um das gewünschte Ziel zu erreichen, einschließlich des Lesens von Verkehrszeichen und Zielsignalen.

Daher ist die Fahrschwierigkeit sehr hoch, wenn der Fahrer komplexe Schilder verstehen muss, Straßen mit mehreren Auffahrten und Abfahrten und komplexer Struktur, Kreuzungen mehrerer Fahrspuren usw. fahren muss. Die Fahrschwierigkeiten sind in Fällen von Verkehr an Kreisverkehren oder einfachen Kreuzungen hoch. Der Grad der Fahrschwierigkeit ist gering, wenn der Fahrer einen einfachen Spurwechsel, eine Änderung der Fahrzeuggeschwindigkeit, Ein-, Ausfahrt usw. durchführt und auf einer bestimmten Straße oder Spur fährt, ohne dass objektiv erhebliche Anstrengungen erforderlich sind. Ändert sich die Fahrschwierigkeit entlang der Straße, so ist für jeden Fall das entsprechende Gewicht auszuwählen.

In jedem Fall muss die endgültige Wahl der Beleuchtungsklasse erfolgen, indem die Gewichte jedes Kriteriums zusammengerechnet werden und die folgende Gleichung verwendet wird:

$$M = 6 - VWS \quad (1)$$

wo **M** die entsprechende Beleuchtungsklasse ist, und VWS die Summe der Gewichte der Kriterien gemäß Tabelle 6. Die Klassen M1, M2, M3, M4, M5 und M6 leiten sich aus der Gleichung (1) ab.

Es gilt Folgendes:

- Wenn $VWS < 0$ dann $VWS=0$
- Wenn $M \leq 0$ dann $M=1$ (Klasse M1)

Tabelle 6. Auswahlkriterien für Beleuchtungsklassen der Kategorie M

Kriterium	Optionen	Beschreibung		Gewicht
Nenngeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbegrenzung	Sehr hoch	v ≥ 100 km/h		2
	Hoch	70 < v < 100 km/h		1
	Mittel	40 < v ≤ 70 km/h		-1
	Niedrig	v ≤ 40 km/h		-2
Verkehrsaufkommen		Autobahnen, mehrspurige Richtungen	Zweispurige Richtungen	
	Hoch	> 65 % der maximalen Kapazität	> 45 % der maximalen Kapazität	1
	Mittel	35 – 65 % der maximalen Kapazität	15 % – 45 % der maximalen Kapazität	0
	Niedrig	< 35 % der maximalen Kapazität	< 15 % der maximalen Kapazität	-1
Zusammensetzung der Nutzer	Gemischt, mit einem großen Anteil nichtmotorisierter Fahrzeuge			2
	Gemischt			1
	Nur motorisiert			0
Trennung von Verkehrsrichtungen	Nein			1
	Ja			0
Dichte von Straßenkreuzungen		Schnittpunkte/km	Entfernung zwischen Knotenpunkten in mehreren Ebenen, km	
	Hoch	> 3	< 3	1
	Mittel	≤ 3	≥ 3	0
Geparkte Fahrzeuge	Vorhanden			1
	Nicht vorhanden			0
Umgebungsbeleuchtung	Hoch	Gewerbestraßen, Werbetafeln, Sportanlagen, Bahnhöfe usw.		1
	Mittel	Normale Situationen		0
	Niedrig			-1
Fahrschwierigkeiten	Sehr hoch			2
	Hoch			1
	Niedrig			0

Bei Straßenabschnitten, für die grundsätzlich Beleuchtungsklassen **M** nach den oben genannten Kriterien anwendbar sind, die aber zwischen zwei „Konfliktbereichen“ (conflict areas, zu einem späteren Zeitpunkt zu definieren) liegen, und wenn der Abstand zwischen diesen beiden „Risikobereichen“ kleiner ist als der relevante Mindestbremswegabstand (SD), dann sollte die entsprechende Klasse **C** auch für den oben genannten Zwischenabschnitt ausgewählt werden, und nicht die ursprüngliche Klasse **M**, die sich aus den oben genannten Kriterien und Gewichten ergibt. Typische Beispiele sind lokale Straßen in städtischen Zentren und/oder lokale Verteilerstraßen, wo die Kreuzungshäufigkeit so hoch ist, dass die Straßen praktisch einen einzigen „Konfliktbereich“ bilden.

2.2.3 Risikobereiche Beleuchtungsklassen (C)

Klassen **C** werden in Bereichen mit erhöhtem Risiko verwendet, d. h. wo zwei oder mehr Verkehrsströme, Straßen und Verkehrsteilnehmer beteiligt sind. Hauptnutzer dieser Bereiche sind Kraftfahrzeuge.

Genauer gesagt sind Risikobereiche jene Bereiche, in denen unterschiedliche Fahrzeugströme auf derselben Ebene aufeinandertreffen, d. h. Kreuzungen, Knotenpunkte usw., oder auf derselben Ebene Bereiche treffen/kreuzen, die häufig von anderen Arten von Nutzern wie Fußgängern, Radfahrern usw. genutzt werden.

Bereiche mit geringerer Anzahl von Fahrspuren oder eingeschränkter Fahrspurbreite oder Gesamtbreite gelten mit Ausnahme der nachstehend beschriebenen Fälle auch als Risikobereiche. Risikobereiche haben eine hohe Wahrscheinlichkeit von Kollisionen zwischen Fahrzeugen, Fahrzeugen und Fußgängern, Radfahrern mit anderen Nutzern oder Autos mit festen Hindernissen usw.

Der Risikobereich wird durch das Gebiet abgegrenzt, in dem sich die Straßen kreuzen oder treffen, sowie die Fläche, die durch den jeweiligen Mindestbremswegabstand jeder sich kreuzenden Straße definiert ist.

Für Risikobereiche ist es vorzuziehen, die Leuchtdichte als Planungs- und Bewertungsmerkmal zu verwenden. Dies ist jedoch nicht möglich, wenn die Sichtabstände des Standardbeobachters (Fahrer) kurz (< 60 m) oder mehrere Beobachter (aus verschiedenen Richtungen, z. B. Kreuzungen, Ein- und Ausfahrten usw.) sind. In solchen Fällen wird die Beleuchtungsstärke (I_x) als Planungs- und Bewertungsmerkmal verwendet.

Die Anwendung der Beleuchtungsstärke als Bewertungsmerkmal gilt entweder für die einzelnen Teile des Risikobereichs, in denen die Leuchtdichte nicht verwendet werden kann, oder für den breiteren Risikobereich, z. B. für die gesamte Straßenkreuzung (je nach Bedingungen), den Knotenpunkt usw.

Die Beleuchtungsklassen **M** und **C** (Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke) werden durch gleichzeitige Schätzung oder Kenntnis des gesamten Faktors des Reflexionsvermögens der Straßenoberfläche Q_0 zugewiesen, wie in Tabelle 7 dargestellt.

Tabelle 7. Zuordnung der Klassen M und C zu Konfliktbereichen

Beleuchtungsklasse M			M1	M2	M3	M4	M5	M6
Beleuchtung Klasse C für $Q_0 \leq 0,05$			C0	C1	C2	C3	C4	C5
Beleuchtung Klasse C für $0,05 < Q_0 \leq 0,08$		C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5
Beleuchtung Klasse C für $Q_0 > 0,09$	C0	C1	C2	C3	C4	C5	C5	C5

Da Beleuchtungsklassen C für die gleichen Benutzer wie die der Klassen M ausgelegt sind, sollte Tabelle 7 verwendet werden, um Klassen in Risikobereichen zu definieren, die zu Straßen gehören, für die bereits Klassen M definiert wurden. Die Klasse der Risikobereiche sollte nicht niedriger sein als die höchste Klasse der sich kreuzenden Straßen. Daher wird in solchen Fällen die Klasse C indirekt aus den Klassen M der sich kreuzenden Straßen abgeleitet.

Erforderlichenfalls und um die Sicherheit zu erhöhen, kann der Arbeitsplaner eine Beleuchtungsklasse wählen, die höher ist als die aus der Zuweisung von Klassen resultierende Beleuchtungsklasse.

Um die Arbeit der Arbeitsplaner zu erleichtern, wird vorgeschlagen, eine Erhöhung der Beleuchtungsklasse um eine Besoldungsgruppe gegenüber der vergleichbaren Klasse M bei Kreuzungen und Abschnitten von Knotenpunkten in mehreren Ebenen anzuwenden, bei denen aufgrund einer kritischen Änderung der Straßengeometrie und einer allgemeinen Änderung der Straßenbreite ein echter Bedarf besteht.

Genauer gesagt, basierend auf dem Handbuch für Straßenplanungsrichtlinien (OMOE) – Buch 2: Dabei werden die folgenden Fälle unterschieden, die indikativ und nicht restriktiv dargestellt werden.

1. Bei unkritischer Querschnittsänderung der Fahrbahnoberfläche „ $\beta 2+1$ “ an einer Straßenkreuzung (Abbildung 1). In diesem Fall ist es nicht notwendig, das Beleuchtungsniveau der Klasse C um 1 Grad zu erhöhen.

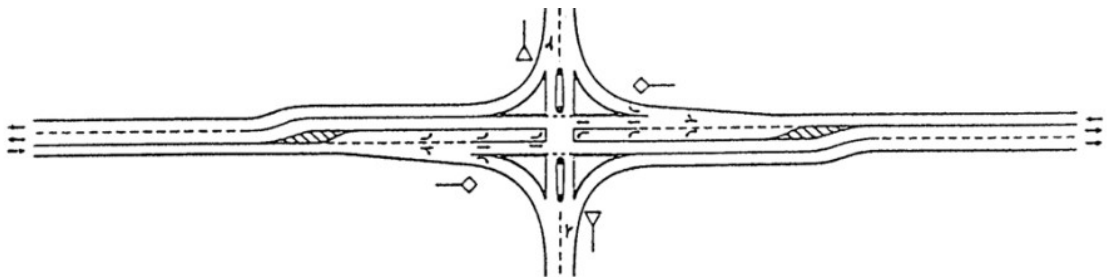


Abbildung 1. Straße mit unkritischer Querschnittsänderung der Fahrbahn vom Typ „ $\beta 2+1$ “ an einer Straßenkreuzung

2. Bei kritischer Querschnittsänderung der Fahrbahnoberfläche „ $\beta 2+1$ “ an einer Straßenkreuzung (Abbildung 2). In diesem Fall wird vorgeschlagen, das Beleuchtungsniveau der Klasse C um 1 Grad zu erhöhen.

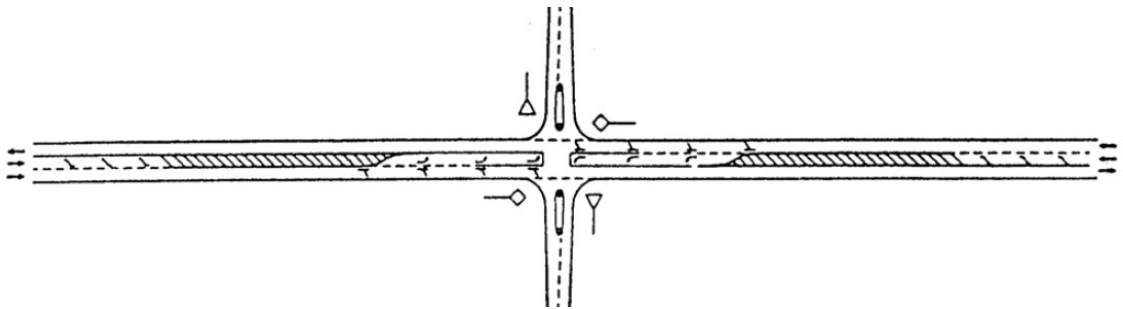


Abbildung 2. Straße mit kritischer Querschnittsänderung der Fahrbahnoberfläche „ $\beta 2+1$ “ an einer Straßenkreuzung

3. Bei unkritischer Querschnittsänderung der Fahrbahn „ $\beta 2+1$ “ an einem Knotenpunkt in mehreren Ebenen (Abbildung 3). In diesem Fall ist es nicht notwendig, das Beleuchtungsniveau der Klasse C um 1 Grad zu erhöhen.

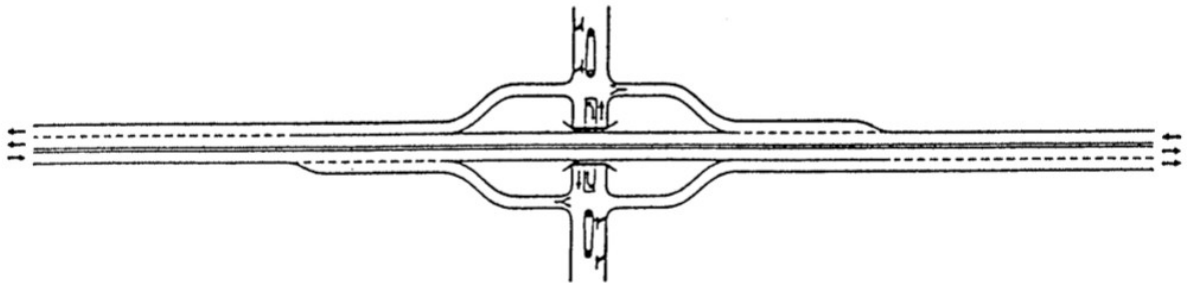


Abbildung 3. Straße mit unkritischer Querschnittsänderung der Fahrbahnoberfläche „β2+ 1“ an einem Knotenpunkt in mehreren Ebenen

Daher betrifft das Risikogebiet, das notwendigerweise der Klasse C zugeteilt wird, in den meisten Fällen nicht die Ein- und Ausfahrten der Autobahn, sondern die Bereiche der Knotenpunkte in mehreren Ebenen, z. B. die T-Kreuzung, Rundstrecke usw. Abbildung 4. Infolgedessen wird den Beschleunigungs-/Verzögerungstreifen eine Beleuchtungsklasse M zugeteilt, die der des Hauptstraßenabschnitts entspricht, und reinen Risikobereichen wird eine Klasse C zugewiesen, die der entsprechenden Klasse des Hauptabschnitts entspricht und/oder größer ist, je nachdem, wie kritisch die Querschnittsänderung ist, wie oben analysiert.

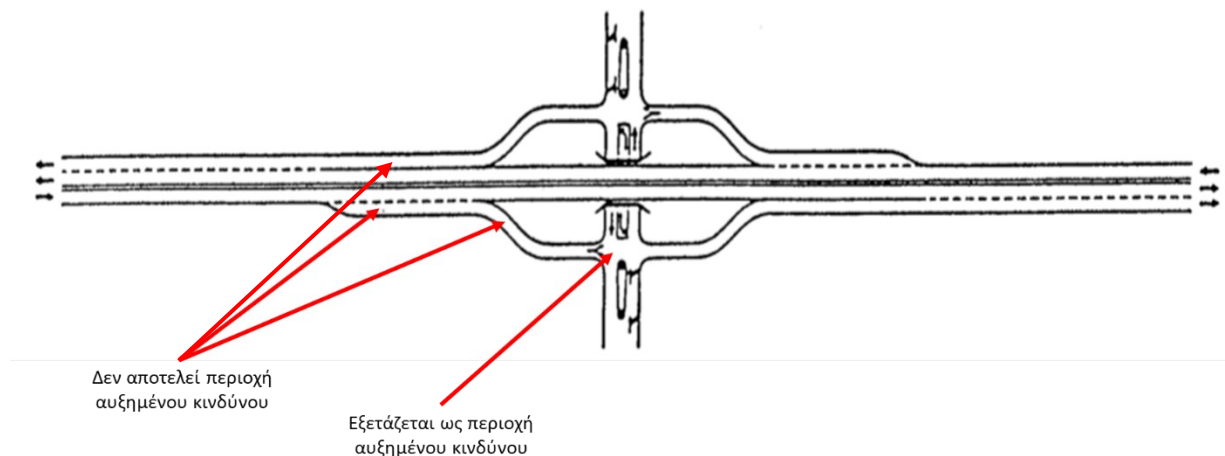


Abbildung 4. Standardstraßenkreuzungsbereiche, die als Bereiche mit erhöhtem Risiko betrachtet werden oder nicht

Δεν αποτελεί περιοχή αυξημένου κινδύνου	Kein Bereich mit erhöhtem Risiko
Εξετάζεται ως περιοχή αυξημένου κινδύνου	Als Bereich mit erhöhtem Risiko betrachtet

Wenn Beleuchtungsklasse **C** nicht anhand der entsprechenden Klasse **M** bestimmt wird, sondern eine separate Analyse durchgeführt wird, dann ist die folgende gewichtete Berechnungsmethode zur Auswahl der Beleuchtungsklasse **C** gemäß CEN/TR 13201-1 anzuwenden.

Die Auswahlkriterien sind weitgehend identisch mit denen der Klasse M. Insbesondere:

Das erste Kriterium ist die **Nenngeschwindigkeit oder Straßengeschwindigkeitsbegrenzung**. Das Kriterium ähnelt dem für die Klasse M analysierten Kriterium.

Das zweite Kriterium ist **das Straßenverkehrsaufkommen als Prozentsatz der Höchstkapazität**. Das Kriterium ähnelt dem für die Klasse M analysierten Kriterium, jedoch ohne Angabe der Lastprozentsätze.

Das dritte Kriterium ist die **Zusammensetzung der Verkehrsteilnehmer**. Das Kriterium ähnelt dem für die Klasse M analysierten Kriterium.

Das vierte Kriterium ist, **ob es eine Trennung der Richtungen einer Straße gibt**. Das Kriterium ähnelt dem für die Klasse M analysierten Kriterium.

Das sechste Kriterium ist die **Anwesenheit oder Abwesenheit von geparkten Fahrzeugen** auf der Straße, die in Betracht gezogen wird. Das Kriterium ähnelt dem für die Klasse M analysierten Kriterium.

Das sechste Kriterium ist die **Umgebungsbeleuchtung** der Straße, die in Betracht gezogen wird. Das Kriterium ähnelt dem für die Klasse M analysierten Kriterium.

Das siebte Kriterium sind die **Fahrschwierigkeiten** im Zusammenhang mit dem Sichtfeld des Fahrers. Das Kriterium ähnelt dem für die Klasse M analysierten Kriterium.

Die Wahl der Beleuchtungsklasse **C** wird durch Summieren der Gewichte jedes Kriteriums und unter Verwendung der folgenden Gleichung durchgeführt.

$$C = 6 - VWS \quad (2)$$

wo **C** die entsprechende Beleuchtungsklasse ist, und **VWS** ist die Summe der Gewichte der aus Tabelle 8 abgeleiteten Kriterien. Die Klassen C0, C1, C2, C3, C4 und C5 stammen aus der Gleichung (2).

Es gilt Folgendes:

- Wenn $VWS \leq 0$ ist, dann $VWS=1$
- Wenn $C < 0$ dann $C=0$ (Klasse C0)

Tabelle 8. Auswahlkriterien für Beleuchtungsklassen der Kategorie C nach CEN/TR 13201-1

Kriterium	Optionen	Beschreibung	Gewicht
Nenngeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbegrenzung	Sehr hoch	$v \geq 100 \text{ km/h}$	3
	Hoch	$70 < v < 100 \text{ km/h}$	2
	Mittel	$40 < v \leq 70 \text{ km/h}$	0
	Niedrig	$v \leq 40 \text{ km/h}$	-1
Verkehrsaufkommen	Hoch		1
	Mittel		0
	Niedrig		-1
Zusammensetzung der Nutzer	Gemischt, mit einem großen Anteil nichtmotorisierter Fahrzeuge		2
	Gemischt		1
	Nur motorisiert		0
Trennung von Verkehrsrichtungen	Nein		1
	Ja		0
Geparkte Fahrzeuge	Vorhanden		1
	Nicht vorhanden		0
Umgebungsbeleuchtung	Hoch	Gewerbestraßen, Werbetafeln, Sportanlagen, Bahnhöfe usw.	1
	Mittel	Normale Situationen	0
	Niedrig		-1
Fahrschwierigkeiten	Sehr hoch		2
	Hoch		1
	Niedrig		0

2.2.4 Straßen mit Fußgängern und langsam fahrenden Fahrzeugen (P) als Hauptnutzer

Diese Klassen betreffen die Beleuchtung von Verkehrsbereichen mit Fußgängern und Radfahrern als Hauptnutzer oder von gemischt genutzten Straßen, bei denen es sich um verkehrsberuhigende Zonen handelt.

Die Definition von Beleuchtungsklassen **P** wird nach den nachstehenden Kriterien durchgeführt.

Das erste Kriterium ist die **Nenngeschwindigkeit oder Straßengeschwindigkeitsbegrenzung**. Das Kriterium ist dem in Klasse M beschriebenen Kriterium ähnlich.

Das zweite Kriterium ist das **Verkehrsaufkommen der Straße** als allgemeine Beschreibung des Aufkommens. Das Kriterium ähnelt dem in Klasse M Beschriebenen, jedoch ohne Angabe der Prozentsätze des Aufkommens.

Das dritte Kriterium ist die **Zusammensetzung der Verkehrsteilnehmer**. Das Kriterium ist dem in Klasse M beschriebenen Kriterium ähnlich.

Das sechste Kriterium ist die **Anwesenheit oder Abwesenheit von geparkten Fahrzeugen** auf der Straße, die in Betracht gezogen wird. Das Kriterium ist dem in Klasse M beschriebenen Kriterium ähnlich.

Das fünfte Kriterium ist die **Umgebungsbeleuchtung** der Straße, die in Betracht gezogen wird. Das Kriterium ist dem in Klasse M beschriebenen Kriterium ähnlich.

Tabelle 9. Auswahlkriterien für Beleuchtungsklassen der Kategorie P nach CEN/TR 13201-1

Kriterium	Optionen	Beschreibung	Gewicht
Nenngeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbegrenzung	Niedrig	$v \leq 40 \text{ km/h}$	1
	Sehr niedrig (zu Fuß)	Gehgeschwindigkeit	0
Verkehrsbelastung	Hoch		1
	Mittel		0
	Niedrig		-1
Zusammensetzung der Nutzer	Fußgänger, Radfahrer und motorisierter Verkehr		2
	Fußgänger und motorisierter Verkehr		1
	Fußgänger und Radfahrer		1
	Fußgänger		0
	Radfahrer		0
Geparkte Fahrzeuge	Vorhanden		1
	Nicht vorhanden		0
Umgebungsbeleuchtung	Hoch	Gewerbestraßen, Werbetafeln, Sportanlagen, Bahnhöfe usw.	1
	Mittel	Normale Situationen	0
	Niedrig		-1

2.2.5 Adaptive Beleuchtungsklassen

Diese Methode zur Auswahl von Beleuchtungsklassen mit Gewichten, die von CIE entworfen und von CEN übernommen wurde, wurde mit dem Ziel der flexiblen Auswahl adaptiver Beleuchtungsklassen entwickelt. Auf diese Weise ist es möglich, wenn die Bedingungen es zulassen, dass eine beleuchtete Straße die Beleuchtungsklasse und damit die Anforderungen an Beleuchtungsstufen, Gleichmäßigkeit usw. ändert. Dies erfordert eine entsprechende Gestaltung des Beleuchtungssystems, um die entsprechenden Lichtstromeinstellungen/-änderungen zu haben.

Die Änderung der Beleuchtungsklasse erfolgt, wenn eines oder mehrere der Auswahlkriterien sein Gewicht während des Betriebs der Beleuchtungsanlage ändern. Die meisten Auswahlkriterien für alle Klassen können geändert werden, außer natürlich für diejenigen, die sich auf Konstruktionselemente wie die Dichte von Straßenkreuzungen und die Spurtrennung beziehen.

Auf diese Weise werden mehrere Beleuchtungsstufen während der Nacht erreicht, die den lokalen und stündlichen Straßenbeleuchtungsbedürfnissen dienen und dem Fahrer optimale Bedingungen bieten und gleichzeitig den Energieverbrauch beibehalten und die Lichtverschmutzung auf ein optimales Niveau begrenzen.

Bei der Auswahl der Straßenbeleuchtungsklassen ist es daher notwendig, die Möglichkeit zu untersuchen, adaptive Beleuchtungsklassen und die entsprechenden Zeiträume zu definieren, in denen die Änderung stattfindet.

Die maximale M/C/P-Klasse, die sich aus der Gewichtsauswahlmethodik ergibt, ist die „nominale Beleuchtungsklasse“, während die anderen Klassen, die für bestimmte Zeiträume

ausgewählt wurden und denselben Teil der Straße abdecken, „adaptive Beleuchtungsklassen“ genannt werden.

Ein erläuternder Leitfaden und Beispiele für die Auswahl von nominalen und adaptiven Beleuchtungsklassen werden im nächsten Abschnitt vorgestellt.

2.3 Leitfaden zur Bestimmung von Straßenbeleuchtungsklassen

2.3.1 Leitfaden zur Bestimmung der Beleuchtungsklassen von Autobahnen und Abschnitten des nationalen Straßennetzes

Das Straßennetz, das aus Autobahnen und Abschnitten des nationalen Straßennetzes besteht, ist ein klar abgegrenztes und definiertes Netz mit klaren geometrischen Merkmalen und spezifischen Standardquerschnitten.

Gerade bei Autobahnen, die alle über fortschrittliche Systeme zur Messung und/oder Vorhersage der Verkehrslast verfügen, kann die Beleuchtungsklasse im statischen und/oder dynamisch variablen Modus (Dynamic Adaptive Lighting) genau definiert werden.

In dieser Art von Netzen ist die Klasse M für den offenen Straßenbau zu verwenden, wenn Beleuchtung vorhanden ist, und Klasse C in Risikobereichen im Sinne des § 2.3.

Insbesondere gilt für jedes Auswahlkriterium der Beleuchtungsklasse für eine Autobahn Folgendes:

a. Nenngeschwindigkeit.

Die klar definierte Geschwindigkeitsbegrenzung pro Abschnitt der Autobahn.

b. Verkehrsaufkommen

Das Verkehrsaufkommen von Autobahnen wird aus historischen Verkehrsaufzeichnungen z. B. über Schleifen, Mautstationen usw. entnommen. Wenn diese Daten direkt während des Tages zur Verfügung gestellt werden, ändert sich das Gewicht des Kriteriums entsprechend.

Die **nominale Beleuchtungsklasse** für jeden Autobahnabschnitt wird abgeleitet von **der Prozentsatz des kumulierten 24-Stunden-Verkehrs am typischen Tag des Jahres (durchschnittlicher jährlicher Tagesverkehr (AADT)), multipliziert mit der maximalen Verkehrskapazität des betreffenden Abschnitts** der Autobahn (Abbildung 5 – Durchschnittlicher jährlicher Tagesverkehr). Um einer künftigen Zunahme des Verkehrsaufkommens in der obigen Definition der nominalen Klasse Rechnung zu tragen, wird vorgeschlagen, die entsprechenden Verkehrsprognosen über einen Zeitraum von 10 Jahren zu übernehmen, sofern verfügbar, natürlich.

Gibt es unterschiedliche Verkehrsaufkommensprofile pro Tag der Woche oder pro Saison, auch wenn es erhebliche jahreszeitliche Veränderungen gibt und wenn historische Verkehrsdaten pro typischen Tag des Jahres verfügbar sind (Abbildung 5 – Typischer Montag bis Typischer Sonntag), ist die Nennbeleuchtungsklasse aus dem **kumulativen 24-Stunden-Verkehr des typischen Tages der Saisonwoche mit dem höchsten Verkehrsaufkommen** abzuleiten.

Die Definition und Umsetzung der **adaptiven Beleuchtungsklassen**, während der Nachtstunden des Straßenbeleuchtungsbetriebs wird auf den aktualisierten Verkehrslastmessungen, Prognosen und/oder Echtzeit-Verkehrsaufzeichnungsdaten basieren, d. h. dem prozentualen Anteil des Verkehrsaufkommens in den betreffenden Nachtstunden an der maximalen Verkehrskapazität des Straßenabschnitts und für jeden Zeitraum Δt , wie in den Beispielen in Abschnitt 2.3.3 dargestellt.

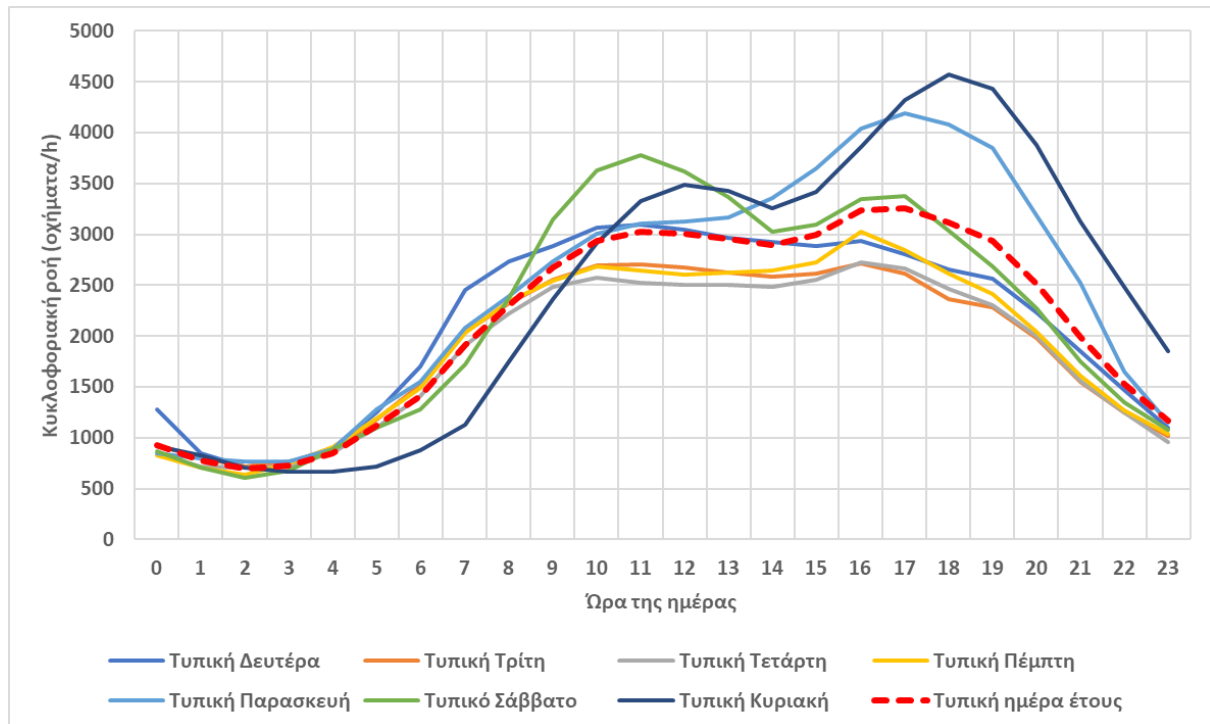


Abbildung 5. Beispiel des durchschnittlichen jährlichen Verkehrs pro Wochentag eines griechischen Autobahnabschnitts

Κυκλοφοριακή ροή (οχήματα/h)	Verkehrsfluss (Fahrzeuge/h)
Ωρα της ημέρας	Tageszeit
Τυπική Δευτέρα	Typischer Montag
Τυπική Τρίτη	Typischer Dienstag
Τυπική Τετάρτη	Typischer Mittwoch
Τυπική Πέμπτη	Typischer Donnerstag
Τυπική Παρασκευή	Typischer Freitag
Τυπικό Σάββατο	Typischer Samstag
Τυπική Κυριακή	Typischer Sonntag
Τυπική ημέρα έτους	Typischer Tag des Jahres

c. Zusammensetzung der Nutzer

Die Zusammensetzung der Nutzer wird durch die Art der Autobahn bestimmt und ist im Allgemeinen stabil. Wenn eine Änderung der Zusammensetzung der Nutzer während der Nacht statistisch festgestellt wird, kann sich das Gewicht entsprechend ändern.

d. Trennung der Verkehrsrichtungen

Dieses Kriterium hat ein festes Gewicht.

e. Dichte von Straßenkreuzungen

Die Dichte der Straßenkreuzungen wird für den gesamten Streckenabschnitt der betreffenden Autobahn berechnet.

f. Geparkte Fahrzeuge

In der Regel gibt es auf griechischen Autobahnen kein Parken von Fahrzeugen auf der Straße. Es ist zu beachten, dass die Notfallspur kein ausgewiesener Parkplatz ist.

g. Umgebungsbeleuchtung

Die Umgebungsbeleuchtung für griechische Autobahnen wird von Fall zu Fall bewertet:

- o Hoch In Abschnitten, die auf derselben Ebene durch dichtes Stadtgefüge mit angrenzenden beleuchteten Straßen, Geschäften, Sportanlagen usw. verlaufen.
- o Mittel In Abschnitten, die auf der gleichen Ebene durch halbstädtische, relativ spärlich bebaute Bereiche verlaufen und in denen künstliche Umgebungsbeleuchtung aus kleineren angrenzenden Straßen, Häusern und einem kleinen Prozentsatz von Geschäften besteht.
- o Niedrig In allen Abschnitten zwischen den städtischen Gebieten. Die Umgebungsbeleuchtung gilt auch dann als gering, wenn die Autobahn an bestimmten Einzelorten in der Nähe von Siedlungen verläuft.

h. Fahrschwierigkeiten

Die Fahrschwierigkeiten, wie in § 2.3 erläutert, können auf Autobahnen aufgrund der vorgesehenen Querschnitte, Markierungen und Sichtführungen genauer bestimmt werden (Tabelle 14).

Tabelle 14 – Fahrschwierigkeiten nach Standardautobahnabschnitten

Autobahnabschnitte	Fahrschwierigkeiten
Offener Abschnitt (Hauptachse)	Niedrig
Beschleunigungs-/Verzögerungstreifen	Niedrig
Auffahrts-/Abfahrtsabschnitt	Niedrig
Obere/untere Kreuzung	Niedrig ¹ /Hoch
Kreisverkehrsbereich	Sehr hoch
Kreuzungsbereich	Sehr hoch

2.3.2 Leitfaden zur Bestimmung der Beleuchtungsklassen von Standardstraßen innerorts

In den meisten Fällen weist das Straßennetz innerhalb der griechischen Stadtzentren gemeinsame Merkmale auf, sowohl in Bezug auf geometrische Merkmale als auch in Bezug auf die Verkehrseigenschaften. Für die Einstufung von Straßen nach EN 13201 ist es notwendig, diese Verkehrsdaten zu charakterisieren, um die richtigen Beleuchtungsklassen zuzuweisen. Daher ist es auch im Rahmen dieser Verordnung notwendig, die Beleuchtungsklasse und ihre Kategorie auf der Grundlage ihrer Verkehrsdaten mit dem Straßenzustand zu verbinden.

¹ Wenn es eine Trennung von Richtungen mit einer Leitschiene gibt, gilt die Fahrschwierigkeit als niedrig.

Zu diesem Zweck ist es in jedem solchen Fall einer städtischen Straße erforderlich, eine Verkehrsstudie zu erstellen oder die Straße anhand von Verkehrsdaten zu charakterisieren, um dem Straßenbeleuchtungsplaner den Straßenzustand anzuzeigen, dem der Planer Beleuchtungsklassen zuweist. Angesichts der gemeinsamen Merkmale der meisten dieser Standardfälle werden daher im Rahmen dieser Verordnung die folgenden Leitlinien für die Bestimmung der Beleuchtungsklasse in Ermangelung einer Verkehrsstudie gegeben.

Um möglichst alle Fälle von städtischen Straßen abzudecken, wird im Rahmen dieser Verordnung die folgende Verkehrsklassifizierung befolgt, auf der Grundlage der Tabelle 1-2 des Handbuchs für Straßenplanungsrichtlinien (OMOE) – Buch 2: Querschnitte (OMOE-Δ).

Stadtstraßen mit Zugang als Hauptfunktion (Abbildung 6), d. h.:

- Lokale Straßen (ΔV)
- Lokale Verteilerstraßen (ΔIV)

Straßen, die durch Bereiche innerhalb oder außerhalb des Stadtgefüges (städtische und halbstädtische Gebiete) verlaufen, mit der Hauptfunktion der Verbindung und mit der Möglichkeit der Wartung der straßenseitigen Eigenschaften, d. h.

- Lokale Hauptverteilerstraßen (ΓIV)
- Städtische Arterienstraßen (ΓIII)

Alle oben genannten Straßenfälle werden untersucht, nachdem sie der Klasse C direkt zugewiesen wurden, da sie ihre gemeinsamen Merkmale aufweisen, von denen die wichtigsten Folgendes sind:

1. Im Allgemeinen durchschnittliche bis niedrige Verkehrsgeschwindigkeit.
2. Häufige Straßenkreuzungen in einer in vielen Fällen geringeren Entfernung, als der Mindestbremswegabstand (SD).
3. Fälle von informell geparkten Fahrzeugen auf einer Seite der Straße oder sogar in zwei Richtungen, die die Komplexität des Fahreraufwands erhöhen.
4. Anwesenheit anderer Arten von Nutzern (Fußgänger usw.) auf der Fahrbahn aufgrund fehlender Übergänge.
5. Andere Hindernisse auf der Fahrbahn, wie Abfallbehälter, die bewegt wurden usw.
6. Erhöhte Fahrschwierigkeiten aufgrund der häufigen Halte von vorbeifahrenden Fahrzeugen oder anderen Arten von Nutzern angesichts der gewerblichen Tätigkeit, die diesen Straßentyp kennzeichnet.

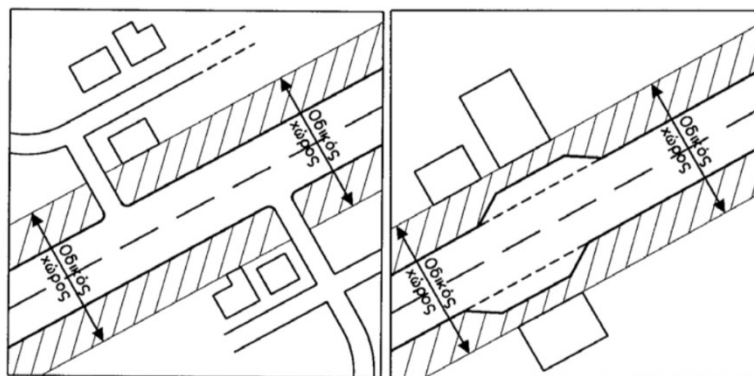


Abbildung 6. Fälle von Straßentypen C und D gemäß OMOE

Ähnlich wie bei Klassen C gibt es Fälle innerhalb des Straßennetzes, die direkt mit den Klassen P verbunden sind, wobei ihre geometrischen Eigenschaften und die Verkehrsrolle, die sie bedienen, berücksichtigt werden.

Insbesondere die Fälle von Stadtstraßen mit Aufenthalt als Hauptfunktion, d. h. lokale Straßen Typ EV, EVI, sind alle Fälle, die direkt mit den Klassen P untersucht werden (Abbildung 7).

Bei diesen Straßen werden in den meisten Fällen die folgenden gemeinsamen Merkmale beobachtet:

1. Extrem geringe Verkehrsgeschwindigkeit durch Geschwindigkeitsbegrenzungsmaßnahmen (verkehrsberuhigende Straßen).
2. Anwesenheit anderer Arten von Nutzern (Fußgänger, Radfahrer usw.) auf der Fahrbahn.
3. Andere Hindernisse auf der Fahrbahn, wie Abfallbehälter, die bewegt wurden usw.
4. Straßen mit Aufenthalt als Hauptfunktion und die straßenseitigen Eigenschaften dienen.

Darüber hinaus werden Straßen in Stadtteilen außerhalb des städtischen Gefüges mit Aufenthalt als Hauptfunktion, die fast ausschließlich den Bewohnern dieser Gebiete dienen, direkt mit den Klassen P untersucht.

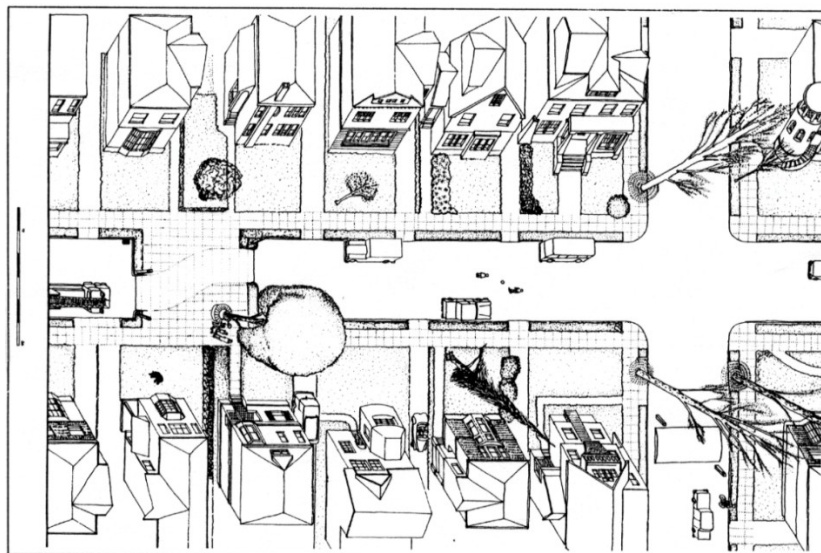


Abbildung 7. Fälle von Straßen des Typs E gemäß OMOE-1

Wie bereits erwähnt, werden die oben genannten Fälle von städtischen Straßen indikativ und nicht vollständig aufgeführt, mit dem Hauptziel, die betreffenden Fälle so umfassend wie möglich als Teil dieser Verordnung abzudecken, aber auch mit folgenden übergeordneten Zielen:

1. Erstens, wie bereits erwähnt, Unterstützung der Arbeitsplaner in Abwesenheit von Verkehrsstudien.
2. Unterstützung von Arbeitsplanern, wenn es notwendig ist, gemeinsame Studien und Gruppierungen von mehreren Straßenfällen durchzuführen.
3. Einheitlichkeit in der Stadtentwicklungsplanung.
4. Unterstützung der Bewertung und Überwachung/Wartung der städtischen Straßenbeleuchtungsanlage.

2.3.3 Beispiele für die Auswahl von nominalen und adaptiven Beleuchtungsklassen

Die Tabellen 10-13 enthalten illustrative Beispiele für Beleuchtungsklassen von Standardstraßen im griechischen Straßennetz innerorts und außerorts.

Diese Beispiele zeigen, wie sich Beleuchtungsklassen ändern, wenn sich das Gewicht eines oder mehrerer Kriterien ändert und sich die Gesamtsumme um mindestens einen Punkt ändert. Die dargestellten Zeitintervalle beziehen sich auf Stundenintervalle, zwischen denen sich die Gewichte ändern, und beziehen sich im Allgemeinen nicht auf die gleichen Stunden für alle Straßen.

Straßenbeleuchtungsstudien sollten auf der Grundlage von nominalen Klassen durchgeführt werden, und es sollten zusätzliche Berechnungen durchgeführt werden, um den erforderlichen Mindestlichtstrom von Beleuchtungsgeräten festzulegen, um jede adaptive Beleuchtungsklasse zu erreichen.

Tabelle 10. Beispiele für die Auswahl der Beleuchtungsklassen M

Kriterium	Optionen	Beschreibung		Straße 1			Straße 2	
				Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2
Nenngeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbegrenzung	Sehr hoch	$v \geq 100$ km/h		2	2	2	2	2
	Hoch	$70 < v < 100$ km/h						
	Mittel	$40 < v < 70$ km/h						
	Niedrig	$v \leq 40$ km/h						
Verkehrsaufkommen		Autobahnen, mehrspurige Richtungen	Zweispurige Richtungen					
	Hoch	> 65 % der maximalen Kapazität	> 45 % der maximalen Kapazität	1				
	Mittel	35 – 65 % der maximalen Kapazität	15 % – 45 % der maximalen Kapazität		0		0	
	Niedrig	< 35 % der maximalen Kapazität	< 15 % der maximalen Kapazität			-1		-1
Zusammensetzung der Nutzer	Gemischt, mit einem großen Anteil nichtmotorisierter Fahrzeuge							
	Gemischt							

	Nur motorisiert			0	0	0	0	0
Trennung von Verkehrsrichtungen	Nein							
	Ja			0	0	0	0	
Dichte von Straßenkreuzungen		Schnittpunkte/ km	Entfernung zwischen Knotenpunkten in mehreren Ebenen, km					
	Hoch	> 3	< 3	1	1	1		
	Mittel	≤ 3	≥ 3				0	0
Geparkte Fahrzeuge	Vorhanden							
	Nicht vorhanden			0	0	0	0	0
Umgebungsbeleuchtung	Hoch	Gewerbestraßen, Werbetafeln, Sportanlagen, Bahnhöfe usw.		1				
	Mittel	Normale Situationen			0	0		
	Niedrig						-1	-1
Fahrschwierigkeiten	Sehr hoch							
	Hoch							
	Niedrig			0	0	0	0	0
Summe der Gewichte (VWS)				5	3	2	1	0
Beleuchtung Klasse M (6-VWS)				M 1	M 3	M 4	M 5	M 6

Straße 1: Abschnitt einer gesperrten Autobahn mit Trennspur, innerhalb des Stadtgefüges mit hoher Dichte von Straßenkreuzungen und variabler Umgebungsbeleuchtung. Auch das Verkehrsaufkommen ist variabel. Die Klassenauswahl bezieht sich auf die Abschnitte zwischen den Knotenpunkten in mehreren Ebenen.

Straße 2: Abschnitt einer gesperrten Autobahn mit Trennspur, außerhalb des Stadtgefüges mit geringer Dichte von Straßenkreuzungen, mittlerem oder geringem Verkehrsaufkommen und geringer Umgebungsbeleuchtung. Die Klassenauswahl bezieht sich auf die Abschnitte zwischen den Knotenpunkten in mehreren Ebenen.

Tabelle 11. Beispiele für die Auswahl der Beleuchtungsklassen M

Kriterium	Optionen	Beschreibung	Straße 3			Straße 4	
			Δt_1	Δt_2	Δt_3	Δt_1	Δt_2
Nenngeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbegrenzung	Sehr hoch	$v \geq 100 \text{ km/h}$					
	Hoch	$70 < v < 100 \text{ km/h}$				1	1
	Mittel	$40 < v < 70 \text{ km/h}$	-1	-1	-1		
	Niedrig	$v \leq 40 \text{ km/h}$					
Verkehrsaufkommen		Autobahnen, mehrspurige Richtungen					
	Hoch	> 65 % der maximalen Kapazität	> 45 % der maximalen Kapazität	1			
	Mittel	35 – 65 % der maximalen Kapazität	15 % – 45 % der maximalen		0	0	

			Kapazität					
	Niedrig	< 35 % der maximalen Kapazität	< 15 % der maximalen Kapazität			-1		-1
Zusammensetzung der Nutzer	Gemischt, mit einem großen Anteil nichtmotorisierter Fahrzeuge							
	Gemischt			1	1	1	1	1
	Nur motorisiert							
Trennung von Verkehrsrichtungen	Nein			1	1	1	1	1
	Ja							
Dichte von Straßenkreuzungen		Schnittpunkte/ km	Entfernung zwischen Knotenpunkten in mehreren Ebenen, km					
	Hoch	> 3	< 3	1	1	1		
	Mittel	≤ 3	≥ 3				0	0
Geparkte Fahrzeuge	Vorhanden			1	1	1		
	Nicht vorhanden						0	0
Umgebungsbeleuchtung	Hoch	Gewerbestraßen, Werbetafeln, Sportanlagen, Bahnhöfe usw.						
	Mittel	Normale Situationen		0	0	0		
	Niedrig						-1	-1
Fahrschwierigkeiten	Sehr hoch							
	Hoch							
	Niedrig			0	0	0	0	0
Summe der Gewichte (VWS)				4	3	2	2	1
Beleuchtung Klasse M (6-VWS)				M 2	M 3	M 4	M 4	M 5

Straße 3: Urbane Allee ohne Trennung, hohe Dichte von Straßenkreuzungen und schwankende Verkehrslast sowie variable Umgebungsbeleuchtung. Die Klassenauswahl bezieht sich auf die Abschnitte zwischen Kreuzungen.

Straße 4: Provinzstraße mit zwei Fahrtrichtungen ohne Richtungstrennung, mit wenigen Kreuzungen und geringer Umgebungsbeleuchtung. Die Klassenauswahl bezieht sich auf die Abschnitte zwischen Straßenkreuzungen.

Tabelle 12. Beispiele für die Auswahl von Beleuchtungsklassen C

Kriterium	Optionen	Beschreibung	Straße 5		Straße 6		
			Δt_1	Δt_2	Δt_1	Δt_2	Δt_3
Nenngeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbegrenzung	Sehr hoch	$v \geq 100$ km/h					
	Hoch	$70 < v < 100$ km/h	2	2			
	Mittel	$40 < v < 70$ km/h					
	Niedrig	$v \leq 40$ km/h			-1	-1	-1
Verkehrsaufkommen	Hoch				1		
	Mittel		0			0	
	Niedrig			-1			-1
Zusammensetzung der Nutzer	Gemischt, mit einem großen Anteil nichtmotorisierter Fahrzeuge		2	2			
	Gemischt				1	1	1
	Nur motorisiert						

Trennung von Verkehrsrichtungen	Nein		1	1	1	1	1
	Ja						
Geparkte Fahrzeuge	Vorhanden				1	1	
	Nicht vorhanden		0	0			0
Umgebungsbeleuchtung	Hoch	Gewerbestraßen, Werbetafeln, Sportanlagen, Bahnhöfe usw.			1		
	Mittel	Normale Situationen				0	0
	Niedrig		-1	-1			
Fahrschwierigkeiten	Sehr hoch						
	Hoch						
	Niedrig		0	0		0	0
Summe der Gewichte (VWS)			4	3	4	2	0
Klasse C (6-VWS)			C2	C3	C2	C4	C6

Straße 5: T-Kreuzung auf einer Provinzstraße mit zwei Fahrtrichtungen ohne Richtungstrennung und geringer Umgebungsbeleuchtung. Die Klassenauswahl bezieht sich auf den Bereich, der durch die sich kreuzenden Straßen begrenzt ist, plus den Mindestbremswegabstand in jeder Richtung.

Straße 6: Städtische T-Kreuzung ohne Richtungstrennung, mit oder ohne geparkte Autos. Die Klassenauswahl bezieht sich auf den Bereich, der durch die sich kreuzenden Straßen begrenzt ist, plus den Mindestbremswegabstand in jeder Richtung.

Tabelle 13. Beispiele für die Auswahl von Beleuchtungsklassen P

Kriterium	Optionen	Beschreibung	Straße 7		Straße 8	
			Δt_1	Δt_2	Δt_1	Δt_2
Nenngeschwindigkeit oder Geschwindigkeitsbegrenzung	Niedrig	$v \leq 40$ km/h	1			
	Sehr niedrig (zu Fuß)	Gehgeschwindigkeit			0	0
Verkehrsaufkommen	Hoch					
	Mittel		0			
	Niedrig			-1	-1	-1
Zusammensetzung der Nutzer	Fußgänger, Radfahrer und motorisierter Verkehr		2	2		
	Fußgänger und motorisierter Verkehr					
	Fußgänger und Radfahrer				1	1
	Fußgänger					
	Radfahrer					
Geparkte Fahrzeuge	Vorhanden		1	1		
	Nicht vorhanden				0	0
Umgebungsbeleuchtung	Hoch	Gewerbestraßen, Werbetafeln, Sportanlagen, Bahnhöfe usw.			1	
	Mittel	Normale Situationen	0	0		0
	Niedrig					
Summe der Gewichte (VWS)			4	2	1	0
Beleuchtungsklasse P (6-VWS)			P2	P4	P5	P6

Straße 7: Städtische verkehrsberuhigende Straße mit geparkten Autos und variabler Nutzerzahl.

Straße 8: Fußgängerzone, die auch von Radfahrern innerhalb des Stadtgefüges genutzt wird, und in einem Gewerbegebiet mit wechselnder Umgebungsbeleuchtung.

2.4 Anforderungen an Straßenbeleuchtungsklassen

Für jede Beleuchtungsklasse gelten die entsprechenden Beleuchtungsanforderungen. Diese Anforderungen sind in der ELOT-Norm EN 13201-2 definiert und verpflichtend. Die Anforderungen sind sowohl qualitativ als auch quantitativ. Das quantitative Grundmerkmal der Klasse **M** ist die **Leuchtdichte L** der Fahrbahn von der Standardbeobachterposition (Fahrer) berechnet in cd/m^2 . Das quantitative Grundmerkmal der Klassen **C** und **P** ist die **Beleuchtungsstärke E** , die in lx berechnet wird. Die Beleuchtungsanforderungen für jede Klasse sind in den Tabellen 15-17 dargestellt.

Tabelle 15. Anforderungen an die Beleuchtungsklassen M gemäß ELOT EN 13201-2:2016

Klasse	Fahrbahnleuchtdichte für trockene und nasse Fahrbahn				Blendungsindex	Beleuchtung benachbarter Bereiche
	Trocken			Nass	Trocken	Trocken
	L_m (cd/m^2)	U_o	U_l	U_{ow}	f_{TI}	R_{EI}
M1	2,00	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M2	1,50	0,40	0,70	0,15	10	0,35
M3	1,00	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M4	0,75	0,40	0,60	0,15	15	0,30
M5	0,50	0,35	0,40	0,15	15	0,30
M6	0,30	0,35	0,40	0,15	20	0,30

darin ist:

- L_m : Durchschnittliche Fahrbahnleuchtdichte (mindestens)
- U_o : Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte (mindestens)
- U_l : Gleichmäßigkeit der länglichen Leuchtdichte (mindestens)
- U_{ow} : Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte auf nasser Fahrbahn (mindestens)
- f_{TI} : Blendungsindex (maximaler Wert)
- R_{EI} : Beleuchtungsindex der an die Straße angrenzenden Bereiche (mindestens)

Tabelle 16. Anforderungen der Beleuchtungsklasse C gemäß ELOT EN 13201-2:2016

Klasse	Zwingende Anforderungen		Optionale Anforderung
	E_m (lx)	U_o	f_{TI} (%)
C0	50,0	0,40	15
C1	30,0	0,40	15
C2	20,0	0,40	15
C3	15,0	0,40	20
C4	10,0	0,40	20
C5	7,50	0,40	20

darin ist:

- E_m : Durchschnittliche Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn (mindestens)
- U_o : Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke (mindestens)

Tabelle 17. Anforderungen der Beleuchtungsklasse P nach ELOT EN 13201-2:2016

Klasse	Zwingende Anforderungen		Optionale Anforderungen		
	E_m (lx)	E_{min} (lx)	f_{TI} (%)	$E_{v,min}$ (lx)	$E_{sc,min}$ (lx)
P1	15,0	3,00	20	5,00	5,00
P2	10,0	2,00	25	3,00	2,00
P3	7,50	1,50	25	2,50	1,50
P4	5,00	1,00	30	1,50	1,00
P5	3,00	0,60	30	1,00	0,60
P6	2,00	0,40	35	0,60	0,20
P7	Es gibt keine quantitative und qualitative Anforderung				

darin ist:

E_m : Durchschnittliche Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn (mindestens)

$E_{v,min}$: Mindestwert der vertikalen Lichtintensität auf der Fahrbahn

$E_{sc,min}$: Mindestwert der halbzylindrischen Beleuchtung auf der Fahrbahn

E_{min} : Minimaler Beleuchtungswert

Um die Gleichmäßigkeit in Klassen **P** zu gewährleisten, darf der jeweils berechnete oder gemessene Durchschnittswert der Beleuchtungsstärke nicht mehr als 150 % des Nennwerts betragen. Für weitere Einzelheiten zu den Mindestanforderungen für jede Beleuchtungsklasse hat der Arbeitsplaner die Norm ELOT EN 13201-2 zu konsultieren.

Bitte beachten Sie, dass die Verwendung der optionalen Anforderungen an Blendung in Klasse C dem Ermessen der Lichtprojekteigentümer überlassen wird. Die Verwendung der optionalen Anforderungen an Blendung, vertikale Lichtintensität und halbzylindrische Beleuchtung in den Klassen P bleibt auch aus Gründen der Gesichtserkennung oder aus anderen Gründen dem Ermessen der Lichtprojekteigentümer überlassen.

3. Straßenbeleuchtungsdesign, Beleuchtungsstudien

Die Gestaltung der Straßenbeleuchtung sollte den Mindestanforderungen der jeweiligen Beleuchtungsklassen entsprechen, wie sie im Rahmen des in Kapitel 2 analysierten Verfahrens ausgewählt wurden, und umfasst die Auswahl der Geräte und ihrer entsprechenden Ausrüstung auf dem betreffenden Straßenabschnitt. Fototechnische Berechnungen sind nach ELOT EN 13201-3:2015 oder neuer durchzuführen.

Klassenanforderungen unterscheiden sich und hängen in erster Linie von der Art der gewählten Beleuchtungsklasse ab, d. h. ob sie auf die Abdeckung der Leuchtdichte (Klasse Mn) oder der Beleuchtungsstärke (Klassen C, P) ausgerichtet ist.

Straßen der Klasse M erfordern die Berechnung von L_{av} (cd/m^2), U_o , U_l , U_{ow} , f_{TI} , R_{EI} .

Straßen der Klasse C erfordern die Berechnung von E (lx), U_o und optional f_{TI} (%).

Straßen der Klasse P erfordern die Berechnung von E (lx) E_{min} (lx), während die Folgenden optional berechnet werden: E_v (lx), E_{sc} (lx) και f_{TI} (%).

Die vorstehenden Bestimmungen werden durch die Anforderungen jeder Beleuchtungsklasse gemäß Kapitel 2 definiert. Die Berechnungen der photometrischen Eigenschaften sind auf einem Standardraster gemäß den Anforderungen der EL0T EN 13201-3:2015 oder einer späteren Version davon durchzuführen.

3.1 Auswahl von Standardgeometrien

Für die Durchführung der Lichtstudien müssen dem Arbeitsplaner zusätzlich zu den Angaben zu den Klassenanforderungen die folgenden zusätzlichen Daten gemäß Tabelle 18 zur Verfügung stehen.

Tabelle 18. Zusätzliche Daten, die für Studien zur Straßenbeleuchtung erforderlich sind

Geometrische Straßeneigenschaften	• Straßenbreite • Anzahl der Gehwege • Gehwegbreite (falls vorhanden) • Trennungsspur(en)breite (falls vorhanden) • Anzahl der Fahrspuren • Typ der Fahrbahn - Asphalt
Eigenschaften des Straßenbeleuchtungsgeräts	• Höhe der Lichtmasten • Konfiguration von den Lichtmasten an den Straßenrändern • Entfernung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Lichtmasten • Entfernung der Lichtmasten vom Bordstein • Armlänge • Neigung des Armes/der Leuchte
Sonstige Daten	• Wartungsfaktor der Installation

Sind Leuchten nicht an Masten (Oberflächenstütze, Kabelaufhängung usw.) angebracht, so hat der Arbeitsplaner sicherzustellen, dass die Ergebnisse seiner Studie den Anforderungen der Verordnung entsprechen.

Betrifft die Beleuchtung ein neues Netz einer Masteninfrastruktur mit der Möglichkeit, diese Standorte auszuwählen, muss der Arbeitsplaner die optimale Positionierung der Leuchten (z. B. Masthöhe, Mastabstand, Steigung usw.) anhand der Energieeffizienz der Installation, der Qualität des erbrachten Beleuchtungsdienstes und der örtlichen restriktiven Arbeitsbedingungen prüfen und auswählen. Gleichzeitig muss die gewählte Beleuchtungsanlage aus energie- und fototechnischer Sicht optimal sein.

In neuen Beleuchtungsanlagen werden fototechnische Studien für alle vorhandenen Geometrien durchgeführt, um den erforderlichen Lichteffekt entsprechend jeder Klasse an jedem Punkt der Anlage zu gewährleisten. Sind Abweichungen zwischen den verschiedenen Geometrien geringfügig oder nicht geringfügig, aber zahlreich und aufgrund verschiedener Schwierigkeiten bei der Arbeitsgestaltung unvermeidlich, so kann der Arbeitsplaner durch geeignete Gruppierung Studien für repräsentative Fälle durchführen, die als „Standardberechnungsraster“ gelten.

Standardberechnungsraster sind bei Studien an einem bestehenden Straßenbeleuchtungsnetz am kritischsten, wo es keinen Raum für Modifikationen und Eingriffe in der Anordnung der

Masten gibt. In diesen Fällen gruppiert der Arbeitsplaner die verschiedenen Fälle und erstellt repräsentative Fälle von Straßen und Geometrien. Die geometrischen Merkmale der Straßen sind so zu gruppieren, dass Straßen derselben Gruppe fototechnisch von einer photometrischen Lösung abgedeckt werden (Leuchtenart, Lichtstärkeverteilung, Gesamtlichtstrom usw.). Daher erstellt diese Methode eine Reihe von verschiedenen Fällen für die Erfüllung fototechnischer Anforderungen, deren Anzahl von folgenden Faktoren abhängt:

- Die Gesamtzahl der Leuchten, die im Eingriff enthalten sind.
- Die Anzahl der unterschiedlichen Fälle von Geometrien, die sich aus Besonderheiten und mangelnder Einheitlichkeit des untersuchten Gebiets ergeben.
- Der Grad der Anwesenheit von mehreren Arten von Beleuchtungsgeräten aufgrund von ästhetischen oder anderen Anforderungen usw.

Der oben genannte Satz repräsentativer Straßen ist definiert als **Fototechnischer Standard** des Eingriffs.

Jeder Standardfall wird von der entsprechenden Anzahl der Leuchten begleitet, die er repräsentiert, so dass seine Auswirkungen auf den Gesamtenergieverbrauch der Lösung beurteilt werden können.

Es wird darauf hingewiesen, dass der Arbeitsplaner die Standardraster auf der Grundlage der ungünstigsten geometrischen Eigenschaften auswählen muss, um sicherzustellen, dass alle „repräsentierten“ Geometrien aus einer fototechnischen Perspektive angemessen abgedeckt werden.

Es wird angemerkt, dass, wenn sich die Straßeneigenschaften unterscheiden, der Arbeitsplaner für jeden einzelnen Abschnitt ein Standardraster wählt. Daher ist die Wahl eines Standardrasters mit den ungünstigsten Eigenschaften nur für diesen Abschnitt und nicht für die anderen Abschnitte relevant.

Daher wird die Auswahl der geometrischen Eigenschaften der Standardgeometrien des Fototechnischen Standards ausgewählt, um die fototechnischen Anforderungen der Straßen so weit wie möglich zu erfüllen.

Der Fototechnische Standard muss vollständig sein, d. h. alle Merkmale enthalten, die für die Durchführung fototechnischer Studien erforderlich sind, sich aber auch auf die Anwendung von Optimierungsanforderungen für die Beleuchtungsplanung mit Leistungsbewertungsindikatoren gemäß § 3.4 konzentrieren.

Tabelle 19 enthält Beispiele für das Standardberechnungsraster eines Fototechnischen Standards. Die angezeigten Werte sind indikativ.

Tabelle 19. Beispiel für Standardberechnungsraster eines Fototechnischen Standards.

Standardraster	Montage von Masten	Trennspurbreite (m)	Straßenbreite (m)	Anzahl der Fahrspuren pro Verkehrsrichtung	Mastabstand (m)	Leuchtenstützhöhe (m)	Leuchtenabstand von der Fahrbahn (m)	Vorhandener Armwinkel (°)	Beleuchtungsklasse
1	Trennungsspur	-	6,0	1	35	9	0,35	5	M2
2	Rechts	-	12,5	3	40	12	0,70	0	M2
3	Rechts	-	9,0	2	27	9	0,50	5	M3
4	Trennungsspur	6	6,0	1	26	9	-1,20	0	M3
5	Trennungsspur	4	7,0	2	24	9	-0,25	0	M3
6	Gekreuzt	-	7,5	2	36	9	0,00	10	M4
7	Rechts	-	8,0	2	28	9	1,50	0	M4
8	Rechts	-	8,0	2	28	9	1,50	0	M5
9	Rechts	-	10,0	2	33	7	0,35	5	M5
10	Rechts	-	12,0	3	30	7	-1,50	15	M5
11	Rechts		5,0	1	30	7	0,60	0	C2
12	Rechts		6,0	1	29	7	0,10	5	C2
13	Rechts		6,5	1	32	7	0,40	5	C3
14	Rechts		6,5	1	31	9	1,50	0	C3
15	Rechts		6,5	1	34	7	-2,00	5	C3
16	Gekreuzt		6,5	1	38	9	1,00	0	C3
17	Rechts		7,0	2	35	7	-1,20	0	C4
18	Rechts		7,0	2	25	9	-1,70	0	C4
19	Rechts		7,0	2	32	7	-1,50	5	C5
20	Rechts		8,0	2	30	7	0,00	5	C5

3.2 Wartungsfaktor

Ein Schlüsselement der Beleuchtungsauslegung ist die Festlegung des Wartungsfaktors für die Verringerung der Beleuchtungskapazität der Installation im Laufe der Zeit.

In jeder Beleuchtungsstudie wird der jeweilige Wartungsfaktor (Maintenance Factor – MF) der Anlage berechnet. Der Wert des Wartungsfaktors wird auf die berechneten photometrischen Eigenschaften angewendet und wirkt sich somit auf den installierten Strom- und Stromverbrauch aus.

Der Wartungsfaktor ist das Verhältnis von Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke, das ein Beleuchtungssystem nach einer klar definierten Betriebsdauer zur Leuchtdichte bzw. Beleuchtungsstärke erreicht hat, die das System am ersten Betriebstag erreicht hat (neues System). Die Berechnungsmethodik ist im technischen Bericht CIE-154:2003 und in der Norm ISO/CIE TS 22012:2019 beschrieben.

Der Wartungsfaktor ist wie folgt definiert: $MF = E_m / E_{in}$ (3)

darin ist:

E_m : Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke nach einer klar definierten Betriebsdauer (erhalten)

E_{in} : Leuchtdichte oder Leuchtdichte am ersten Betriebstag (anfänglich)

Die Berechnung des Wartungsfaktors, wie oben definiert, ist für eine bestimmte und klar definierte Betriebsdauer der Anlage relevant. Dies bedeutet, dass für dieselbe Anlage ein anderer Wartungsfaktor für einen anderen Zeitraum berechnet wird. Daher wird ein weiterer Wartungsfaktor berechnet, zum Beispiel für 2 Jahre und ein weiterer Wartungsfaktor für 4 Jahre. Dieser Zeitraum sollte vom Arbeitsplaner als der erwarteten/verordneten nützlichen Lebensdauer der ausgewählten Leuchtentypen entsprechend angesehen werden, gemäß den nachstehenden Angaben des entsprechenden und ordnungsgemäß zertifizierten Herstellers.

Der Wartungsfaktor ist als Produkt aus drei Teilfaktoren nach folgender Gleichung zu berechnen.

$$MF = LLMF \times LSF \times LMF \quad (4)$$

Jeder Faktor wird wie folgt definiert und berechnet:

LLMF – Lamp Lumen Maintenance Factor (Lampen-Lumen-Wartungsfaktor):

Der Wartungsfaktor berechnet die Abnahme des Lichtstroms der Lichtquellen über die Betriebsstunden. Es wird auf der Grundlage der technischen Eigenschaften jeder Lichtquelle berechnet. Für LED-Quellen ist der Faktor auf der Grundlage der Daten des Herstellers der LED-Lichtquelle gemäß IES-LM-80 und IES-TM-21 und/oder IEC 62717 und für den Zeitraum zu berechnen, der sich auf den berechneten Wartungsfaktor bezieht.

LSF – Lamp Survival Factor (Lampen-Überlebensfaktor):

Berechnet die Ausfallwahrscheinlichkeit von Lichtquellen und wird vom Hersteller der Lichtquellen zur Verfügung gestellt.

LMF – Luminaire Maintenance Factor (Leuchtenwartungsfaktor):

Berechnet die Abnahme der Leuchtenleistung in Bezug auf optische Teile wie Objektive, Reflektoren, Kappen usw. Die Berechnung erfolgt in Verbindung mit der IP-Schutzart der Leuchte. Beispiele sind den entsprechenden Tabellen von CIE 154:2003 und ISO/CIE TS 22012:2019 zu entnehmen. Bei dieser Berechnung berücksichtigt der Arbeitsplaner die geplante Wartungs-/Reinigungshäufigkeit der Leuchten auf der Grundlage der Spezifikationen/Handbücher der betreffenden Arbeiten.

3.3 Beleuchtungsplanungssoftware

Die Planungssoftware muss in der Lage sein, die notwendigen fototechnischen Berechnungen durchzuführen. Sie enthält alle Änderungen europäischer und anwendbarer Normen (z. B. EN 13201)) und hat auch die Möglichkeit, 3D-Modelle der photometrischen Analyse zu erstellen. Es ist auch notwendig, dass diese mit den Photometrien der meisten Industrieleuchten des internationalen Marktes in den bekanntesten Dateiformaten (.ldt,.ies) oder neueren kompatibel ist.

3.4 Planungsoptimierung

Wie in § 3.1 erläutert, hat der Arbeitsplaner in jedem Fall den kompletten Fototechnischen Standard zu erstellen, der alle für die Erstellung fototechnischer Studien zu spezifischen Anforderungen erforderlichen Merkmale enthält, so dass ihre Optimierung dann auf der Grundlage des Energiefußabdrucks des Eingriffs sowie der Effizienz der Nutzung der erzeugten Beleuchtung durchgeführt werden kann.

Bei der Optimierung geht es um das Finden/Erforschen der alternativen photometrischen Lösungen, die sich aus den Geräten für jeden Fall des Fototechnischen Standards ergeben, sowie die Suche nach der besten Lösung in jedem Raster einzeln und/oder insgesamt in der betreffenden Anlage. Bei der Optimierung geht es daher darum, die energieeffizienteste Lösung zu finden, d. h. die Lösung mit der geringsten absorbierten elektrischen Leistung.

Gleichzeitig berechnet der Arbeitsplaner die in ELOT EN 13201-5:2016 festgelegten Qualitäts- und Energieeffizienzindikatoren.

3.4.1 Indikator der Leistungsdichte – Power Density Indicator

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (E_i \cdot A_i)} \frac{W}{lx \cdot m^2} \quad (5)$$

darin ist:

D_p : Indikator der Leistungsdichte

P : Gesamtleistung der Leuchten, die den betreffenden Bereich abdecken

E_i : Die durchschnittliche horizontale Beleuchtungsstärke des Teilbereichs **i**

A_i : Die Fläche des Teilbereichs **i** , die durch das Beleuchtungssystem beleuchtet wird

n : Die Anzahl der beleuchteten Teilbereiche

Der Indikator **D_p** berechnet die Leistung des Beleuchtungssystems im Interessengebiet (Fahrbahn, Gehwege usw.) und zeigt die für die Straßenbeleuchtung erforderliche absorbierte Leistung an. Es ist zu beachten, dass der D_p -Indikator eine Bewertung der

Beleuchtungslösung auf der Grundlage des Beleuchtungskriteriums ist, d. h. für die Beleuchtungsklassen C und P.

Die ausführliche Gebrauchsanweisung dieses Indikators ist in ELOT EN 13201-5:2016 beschrieben.

3.4.2 Leuchtdichtefaktor

Bezieht sich das Auslegungskriterium auf die Leuchtdichte, d. h. die Klassen M, muss der Arbeitsplaner den Faktor der Leuchtdichte q_{inst} wie unten und ausführlicher in ELOT EN 13201-5 dargelegt, berechnen.

$$q_{inst} = \frac{\bar{L}}{Q_0 \cdot \bar{E}} \quad (6)$$

darin ist:

q_{inst} : Leuchtdichtefaktor

$\bar{L}$: Durchschnittliche Leuchtdichte der Fahrbahn

$\bar{E}$: Durchschnittliche Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn

Q_0 : Das gesamte Asphaltreflexionsvermögen

Der Leuchtdichtefaktor zeigt die Effizienz der Beleuchtungsverteilung und die Positionierung der Leuchten an, um für einen gegebenen Faktor des Asphaltreflexionsvermögens eine möglichst geringe Leuchtdichte auf der Fahrbahn zu erzielen.

3.4.3 Gesamteffizienzindikator der Anlage.

Die Gesamteffizienz einer Beleuchtungsanlage kann für Anlagen mit Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke als Berechnungskriterium unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet werden.

$$n_{inst} = C_L \cdot f_M \cdot U \cdot R_{LO} \cdot n_{ls} \cdot n_p \quad (7)$$

darin ist:

n_{inst} : Gesamteffizienz der Straßenbeleuchtungsanlage

C_L : Leuchtdichtenkorrekturfaktor

f_M : Gesamtwartungsfaktor der Anlage

U : Nutzungsfaktor der Anlage

R_{LO} : Optisches Ausgangsverhältnis der Leuchten

n_{ls} : Effizienz der Lichtquellen in lm/W

n_p : Energieeffizienz der Leuchten

Die ausführliche Gebrauchsanweisung dieses Indikators ist in ELOT EN 13201-5:2016 beschrieben.

3.4.4 Jährlicher Energieverbrauchsindikator

Der jährliche Energieverbrauchsindikator D_e berechnet die Leistung des Beleuchtungssystems im Bezugszeitraum (z. B. Jahr) im Interessengebiet. Dieser Indikator gibt die Menge an verbrauchter Energie an, die für die Straßenbeleuchtung benötigt wird.

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \cdot t_j)}{A} \frac{Wh}{m^2} \quad (8)$$

darin ist:

D_e : Jährlicher Energieverbrauchsindikator

P_j : Gesamtleistung der Leuchten, die den betreffenden Bereich während der Betriebsdauer **j** abdecken

t_j : Dauer des Betriebszeitraums **j**

A : Fläche des durch das Beleuchtungssystem beleuchteten Bereichs

m : Anzahl der verschiedenen Betriebszeiten

Der Arbeitsplaner kann sich auf die Norm ELOT EN 13201-5 beziehen, um detailliertere Informationen zur Erläuterung der einzelnen Elemente und zur Umsetzung der Leistungsindikatoren zu erhalten.

Die ausführliche Gebrauchsanweisung dieses Indikators ist in ELOT EN 13201-5:2016 beschrieben.

Der Arbeitsplaner hat die Möglichkeit, andere Qualitätskriterien einzuführen, die zur Verbesserung des erbrachten Beleuchtungsdienstes führen. Beispiele hierfür sind die Berechnung der installierten Leistung pro Straßenkilometer (kW/km), die Bewertung der verschiedenen Beleuchtungsvorschläge nach der Gesamthelligkeit (Leuchtdichte und/oder Beleuchtungsstärke) und der länglichen Leuchtdichte.

Es wird vorgeschlagen, die Qualitätskriterien des Phototechnischen Standards als technische Bewertungskriterien für die Bewertung alternativer Angebote in den Ausschreibungsverfahren zu verwenden, da es sich um eine rein objektive Bewertungsmethode handelt, die ein positives Beleuchtungsergebnis fördert.

3.5 Lichtverschmutzungsbegrenzung und Farbtemperatur von Lichtquellen

Lichtverschmutzung ist ein wichtiger Nebeneffekt der Außenbeleuchtung, die sowohl die Nutzer selbst als auch die Umgebung beeinflusst. Um Streulicht und Lichtverschmutzung in angrenzenden Bereichen zu begrenzen, müssen Leuchten, die in der Straßenbeleuchtung verwendet werden, konstruktiv keine Lichtemissionen in der oberen Hemisphäre aufweisen, d. h. ULOR = 0 %. Die Bewertung dieser Indikatoren erfolgt unter Bezugnahme auf die Positionierung der Leuchten im Winkel von 0 Grad. Es sei darauf hingewiesen, dass diese Anforderung Straßenleuchten und nicht architektonische Leuchten (Deckenleuchten, dekorative Beleuchtung usw.) betrifft. In besonderen Fällen von Straßenbeleuchtung mit hochasymmetrischen Scheinwerfern oder Leuchten kann eine Abweichung von der Spezifikation bis einschließlich der Kategorie U1 zulässig sein.

In Fällen, in denen es als angemessen erachtet wird, die Leuchten in einem Winkel von mehr als 0 Grad (aufgrund einer effizienteren Lösung) zu platzieren, wird vorgeschlagen, dass der Winkel der Leuchten 10 Grad nicht überschreiten sollte, und es wird festgelegt, dass er in keinem Fall 15 Grad überschreiten sollte.

Gemäß der „Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and Traffic Signals“ der GFS der EU, um die Auswirkungen hoher Farbtemperatur auf den menschlichen circadianen Rhythmus zu verringern und die Melatonin-Sekretion zu unterdrücken und die Auswirkungen auf Lebewesen zu begrenzen, sowie gemäß den Vorschriften anderer europäischer Länder sollte die Nennfarbtemperatur von Lichtquellen für die Nutzung im nationalen Straßennetz $\leq 4\,000\text{ K}$ (empfohlen $\leq 3\,000\text{ K}$) betragen, während für Wohngebiete die Verwendung von Lichtquellen mit einer Nennfarbtemperatur $\leq 3\,000\text{ K}$ erforderlich ist.

4. Spezifikationen für Geräte

4.1 Technische Mindestspezifikationen für Straßenbeleuchtungsleuchten

Armleuchten oder gleichwertige Straßenscheinwerfer, die für die Außenbeleuchtung jedes Straßentyps verwendet werden, müssen die folgenden technischen minimalen technischen Eigenschaften und Bescheinigungen aufweisen. Straßen- oder Stadtleuchten mit architektonischer dekorativer Gestaltung sind ausgeschlossen. Es sei darauf hingewiesen, dass jeder öffentliche Auftraggeber zusätzliche Spezifikationen von den nachstehend aufgeführten verlangen kann und die Spezifikationen der geltenden HTS (Hellenischen Technischen Spezifikation) enthalten kann.

4.1.1 Konstruktionsmerkmale einer Leuchte

Der Leuchtenkörper muss aus einem geeigneten Material für die Betriebsbedingungen und Anforderungen bestehen. In Fällen, in denen Beleuchtungseinrichtungen in der Nähe einer Meeresumwelt sind, müssen sie der Meeresumgebung standhalten. Die Konstruktion des Leuchtenkörpers stellt sicher, dass die Wärme, die sowohl für die optische Quelle als auch für die elektrischen Teile erzeugt wird, abgeführt werden kann. Die Leuchte kann, wenn dies in den jeweiligen Lichtstudien erforderlich ist, eine Winkelverstellung haben. Dementsprechend müssen Scheinwerfer mit geeigneten Stützen für ihre ordnungsgemäße Einstellung an den Sockeln der Pole ausgestattet sein.

Bei Scheinwerfern, bei denen sich die elektrischen Instrumente in einem separaten Gehäuse von der optischen Einheit befinden, müssen sie in einem geeigneten Rahmen für ihren ordnungsgemäßen Betrieb verriegelt sein und von der entsprechenden Verkabelung zur optischen Einheit begleitet sein.

4.1.2 Schutzabdeckung

Die Schutzabdeckung ist so konzipiert, dass sie die optische Einheit vor der äußeren Umgebung schützt. Die Abdeckung, die zum Schutz der optischen Einheit verwendet wird, kann die folgenden 2 Formen aufweisen.

- Bei optischen LED-Quellen muss die Schutzabdeckung aus gehärtetem Glas bestehen, das die optische Quelle und die Lichtdiffusionslinsen oder Reflektoren insgesamt schützt. Die Abdeckung kann klar oder lichtdurchlässig sein (vom Frosted-Typ).
- Schutzabdeckung aus Polycarbonatmaterial mit Beständigkeit gegen ultraviolette Strahlung (UV). In diesem Fall kann die Schutzabdeckung auch mit Diffusionslinsen ausgestattet werden.

4.1.3 Optische Einheitsmaterialien

Bei einer Glas- oder Polycarbonatabdeckung ohne Diffusionslinsen wird die Diffusion durch Aluminiumlinsen oder Reflektoren erreicht. Linsen können aus PMMA oder Silikon oder einem anderen gleichwertigen Material bestehen, das gegen Betriebstemperaturen beständig ist. Reflektoren müssen aus eloxiertem Aluminium oder einem anderen Material mit höherer Reflexion bestehen.

4.1.4 Betriebseigenschaften

4.1.4.1. Photometrische Daten

Photometrische Daten werden bei einer Temperatur von T_a 25 °C erhalten. Photometrische Daten werden gemäß EN 13032 oder IES LM 79 (ihre neuesten Versionen) erfasst.

Die Lichtstärke und der Lichtstrom der Leuchten werden je nach Lichtbedarf jeder Anwendung ausgewählt. Darüber hinaus darf bei Verwendung von LED-Leuchten die korrelierte Farbtemperatur (CCT) 4 000 K nicht überschreiten (siehe § 3.5). Die Kombination von CCT und CRI wird in Farbcodes nach IEC 62717 ausgedrückt, z. B. 740 (CRI 70, 4 000 K), 730 (CRI 70, 3 000 K) usw.

Die Lichtstärkeverteilung der Leuchte muss vom Arbeitsplaner entsprechend den Anforderungen ausgewählt werden.

4.1.4.2. Elektrische Eigenschaften

Die Leuchte muss folgende elektrische Mindesteigenschaften aufweisen:

- Betrieb in einem Netz mit einer Nennbetriebsspannung von 230V AC 50 Hz und einer Toleranz gegenüber Schwankungen beim Nennbetriebswert von mindestens 220-240V.
- Schutz gegen Überspannungen von mindestens 10 kV (nach ELOT EN 61000-4-5, Prüfklasse X).
- Elektrische Stoßschutzklasse I oder II (nach EN 60598-1).
- Leistungsfaktor von mindestens 0,9 im Vollastmodus der Leuchte. In Fällen, in denen die Leuchte auch unter Dimmbedingungen arbeitet, muss der Arbeitsplaner sicherstellen, dass der Leistungsfaktor so hoch wie möglich und so nah wie möglich an dem oben genannten Wert gehalten wird.
- Lichtflimmerkontrolle (PstLM, SVM nach IEC TR 61547-1:2020 und IEC TR 63158:2018).

4.1.4.3. Schutzart gegen äußere Einflüsse

Die Leuchte muss wasserdicht und staubdicht mindestens IP66 sein und eine Stoßfestigkeit von mindestens IK08 aufweisen.

Die Leuchte muss für den Betrieb in einer äußeren Umgebung zwischen -20 °C und + 40 °C geeignet sein. Angesichts der Bedeutung der hohen Temperatur für die Funktionalität von Leuchten entspricht die obere Temperaturgrenze EN/IEC 60598. Insbesondere muss jede Leuchte bei einer Temperatur von bis zu T_a 40 °C oder höher arbeiten können, abhängig von den äußeren Umgebungsbedingungen.

4.1.4.4 Konnektivität

LED-Leuchten müssen eine Lichtstromdimmfunktion haben. Zu diesem Zweck müssen ihre Stromversorgungsgeräte je nach technologischem Fortschritt in der Lage sein, entsprechende Befehle über DALI oder 1-10V (0-10V) oder PWM oder einen anderen Typ zu empfangen.

Wenn Leuchten nicht mit der oben genannten Verwaltungslösung geliefert werden, müssen sie mit geeigneten zukünftigen Erweiterungsbuchsen geliefert werden. Diese Buchsen sorgen für den reibungslosen Betrieb der Leuchte bis zur Installation einer Steuerung. Insbesondere muss jede Straßenleuchte mit NEMA Socket 7 PIN C136.41 oder Zhaga Socket oder einem anderen standardisierten Äquivalent gemäß den technologischen Fortschritten und Konnektivitätstechniken ausgestattet sein.

Alle internen Anschlüsse der Leuchte müssen während der Produktion ausgeführt werden, und die künftige Installation einer Steuerung muss so einfach wie möglich sein.

4.1.4.5 Aufrechterhaltung des Lichtstroms

Die Aufrechterhaltung des Lichtstroms von LED-Quellen wird durch den technischen Bericht IES LM-80 und IES TM-21 ausgedrückt. Leuchten müssen LED-Quellen mit einem Mindestwert von L80 haben, berechnet bei 50 000 Stunden bei einer Außentemperatur von mindestens 25 °C. Der Bericht LM 80 ist als Nachweis für diese Erklärung zu verwenden, die einen oder mehrere repräsentative Datensätze der Leuchtenfunktion enthalten muss, d. h. Kombinationen von Fahrstrom (If-mA) und Temperatur Ts (oder Tsp).

Es wird angemerkt, dass, wenn eine Erklärung über die Aufrechterhaltung des Lichtstroms mit einem anderen Byy-Koeffizient als B50 angefordert wird, auch IEC 62717 für die Berechnung verwendet werden kann.

4.1.4.6 Zertifizierungen

Leuchten müssen mindestens folgende Bescheinigungen aufweisen:

1. Konformitätserklärung des Herstellers nach CE. Die Erklärung enthält gegebenenfalls die Einhaltung der Richtlinien und der entsprechenden Harmonisierungsnormen.
 - a. Niederspannungsrichtlinie (LVD) 2014/35/EU
 - b. Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) 2014/30/EU
 - c. Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG
 - d. Verordnung (EU) 2017/1369 ergänzt durch die Verordnung (EU) 2019/2015
 - e. ATEX 2014/34/EU für Produkte, die zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen bestimmt sind, gegebenenfalls und wenn die Studie die Schaffung solcher Bedingungen an den Orten vorsieht, an denen die Produkte platziert werden sollen
 - f. RoHS-Richtlinie 2011/65/EU
2. Der Hersteller von Leuchten muss über ein aktives Qualitätsmanagementsystem ISO 9001:2015 und ein Umweltmanagementsystem ISO 14001:2015 oder neuer verfügen. Die Zertifizierung umfasst die Herstellung und das Inverkehrbringen von Beleuchtungsprodukten.
3. ENEC oder ein anderes gleichwertiges ISO-Zertifikat Typ 5, das die Anforderungen der Niederspannungsnormen (EN 60598-1, EN 60598 2-3) erfüllt.
4. Optional – ENEC+ Baumusterbescheinigung oder ein anderes gleichwertiges ISO-Typ-5-Zertifikat, das für die Anwendung von EPRS 003 relevant ist (Anwendung von EN/IEC 62722-2-1).

5. Photometrische Daten sind von einem gemäß ISO 17025 akkreditierten Laboratorium einer EA-MLA- oder IAF/ILAC-Stelle zu erhalten. Der öffentliche Auftraggeber kann zusätzlich zu einem akkreditierten Labor auch verlangen, dass das Labor der photometrischen Daten alternativ von einer akkreditierten Stelle gemäß ISO 17025 genehmigt/anerkannt ist. In diesem Fall ist eine Laborerklärung vorzulegen, dass die photometrischen Daten aus dem Labor stammen. Der Nachweis für die Herkunft der photometrischen Daten kann eine Erklärung des ausstellenden Labors oder des Labors des Herstellers sein, sofern vorhanden.
6. Es wird empfohlen, dass die Akkreditierung des Labors durch eine EA-MLA-Stelle (und nicht allgemein durch IAF/ILAC) erforderlich ist, da nur europäische Stellen zu dieser Gruppe von Akkreditierungsstellen gehören.
7. Die Lichtstrom-Wartungsdaten gemäß LM 80 sind von einem nach ISO 17025, EA-MLA oder IAF/ILAC akkreditierten Labor zu erhalten.

Es wird darauf hingewiesen, dass die oben genannten Bescheinigungen sowie die Baumerkmale Mindestanforderungen sind und jeder Arbeitsplaner die Anforderungen mit Eigenschaften verbessern kann, die die Qualität der angebotenen Produkte fördern. Je nach Einsatzbedingungen können auch spezifischere Bescheinigungen und/oder Prüfberichte (z. B. Winddrücke, Vibrationen, thermische Beständigkeit usw.) angefordert werden.

Schließlich ist es notwendig, zusätzliches Informationsmaterial, Fotos, Installationshandbücher und andere technische Materialien bereitzustellen, die die Einhaltung der Spezifikationen unterstützen.

4.2 Technische Mindestspezifikationen für Fernsteuerungssysteme der Außenbeleuchtung

4.2.1 Interoperabilität

Die Steuersysteme von Straßenbeleuchtungsanlagen müssen mit der geeigneten Technologie ausgestattet sein, um die Interoperabilität mit anderen Steuersystemen zu ermöglichen. Die Interoperabilität betrifft die folgenden Parameter:

- a) Die Fähigkeit, Betriebsdaten und Steuersignale zwischen zwei oder mehr Steuerungssystemen verschiedener Hersteller unter gemeinsamer Steuerungssoftware auszutauschen. Dies erfordert die Bereitstellung einer entsprechenden Programmierschnittstelle (API, SDK, etc.) durch den Steuerungshersteller.
- b) Um die Aufrüstbarkeit der Beleuchtungssteuerungen zu ermöglichen, sowie die Möglichkeit, die Optionen des Bedieners zu erweitern, wird vorgeschlagen, die Beleuchtungssteuerungen vom Typ NEMA Socket oder Zhaga zu verwenden, so dass die Beleuchtungsinstallation in Zukunft leicht aufgerüstet werden kann.

4.2.2 Betriebseigenschaften

Das Fernsteuerungssystem besteht aus den Feldgeräten und der entsprechenden Software. Feldgeräte hängen in Bezug auf ihre Eigenschaften und ihre Anzahl von der entsprechenden Kommunikationstechnologie ab. Es gibt 3 Grundkategorien von Fernsteuerungssystemen

- Systeme mit zentraler Segmentsteuerung
- Systeme mit Technologien, die es jeder Leuchte ermöglichen, ohne Vermittlung einer zentralen Segmentsteuerung direkt mit der Management-Cloud zu kommunizieren.
- Es ist erlaubt, Hybridsysteme mit 2 Arten von Steuerungen zu verwenden, die ein Mesh-Netzwerk mit einer entsprechenden entbündelten Frequenz für die Kommunikation der Steuerungen mit der Cloud schaffen. Der erste Steuerungstyp wird sowohl mit dem Mobilfunknetz als auch mit dem lokalen Netz kommunizieren. Der zweite Steuerungstyp wird zumindest mit dem lokalen Netz kommunizieren.

Bei Systemen mit zentraler Segmentsteuerung kann die Kommunikation zwischen den Leuchtensteuerungen und der jeweiligen Segmentsteuerung entweder drahtlos oder kabelgebunden erfolgen. Im Falle der drahtlosen Kommunikation kann die drahtlose Segmentsteuerung in der Nähe oder innerhalb einer elektrischen Versorgungstafel platziert werden (z. B. Beleuchtungssysteme von Straßen und Plätzen).

Alle Kontrollsysteme müssen folgende Mindestbetriebseigenschaften aufweisen:

1. Direkte dynamische Steuerung von Leuchten oder Leuchtengruppen (Ein-/Ausschalten und Einstellen des Lichtstroms in Zwischenstufen).
2. Möglichkeit, Leuchtengruppen entsprechend dem Installationsbedarf zu erstellen.
3. Überwachung des Betriebszustands der Leuchten.
4. Möglichkeit, zusätzliche Sensoren (Bewegung, Anwesenheit von Fotozellen, Wetterbedingungen usw.) anzuschließen, die die Funktionalität der Installation erhöhen.
5. Visuelle Betriebsinformationen auf einem GIS-System (z. B. Google Maps etc.).
6. Speicherung von Betriebsparametern in einer Datenbank.
7. Erstellung von Betriebsberichten.
8. Erstellung von Fehleralarmen.

Es wird darauf hingewiesen, dass der Arbeitsplaner je nach den Anforderungen jeder Anwendung und der Technologie, die er verwenden möchte, mehr Betriebseigenschaften und Konstruktionsmerkmale als die genannten anfordern kann.

5. Betriebsverfahren für adaptive Beleuchtung

5.1 Einleitung

Gemäß ELOT EN 13201 ist adaptive Beleuchtung eine Technik zur Anpassung der Beleuchtungsklasse unter Berücksichtigung von Änderungen bestimmter Klassenauswahlkriterien während des Installationsvorgangs. Bei der Anwendung führt die adaptive Beleuchtung zu einem reduzierten Energiefußabdruck der Beleuchtungsanlage und zum Umweltschutz sowohl in Bezug auf Treibhausgasemissionen als auch Lichtverschmutzung.

Insbesondere ist es nach CEN/TR 13201-1 zulässig, die Beleuchtungsklasse einer Straße, d. h. die nominale Beleuchtungsklasse, zu ändern, wenn sich während des Betriebs der Straßenbeleuchtung das Gewicht eines oder mehrerer der Kriterien ändert, da es sich um eine Änderung der Parameter als Ganzes handelt. In diesem Fall und für die Dauer der Gewichtsabweichungen wird der Straße eine niedrigere Beleuchtungsklasse zugewiesen, auch adaptive Beleuchtungsklasse genannt.

Auf diese Weise werden in der Nacht mehrere Beleuchtungsniveaus erreicht, die den lokalen und stündlichen Straßenbeleuchtungsbedürfnissen entsprechen und dem Fahrer optimale Bedingungen bieten und gleichzeitig den Energieverbrauch so gering wie möglich halten. Jeder untersuchten Straße wird eine Nennbeleuchtungsklasse und gegebenenfalls eine oder mehrere adaptive Beleuchtungsklassen zugewiesen, wenn sich das Gewicht eines oder mehrerer Klassenauswahlkriterien ändert.

5.2 Planung von Arbeiten zur adaptiven Beleuchtung

Die Planung von Arbeiten zur adaptiven Beleuchtung erfordert, dass die Beleuchtungsgeräte in der Lage sein müssen, den Lichtstrom für bestimmte Zeiträume anzupassen, sei es für autonome Programmierung oder Fernsteuerung.

In Anbetracht der nominalen Klasse und der adaptiven Beleuchtungsklassen werden die erforderlichen Lichtstrompegel oder „Dimmpegel“ definiert. Diese Ebenen werden vom Lichtdesigner nach den entsprechenden Berechnungen der adaptiven Beleuchtung identifiziert.

Die Anzahl der Stufen der Leuchtdichtenanpassung wird von der Anzahl der adaptiven Klassen abgeleitet, die der Arbeitsplaner definiert hat. Abhängig von den Möglichkeiten der Beleuchtungsgeräte und des Fernmanagementsystems können folgende Lichtstromsteuerprofile realisiert werden:

1. **Fester Dimmpegel.** In diesem Fall gibt es feste Betriebsprofile, die zu bestimmten vom Arbeitsplaner ausgewählten Zeiten aktiviert werden, abhängig von den lokalen Bedingungen der sich ändernden Parameter. Der feste Dimmpegel kann sich beispielsweise auf eine oder mehrere Zwischenstufen beziehen, die nicht die nominalen Ebenen sind. Der feste Dimmpegel wird entweder durch Vorprogrammierung der Leuchten während der Installationsphase oder durch ein Fernlichtmanagementsystem erreicht.
2. **Variabler Dimmpegel.** Wenn die Installation in der Lage ist, die Änderung der Parameter, die sich auf die adaptiven Beleuchtungsklassen auswirken, in nahezu Echtzeit zu überwachen, kann ein variabler Dimmpegel verwendet werden. Diese Methode wird auf Autobahnen und/oder städtischen Alleen mit Verkehrsflussüberwachung angewendet. Durch die Vernetzung des Beleuchtungssystems mit Verkehrsdaten und mit entsprechender Verarbeitung kann ein variabler Dimmpegel erreicht werden. Diese Methode erreicht eine höhere Energieeinsparung und sorgt auch dafür, dass die Beleuchtung auch im Notfall immer auf die Verkehrsbedingungen reagiert.

6. Konformitätskontrolle von Straßenbeleuchtungsgeräten

6.1 Einleitung

Studien zur Straßenbeleuchtung sehen vor, dass ein spezifisches Kapitel aufgenommen werden sollte, d. h. „Leitlinien für die Konformitätskontrolle während der Umsetzung (LKKU)“, in dem die Verfahren beschrieben werden, die während der Durchführungsphase der Studie für die Kontrolle der Einhaltung der Vorschriften zu beachten sind.

Die Konformitätskontrolle bezieht sich auf die qualitativen und quantitativen Kontrollen, die während der Durchführung und nach Abschluss der Installationsarbeiten von Straßenbeleuchtungsanlagen durchzuführen sind.

Die Kontrolle zielt darauf ab, durch Probenahme die erzielten Ergebnisse zu bestätigen, unabhängig davon, ob es sich um die Geräte selbst (Leuchten, Steuerung usw.) oder die Anlage insgesamt (Beleuchtungsleistung vor Ort) handelt.

Die Konformitätskontrollverfahren sollten in jedem Fall den Bestimmungen der einschlägigen Hellenischen Technischen Spezifikationen (HTS/ELOT TS 1501-05-07-02-00 „Straßenbeleuchtungssäulen“) entsprechen. Die Konformitätskontrolle darf in keinem Fall die Kontrollen ersetzen, aus denen sich die in den Technischen Spezifikationen vorgesehenen Konformitätsbescheinigungen ergeben, noch darf sie den Produktionsprozess der Geräte bescheinigen.

Die in den LKKU vorgesehenen Kontrollen, insbesondere in Bezug auf Leuchten und ihre Leistung nach der Integration in die Straßenbeleuchtungsanlage, sollten Labormessungen und Kontrollen vor Ort umfassen, die nachstehend beschrieben sind.

6.2 Labormessungen

Für jede neue Installation von Leuchten in Straßenbeleuchtungsarbeiten (oder Aufrüstung einer bestehenden Anlage) sollten Stichprobenkontrollen der Geräte vorgesehen werden. Die Anzahl der zu kontrollierenden Proben hängt von der Arbeit und der Anzahl der verschiedenen Leuchtentypen ab. In jedem Fall sollten die Stichprobenkontrollen die gesamte zu kontrollierende Anlage angemessen darstellen.

Proben sollten während der Installation durch die vor Ort zu installierende Leuchtengruppe entnommen werden, und es sollte kein Werksmuster für die Inspektion ausgewählt werden.

Die Messungen sollten von einer für die jeweilige Messung akkreditierten Stelle durchgeführt werden, die über die geeignete Infrastruktur und kalibrierte Ausrüstung verfügt. Die Messungen sind nach einer der Normen EN 13032, CIE S025 oder IES LM79 durchzuführen.

Die Eigenschaften, die mindestens auf jeder Probe zu kontrollieren sind, sind in Tabelle 20 dargestellt. Die kontrollierten Eigenschaften sind mit denen des Herstellers zu vergleichen, und die Abweichungen dürfen den entsprechenden Prozentsatz nicht überschreiten, der in derselben Tabelle angegeben ist.

Tabelle 20 – Eigenschaften, die bei der Laborprüfung von Leuchten gemessen werden.

Kontrollierte Eigenschaft	Maximale Abweichung von der Herstellererklärung
Betriebsspannung	-
Gesamtleuchtenstrom	-
Gesamtleuchtenleistung	+ 10 %
Leuchtenleistungsfaktor bei Volllast	- 0,05
Harmonische Verzerrung des Leuchtenstroms bis zur 30. Harmonischen	+ 2 %
Gesamtlichtstrom der Leuchte	- 10 %
Lichtstärkeverteilung der Leuchte	-
Korrelierte Farbtemperatur (CCT), gemessen bei C0-C330 bei 60° und in Winkeln c=0 bis c=180° bei 30°).	± 200K
Leistungsschwankungen im Verhältnis zum Lichtstrom bei Leuchten mit einstellbarem Lichtstrom zwischen 100 % und 0 % des Lichtstroms mit 10 % Anpassungsprozentsatz.	-
Lichtflimmern der Leuchte (PstLM, SVM) bei Nennbetriebsbedingungen und bei jedem Lichtstromsteuerpegel.	+ 5 %

6.3 Messungen vor Ort

6.3.1 Kategorien von Messungen vor Ort

Die Messungen vor Ort betreffen die Kontrolle der Gesamtleistung einer Straßenbeleuchtungsanlage (Leuchten, Installation, geometrische Eigenschaften usw.). Die LKKU legen fest, dass die Kontrolle in folgenden Fällen durchzuführen ist (wie in der einschlägigen Technischen Richtlinie der Technischen Kammer Griechenlands (TRTKG) „Planung und Kontrolle von Straßenbeleuchtungsanlagen“, 2018) beschrieben:

a. Messungen vor Lieferung der Anlage (Typ 1 – T1)

Es sollte vorgesehen werden, dass die Messungen während der letzten Lieferungsphase der Arbeiten und der Inbetriebnahme des Straßenbeleuchtungssystems durchgeführt werden. Die Einhaltung der geltenden Spezifikationen und/oder der Ergebnisse der Lichtstudien ist zu kontrollieren.

b. Messungen während der Lebensdauer der Anlage (Typ 2 – T2)

Es sollten Messungen in regelmäßigen und vorgegebenen Betriebsintervallen des Straßenbeleuchtungssystems vorgesehen werden. Diese Messungen überprüfen die Verschlechterungsrate der Anlage, identifizieren eventuelle Betriebsprobleme und passen Wartungs- und Nachprüfungsintervalle an.

c. Adaptive Beleuchtungsmessungen (Typ 3 – T3)

Es handelt sich um eine Reihe von Messungen zur Kontrolle und Anpassung von Straßenbeleuchtungsanlagen mit einstellbarem Lichtstrom. Diese Messungen überprüfen oder passen die erreichten Stufen der adaptiven Beleuchtung entsprechend an. Sie werden in Kombination mit T1- oder T2-Messungen durchgeführt.

d. Messungen zur Untersuchung von Abweichungen (Typ 4 – T4)

Es sollte vorgesehen werden, dass Messungen in Fällen durchgeführt werden, in denen Abweichungen der erreichten Lichtniveaus von den Lichtstudien oder Projektspezifikationen aufgrund von Ausrüstung, Installationsmethode, Asphalteigenschaften, Umwelt- oder anderen Faktoren untersucht werden.

Die Messungen werden von entsprechend geschultem Personal und nach der Norm ELOT EN 13021-4 durchgeführt. Zusätzliche Kontrollanforderungen können vom Arbeitsplaner vorgesehen werden. Instrumente zur Messung photometrischer, geometrischer und elektrischer Eigenschaften sollten für den vorgesehenen Verwendungszweck geeignet sein, über gültige Kalibrierzertifikate während des Messzeitraums verfügen und den Messbereich jedes vor Ort zu messenden Merkmals abdecken.

Die Berichte über die Messungen sollten ausführlich mit Angabe der einzelnen Messungen, der Berechnung der Qualitätsindikatoren (gegebenenfalls), der geometrischen und elektrischen Eigenschaften der Anlage, der Witterungsbedingungen usw. gemäß der Norm ELOT EN 13021-4 vorgelegt werden.

6.3.2 Definition von Bereichen für Messungen vor Ort

Messungen vor Ort werden auf Standardrastern nach ELOT EN 13021-4 durchgeführt. Standardfälle von Messbereichen sind in Abbildung 8 dargestellt.

Ein Messraster wird zwischen zwei durchgehenden Lichtmasten (auf derselben Straßenseite) definiert, wie in den Abbildungen 9 und 10 dargestellt. Bei jeder geprüften Standardgeometrie (Mastabstände, Straßenhöhen/-breiten, Leuchtentyp usw.) sind mindestens 2 Raster zu messen.

In jedem Fall sind die Messbereiche sorgfältig so auszuwählen, dass sie für die betreffende Straße oder Anlage im Allgemeinen repräsentativ sind.

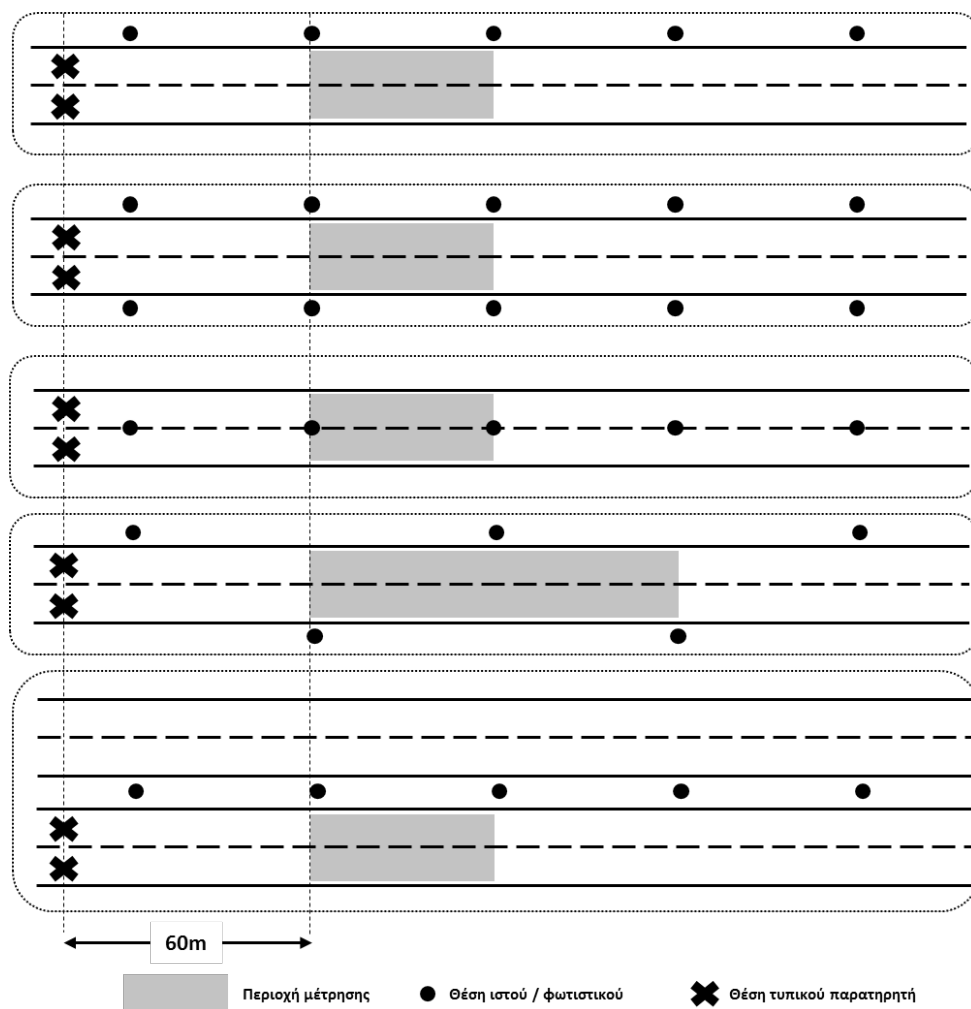


Abbildung 8 – Standardmessbereiche mit photometrischen Straßenbeleuchtungsmerkmalen nach ELOT EN 13201-3 (Quelle: TGTCG, 2018).

Περιοχή μέτρησης	Messbereich
Θέση ιστού/φωτιστικού	Lage des Masts/der Leuchte
Θέση τυπικού παρατηρητή	Standardbeobachterposition

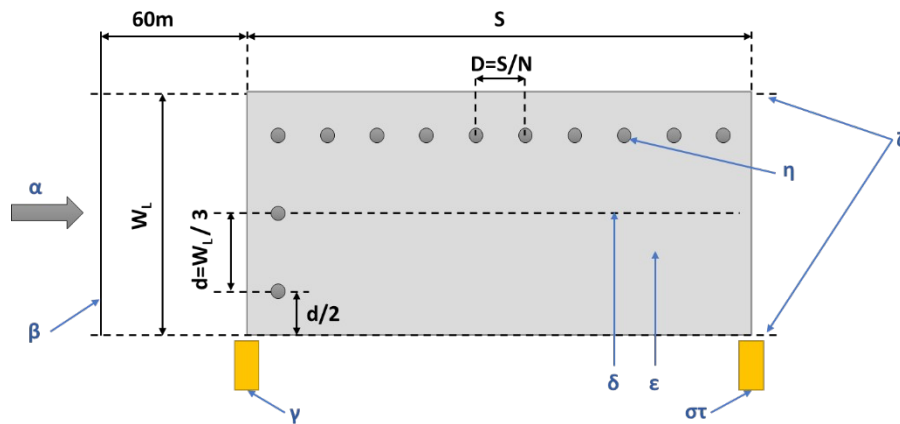


Abbildung 9 – Standardraster zur Messung der Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke nach EL0T EN 13201-3 (Quelle: TGTCG, 2018).

Die Eigenschaften aus Abbildung 9 sind die folgenden:

- α : Beobachterraichtung
- β : Längsbeobachterposition
- γ : Erste Leuchte im Messbereich
- δ : Mittellinie der Fahrspur
- ϵ : Messbereich
- $\sigma\tau$: Letzte Leuchte im Messbereich
- ζ : Fahrspurgrenzen
- η : Messpunkte
- W_L : Fahrspurbreite
- S : Abstand zwischen den Leuchten
- D : Längsabstand zwischen Messpunkten ($D=S/N$)
- N : Erforderliche Anzahl von Messpunkten entlang der Straße
Für $S < 30\text{m}$, $N=10$.
Für $S > 30\text{m}$ entspricht N der minimalen Ganzzahl, die zu $D \leq 3\text{m}$ führt

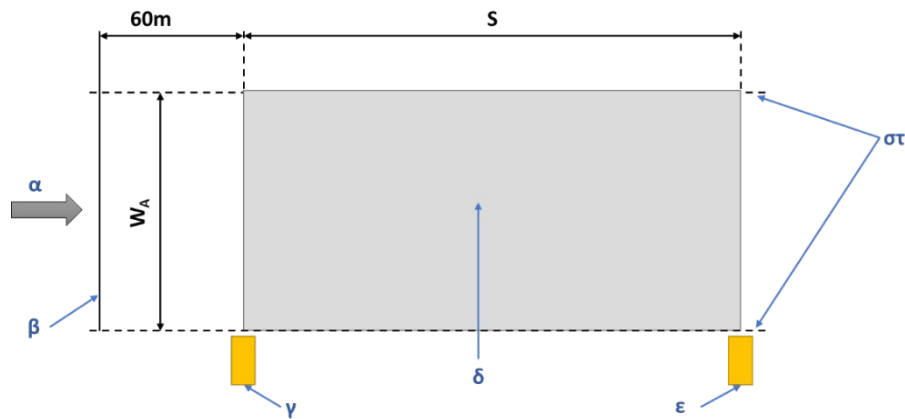


Abbildung 10 – Berücksichtigung des gesamten Messbereichs für die Messung der Leuchtdichte mit einem ILMD-Gerät nach ELOT EN 13201-3 (Quelle: TGTCG, 2018).

Die Eigenschaften aus Abbildung 10 sind die folgenden:

- α : Beobachterrichtung
- β : Längsbeobachterposition
- γ : Erste Leuchte im Messbereich
- δ : Messbereich
- ϵ : Letzte Leuchte im Messbereich
- $\sigma\tau$: Fahrspurgrenzen
- W_A : Die Breite des Messbereichs
- S : Abstand zwischen den Leuchten

In jedem Raster werden die Lichteigenschaften der Klasse (Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke) gemessen und die entsprechenden qualitativen und quantitativen Indikatoren berechnet.

6.3.3 Messgeräte vor Ort

Instrumente zur Messung der photometrischen, geometrischen und elektrischen Eigenschaften einer Straßenbeleuchtungsanlage müssen für den vorgesehenen Verwendungszweck ausgelegt sein, über gültige Kalibrierbescheinigungen verfügen und den Messbereich jedes Messmerkmals abdecken, das voraussichtlich vor Ort gemessen wird. Tabelle 21 zeigt die indikativen Anforderungen an Messgeräte.

Tabelle 21 – Indikative Anforderungen an Messgeräte für Straßenbeleuchtungsanlagen (Quelle: TGTCG, 2018).

Messart	Eigenschaft	Anforderung
Beleuchtungsstärke (tragbares Instrument)	Messbereich	0,1 – 10 000 lx oder breiter
	Genauigkeit	$\pm 3 \% \pm 1$ Ziffer
	Wiederholbarkeit	$\pm 1 \% \pm 1$ Ziffer
	Filtergenauigkeit $V(\lambda)$	$f1' < 6 \%$
	Cosinus-Korrektur	$f2 < 3 \%$
	Spektralkorrektur	Ja
Leuchtdichte (tragbares analoges Messgerät)	Messbereich	0,01 – 10 000 cd/m ² oder breiter
	Sichtfeld	2' eines Winkelgrads in der Länge 20' eines Winkelgrads in der Breite
	Filtergenauigkeit $V(\lambda)$	$f1' < 6 \%$
	Spektralkorrektur	Ja
	Genauigkeit	$\pm 3 \% \pm 1$ Ziffer
	Wiederholbarkeit	$\pm 1 \% \pm 1$ Ziffer
Leuchtdichte (ILMD-Gerät)	Messbereich	0,001 – 10 000 cd/m ² oder breiter
	Bildauflösung	640x480 Pixel oder mehr
	Sichtfeld	> 20° horizontal > 10° vertikal
	Filtergenauigkeit $V(\lambda)$	$f1' < 6 \%$
	Spektralkorrektur	Ja
	Genauigkeit	$\pm 3 \% \pm 1$ Ziffer
	Korrektur der Linsenschattierung	JA
	Rauschkorrektur	JA
Farbspektrum/-temperatur (tragbares Spektrometer oder Colorimeter)	Spektraler Ansprechbereich des Instruments	380-780 nm oder breiter
	Messanalyse (Spektrometer)	1 nm oder weniger
	Farbtemperaturberechnung (T)	JA
	Ra-Berechnung	Gewünscht
Elektrische Eigenschaften (tragbarer Leistungsanalysator)	Spannungsmessung (V)	JA
	Strommessung (I)	JA
	Leistungsmessung (VA, W, Var)	JA
	Leistungsfaktormessung (L)	JA
	Harmonische Verzerrungsmessung (THD)	JA
Entfernungsmessung (Entfernungsmesser oder Band)	Messbereich	0 – 100 m oder breiter
	Genauigkeit des Entfernungsmessers	$\pm 3 \% \pm 1$ Ziffer
	Genauigkeit der Bandmessung	0,1 oder besser
Umweltmerkmale (tragbares Thermometer)	Temperaturmessung	JA
	Relative Feuchtemessung	JA
	Speicherung von Messzeitreihen	JA

6.3.4 Leuchtdichtemessungen (M-Beleuchtungsklasse)

Die Kontrolle der Übereinstimmung von Straßenbeleuchtungsanlagen der Klasse M ist durch Messung der Straßenleuchtdichte durchzuführen. Die Messungen sind gemäß ELOT EN 13201-4 in einem Raster durchzuführen, das in den Abbildungen 9 oder 10 dargestellt ist. Die Messraster sollten aus zwei aufeinander folgenden Leuchten ausgewählt werden, die sich innerhalb einer Gruppe von mindestens 4 ähnlichen Leuchten auf einer ähnlichen Anlage befinden. Für Messungen ist ein Leuchtdichtemessgerät wie oben beschrieben zu verwenden.

Die Messungen sind in einem Abstand von 60 m vom Anfang des Rasters und in einer Höhe von 1,5 m über dem Boden durchzuführen. Wenn der Abstand von 60 m nicht möglich ist, können Messungen aus einer kleineren Höhe und einem kürzeren Abstand durchgeführt

werden, aber in jedem Fall sollte der relative Winkel der Messposition vom Anfang des Rasters etwa 1 Grad betragen.

Die Messungen sind auf trockener und feuchtigkeitsfreier Fahrbahn durchzuführen, die frei von Fremdkörpern wie geparkten Fahrzeugen, Baustoffen und anderen Hindernissen im Raster ist. In jedem Fall ist Streulicht, falls möglich, durch eine zusätzliche Messung mit ausgeschalteten Leuchten zu entfernen. Enthält der zu messende Abschnitt Asphaltabschnitte unterschiedlicher Qualität und Pflasterungsdatum oder Veränderungen aufgrund der Nutzung, so ist ein alternatives Messraster auszuwählen. Andernfalls ist dies im Messbericht deutlich anzugeben. Bei einer neuen Anlage sind der Zustand des Asphalts und sein Alter anzugeben.

6.3.5 Beleuchtungsstärkemessungen (Beleuchtungsklassen C und P)

Die Kontrolle der Übereinstimmung von Straßenbeleuchtungsanlagen der Klassen C und P erfolgt durch Messung der Beleuchtungsstärke auf der betreffenden Straßenoberfläche. Die Messungen sind gemäß der Norm ELOT EN13201-4 in einem Raster in Abbildung 9 durchzuführen. Die Messraster sind aus zwei aufeinander folgenden Leuchten auszuwählen, die sich innerhalb einer Gruppe von mindestens 4 ähnlichen Leuchten auf einer ähnlichen Anlage befinden. Für Messungen ist ein Beleuchtungsstärkemessgerät wie oben beschrieben zu verwenden.

Die Messungen sind an jedem Punkt des Rasters in horizontaler Position in Kontakt mit dem Boden zu messen. Der Beleuchtungswert jedes Punkts ist zu erfassen, sobald der Messwert des Instruments stabilisiert wird. In jedem Fall ist Streulicht gegebenenfalls durch eine zusätzliche Messung mit ausgeschalteten Leuchten (wenn möglich) zu entfernen. Besondere Aufmerksamkeit ist der Bildung von Schatten im Gerätesensor durch den Gerätekörper, durch den Gerätebediener oder durch verschiedene Hindernisse rund um und innerhalb des Messrasters zu widmen.

6.3.6 Messung geometrischer und elektrischer Eigenschaften

Zusätzlich zu den gemessenen photometrischen Merkmalen sind auch folgende Merkmale aufzuzeichnen:

- Straßenbreite
- Breite der einzelnen Fahrspuren
- Notspurbreite
- Mastabstand im Messbereich plus ein Mast davor und Mast danach.
- Höhe der Leuchten im Messbereich, plus eine Leuchte davor und eine Leuchte danach.
- Abstand jeder Leuchte vom Beginn der nächsten Spur
- Winkel der Leuchte in Bezug auf die horizontale Ebene
- Fahrbahnneigung
- Typ jeder Leuchte.

Wenn elektrische Messungen möglich sind, müssen sie an jeder Leuchte getrennt oder an einer bestimmten Anzahl ähnlicher Leuchten durchgeführt werden.

Die Veränderung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit ist während der gesamten Messungen aufzuzeichnen.

7. Internationale und europäische technische Richtlinien für Tunnelbeleuchtung

Die Normen und technischen Referenzen für die Tunnelbeleuchtung sind hauptsächlich die folgenden drei.

7.1 CIE 88 – Leitfaden zur Beleuchtung von Straßentunneln und Unterführungen

Der technische Bericht CIE 88 ist die wichtigste Informationsquelle für Tunnelbeleuchtungsdesign sowohl in Europa als auch international. Dieser Bericht war auch die Grundlage für den jüngsten technischen Bericht CEN CR 14380, der nachstehend beschrieben wurde. Diese beiden technischen Berichte teilen zum größten Teil die gleichen Informationen, während Unterschiede nur in ausgewählten Teilen zu finden sind.

Die neueste Version des CIE 88 wurde 2004 (2. Version) veröffentlicht und wird seit 2017 überprüft. Die neue Version soll 2023 oder 2024 veröffentlicht werden.

Der Bericht CIE 88 enthält Anweisungen zur Klassenauswahl, Beleuchtungsanforderungen und Lichtgestaltungsmethoden in Tunneln und Unterführungen. Einige der Hauptabschnitte sind die folgenden:

- Trennung zwischen langen und kurzen Tunneln
- Tunnelbeleuchtungszonen
- Parameter für die Auswahl der Klasse und Anforderungen
- Berechnung der äußeren Leuchtdichte des Mundlochs des Tunnels (L_{20} und L_{seq})
- Definition der Leuchtdichtenvariationskurve entlang des Tunnels
- Notbeleuchtung
- Wartungs- und Betriebsprobleme
- Weitere Gestaltungsvorschläge und Leitlinien

Die meisten Beleuchtungsstudien in Griechenland und weltweit basieren auf CIE 88. Spezielle Software wurde entwickelt, um die Empfehlungen und Parameter für die Auswahl der in diesem technischen Bericht beschriebenen Beleuchtungsanforderungen zu berücksichtigen.

7.2 CIE 189 – Berechnung der Kriterien für die Qualität der Tunnelbeleuchtung

Der technische Bericht CIE 189 wurde 2010 von der Internationalen Beleuchtungskommission veröffentlicht, um die Parameter für die Berechnung der photometrischen Eigenschaften für die Tunnelbeleuchtung zu bestimmen. Es ist die am meisten akzeptierte Informationsquelle für die Entwicklung von Software für photometrische Tunnelbeleuchtungsberechnungen. Jegliche Software für solche Studien hat die in CIE 189 beschriebene Berechnungsmethodik übernommen.

7.3 CEN CR 14380 – Beleuchtungsanwendungen – Tunnelbeleuchtung

Der technische Bericht CEN CR 14380 wurde 2003 veröffentlicht und 2004 als ELOT CR 14389 angenommen. Es handelt sich im Wesentlichen um die europäische Version des CIE 88 über Tunnelbeleuchtung mit einigen Ergänzungen und Variationen. Dieser Bericht wurde hauptsächlich von europäischen Ländern angenommen, und in den meisten von ihnen wird er entweder in Kombination mit CIE 88 verwendet oder hat ihn informell

ersetzt. In Griechenland wird er auch in Kombination mit CIE 88 verwendet. Der Inhalt dieses Berichts ähnelt dem in § 7.1 genannten CIE 88.

8. Anforderungen an die Tunnelbeleuchtung

Diese Verordnung stützt sich auf die im technischen Bericht CEN CR 14380 beschriebenen Methoden. Für den Fall, dass eine neue Fassung von CEN CR 14380 oder CIE 88 veröffentlicht wird (je nachdem, welche die letzte ist), wird diese Verordnung aktualisiert, wenn davon ausgegangen wird, dass die Bestimmungen dieser neuen Versionen wesentliche Änderungen bewirken.

Unter den vorgeschlagenen Methoden für einen Arbeitsplaner wird z. B. Folgendes vorgeschlagen:

8.1 Trennung von Tunneln in lange und kurze Tunnel

Tunnel oder unterirdische Durchgänge sollten mit einem Tagbeleuchtungssystem ausgestattet sein, wenn ihre Länge über 200 m beträgt. Tunnel mit einer Länge von weniger als 25 m erfordern keine Tagbeleuchtung und Tunnel mit Zwischenlängen sollten nach dem LTP-Verfahren in Betracht gezogen werden (siehe § 8.2). Tabelle 22 fasst die vorstehenden Ausführungen zusammen.

In jedem Fall sollten die Baueigenschaften der Tunnel gründlich geprüft werden, und gegebenenfalls können Tunnel, die kürzer als 25m sind, tagsüber aus besonderen Sicherheitsgründen beleuchtet werden.

Tabelle 22: Notwendigkeit, Tagesbeleuchtung im Tunnel zu verwenden

Tunnellänge	Bedarf an Tageslicht
> 200m	Ja
Zwischen 25 m und 200 m	Untersuchung nach LTP-Methode
< 25m	Nein

8.2 Untersuchung der Notwendigkeit der Tagbeleuchtung (LTP-Methode)

Bei Tunneln mit einer Gesamtlänge zwischen 25 m und 200 m ist anhand des LTP-Indikators die Notwendigkeit eines Tagbeleuchtungssystems zu untersuchen. Dieser Indikator bezieht sich auf den Prozentsatz der Sichtbarkeit des Tunnelausgangs relativ zum Tunneleingang (Look Through Percentage – LTP) und wird durch Gleichung (9) definiert.

$$LTP = 100 \cdot (\text{Fläche } E\Gamma T Z H) / (\text{Fläche } A B \Gamma \Delta) \quad (9)$$

Die in Gleichung (9) aufgeführten Flächen sind in der verallgemeinerten Zeichnung in Abbildung 11 definiert. Das LTP wird entweder auf der Grundlage der Zeichnung des Tunnels oder auf einem Foto davon berechnet. In jedem Fall wird das Sichtfeld durch das Bild/Zeichnung definiert, wenn der Beobachter:

- auf dem Mindestbremswegabstand vom Mundloch des Tunnels
- in einer Höhe von 1,2 m über dem Boden
- in der Mitte jeder Spur

Bei z. B. 3 Fahrspuren werden 3 Bilder oder 3 Zeichnungen aufgenommen und der LTP für jede Fahrspur berechnet.

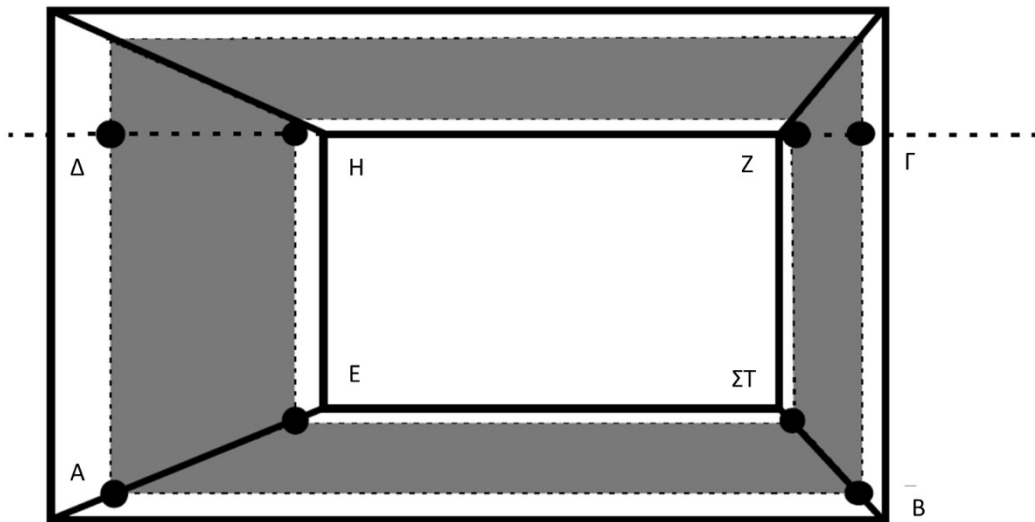


Abbildung 11: Allgemeiner Umsetzungsplan für die LTP-Methode.

Nach Abbildung 11 wird das Dach des Tunnels nicht berücksichtigt. Auch aufgrund des Zustroms von natürlichem Licht in den Tunnel (Ein- und Ausfahrt) werden bei der LTP-Berechnung ein Nacheingangsabschnitt (~5m) und ein Vorausgangsabschnitt (~10m) nicht berücksichtigt.

Bei Tunneln oder Kreuzungen mit Krümmung sowohl in der horizontalen als auch in der vertikalen Ebene ist es vorzuziehen, dass die Kontrolle auf der Grundlage der Zeichnungen und des mit Gleichung berechneten LTP durchgeführt wird (10). Die entsprechenden Winkel gemäß Gleichung (10) sind in der verallgemeinerten Zeichnung der Abbildung 12 dargestellt.

$$LTP = 100 \cdot (\beta_u / \beta_i) \cdot (\alpha_u / \alpha_i) \quad (10)$$

Die Entscheidung, die tägliche Beleuchtung nach LTP zu verwenden, ist in Tabelle 23 dargestellt.

Tabelle 23: Verwendung der täglichen Tunnelbeleuchtung in Bezug auf LTP

LTP-Wert	Bedarf an Tageslicht
< 20 %	Ja
> 50 %	Nein
Zwischen 20 % und 50 %	Untersuchung der Sichtbarkeit von Fahrzeugen/Fußgängern/Radfahrern

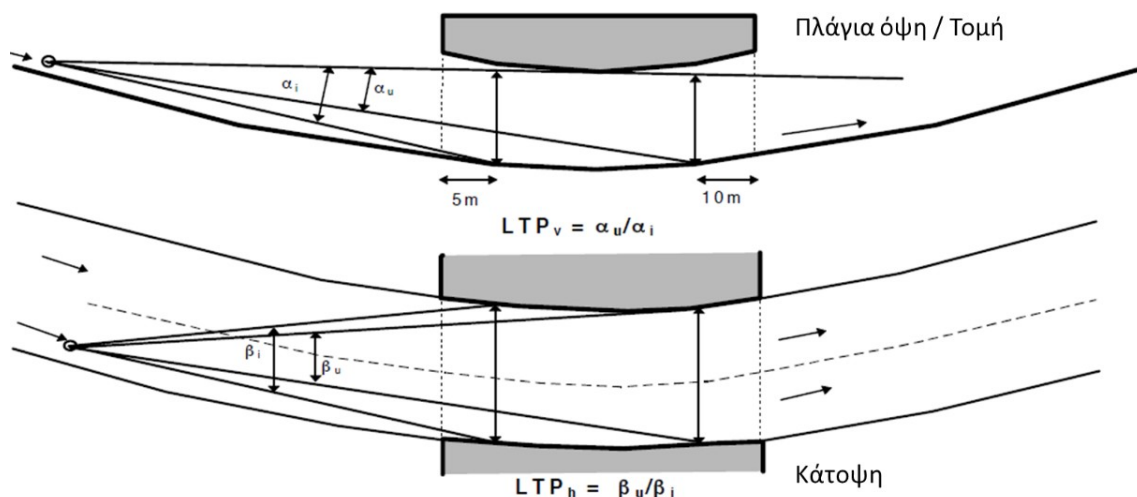


Abbildung 12: Allgemeiner Umsetzungsplan für die LTP-Methode für Tunnel mit Krümmung

Πλάγια όψη/Τομή	Seitenansicht/Abschnitt
Κάτοψη	Grundriss

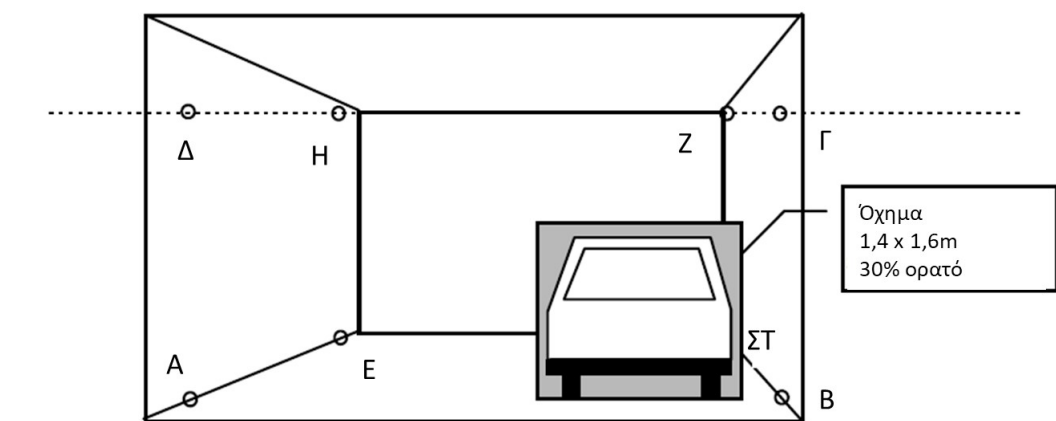
In Fällen, in denen LTP auf 20 % bis 50 % geschätzt wird, wird eine Zielermittlungsuntersuchung gemäß den Abbildungen 13 (für Tunnel mit nur Kraftfahrzeugen) und 14 (bei gemischt durch Fußgänger und Radfahrer genutzten Tunneln) durchgeführt. In jedem Fall muss ein virtuelles Auto- oder Fußgängerhindernis in der Mitte der zu kontrollierenden Fahrspur platziert und der Prozentsatz des sichtbaren Hindernisses im Vergleich zum Tunnelausgang berechnet werden.

Das Standard-Fahrzeughindernis muss 1,4 m x 1,6 m betragen.

Das Standardhindernis für Fußgänger/Radfahrer muss 0,5 m x 1,8 m betragen.

Die Verwendung einer Tagesbeleuchtung ist notwendig, wenn:

- Mehr als 30 % der Standard-Fahrzeughindernisse in Bezug auf den Tunnelausgang nicht sichtbar sind
- Mehr als 30 % der üblichen Fußgänger-/Fahrradhindernisse in Bezug auf den Tunnelausgang nicht sichtbar sind



Schwellenleuchtdichte/Leuchtdichte des Mundlochs des Tunnels L_{th} ist deutlich niedriger als der Rest der L_{20} Leuchtdichtenwerte. Der Beitrag des L_{th} Faktors kann weggelassen werden. Daher:

$$L_{20} = \gamma L_c + \rho L_R + \varepsilon L_E \quad (\text{cd/m}^2) \quad (12)$$

mit

$$\gamma + \rho + \varepsilon < 1 \quad (13)$$

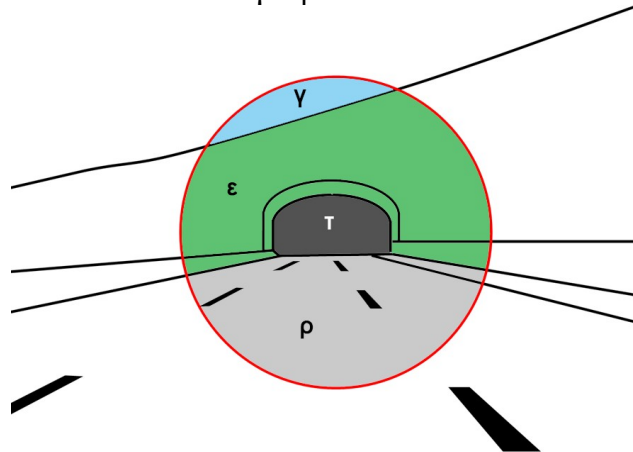


Abbildung 15: Beispiel einer Tunnelkonstruktion vom Mindestbremswegabstand aus, für die Berechnung der Leuchtdichte L_{20}

Die maximale L_{20} -Leuchtdichte ist nach den Werten in Tabelle 24 zu berechnen, und die Deckungsraten sind auf der Grundlage des Fotos oder der entsprechenden Zeichnung zu berechnen.

Tabelle 24: Leuchtdichtewerte der einzelnen L_{20} Faktoren für jede Art und Ausrichtung.

Fahrt- Richtung	L_c (Himmel) kcd/m ²	L_R (Fahrbahn) kcd/m ²	L_E (Umwelt) kcd/m ²			
			Gestein	Gebäude	Schnee	Pflanzen
Norden	8	3	3	8	15 (K/O)	2
Osten	12	4	2	6	10 (V)	2
Westen					15 (H)	
Süden	16	5	1	4	5 (V)	2
					15 (H)	

(V) Vertikale Oberflächen, (H) Horizontale Oberflächen

8.4 Auswahl der Beleuchtungsklasse und des k-Faktors

Für lange Tunnel und für diejenigen, die eine Tagesbeleuchtung erfordern, sind die entsprechende Tunnelklasse und der Koeffizient k gemäß den Tabellen 4-6 auszuwählen, um die Schwellenleuchtdichte L_{th} zu berechnen. Die Leuchtdichte L_{th} wird anhand der Gleichung (14) berechnet und entspricht der geforderten Leuchtdichte der Tunnелеingangszone.

$$L_{th} = k \cdot L_{20} \quad (\text{cd/m}^2) \quad (14)$$

Verkehrsdaten (geschätzt über einen 10-jährigen Horizont) sind zur Bestimmung der Tunnelklasse zu verwenden, und wenn keine solchen Daten vorliegen, sind sichere Annahmen zu treffen.

Tunnel werden je nach Nutzertyp in zwei Hauptkategorien unterteilt:

- Nur Kraftfahrzeuge (A)
- Gemischte Nutzung einschließlich Fußgänger/Radfahrer (M)

Tabelle 25 wird verwendet, um anhand der Verkehrslast und der Art der Nutzer auszuwählen, zu welcher der 4 Kategorien der Tunnel gehört, und Tabelle 26 listet die Kategorien der Verkehrslast in Fahrzeugen pro Stunde und Fahrspur auf.

Tabelle 25: Auswahl der Tunnelklasse

Verkehrsbelastung	Hoch		Mittel		Niedrig	
Art der Nutzer	M	A	M	A	M	A
Tunnelklasse	4	3	3	2	2	1

Tabelle 26: Verkehrslast im Verhältnis zum Verkehrsfluss

Verkehrs- - last	Tunnel mit einer Fahrtrichtung (Fluss in Fahrzeugen/h · Spur)	Tunnel mit zwei Fahrtrichtungen (Fluss in Fahrzeugen/h · Spur)
Hoch	> 1 500	> 400
Mittel	500 – 1500	100 – 400
Niedrig	< 500	< 100

Tabelle 27: k-Faktorwerte in Bezug auf den Mindestbremswegabstand

Tunnelklasse	Mindestbremswegabstand (m)		
	60	100	160
4	0,05	0,06	0,10
3	0,04	0,05	0,07
2	0,03	0,04	0,05
1	Nur Orientierungsbeleuchtung ist notwendig		

Der Mindestbremswegabstand, der für die Verwendung von Tabelle 27 und zur Bestimmung der Länge der Tunnelbeleuchtungszonen erforderlich ist (siehe § 8.5), wird mit Gleichung (15) berechnet.

$$SD = u \cdot t_0 + \frac{u^2}{2 \cdot g \cdot (f \pm s)} \quad (\text{m}) \quad (15)$$

darin ist:

u: Nenngeschwindigkeit

t₀: Reaktionszeit (in der Regel 1 Sek.)

f: Reibungskoeffizient

g: Fallbeschleunigung

s: der Winkel der Fahrbahn (+) bergauf, (-) bergab

Wenn der Reibungskoeffizient nicht bekannt ist, kann er anhand des Diagramms in Abbildung 16 geschätzt werden.

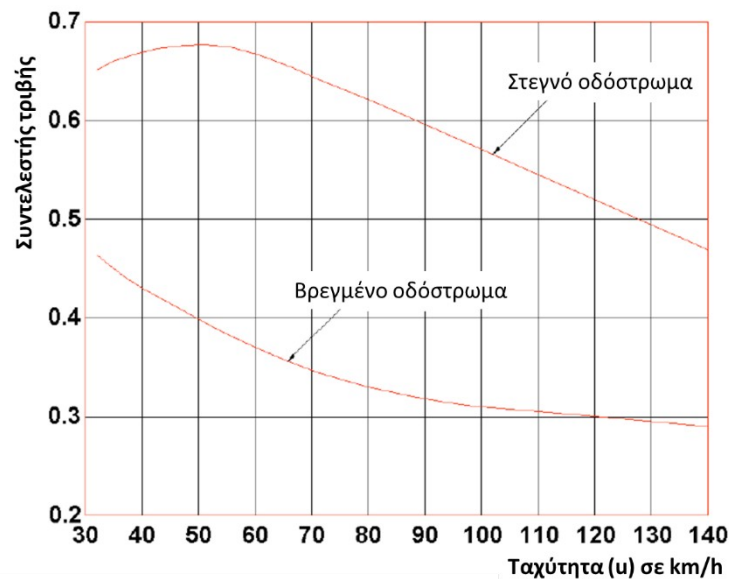


Abbildung 16: Grafische Berechnung des Reibungskoeffizienten f.

Συντελεστής τριβής	Reibungskoeffizient
Στεγνό οδόστρωμα	Trockene Fahrbahn
Βρεγμένο οδόστρωμα	Nasse Fahrbahn
Ταχύτητα (u) σε km/h	Geschwindigkeit (u) in km/h

8.5 Anforderungen an die Tag- und Nachttunnelbeleuchtung

Lange Tunnel und solche, die Tageslicht erfordern, sind in folgende Beleuchtungszonen unterteilt:

- 1. Zugangszone (access zone)**
Das ist der Abschnitt der offenen Straßenkonstruktion vor dem Tunneleingang.
- 2. Schwellenzone (threshold zone)**
Das ist die erste Zone des Tunnels. Beginnt am Mundloch des Tunnels und endet nach einer Länge, die dem Mindestbremswegabstand entspricht.
- 3. Übergangszone (transition zone)**
Beginnt nach der Schwellenzone und endet vor der Innenzone
- 4. Innenzone (interior zone)**
Verläuft durch die gesamte Länge des Tunnels zwischen dem Ende der Übergangszone und der Ausfahrzone, falls vorhanden, oder dem Mundloch des Tunnels
- 5. Ausfahrzone (exit zone)**
Es handelt sich um eine optionale Beleuchtungszone, die, falls vorhanden, nach dem Ende der Innenzone beginnt und am Mundloch des Tunnels endet.
- 6. Trennzone (parting zone)**
Das ist der Teil der offenen Straßenkonstruktion nach dem Ende des Tunnels.

Die grafische Darstellung der Beleuchtungszonen eines Tunnels ist in Abbildung 17 dargestellt. Das gleiche Bild zeigt die Standardvariation der Straßenleuchtdichte entlang des Tunnels und in jeder Beleuchtungszone.

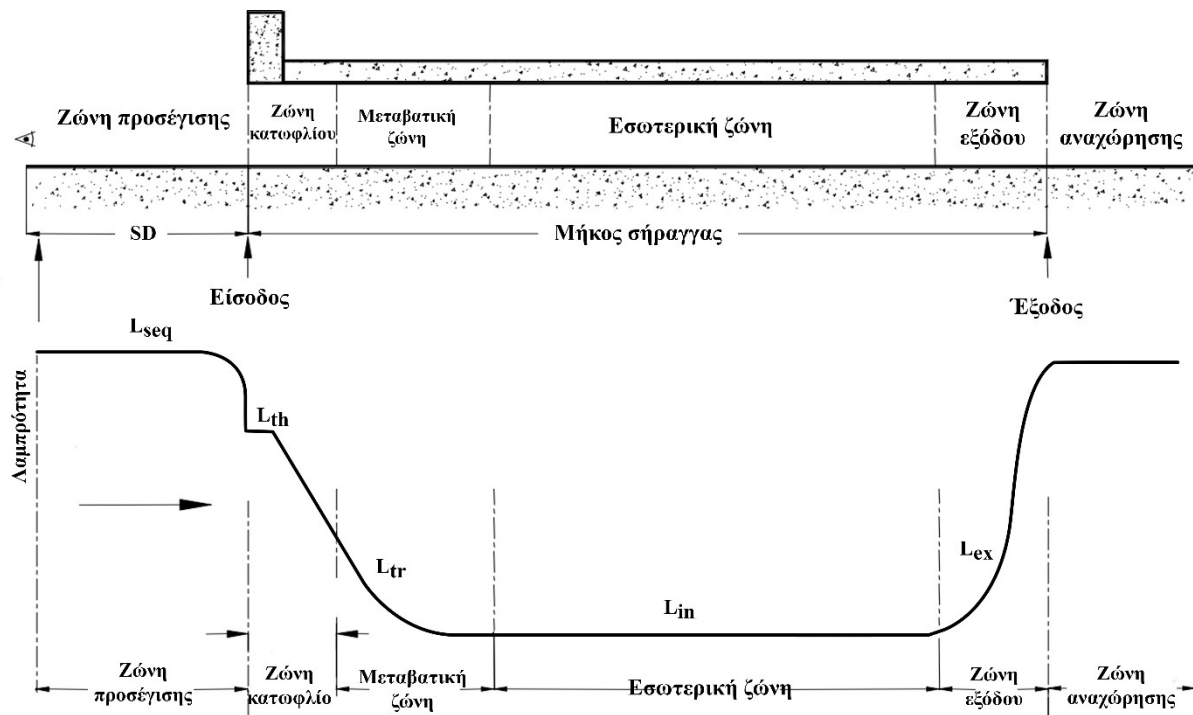


Abbildung 17: Tunnelbeleuchtungszonen und Standardvariation der Leuchtdichte der Straßenoberfläche.

Ζώνη προσέγγισης	Zugangszone (access zone)
Ζώνη κατωφλίου	Schwellenzone (threshold zone)
Μεταβατική ζώνη	Übergangszone (transition zone)
Εσωτερική ζώνη	Innenzone (interior zone)
Ζώνη εξόδου	Ausfahrzone (exit zone)
Ζώνη αναχώρησης	Trennzone (parting zone)
Είσοδος	Eingang
Μήκος σήραγγας	Tunnellänge
Έξοδος	Ausgang
Λαμπρότητα	Leuchtdichte

Die Beleuchtungsanforderungen für jede Zone sind in den folgenden Abschnitten festgelegt. Abbildung 18 zeigt die Standardkurve der Leuchtdichtenvariation entlang des Tunnels für die Beleuchtungszonen auf der Zeitskala.

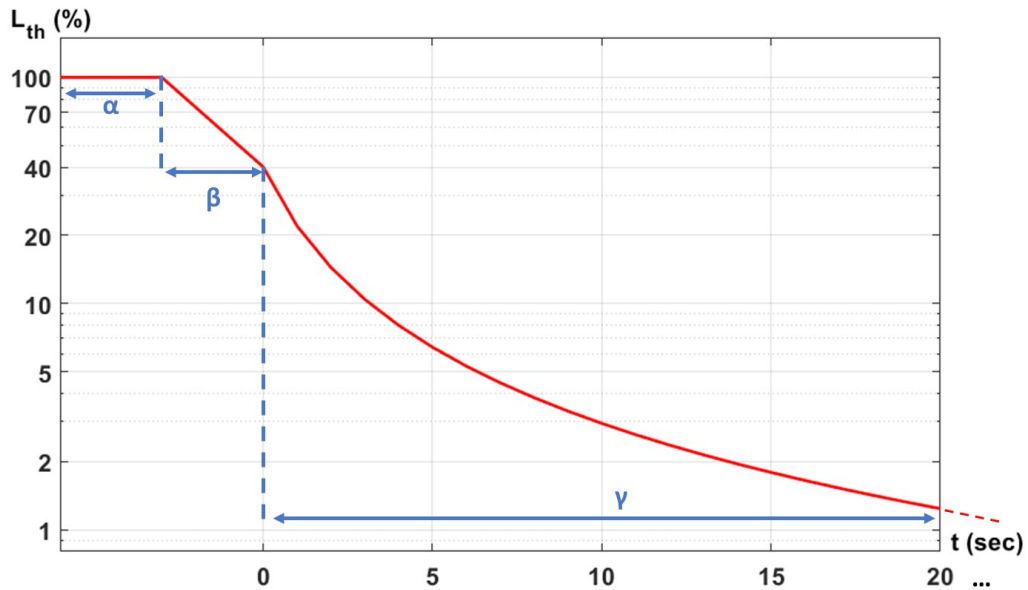


Abbildung 18: Standardvariation der mittleren Leuchtdichte einer Tunnelstraßenoberfläche. a) fester Abschnitt der Schwellenzone, b) lineare Reduktion der Schwellenleuchtdichte, c) Übergangszone.

8.5.1 Schwellenzone (threshold zone)

Die Schwellenzone muss mindestens dem Mindestbremswegabstand entsprechen, der mit Gleichung (15) berechnet wird. In der Mitte der Schwellenzone muss die durchschnittliche Beleuchtungsstärke der Straßenoberfläche mindestens der Schwellenleuchtdichte L_{th} (Abbildung 18, Abschnitt a) entsprechen, berechnet mit Gleichung (14). Für den Rest der Schwellenzone ist die Leuchtdichte linear auf 40 % von L_{th} (Abbildung 18, Abschnitt b) zu reduzieren. Diese Reduktion kann schrittweise erfolgen, solange die Leuchtdichte nicht unter die Werte fällt, die der linearen Reduktion entsprechen.

Die erforderliche mittlere Leuchtdichte ist über die gesamte Breite der Fahrbahnfläche (Spuren und gegebenenfalls Notfahrspur) zu berechnen.

8.5.2 Übergangszone (transition zone)

Änderungen der Leuchtdichte der Übergangszone L_{TR} gemäß Gleichung (16).

$$L_{tr} = L_{th} \cdot (1.9 + t)^{-1.423} \quad \text{cd/m}^2 \quad (16)$$

In Gleichung (16) beginnt die Zeit t am Ende der Schwellenzone ($t=0$). Die Form der Leuchtdichtenvariationskurve ist in Abbildung 18, Abschnitt c. dargestellt. Diese Änderung kann schrittweise erfolgen, solange die Leuchtdichte nicht unter die Werte dieser imaginären Kurve fällt. In diesem Fall dürfen die Leuchtdichteschritte 3:1 nicht überschreiten. Gleichzeitig darf der Übergang von der Schwellenzone in die Übergangszone keinen Leuchtdichteschritt größer als 1,5:1 haben.

Das Ende der Innenzone ist definiert als der Punkt, an dem die Leuchtdichte L_{TR} doppelt so hoch wie der Wert der Leuchtdichte der Innenzone L_{in} ist.

Die erforderliche durchschnittliche Leuchtdichte ist für alle Fahrspuren (gegebenenfalls einschließlich der Notfahrspur) zu berechnen.

8.5.3 Innenzone (interior zone)

Die Tunnel-Innenzonen-Leuchtdichte L_{in} ist in diesem Bereich auf der Grundlage der Tunnelklasse und der Nenngeschwindigkeit gemäß Tabelle 28 zu bestimmen.

Tabelle 28: Leuchtdichtewerte der Innenzone L_{in}

Tunnelklasse	Mindestbremswegabstand (m)		
	60	100	160
4	3,0	6,0	10,0
3	2,0	4,0	6,0
2	1,5	2,0	4,0
1	0,5	0,5	1,5

Diese Werte beziehen sich auf die Leuchtdichte der Zone während des Tages und werden für die Gesamtbreite der Fahrspuren berechnet, mit Ausnahme der Notfallspur (falls vorhanden). Die Notfahrspur muss eine durchschnittliche Leuchtdichte aufweisen, die mindestens der durchschnittlichen Fahrspurleuchtdichte für Tunnel der Klasse 4 oder mindestens 50 % der durchschnittlichen Fahrspurleuchtdichte für Tunnel der Klassen 3 und 2 entspricht.

8.5.4 Ausfahrzone (exit zone)

Die Ausfahrzone ist optional, kann aber verwendet werden, wenn:

- Die Geometrie, Lage und Ausrichtung des Tunnels in Verbindung mit der Umgebung am Tunnelausgang überproportional das Niveau der externen Leuchtdichte erhöhen, was zu Blendung während der Fahrt führt.
- In sehr langen Tunneln der Klasse 4 (> 1 000 m).

In diesem Fall muss sich die Leuchtdichte der Ausfahrzone linear erhöhen, bevor der Mindestbremswegabstand vom L_{in} -Niveau auf Ebene 5 · L_{in} 20m vor der Ausfahrt verlassen wird.

8.5.5 Zugangs- und Trennzone und Tunnel-Nachtbeleuchtung

Die Beleuchtung des Tunnels während der Nacht muss mindestens der offenen Straßenbeleuchtung vor und nach dem Tunnel entsprechen. Daher entspricht die Beleuchtungsebene der Tunnelzugangs- und Trennzone, beträgt jedoch mindestens 1 cd/m² für Tunnel der Klasse 2 und mindestens 1,5 cd/m² für Tunnel der Klassen 3 und 4. Nachtbeleuchtung betrifft sowohl lange Tunnel als auch überdachte Straßenabschnitte (> 200 m Länge) und kürzere überdachte Straßenabschnitte (Oben-/Unten-Kreuzungen usw.), die innerhalb eines straßenbeleuchteten Abschnitts liegen, auch wenn sie keine Tagesbeleuchtung erfordern.

8.5.6 Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte

Die gesamte und längliche Gleichmäßigkeit der Tunnelstraßenoberfläche ist nach ihrer Klasse auf der Grundlage von Tabelle 29 zu bestimmen. Die Anforderungen an die (gesamte und längliche) Gleichmäßigkeit gelten nicht für die Übergangszone von Tunneln.

Tabelle 29: Minimal erforderliche Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Fahrbahnoberfläche.

Tunnelklasse	Gesamte Gleichmäßigkeit U_0	Längliche Gleichmäßigkeit U_1
4	0,4	0,7
3	0,4	0,6
2	0,3	0,5
1	-	-

8.5.7 Wandbeleuchtung

Die Wandbeleuchtung muss ausreichen, um bei der Erkennung möglicher Hindernisse im Tunnel zum visuellen Kontrast beizutragen. Die durchschnittliche Wandleuchtdichte wird für den entsprechenden berechneten Punkt im Tunnel berechnet, an dem die durchschnittliche Straßenoberflächenleuchtdichte berechnet wird. Die Anforderungen sind die folgenden:

- In Tunneln der Klasse 4 muss die durchschnittliche Wandleuchtdichte in einer Höhe von bis zu 2 m mindestens der durchschnittlichen Leuchtdichte der Straßenoberfläche am selben Punkt entsprechen.
- In Tunneln der Klassen 3 und 2 muss die durchschnittliche Wandleuchtdichte bis zu 2 m mindestens 60 % der durchschnittlichen Leuchtdichte der Straßenoberfläche an demselben Punkt entsprechen.
- Für Tunnel der Klasse 1 besteht keine Anforderung, aber es wird vorgeschlagen, dass die durchschnittliche Wandleuchtdichte bis zu 2 m mindestens 25 % der durchschnittlichen Leuchtdichte der Straßenoberfläche am selben Punkt entspricht.

8.5.8 Begrenzung von Lichtflimmern und Blendung

Lichtflimmern wird durch den häufigen Wechsel zwischen hellem und dunklem Hintergrund verursacht. In Tunneln ist dies auf die Nachfolge von Leuchten zurückzuführen. Zu diesem Zweck sind die Leuchten in einem solchen Abstand zu positionieren, dass je nach Durchgangsgeschwindigkeit das Lichtflimmern kleiner als 2,5 Hz oder mehr als 15 Hz ist.

Die Blendung wird anhand des TI-Indikators (Threshold Increment) berechnet. Der TI-Wert muss in jedem Fall < 15 sein. Besondere Aufmerksamkeit ist bei der Verwendung von LED-Leuchten zu beachten, bei denen die TI-Berechnung eine hohe Genauigkeit in photometrischen Aufzeichnungen von Leuchten erfordert.

9. Spezifikationen der Tunnelbeleuchtungsgeräte

9.1 Technische Mindestspezifikationen für Tunnelbeleuchtungsleuchten

Tunnelleuchten müssen folgende technische Mindesteigenschaften und Bescheinigungen aufweisen. Es wird darauf hingewiesen, dass jeder öffentliche Auftraggeber die Möglichkeit hat, zusätzliche Spezifikationen zu den folgenden zu verlangen und die Spezifikationen jeder anwendbaren HTS aufzunehmen.

Die Leuchten müssen serienmäßig mit einem besonders geschützten Gehäuse für Tunnelinstallationen ausgestattet sein. Sie müssen von Anfang an für die ausschließliche Verwendung in Tunneln ausgelegt sein, und es dürfen keine Leuchten zugelassen werden, die aus Scheinwerfern oder Leuchten anderer Verwendungszwecke umgebaut wurden.

9.1.1 Konstruktionsmerkmale einer Leuchte

Der Leuchtenkörper muss nach Ermessen des öffentlichen Auftraggebers aus geeignetem Material für die relevanten Betriebsbedingungen und Anforderungen bestehen. In Fällen, in denen Beleuchtungseinrichtungen in der Nähe einer Meeresumwelt sind, müssen sie der Meeresumgebung standhalten. Die Konstruktion des Leuchtenkörpers sorgt für die Abführung der Wärme, die sowohl durch den optischen Quellbereich als auch durch die elektrischen Teile erzeugt wird. Die Leuchte muss bei Bedarf auch mit Anpassungs- und Schutzbeschlägen ausgestattet sein, die für die Anlagen im Tunnel geeignet sind.

Bei Leuchten, bei denen sich die elektrischen Instrumente in einem separaten Gehäuse von der optischen Einheit befinden, müssen sie in einem geeigneten Rahmen für ihren ordnungsgemäßen Betrieb verriegelt sein und von der entsprechenden Verkabelung zur optischen Einheit begleitet sein.

9.1.2 Schutzabdeckung

Die Schutzabdeckung ist so konzipiert, dass sie die optische Einheit vor der äußeren Umgebung schützt. Die Schutzabdeckung muss aus gehärtetem Glas bestehen, das die optische Quelle und die Lichtdiffusionslinsen oder Reflektoren insgesamt schützt. Die Abdeckung kann klar oder lichtdurchlässig sein (vom Frosted-Typ).

9.1.3 Optische Einheitsmaterialien

Diffusion wird durch Aluminiumlinsen oder Reflektoren erreicht. Linsen können aus PMMA oder Silikon oder einem anderen gleichwertigen Temperaturbeständigkeitsmaterial bestehen. Reflektoren müssen aus eloxiertem Aluminium oder einem anderen Material mit höherer Reflexion bestehen.

9.2 Betriebseigenschaften

9.2.1 Photometrische Daten

Photometrische Daten werden bei einer Temperatur von T_a 25 °C erhalten. Photometrische Daten werden nach EN 13032 oder IES LM 79 (ihre neuesten Versionen) gewonnen.

Die Lichtstärke und der Lichtstrom der Leuchten werden je nach Lichtbedarf jeder Anwendung ausgewählt. Darüber hinaus darf bei Verwendung von LED-Leuchten die korrelierte Farbtemperatur (CCT) 4 000 K nicht überschreiten. Die Kombination von CCT und CRI ist in Farbcodes nach IEC 62717 anzugeben z. B. 740 (CRI 70, 4 000 K), 730 (CRI 70, 3 000 K) usw.

Die Lichtstärkeverteilung der Leuchte muss vom Arbeitsplaner entsprechend den Anforderungen ausgewählt werden.

9.2.2 Elektrische Eigenschaften

Die Leuchte muss folgende elektrische Mindesteigenschaften aufweisen:

- Betrieb in einem Netz mit einer Nennbetriebsspannung von 230V AC 50Hz und Toleranz gegenüber Schwankungen beim Nennbetriebswert von mindestens 220-240V.
- Schutz gegen Überspannungen von mindestens 10 kV (nach ELOT EN 61000-4-5, Prüfklasse X)
- Elektrische Stoßschutzklasse I oder II (nach EN 60598-1)
- Leistungsfaktor von mindestens 0,9 im Volllastmodus der Leuchte. In Fällen, in denen die Leuchte auch unter Dimmbedingungen arbeitet, muss der Arbeitsplaner sicherstellen, dass der Leistungsfaktor so hoch wie möglich und so nah wie möglich an dem oben genannten Wert gehalten wird.
- Lichtflimmerkontrolle (PstLM, SVM nach IEC TR 61547-1:2020 und IEC TR 63158:2018)

9.2.3 Schutzart gegen äußere Einflüsse

Die Leuchte muss wasserdicht und staubdicht mindestens IP66 sein und eine Stoßfestigkeit von mindestens IK08 aufweisen.

Die Leuchte muss für den Betrieb in einer Außenumgebung zwischen -20 °C und + 30 °C geeignet sein. Angesichts der Kritikalität der hohen Temperatur in der Funktionalität von Leuchten wird die obere Temperaturgrenze gegen EN/IEC 60598 überprüft. Insbesondere muss jede Leuchte bei einer Temperatur von bis zu Ta 30 °C oder höher arbeiten können, abhängig von den äußeren Umgebungsbedingungen.

9.2.4 Konnektivität

LED-Leuchten müssen eine Lichtstromdimmfunktion haben. Zu diesem Zweck müssen ihre Stromversorgungsgeräte je nach technologischem Fortschritt in der Lage sein, entsprechende Befehle über DALI oder 1-10V (0-10V) oder PWM oder einen anderen Typ zu empfangen.

Alle internen Anschlüsse der Leuchte müssen während der Produktion ausgeführt werden, und die künftige Installation einer Steuerung muss so einfach wie möglich sein.

9.2.5 Aufrechterhaltung des Lichtstroms

Die Aufrechterhaltung des Lichtstroms von LED-Quellen wird durch den technischen Bericht IES LM-80 und IES TM-21 ausgedrückt. Leuchten müssen mit LED-Quellen mit einem Mindestwert von L80 ausgestattet sein, berechnet bei 50 000 Stunden bei einer Umgebungstemperatur im Freien von mindestens 25° C. Der Bericht LM 80 ist als Nachweis für diese Erklärung zu verwenden, die einen oder mehrere repräsentative Datensätze der Leuchtenfunktion enthalten muss, d. h. Kombinationen von Antriebsstrom (If-mA) und Temperatur Ts (oder Tsp).

Es wird angemerkt, dass, wenn eine Erklärung über die Aufrechterhaltung des Lichtstroms mit einem anderen Byy-Koeffizient als B50 angefordert wird, auch IEC 62717 für die Berechnung verwendet werden kann.

9.2.6 Zertifizierungen

Leuchten müssen mindestens über folgende Bescheinigungen verfügen.

1. Konformitätserklärung des Herstellers nach CE. Die Erklärung enthält gegebenenfalls die Einhaltung der Richtlinien und der entsprechenden Harmonisierungsnormen.
 - a. Niederspannungsrichtlinie (LVD) 2014/35/EU
 - b. Richtlinie über elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) 2014/30/EU
 - c. Ökodesign-Richtlinie 2009/125/EG
 - d. Verordnung (EU) 2017/1369 ergänzt durch die Verordnung (EU) 2019/2015
 - e. ATEX 2014/34/EU für Produkte, die zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen bestimmt sind, gegebenenfalls und wenn die Studie die Schaffung solcher Bedingungen an den Orten vorsieht, an denen die Produkte platziert werden sollen
 - f. RoHS-Richtlinie 2011/65/EU
2. Der Hersteller von Leuchten muss über ein aktives Qualitätsmanagementsystem ISO 9001:2015 und ein Umweltmanagementsystem ISO 14001:2015 verfügen. Die Zertifizierung umfasst die Herstellung und das Inverkehrbringen von Beleuchtungsprodukten.
3. ENEC oder andere gleichwertige ISO-Typ-5-Zertifikate, die den Anforderungen der Niederspannungsnormen entsprechen (EN 60598-1, EN 60598 2-3)
4. Optional – ENEC+ Baumusterbescheinigung oder ein anderes gleichwertiges ISO-Typ-5-Zertifikat, das für die Anwendung von EPRS 003 relevant ist (Anwendung von EN/IEC 62722-2-1).
5. Die photometrischen Daten sind von einem gemäß ISO 17025 akkreditierten Laboratorium einer EA-MLA- oder IAF/ILAC-Stelle zu erhalten. Der öffentliche Auftraggeber kann zusätzlich zu einem akkreditierten Labor auch verlangen, dass das Labor der photometrischen Daten alternativ von einer akkreditierten Stelle gemäß ISO 17025 genehmigt/anerkannt wird. In diesem Fall ist eine Laborerklärung vorzulegen, dass die photometrischen Daten aus dem Labor stammen. Der Nachweis für die Herkunft der photometrischen Daten kann eine Erklärung des ausstellenden Labors oder des Labors des Herstellers sein, sofern vorhanden.
6. Es wird darauf hingewiesen, dass der Arbeitsplaner die Möglichkeit erhält, die Akkreditierung des photometrischen Labors durch eine EA-MLA-Stelle (und nicht allgemein durch IAF/ILAC) zu verlangen, da nur europäische Stellen zu dieser Gruppe von Akkreditierungsstellen gehören.
7. Die Lichtstrom-Wartungsdaten gemäß LM-80 sind von einem von einer EA-MLA- oder IAF/ILAC-Stelle nach ISO 17025 akkreditierten Labor zu erhalten.

Schließlich ist es notwendig, zusätzliches Informationsmaterial, Fotos, Installationshandbücher und andere technische Materialien vorzulegen, die die Einhaltung der Spezifikationen belegen.

10. Zusätzliche Anforderungen an die Tunnelbeleuchtung

10.1 Notbeleuchtung der Parkbucht (Lay-by)

Wo Tunnel Parkbuchten haben, müssen die Anforderungen der Klasse P1 gemäß EL0T EN13201-2 erfüllt werden. Diese Parkbuchten können über ein separates

Beleuchtungssystem verfügen, das rund um die Uhr betrieben werden muss. Es wird vorgeschlagen, Leuchten mit einer höheren Farbtemperatur zu verwenden, um die Identifizierung des Bereichs zu erleichtern, wenn seine Identifizierung nicht durch andere Mittel (Farbe, Markierung usw.) unterstützt wird.

10.2 Notbeleuchtung

Im Tunnelbeleuchtungssystem muss vorgesehen werden, dass in Notsituationen, wie z. B. Ausfall der Stromversorgung, ein Mindestlichtpegel eingehalten wird. Das Mindestmaß an Sicherheit kann durch die Verwendung von Leuchten eingehalten werden, die an ein unterbrechungsfreies Stromversorgungssystem angeschlossen sind. Für denselben Zweck kann bei Bedarf auch ein Teil des Lichtstroms bestimmter Leuchten verwendet werden, z. B. eine der Lampen in Leuchten mit mehr als einer Lampe, einzelne LED-Einheiten in den sie unterstützenden Leuchten usw.

In jedem Fall muss das Beleuchtungssystem in Notsituationen eine durchschnittliche Beleuchtungsstärke von 10 lx mit einem Mindestwert von 2 lx an jedem Punkt des Tunnels, einschließlich der Straßenoberfläche und der Gehsteige, erreichen, sofern verfügbar. Diese Anforderung gilt nicht für Wandbeleuchtung.

Im Falle eines Stromausfalls und bis zum Betrieb des Stand-by-Generierungssets wird das unterbrechungsfreie Stromversorgungssystem (USV) unter anderem das Tunnel-Notbeleuchtungssystem (jegliche Nachtbeleuchtung) und die Lichtsignale (Straßen- und Fluchtwegschilder usw.) versorgen. Dann versorgt das Stand-by-Generierungsset auch einen Teil des Tunnelsystems. Das Verkehrsleitsystem mit der Verwendung von Verkehrsleitschildern vor und innerhalb des Tunnels bestimmt die neue Geschwindigkeit, mit der Fahrzeuge vor und durch den Tunnel passieren. Dieser Grenzwert ist zu berechnen und entspricht dem Lichtniveau der Schwellen- und Übergangszonen, die sich aus der vorgegebenen Anzahl von Leuchten ergeben, die durch das in diesen Zonen festgelegte Stand-by-Generierungs-Set elektrifiziert werden.

10.3 Fluchtwegbeleuchtung

Im Brandfall wird das Lichtniveau des Tunnels durch Rauch reduziert, so dass die Wege und Fluchtwege nicht immer ausreichend sichtbar sind. Daher muss jeder Abschnitt des Tunnels mit Leuchten ausgestattet sein, die die Routen angeben und sich an den Fluchtwegen orientieren. Fluchtwege müssen mit Schildern gekennzeichnet und deutlich beleuchtet sein. Diese Beleuchtung, die zur Orientierung und Unterstützung der Evakuierung dient, ist für alle Tunnel mit einer Länge von ≥ 500 m erforderlich.

a. Beleuchtete Schilder, die die nächstgelegenen Fluchtwege anzeigen

Diese Zeichen werden— an der Seite des Tunnels, wo sich die Fluchtwege befinden, eingebettet in die Tunnelwand in Abständen von ≤ 25 m und so, dass sie die Route deutlich anzeigen und Orientierung bieten. Sie müssen dauerhaft beleuchtet sein und ein Piktogramm mit einem Fluchtsymbol („laufender Mann“ in Richtung des nächstgelegenen Fluchtwegs) enthalten, kombiniert mit Pfeilen in Fluchtrichtung und mit einer Angabe darüber oder darunter, zur Entfernung vom nächstgelegenen Fluchtweg oder dem nächsten Tunnelausgang. Um die oben genannten Entfernungsinformationen schnell zu verstehen, werden die Zahlen

auf die nächsten zehn Meter (10 m) gerundet. Das Piktogramm dieser Zeichen muss grün und weiß sein (die Farbe der Symbole ist weiß auf grünem Hintergrund).

Um eine Seitenansicht der oben genannten beleuchteten Schilder zu ermöglichen, sollten sie 2 bis 3 cm von der Tunnelwand und maximal 6 cm herausragen. Sie müssen über eine Seitenführungsbeleuchtung in Form von vertikalem Grünstreifen mit Mindestabmessungen (BxH) 20 mm x 300 mm und LED-Technologie verfügen. Sie sind auch so zu gestalten, dass sie den flüchtenden Nutzern keine Verletzung zufügen. Wenn die Konstruktion des Tunnels die eingebettete Montage dieses beleuchteten Zeichens nicht erlaubt, sind ebene, flache, wandmontierte Leuchtschilder alternativ zu verwenden.

Die beleuchteten Schilder, die die nächstgelegenen Fluchtwege anzeigen, müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- Minimale Piktogrammabmessungen 300 mm x 300 mm.
- Durchschnittliche Piktogramm-Leuchtdichte von mindestens 200 cd/m²
- Seitenflächen mit grüner Farbe, durchschnittliche Leuchtdichte von mindestens 75 cd/m²
- Schutz-/Wasserdichtheitsklasse von beleuchteten Schildern: IP 65 und IK 08
- Schutzart: I
- Einbauhöhe: Der untere Rand des beleuchteten Schilds muss in einer Höhe von 1,00 bis 1,20 m über der Fluchtebene liegen.
- Energieversorgung Dieses beleuchtete Zeichen muss von einer USV angetrieben werden. Die Verteilung der Verteilerleitungen auf den beleuchteten Schildern wird durch die Risikobewertung des Tunnels bestimmt. In jedem Fall werden aufeinanderfolgende Leuchten durch eine andere Phase (R,S,T) angetrieben.

Diese beleuchteten Schilder haben unten eine integrierte (kann auch außen angebrachte) weiße Leuchte für die (nach unten) Beleuchtung des Fluchtwegs entlang des Gehwegs und werden mit einer USV angetrieben. Diese wird nur im Falle eines Brandes oder eines anderen Notfalls, automatisch über das Brandmeldesystem oder manuell von der Tunnelüberwachungsstelle aus aktiviert. Die Leuchte muss in der LED-Technologie, $I(\alpha)$ mindestens 25 cd sein, wobei der α -Winkel innerhalb des Bereichs liegt, von: $-87^\circ < \alpha < +87^\circ$ auf horizontaler Ebene und $-60^\circ < \alpha < +20^\circ$ auf vertikaler Ebene. Eine Überlappung des beleuchteten Schilds, das die nächstliegenden Fluchtwege anzeigt, sollten vermieden werden, indem die Blendung dieser Leuchte am unteren Rand des beleuchteten Schilds reduziert wird. Wenn eine einzelne Leuchte außerhalb des beleuchteten Schilds platziert wird, müssen ihre Eigenschaften denen der Leuchte entsprechen, die in das beleuchtete Schild eingebaut ist.

b. Schilder zur Kennzeichnung von Fluchtwegen

Fluchtwege müssen durch ein intern permanent beleuchtetes doppelseitiges Schild gekennzeichnet sein, das senkrecht zur Verkehrsrichtung montiert ist und von einer USV angetrieben wird. Über den beleuchteten Schildern ist eine grüne Blinkleuchte zu montieren, die ebenfalls mit einer USV versorgt und nur im Brandfall oder anderen Notfällen automatisch über das Brandmeldesystem oder manuell von der Tunnelüberwachungsstelle aus aktiviert wird. Diese Fluchtwegleuchten müssen der Schutzart IP 65, IK 08 entsprechen, sowie der Schutzklasse: I.

c. Beleuchtung zur Anzeige der Fluchtwege

Die Fluchtwege müssen auch durch ein um sie herum angebrachtes LED-Band angezeigt werden, das von einer USV betrieben wird und dauerhaft eingeschaltet ist, um ihre Position anzuzeigen. Sie können auf beiden Seiten des Fluchtweges in Form von etwa 2,5 m hohen Leuchtsäulen installiert werden. Alternativ kann das gewünschte optische Ergebnis erreicht werden, indem eine ausreichende Anzahl (3-5) von zweiseitig beleuchteten Anzeigen installiert wird, die vertikal auf beiden Seiten des Ausgangs angeordnet sind. Die Beleuchtung ist grün, LED-Technologie und wird durch das Automatisierungssystem gesteuert, um eine Leuchtdichte von 30 cd/m² bei normalem Tunnelbetrieb und 100 cd/m² im Falle einer Evakuierungswarnung zu erreichen.

Die Leuchten müssen so ausgelegt sein, dass sie für eine angemessene Beleuchtung auf der Querachse sorgen, sodass Benutzer, die sich innerhalb des Tunnels bewegen, den Notausgang lokalisieren und identifizieren können. Sie müssen IP65, IK 08 Schutz und ein Design haben, so dass keine Verletzungsgefahr für passierende Fußgänger besteht (Seiten in einem Winkel).

10.4 Anstrich von Wänden, Asphalt und Mundloch des Tunnels

Um die Leuchtdichte der Wände zu erhöhen und die erforderliche installierte Leistung des Beleuchtungssystems zu reduzieren, wird vorgeschlagen, dass die Tunnelwände in hellgrauer Farbe mit einem Gesamtreflexionsvermögen von $\geq 50\%$ in einer Höhe von mindestens 3 m lackiert werden.

Gleichzeitig könnte es möglich sein, den Einsatz einer hellen Asphaltbeschichtung zu untersuchen, um die Leuchtdichte der Fahrbahnoberfläche zu erhöhen. In diesem Fall sind Kenntnisse über die reflektierenden Eigenschaften der Beschichtung erforderlich und alle qualitativen Beleuchtungseigenschaften (Gleichmäßigkeiten, Wand-/Asphalt-Leuchtdichteverhältnis) sollten sichergestellt werden.

Um die Leuchtdichte des Mundlochs des Tunnels und damit die erforderliche Leuchtdichte im Tunnel tagsüber zu reduzieren, wird vorgeschlagen, die strukturellen Elemente des Mundlochs des Tunnels mit dunkler Farbe zu bemalen. Die Bepflanzung der Umgebung mit Pflanzen oder die Verwendung von dunkelfarbigem Materialien trägt auch dazu bei, die Leuchtdichte des Mundlochs des Tunnels zu reduzieren. In jedem Fall müssen Eingriffe an der Tunnelöffnung die gesamte Leuchtdichte L20 des Sichtfelds des Standardfahrers verringern.

11. Vorbereitung von Studien zur Tunnelbeleuchtung

11.1 Allgemeine Anforderungen

Der Zweck einer Tunnelbeleuchtungsstudie ist es, die Beleuchtungsbedürfnisse des Tunnels entlang seiner Länge und während der Tag- und Nachtzeit zu erfüllen. Das Beleuchtungssystem muss die auf der Grundlage des Diagramms in Abbildung 18 (§ 8.5) berechneten Niveaus der Straßenleuchtdichte entlang des Tunnels erreichen. Gleichzeitig sind die Beleuchtungsanforderungen für die Wände und die erforderlichen Gleichmäßigkeiten zu erfüllen. Tunnelbeleuchtungsstudien sind unter Verwendung spezieller Software durchzuführen, die für Studien zur Tunnelbeleuchtung geeignet ist. Die Software muss Berechnungsmethoden gemäß den geltenden Normen wie dem technischen Bericht CIE 189 enthalten. Bei der Beleuchtungsplanung sind die tatsächlichen geometrischen Daten des

Tunnels sowie die Bestimmung anderer Daten über den Standort und den Betrieb des Tunnels zu berücksichtigen.

11.2 Wartungsfaktor

Der Wartungsfaktor einer Tunnelbeleuchtungsanlage ist zu berechnen wie bei der Straßenbeleuchtung und in § 3.2 beschrieben. Bei Tunneln ist die Verschlechterung der reflektierenden Eigenschaften dieser Wände im Laufe der Zeit bei den Berechnungen unter Verwendung der spezialisierten Software dieser Beleuchtungsstudien in Verbindung mit dem Reinigungsprogramm für die Wände der betreffenden Straßenarbeiten gemäß den Wartungshandbüchern zu berücksichtigen.

11.3 Positionierung von Leuchten im Tunnel

Die Position der Leuchten wird anhand der Ergebnisse der Lichtstudien eines Tunnels bestimmt. Die Beleuchtungspositionen müssen den sicheren Betrieb der Leuchten gewährleisten und die Sicherheitsanforderungen elektromechanischer Anlagen erfüllen. Die übliche Konfiguration der Leuchten ist wie folgt:

1. Dachmontage auf speziellen Stützen, in der Mitte oder in der Nähe der Mitte des Tunnels neben den elektrischen Kabelkanälen, in einem Abstand vom Zentrum, um die Wartung zu erleichtern. Diese Konfiguration kann in Abhängigkeit von der Breite des Tunnels oder den photometrischen Anforderungen aus einer oder mehreren Leuchtengruppen bestehen. Bei Tunneln mit 3 oder mehr Fahrspuren sind Leuchten auf Positionen zu verteilen, die eine optimale Nutzung der Lichtemission der Leuchten gewährleisten.
2. Montage an den Tunnelwänden in einer angemessenen Höhe, die in den einschlägigen Sicherheitsspezifikationen und Lichtstudien angegeben ist.

In jedem Fall sind die erforderlichen Beleuchtungsniveaus an den Wänden und auf der Fahrbahnfläche des Tunnels zu gewährleisten.

Der Abstand zwischen den Leuchten ist während der Beleuchtungsstudie zu berechnen und kann entweder entlang des Tunnels variabel oder je Gruppe einer bestimmten Anzahl von Leuchten festgelegt sein. Im ersten Fall wird eine sanfte Änderung der Leuchtdichte entlang des Tunnels erreicht, während im zweiten Fall die Leuchtdichte in verschiedenen Schritten erreicht wird. Unabhängig davon, welche Methode angewandt wird, sind die im Diagramm in Abbildung 18 (§ 8.5) festgelegten Leuchtdichten zu erfüllen.

11.4 Beleuchtungskreise und adaptive Beleuchtung

Die Beleuchtungsbedürfnisse eines Tunnels variieren tagsüber. Die Leuchtdichte der Zugangszone ändert sich und korreliert direkt mit der Himmelsleuchtdichte, der Leuchtdichte des Bereichs um das Mundloch des Tunnels oder den Wetterbedingungen. Dadurch ändert sich die Leuchtdichte L_{20} und damit die erforderliche Schwellenzonen-Leuchtdichte L_{th} . Daher besteht eindeutig die Notwendigkeit einer automatischen Anpassung der Beleuchtung der Schwellenzone und der Übergangszone an die externe Leuchtdichte. Zu diesem Zweck sollten Leuchten, die die Beleuchtung der Schwellen-, Übergangs-, Innen- und Ausfahrzonen

(falls vorhanden) abdecken, entsprechend angepasst werden, um die gewünschten Beleuchtungsniveaus zu erreichen.

Tunnelbeleuchtungssteuerungssysteme müssen Leuchten nach einer der folgenden Methoden verwalten:

1. Gruppierung von Leuchten und Ein-/Ausschalten

Dies ist vor allem bei bestehenden Installationen der Fall, da herkömmliche Lichtquellen vor der Entstehung von LED-Leuchten und ihren zusätzlichen Steuerungsmöglichkeiten dominieren. Bei dieser Methode werden die Leuchten in Schaltungsgruppen unterteilt, eine oder mehrere pro Beleuchtungsgrad. Diese Schaltkreise verwalten das Ein-/Ausschalten der Schaltungen und erreichen die verschiedenen unterschiedlichen Stufen der Tunnelbeleuchtung. Das Ein-/Aus-Verfahren kann mit jeder Leuchtentechnik verwendet werden. Die Anzahl der Steuerkreise und damit die entsprechenden Beleuchtungsstufen müssen mindestens 5 betragen, ohne den Nachtlichtpegel zu berücksichtigen, z. B. 100 %, 80 %, 60 %, 40 % und 20 % der Leuchtdichte L_{th} plus den Nachtlichtpegel.

2. Gruppierung von Leuchten und Einstellen des Lichtstroms auf zwei Ebenen und Ein-/Ausschalten.

Diese Methode ist ähnlich wie die erste, kombiniert aber die Möglichkeit, Bi-Power-Leuchten zu verwenden. In diesem Fall kann der Lichtstrom der Leuchten auf zwei verschiedene Ebenen eingestellt werden, z. B. 100 % und 50 % des Nennlichtstroms. Dies erreicht doppelt so viel Licht wie die erste Methode oder kann entsprechend um die Hälfte der erforderlichen Anzahl von Schaltungen reduziert werden, während die gleiche Anzahl von Beleuchtungsniveaus erreicht wird. Zum Beispiel werden im 1. Gehäuse mit 4 Lichtkreisen 4 Beleuchtungsstufen erreicht, während im 2. Gehäuse mit 2 Lichtkreisen und 2 Lichtstromstufen pro Leuchte ebenfalls 4 Beleuchtungsstufen erreicht werden. Die Anzahl der Steuerkreise und damit die entsprechenden Beleuchtungsstufen müssen mindestens 5 betragen, ohne den Nachtlichtpegel zu berücksichtigen.

3. Gruppierung von Leuchten, kontinuierliche Einstellung des Lichtstroms auf ein niedrigeres Niveau und Ein-/Ausschalten.

Diese Methode ist ähnlich wie das zweite Verfahren, mit der Ausnahme, dass der Lichtstrom von Leuchten auf kontinuierliche Werte bis zu einem Schwellenwert eingestellt werden kann, z. B. 50 %, 30 % usw. Mit der entsprechenden Verteilung der Leuchten in Schaltkreisen wird eine Kombination mehrerer diskreter Beleuchtungsstufen erreicht, wie im ersten und zweiten Verfahren, aber der Übergang von einer Ebene zur nächsten erfolgt durch kontinuierliche Einstellung des Lichtstroms, bevor bestimmte Leuchten ausgeschaltet werden. Diese Kombinationsmethode wird in Fällen vorgeschlagen, in denen der Betrieb von Leuchten mit niedrigem Lichtstrom aus Gründen der Leistungsqualität und der Lebensdauer von Lichtquellen kontraindiziert ist.

4. Adressierung von Leuchten und Verfahren zur kontinuierlichen Anpassung des Lichtstroms im gesamten Betriebsbereich

Diese Methode ist die neue Generation von Zwei-Wege-Kommunikations- und Managementsystemen, durch die die Adressierung jeder Leuchte oder Leuchtengruppen erfolgt, so dass sie spezifische Befehle für Ein-/Ausschalten oder Lichtstromeinstellung auf jeder möglichen Ebene (0-100 %) ausführen. In diesem Fall ist es möglich, Lichtszenarien mit Änderungsgenauigkeit der Leuchtdichte zu erstellen. Jede Beleuchtungsebene setzt sich aus einem bestimmten Lichtstromniveau der Leuchten zusammen. Die Methode führt in der Regel zu weniger Verkabelung als andere Methoden.

11.5 Dynamische Steuerung über externe und interne Messgeräte

Die Beleuchtung eines Straßentunnels ist entsprechend einzustellen, um Änderungen der äußeren Leuchtdichte am Mundloch des Tunnels zu folgen. Zu diesem Zweck ist ein Leuchtdichtemessgerät in dem Mindestbremswegabstand zu installieren, das kontinuierlich den L20- oder LSEQ-Leuchtdichtewert misst. Aus praktischen Gründen ist das Leuchtdichtemessgerät in einer Höhe zu positionieren, die höher ist als die des normalen Fahrersitzes und außerhalb der Straße (rechts oder links). Um falsche Messwerte zu vermeiden, wird empfohlen, das Sichtfeld des Leuchtdichtemessgeräts mittels eines geeigneten Ziels so zu optimieren, dass das Leuchtdichtemessfeld Umgebungs-, Himmels- und Straßenproportionen aufweist, die dem Sichtfeld des Standardbeobachters (Standardfahrers) entsprechen. Ist eine Optimierung nicht möglich, muss das Messgerät auf die Mitte des Mundlochs des Tunnels abzielen.

Die Höhe der Tunnelbeleuchtung ist entsprechend der Angabe des externen Geräts und der Zuweisung der Beleuchtungsklasse, die sich aus der Beleuchtungsstudie ergibt, anzupassen.

11.6 Beleuchtung von Tunneln mit zwei Fahrtrichtungen

In Tunneln mit zwei permanenten Fahrtrichtungen ist die Beleuchtung für beide Verkehrsrichtungen ausgelegt, d. h. für jede Einfahrtsöffnung auf beiden Seiten des Tunnels. Die Beleuchtungsanforderungen für Schwellen-, Übergangs- und Innenbereiche basieren auf der äußeren Leuchtdichte L20 des Mundlochs des Tunnels. Innenbeleuchtung und Nachtbeleuchtung sind für den gesamten Tunnel üblich. In jedem Fall sind die Mindestanforderungen für jeden Standardbeobachter zu erfüllen. Wenn der Tunnel relativ kurz ist und die erhöhten Lichtzonen innerhalb des Tunnels überlappen, dann stoppt die verstärkte Beleuchtung jeder Richtung am Ausgangspunkt der Überlappung.

11.7 Optimierung der Tunnelbeleuchtungsplanung

Der Arbeitsplaner muss die Planung der Tunnelbeleuchtung entsprechend der Optimierung des Straßenbeleuchtungsplans optimieren. In jedem Fall ist es das Ziel des Arbeitsplaners, die technische Lösung zu finden, die eine möglichst geringe installierte Kapazität pro Beleuchtungsniveau und den geringstmöglichen jährlichen Energieverbrauch erfordert. Dies kann mit verschiedenen wirtschaftlichen Kriterien kombiniert werden.

Bei der Tunnelbeleuchtung kann der Arbeitsplaner die qualitativen Indikatoren des § 3.4 verwenden, um alternative technische Lösungen zu vergleichen und sich für die günstigsten zu entscheiden. Bei diesen Anzeigern (falls erforderlich) wird die Beleuchtungsfläche als Oberfläche der Fahrbahn, der Gehwege (falls vorhanden) und der Wände bis zu 2 Meter hoch angenommen.

Darüber hinaus wird empfohlen, dass der Arbeitsplaner den Faktor q_c berechnet, der definiert wird in Gleichung (17):

$$q_c = \frac{L}{E_v} \quad (17)$$

darin ist:

q_c : Kontrastfaktor

L : Fahrbahnoberflächenleuchtdichte am Berechnungspunkt

E_v : vertikale Lichtstärke am Berechnungspunkt

Der Mindestwert des q_c -Faktors je verwendeten Leuchtentyp ist:

- Hochasymmetrische Lichtstrahlleuchten: q_c größer oder gleich 0,60
- Symmetrische oder fast symmetrische Leuchten: q_c ungefähr gleich 0,15
- Leuchten für andere Verteilungen: (keine Anforderung)

12. Konformitätskontrolle der Tunnelbeleuchtung

12.1 Einleitung

Studien zur Straßenbeleuchtung sehen vor, dass ein spezifisches Kapitel aufgenommen werden sollte, d. h. „Leitlinien für die Konformitätskontrolle während der Umsetzung (LKKU)“, in dem die Verfahren beschrieben werden, die während der Durchführungsphase der Studie für die Kontrolle der Einhaltung der Vorschriften zu beachten sind.

Die Konformitätskontrolle bezieht sich auf die qualitativen und quantitativen Kontrollen, die in Straßentunneln sowohl nach der Installation oder Modernisierung des Systems als auch in regelmäßigen Abständen durchzuführen sind.

Die Kontrolle zielt darauf ab, durch Probenahme die erzielten Ergebnisse zu bestätigen, unabhängig davon, ob es sich um die Geräte selbst (Leuchten, Steuerung usw.) oder die Anlage insgesamt (Beleuchtungsleistung vor Ort) handelt.

Die Konformitätskontrolle darf in keinem Fall die Kontrollen ersetzen, die sich aus den Konformitätsbescheinigungen gemäß den technischen Spezifikationen ergeben, noch darf sie den Herstellungsprozess der Ausrüstung bescheinigen.

Die in den LKKU vorgesehenen Kontrollen, insbesondere in Bezug auf Leuchten und ihre Leistung nach der Integration in die Tunnelbeleuchtungsanlage, müssen Labormessungen der Geräte und Kontrollen der Beleuchtungsanlage vor Ort umfassen.

12.2 Labormessungen

Für jede neue Installation von Leuchten in einem Straßentunnel oder für die Nachrüstung eines bestehenden Tunnels sollten Stichprobenkontrollen der Geräte vorgenommen werden. Die Anzahl der zu prüfenden Proben hängt von der Anzahl der verwendeten Leuchtentypen ab. In jedem Fall müssen die Stichprobenkontrollen die gesamte zu prüfende Anlage angemessen darstellen.

Proben sollten während der Installation durch die vor Ort zu installierende Leuchtengruppe entnommen werden und dürfen keine Werksmuster sein, die geprüft werden müssen.

Die Messungen sollten von einer für die jeweilige Messung akkreditierten Stelle durchgeführt werden, die über die entsprechende Infrastruktur und kalibrierte Ausrüstung verfügt. Die Messungen sind nach einer der Normen EN 13032, CIE S025 oder IES LM79 durchzuführen.

Die Eigenschaften, die mindestens auf jeder Probe zu kontrollieren sind, sind in Tabelle 30 dargestellt. Die kontrollierten Eigenschaften sind mit denen des Herstellers zu vergleichen, und die Abweichungen dürfen den entsprechenden Prozentsatz nicht überschreiten, der in derselben Tabelle angegeben ist.

Tabelle 30 – Eigenschaften, die bei der Laborprüfung von Leuchten gemessen werden.

Kontrollierte Eigenschaft	Maximale Abweichung von der Herstellererklärung
Betriebsspannung	-
Gesamtleuchtenstrom	-
Gesamtleuchtenleistung	+ 10 %
Leuchtenleistungsfaktor bei Volllast	- 0,05
Harmonische Verzerrung des Leuchtenstroms bis zur 30. Harmonischen	+ 2 %
Gesamtlichtstrom der Leuchte	- 10 %
Lichtstärkeverteilung der Leuchte	-
Korrelierte Farbtemperatur (CCT), gemessen bei C0-C330 bei 60° und in Winkeln $c=0$ bis $c=180^\circ$ bei 30°).	$\pm 200K$
Leistungsschwankungen im Verhältnis zum Lichtstrom bei Leuchten mit einstellbarem Lichtstrom zwischen 100 % und 0 % des Lichtstroms mit 10 % Einstellung	-
Lichtflimmern der Leuchte (PstLM, SVM) bei Nennbetriebsbedingungen und bei jedem Lichtstromsteuerniveau.	+ 5 %

12.3 Messungen vor Ort

12.3.1 Kategorien von Messungen vor Ort

Die Kategorien von Messungen vor Ort sollten in den LKKU ähnlich wie in § 6.3.1 vorgesehen werden.

Die Messungen sind von entsprechend geschultem Personal und gemäß dem technischen Bericht CEN/CR 14380 durchzuführen. Zusätzliche Kontrollanforderungen können vom Arbeitsplaner vorgesehen werden.

Die Berichte über die Messungen sind detailliert mit Angabe der einzelnen Messungen, der Berechnung der Qualitätsindikatoren, erforderlichenfalls der geometrischen und elektrischen Eigenschaften der Anlage, der Wetterbedingungen usw. vorzulegen.

12.3.2 Definition von Bereichen für Messungen vor Ort

Messungen vor Ort in Straßentunneln sind an repräsentativen Rastern in allen einzelnen Beleuchtungszonen durchzuführen. Jeder Raster ist definiert als die Fläche zwischen zwei

aufeinander folgenden Leuchten des Nachtbeleuchtungskreises gemäß dem Technischen Bericht CEN/CR 14380. Die Mindestanzahl der Messraster ist in Tabelle 31 festgelegt.

Tabelle 31 – Mindestanzahl der Messraster pro Tunnelbeleuchtungszone.

Lichtzone	Mindestanzahl der Raster
Eingangszone (Abschnitt der festen Leuchtdichte)	2
Eingangszone (Abschnitt der linearen Reduzierung der Leuchtdichte)	2
Übergangszone (transition zone)	6
Innenzone (interior zone)	2
Ausfahrzone (exit zone)	2

Die Mindestanzahl der Raster gilt, solange jede Zone verfügbar ist und ihre Länge die Festlegung der Mindestanzahl von Rastern ermöglicht. Ist dies nicht der Fall, können die repräsentativen Raster im Tunnel definiert werden.

Die Messraster sind so auszuwählen, dass eine korrekte Bewertung der Leuchtdichteschwankungskurve entlang des Tunnels gewährleistet ist.

Bei Messungen, die aus Wartungsgründen durchgeführt werden, kann die Mindestanzahl von Rastern um die Hälfte reduziert werden.

12.3.3 Messgeräte vor Ort

Instrumente zur Messung der photometrischen, geometrischen und elektrischen Eigenschaften einer Tunnelbeleuchtungsanlage müssen für den vorgesehenen Verwendungszweck ausgelegt sein, über gültige Kalibrierbescheinigungen verfügen und den Messbereich jeder gemessenen Eigenschaft abdecken, die vor Ort gemessen werden soll. Die indikativen Anforderungen an Messgeräte sind in Tabelle 21 von § 6.3.3 angegeben.

12.3.4 Messung der Leuchtdichte

Die Kontrolle der Übereinstimmung von Tunnelbeleuchtungsanlagen der Klasse M erfolgt durch Messung der Leuchtdichte der Straßenoberfläche und der Wände. Die Messungen sind gemäß dem technischen Bericht CEN/CR 14380 über die ausgewählten Raster entlang des Tunnels durchzuführen. Für Messungen ist ein Leuchtdichtemessgerät wie oben beschrieben zu verwenden. Die Messungen sind für alle vorgegebenen Stufen der Tunnelbeleuchtung auf denselben Rastern zu wiederholen.

Die Messungen sind aus einem Abstand von 60 m vom Anfang jedes Rasters und aus einer Höhe von 1,5 m über dem Boden durchzuführen. Wenn der Abstand von 60 m nicht möglich ist, sind Messungen aus einer niedrigeren Höhe und einem kürzeren Abstand durchzuführen, aber in jedem Fall beträgt der relative Winkel der Messposition vom Anfang des Rasters etwa 1 Grad. Um Verkehrsstörungen zu minimieren und die Sicherheit zu erhöhen, kann ein System zur Messung der Leuchtdichte auf einem fahrenden Fahrzeug verwendet werden.

Die Messungen sind auf trockener und feuchtigkeitsfreier Fahrbahn durchzuführen, die frei von Fremdkörpern wie geparkten Fahrzeugen, Baustoffen und anderen Hindernissen auf den Rastern ist. Bei Messungen sind zusätzliche Lichtquellen innerhalb des Tunnels so weit wie

möglich abzuschalten. Wird eine neue Anlage kontrolliert, sind der Zustand des Asphalts und das Alter anzugeben.

Für jede Messposition sind die mittlere, minimale und maximale Leuchtdichte von Straßenoberfläche und -wand bis zu einer Höhe von 2 m und die Gleichmäßigkeit der Helligkeit zu erhalten. Die Leuchtdichteverteilungskurve entlang des Tunnels basiert auf den Werten der durchschnittlichen Straßenleuchtdichte und verglichen mit der nominalen Helligkeitskurve bei kontrollierter Beleuchtungsebene.

12.3.5 Beleuchtungsstärkemessungen

Die Beleuchtungsstärkemessungen sind durchzuführen, um die erforderlichen Beleuchtungsstufen der Sicherheitsbeleuchtung zu überprüfen oder die Leistung der Leuchten zu bewerten, ohne die Wirkung des Asphalts zu berücksichtigen.

Die Messungen sind an jedem Punkt der ausgewählten Raster in Kontakt mit dem Boden und in einer horizontalen Position durchzuführen. Bei der Messung der Sicherheitsbeleuchtung müssen die Leuchten des Tunnels durch das Sicherheitsnetz versorgt werden. In diesem Fall sind Beleuchtungsstärkemessungen sowohl auf der Fahrbahnoberfläche als auch auf Gehwegen auf beiden Straßenseiten durchzuführen, und der Mittelwert und der Mindestbeleuchtungswert sind an allen Messpunkten zu erhalten.

Der Beleuchtungswert jedes Punkts ist nur dann zu erfassen, wenn die Anzeige des Messgeräts stabilisiert ist. In jedem Fall ist Streulicht, falls möglich, durch eine zusätzliche Messung mit ausgeschalteten Leuchten zu entfernen. Besonderes Augenmerk gilt der Vermeidung von Schatten auf dem Gerätesensor durch den Gerätekörper, den Gerätebediener oder verschiedene Hindernisse rund um und innerhalb des Messrasters.

12.3.6 Messung geometrischer und elektrischer Eigenschaften

Im Rahmen von Messungen vor Ort sind die folgenden geometrischen Eigenschaften zu erfassen:

- Maximale Breite und maximale Höhe des Tunnels
- Breite der Fahrbahn
- Breite der einzelnen Fahrspuren
- Notspurbreite, falls vorhanden
- Breite der Gehwege, falls vorhanden
- Standardabstand zwischen Nachtbeleuchtungsleuchten
- Leuchtenmontagehöhe
- Vertikaler Abstand der Leuchten von der Mittelachse des Tunnels
- Winkel der Leuchte in Bezug auf die horizontale Ebene
- Fahrbahnneigung
- Art der Leuchten.

Wenn elektrische Messungen möglich sind, ist die Versorgungsspannung der Leuchten während der Messungen aufzuzeichnen.

Die Veränderung der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit ist während der gesamten Messungen aufzuzeichnen.

13. Vorkehrungen für die Einhaltung bestehender Straßenbeleuchtungs- und Tunnelbeleuchtungsanlagen

Diese Verordnung gilt sofort für neue Beleuchtungsanlagen (Straßenbeleuchtung und Tunnel) und für bestehende Anlagen gilt Folgendes.

13.1 Straßenbeleuchtungsanlagen

Bestehende Straßenbeleuchtungsanlagen müssen in folgenden Fällen den Bestimmungen der Verordnung entsprechen:

- Aufrüstung der Geräte (Leuchten oder Steuerung). Sie betrifft nicht die regelmäßige Wartung der Ausrüstung durch Wechsel von Lampen, Aktivierungs- und Versorgungseinrichtungen oder andere Wartungsarbeiten an den Geräten.
- Ausbau des bestehenden Straßenbeleuchtungsnetzes
- Es besteht ein System zur Regelung des Lichtstroms von Leuchten auf Ebenen, die den Anforderungen der neuen Beleuchtungsklassen entsprechen.

In jedem Fall einer bestehenden Anlage kann die betreffende Stelle die aus den Bestimmungen der Verordnung abgeleiteten neuen Beleuchtungsklassen, nominalen und adaptiven Beleuchtungsklassen festlegen. Erforderlichenfalls kann die Stelle das Beleuchtungssystem je nach den neuen Beleuchtungsanforderungen entwerfen oder betreiben.

13.2 Tunnelbeleuchtungsanlagen

In bestehenden Tunneln müssen die Beleuchtungsanforderungen an die Bestimmungen der Verordnung angepasst werden, wenn Ausrüstungen, Leuchten und/oder Kontrollsysteme aufgerüstet werden. Sie betrifft nicht die regelmäßige Wartung der Ausrüstung durch Wechsel von Lampen, Aktivierungs- und Versorgungseinrichtungen oder andere Wartungsarbeiten an den Geräten.

In jedem Fall einer bestehenden Anlage kann die jeweilige Stelle die Anforderungen an die Tunnelbeleuchtung überprüfen, die L20-Leuchtdichte und den k-Index berechnen und die neuen Leuchtdichteverlaufscurven entlang des Tunnels bestimmen, die sich aus den Bestimmungen der Verordnung ergeben. Bei Bedarf kann sie das Beleuchtungssystem je nach den neuen Anforderungen entwerfen oder betreiben.

14. Überprüfung der Verordnung

Die Verlängerung, Berichtigung oder Erweiterung der Verordnung erfolgt in folgenden Fällen:

- Nach 5 Jahren nach der letzten Erneuerung nach ISO-Normen.
- Wenn sich die integrierten internationalen Normen, Spezifikationen, Leitlinien und die gemeinsame Praxis so geändert haben, dass eine Erneuerung der Verordnung in weniger als fünf Jahren erforderlich ist.

Literaturverzeichnis

- [1] ELOT CEN/TR 13201-1:2015 "Road lighting - Part 1: Guidelines on selection of lighting classes"
- [2] ELOT EN 13201-2:2016 "Road lighting - Part 2: Performance requirements"
- [3] ELOT EN 13201-3:2016 "Road lighting - Part 3: Calculation of performance"
- [4] ELOT EN 13201-4:2016 "Road lighting - Part 4: Methods of measuring lighting performance"
- [5] ELOT EN 13201-5:2016 "Road lighting - Part 5: Energy performance indicators"
- [6] BS 5489-1:2013 "Code of practice for the design of road lighting. Lighting of roads and public amenity areas"
- [7] CIE 115:2010 "Lighting of roads for motor and pedestrian traffic"
- [8] JRC:2019 "Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Road Lighting and traffic signals"
- [9] PLG-02:2013 "Professional Lighting Guide - The Application of Conflict Areas on the Highway"
- [10] PLG-08:2016 "Professional Lighting Guide - Guidance on the Application of Adaptive Lighting within the Public Realm"
- [11] CIE 150:2017 "Guide on the limitation of the effects of obtrusive light"
- [12] Handbuch für Straßenplanungsrichtlinien (OMOE) – Buch 2: Querschnitte (OMOE-Δ)
- [13] EN13032 "Light and lighting - Measurement and presentation of photometric data of lamps and luminaires"
- [14] IES LM 79:2019 "Approved Method: Optical and Electrical Measurements of Solid-State Lighting Products"
- [15] IEC 62717 "LED modules for general lighting - Performance requirements"
- [16] CIE 154:2003 "The maintenance of outdoor lighting systems"
- [17] ISO/CIE TS 22012:2019 "Light and lighting — Maintenance factor determination — Way of working"
- [18] Directive 2014/35/EU "Low Voltage Directive (LVD)"
- [19] Directive 2014/30/EU "Electromagnetic Compatibility Directive (EMC)"
- [20] Directive 2009/125/EC "Eco-design"
- [21] Regulation (EU) 2017/1369 "Energy labelling"
- [22] Directive 2014/34/EU "ATEX"
- [23] Directive 2011/65/EU "Rohs"
- [24] EN 60598-1:2015 "Luminaires – Part 1:General requirements and tests"
- [25] EN 60598 2-3 :2003 "Luminaires – Part 2-3: Particular requirements – Luminaires for road and street lighting"
- [26] EN/ IEC 62722-2-1:2014 "Guidelines for principal component reliability testing for LED light sources and LED luminaires"
- [27] ISO 17025:2017 "General requirements for the competence of testing and calibration laboratories"
- [28] CIE 88:2004 "Guide for the lighting of road tunnels and underpasses"
- [29] CIE 189:2010 "Calculation of tunnel lighting quality criteria"
- [30] ELOT (CEN) CR 14380:2004 "Lighting applications - Tunnel lighting"
- [31] Road and Transportation Research Association "Regulations for the equipment and operation of road tunnels" RABT 2016