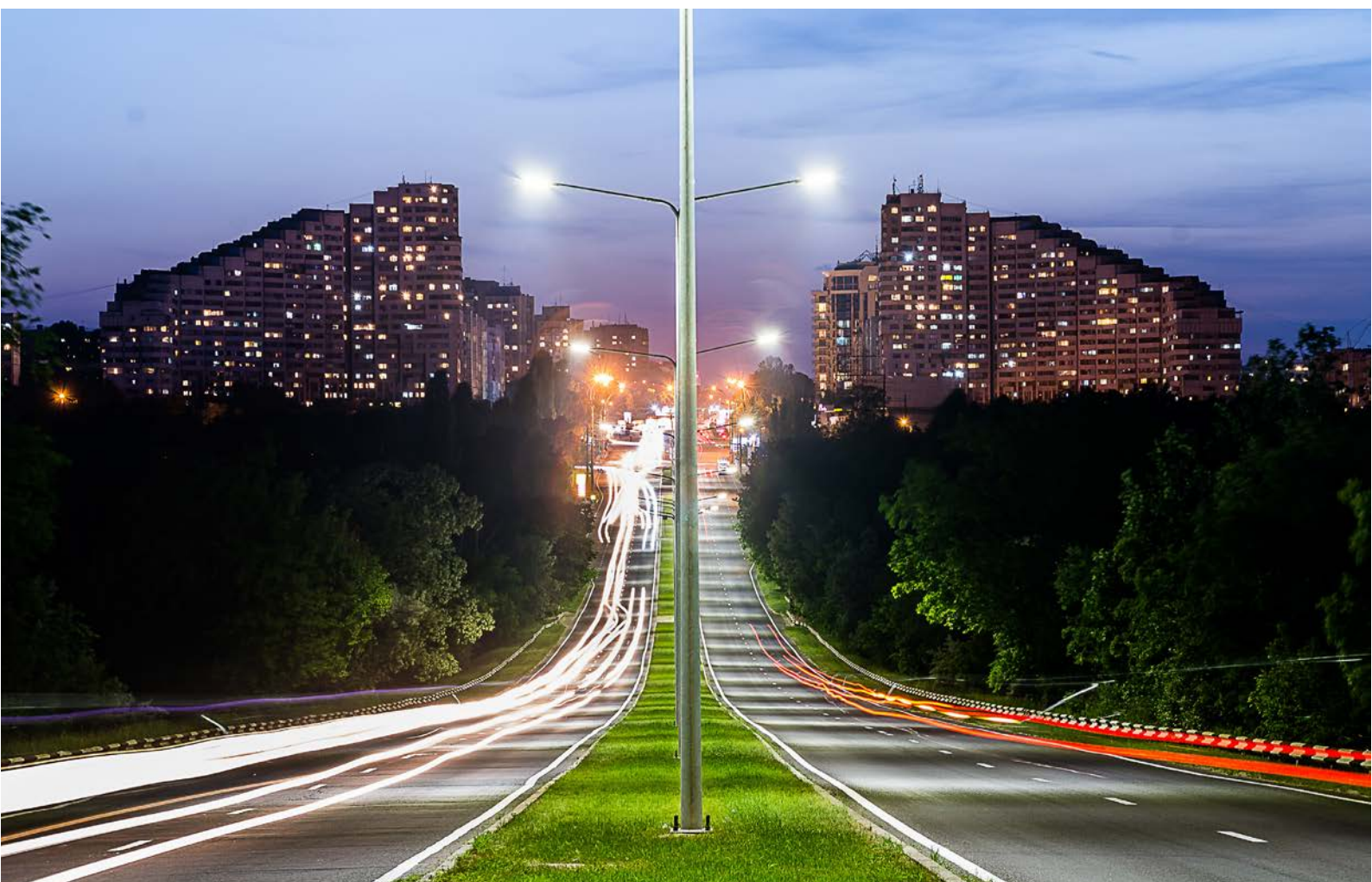


# LED-Straßenbeleuchtung

## Beschaffung & Planung

---

Leitfaden



**Impressum:**

Für den Inhalt verantwortlich: PremiumLightPro Projektkonsortium, September 2017

Die alleinige Verantwortung für den Inhalt der vorliegenden Broschüre liegt bei den Autoren. Der Inhalt entspricht nicht notwendigerweise den offiziellen Standpunkten der Europäischen Union. Weder EASME, noch die Europäische Kommission und die Projekt-Partner sind für die etwaige Weiterverwendung der Inhalte durch Dritte verantwortlich.

## Inhaltsverzeichnis

---

1. Einleitung	5	4. Beschaffung von Beleuchtungssystemen	29
2. Qualitäts-, Sicherheits- und Effizienzmerkmale von Straßenbeleuchtung	7	4.1 Einführung	29
2.1 Einführung	7	4.2 Allgemeine Anforderungen	31
2.1.1 Qualitätskriterien	7	4.2.1 Spezifikation des Beleuchtungssystems	31
2.1.2 Sicherheitskriterien	11	4.2.2 Steuerungsfunktionen und Kommunikationssysteme	31
2.1.3 Effizienzkriterien	12	4.2.3 Energieverbrauchsmonitoring	32
2.1.4 Lebensdauer	12	4.3 Auswahlkriterien	32
2.2 Europäische Norm EN 13201	13	4.3.1 Know-how und Erfahrung des Planungs- und Installationsteams	32
2.2.1 Auswahl der Beleuchtungsklassen	13	4.3.2 Kapazität des Bieters	33
2.2.2 Leistungsanforderungen, Mess- und Berechnungsmethoden	13	4.3.3 Compliance mit EN und ISO Standards	33
2.2.3 Energieeffizienzindikatoren	14	4.4 Technische Anforderungen (obligatorische Anforderungen und Zuschlagskriterien)	33
2.2.4 Beispiel - Straßen in städtischen Gebieten	16	4.4.1 Energiebezogene Kriterien	33
2.2.5 Beispiel - Straßen in ländlichen Gebieten	17	4.4.2 Qualitäts- und Designkriterien	34
3. Beleuchtungskomponenten und Lichtplanung	19	4.4.3 Konformitätskennzeichnung	36
3.1 Komponenten von Beleuchtungssystemen	19	4.4.4 Lebenszykluskosten/TCO	37
3.1.1 Optische Systeme	19	4.4.5 Vertragliche Aspekte	38
3.1.2 Tragkonstruktionen	23	4.4.6 Reduktion von Abfall und Rückgewinnung von Materialien	39
3.1.3 Elektrische Systeme	24	4.5 PremiumLight-Pro Zuschlagskriterien – Gewichtung und Ergebnis	39
3.2 Steuerungssysteme für Straßenbeleuchtung	24	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>40</b>
3.2.1 Autonome Steuerung	24		
3.2.2 Zentrale Steuerung	24		
3.2.3 Dynamische Steuerung	25		
3.3 Strategien zur Steuerung von Straßenbeleuchtung	26		
3.3.1 Astronomischer Timer	26		
3.3.2 Tageslichtnutzung	26		
3.3.3 Verkehrserkennung	27		
3.3.4 Dimmen	27		
3.3.5 Weitere Überlegungen	28		



# 1. Einleitung

Moderne LED-Beleuchtungslösungen entwickeln sich rasant und versprechen erhebliche Energieeinsparpotentiale. Steigende Effizienz, optimiertes Leuchtendesign und flexible Lichtsteuerung ermöglichen eine bessere Optimierung für verschiedene Licht- und Verkehrsbedingungen. Während die Implementierung von LED im Bereich der Außenbeleuchtung immer weiter fortschreitet, ist eine Durchdringung des breiten Markts jedoch bis jetzt noch nicht gelungen. Darüber hinaus besteht nach wie vor großes Potential im Hinblick auf die Verbesserung lokaler und nationaler Strategien um den Einsatz von LED-Beleuchtungssystemen zu unterstützen.

Die Initiative PremiumLightPro unterstützt die Entwicklung solcher Strategien unter anderem durch

- die Entwicklung von Richtlinien für eine grüne Beschaffung und Planung von LED-Installationen im Außen- und Innenbereich, sowohl im privaten als auch im öffentlichen Sektor;
- die Bereitstellung von Bildungs-, Trainings- und Informationsservices für Planer, Architekten, Installateure und Berater;
- die Verbreitung von Erfolgsmodellen auf Grundlage dieser Strategien.

Die in diesem Dokument beschriebenen Richtlinien konzentrieren sich auf die grüne Beschaffung und die Planung von Straßenbeleuchtungssystemen und sind in erster Linie für Beschaffungsexperten und Entscheidungsträger auf Bundes-, Regional- und Kommunalebene gedacht, die für die Auftragsvergabe zur Erneuerung bzw. Installation von Straßenbeleuchtungssystemen zuständig sind. Darüber hinaus können die Richtlinien auch für Straßenbeleuchtungsplaner und

-planer, Vertragsunternehmen, sowie Energie-Spezialisten und Berater von Nutzen sein.

Der empfohlene Umgang mit den Richtlinien hängt stark vom jeweiligen Hintergrund und der Absicht des Lesers ab. Experten, die bereits mit den Grundlagen von LED-Straßenbeleuchtung vertraut sind, können beispielsweise direkt in die PremiumLight-Pro Empfehlungen für Beschaffungskriterien in Kapitel 4 einsteigen. Experten mit weniger Erfahrung können zuerst durch die Kapitel 2 und 3 blättern, die alle relevanten Informationen für Kapitel 4 abdecken, einschließlich wichtiger Qualitäts- und Effizienzmerkmale von Straßenbeleuchtung und der Norm EN 13201.

# 2. Qualitäts-, Sicherheits- und Effizienzmerkmale von Straßenbeleuchtung



## 2.1 Einführung

Effiziente, hochqualitative LED-Straßenbeleuchtung muss sich auf Kriterien in den Bereichen Lichtqualität, Effizienz und Sicherheit stützen. Die folgenden Kapitel sind ein Überblick über die wichtigsten Kriterien und erklären spezielle Aspekte der LED-Technologie.

### 2.1.1 Qualitätskriterien

Qualitätskriterien beschreiben unter anderem essentielle Aspekte wie Leuchtdichte, Lichtfarbe, Farbwiedergabe, Lichtverteilung, Flackern, Blendung, etc.

#### 2.1.1.1 Leuchtdichte

Um die Lichtmenge zu bestimmen, die von einem Beleuchtungssystem bereitgestellt und vom menschlichen Auge wahrgenommen wird, werden mehrere Werte verwendet.

Der **Lichtstrom** (in Lumen, lm) beschreibt die gesamte Menge der von einer Lichtquelle emittierten Strahlung, die für das menschliche Auge sichtbar ist. Da die Empfindlichkeit des menschlichen Auges von der Wellenlänge abhängt (die Empfindlichkeit ist beispielsweise für grünes Licht höher als für rotes oder blaues Licht), muss der Lichtstrom entsprechend angepasst werden.

Die **Lichtstärke** (in Candela, cd, wobei  $1 \text{ cd} = 1 \text{ lm/sr}$ ) beschreibt die räumliche Verteilung des Lichts, die als Lichtstrom innerhalb eines bestimmten Raumwinkels von der Lichtquelle aus gemessen wird. Im Bereich der Straßenbeleuchtung muss hier sichergestellt werden, dass Straßen, Stadtmöbel und Verkehrsteilnehmer entsprechend beleuchtet werden, während nach oben gerichtetes Licht oft unerwünscht ist (siehe Lichtverschmutzung, unten).

Die **Beleuchtungsstärke** (in lux, lx, wobei  $1 \text{ lx} = 1 \text{ lm/m}^2$ ) beschreibt die Gesamtmenge an Licht, die eine bestimmte beleuchtete Fläche erreicht. Außer für Autobahnen (siehe

Abschnitt 2.2.1) sind für die verschiedenen Straßentypen Mindestwerte für die Beleuchtungsstärke angegeben. Typisch für Straßen in Gebieten mit komplexen Verkehrssituationen (z.B. Bereiche mit Sichtweiten unter 60 m oder wenn zu den Verkehrsteilnehmern auch Radfahrer oder Fußgänger zählen) sind Werte zwischen 7,5 und 50 lx (siehe Abschnitt 3.1.1). Empfehlungen für Anforderungen an Beleuchtungsstärke und Leuchtdichte sind in EN 13201 angegeben (siehe Abschnitt 2.2 unten).

Die **Leuchtdichte** selbst (in  $\text{cd/m}^2$ ) beschreibt die Helligkeit von beleuchteten Oberflächen oder Objekten, wie sie vom menschlichen Auge wahrgenommen wird. Mindestanforderungen für Verkehrsstraßen mit mittlerem bis hohem Verkehrsaufkommen sind Werte zwischen 0,3 und  $2 \text{ cd/m}^2$  [EN 13201-2]. Aus diesem Grund fällt die Leuchtdichte normalerweise in den Bereich des sogenannten „mesopischen Sehens“ ( $0,001$  bis  $3 \text{ cd/m}^2$ ), der eine Kombination des photopischen (Farbsehen) und des skotopischen Sehens ist (Sehen bei ausreichender bzw. bei geringer Helligkeit) [HUT]. In diesem Bereich wird die Reaktionszeit auf neue Reize sowohl durch Unterschiede in der Helligkeit als auch durch Farbkontraste bestimmt. Somit sind sowohl die Leuchtdichte der beleuchteten Fläche als auch die Farbwiedergabe der Lichtquelle (siehe 2.1.1.3, unten) wesentlich für die menschliche Wahrnehmung und damit auch für die Verkehrssicherheit. Mindestanforderungen an die Leuchtdichte gelten für die Straßentypen von Mittel- bis Hochgeschwindigkeits-Autobahnen.

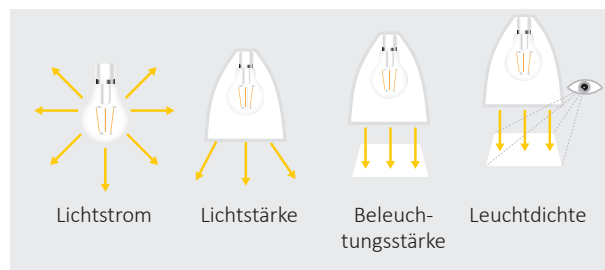


Abbildung 1: verschiedene Definitionen von Lichtmenge

### 2.1.1.2 Blendung

Blendung ist ein unangenehmer optischer Effekt, der durch eine ungünstige Verteilung von Helligkeit oder hohen Kontrasten verursacht wird und das Auge zur schnellen Anpassung zwingt [siehe EN 12665-1]. Typischerweise werden zwei Arten von Effekten unterschieden: physiologische Blendung, die durch Streuung von Licht im Auge verursacht wird und dessen Kontrastempfindlichkeit verringert, und psychologische Blendung, die ein subjektives Gefühl von Unbehagen auslöst.

Während die Empfänglichkeit für physiologische Blendung individuell unterschiedlich sein kann (die Auswirkungen werden vor allem mit dem Alter stärker), kann sie objektiv berechnet werden. In einem bestimmten beleuchteten Umfeld kann das menschliche Auge Unterschiede in der Leuchtdichte bis zu einer gewissen Schwelle erkennen. Wenn nun im gleichen Umfeld eine Blendungsquelle hinzugefügt wird und man die Schwellwerte vergleicht, kann man so auf die Auswirkungen der Blendungsquelle und die Schwellwertänderung rückschließen.

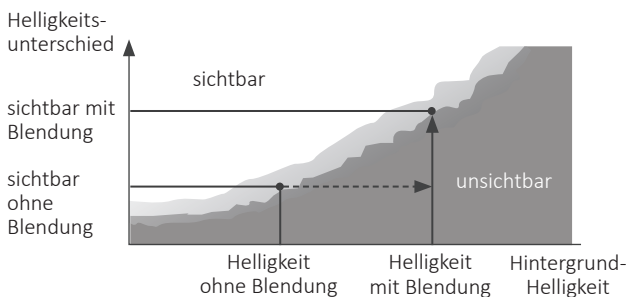


Abbildung 2: Sichtbarkeit mit und ohne Blendung

Psychologische Blendung ist hingegen eine subjektive Erscheinung. Es existiert kein Konsens darüber, wie sie bewertet werden soll – obwohl die 9-Punkte DeBoer Skala (von 1 für „unerträglich“ bis 9 für „nicht wahrnehmbar“) die in den Bereichen Mobilität und öffentliche Beleuchtung gebräuchlichste Methode ist.

Da physiologische Blendung die Wahrnehmung von schwachen Kontrasten beeinträchtigt, kann sie wichtige Aufgaben im Verkehr behindern, wie z.B. das Erkennen kritischer Objekte, das Regeln von Scheinwerfern und die Bewertung kritischer Ereignisse. Aus diesem Grund ist Blendung auch eine Gefahr für andere Verkehrsteilnehmer. Durch LED-Straßenbeleuchtung ausgelöste Blendung wird durch folgende Faktoren beeinflusst:

- Das Verhältnis der Beleuchtungsstärke der Blendungsquelle im Auge und der Hintergrundleuchtdichte
- Der Winkel zwischen der Blendungsquelle und der Sichtlinie des Beobachters.

LED-Lampen haben oft sehr hohe Leuchtdichten, die Blendungsverursachen können. Deswegen sind LED-Lampen häufig mit Diffusoren ausgestattet, die die Leuchtdichte verringern. Straßenbeleuchtungssysteme sollen so konzipiert sein, dass große Unterschiede in der Leuchtdichte an der Lichtquelle und auf der beleuchteten Fläche vermieden werden. Außerdem können durch ständige Helligkeitsänderung die Augen überanstrengt werden, was vor allem auf langen Straßen vermieden werden sollte. Hohe Leuchtdichten erleichtern dem Auge außerdem die Anpassung an die Scheinwerfer anderer Fahrzeuge. Für eine weitere Diskussion der Planung von Straßenbeleuchtungssystemen, siehe Kapitel 3.

Es wurden verschiedene Einstufungen für physiologische und psychologische Blendung eingeführt, um mehrere Abschirmungsniveaus zu unterscheiden. Abschirmungsklassen für physiologische Blendung beinhalten die Klassen G1 bis G6 und werden in EN 13201-2 beschrieben (siehe Tabelle 1). Abschirmungsklassen für psychologische Blendung werden mit D1 bis D6 angegeben (siehe Tabelle 2).

Tabelle 1: Abschirmungsklassen für physiologische Blendung [EN13201-2 und VEJ]

Abschirmungsklasse	höchste Leuchtstärke in cd/klm			Gesamte Abschirmung
	bei 70°	80°	90°	
G1		200	50	Keine Anforderungen
G2		150	30	Keine Anforderungen
G3		100	20	Keine Anforderungen
G4	500	100	10	null über 95°
G5	350	100	10	null über 95°
G6	350	100	0	null über 95°

Tabelle 2: Einteilung für psychologische Blendung [VEJ]

Blendungsklasse	
D0	nicht spezifiziert
D1	7000
D2	5500
D3	4000
D4	2000
D5	1000
D6	500

### 2.1.1.3 Lichtfarbe - Farbtemperatur und Chromatizität

Lichtquellen emittieren oft Licht in einem großen Wellenlängenbereich, obwohl sie normalerweise als einfarbig wahrgenommen werden. Diese scheinbare Farbe wird als sogenannte „Farbtemperatur“ der Lichtquelle bezeichnet. Die Farbtemperatur entspricht der Referenzfarbe eines



„idealen schwarzen Strahlers“, der auf eine gewisse Temperatur (gemessen in Kelvin) geheizt wird. Die Sonne hat, wenn sie zu Mittag beobachtet wird, eine Farbtemperatur von 5780 K und ist eine gute Näherung für einen idealen schwarzen Strahler.

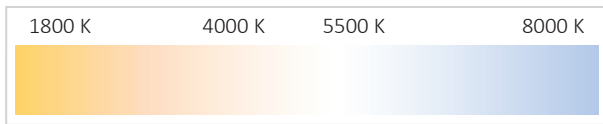


Abbildung 3: Farbtemperatur

Die normalerweise für Straßenbeleuchtung verwendete Lichtfarbe variiert zwischen gelblich, neutral und bläulich-weiß, dies entspricht einer Farbtemperatur zwischen 2500 und 5000 Kelvin. Menschen in verschiedenen Regionen Europas haben teilweise verschiedene Vorlieben, wenn es um die Lichtfarbe von Innen- und Außenbeleuchtung geht. „Kaltweißes Licht“ (bläulich) ist zum Beispiel in südlicheren Ländern beliebter, während die Präferenz in Mittel- und Nordeuropa eher bei „warmweißem“ Licht liegt. Aus diesem Grund könnten in Mittel- und Nordeuropa Lichter mit hoher Farbtemperatur auf weniger Akzeptanz unter den Einwohnern stoßen.

Im Gegensatz zu mehreren alten Lichttechnologien bietet LED die Möglichkeit, die Farbtemperatur für unterschiedliche Anwendungen anzupassen. Auf jeden Fall muss aber dennoch berücksichtigt werden, dass die Farbtemperatur der Lichtquelle die Energieeffizienz des Beleuchtungssystems beeinflusst und außerdem physiologische Auswirkungen bei Menschen und Tieren verursachen könnte. Kaltweißes Licht mit hoher Farbtemperatur unterstützt einerseits die Energieeffizienz eines Beleuchtungssystems, kann aber andererseits physiologische Effekte bei Mensch und Tier nach sich ziehen, die man berücksichtigen muss (siehe auch weiter unten). Die Forschung zeigt, dass weißes Licht die Wahrnehmung des menschlichen Auges besser unterstützt als gelbliches Licht. Weißes Licht erscheint im direkten Vergleich heller als gelblich weißes Licht. Demzufolge kann weißes Licht (z.B. 4000 K) für komplexe Verkehrssituationen mit unterschiedlichen Verkehrsteilnehmern (Autos, Radfahrer, Fußgänger) besser geeignet sein. Im Gegensatz dazu kann sich Licht mit niedrigerer Farbtemperatur bzw. warmweißes Licht gut für Wohngebiete eignen.

Im Großen und Ganzen ist die Auswahl der Farbtemperatur ein wichtiger Aspekt in der Planung von Straßenbeleuchtung. LED bietet das gesamte Spektrum an Farbtemperaturen und ist daher eine gute Grundlage für eine sorgfältige Auswahl der Farbtemperatur bzw. der Lichtfarbe für unterschiedliche Anforderungen und Anwendungen.

Neben der Farbtemperatur wird die sogenannte Chromatizität, die Koordinaten einer Lichtfarbe im Farbspektrum, dazu verwendet, um die Gleichmäßigkeit der Farbe einer speziellen Lampe zu beschreiben. Diese Farbkoordinaten können ebenso dazu verwendet werden, die Änderung der Lichtfarbe mit der Zeit zu beschreiben. Unterschiede in der Lichtfarbe in einer Reihe von Lampen oder über einen bestimmten Zeitraum werden durch sogenannte MacAdam-Ellipsen beschrieben. Die Farbkonsistenz einer bestimmten Lampe oder eines bestimmten Leuchtentyps kann über die Größe dieser MacAdam-Ellipse bestimmt werden. Für die Farbkonsistenz einer Reihe von Lampen oder über einen Zeitraum hinweg könnten ebenfalls Beschaffungskriterien festgelegt werden. Mindestanforderungen an Produkte, die innerhalb der EU verkauft werden, sind momentan in den gültigen EU-Vorschriften festgelegt. Die momentane Mindestanforderung entsprechend der Ökodesign-Richtlinie ist eine 5-Stufen-MacAdam-Ellipse.

#### 2.1.1.4 Farbwiedergabe

Lichtquellen mit der gleichen Farbtemperatur können sich dennoch deutlich hinsichtlich der Wiedergabe von Farben von beleuchteten Flächen und Objekten unterscheiden. Daher hängt die spezifische Farbwiedergabe nicht von der Farbtemperatur der Lichtquelle, sondern vom Lichtspektrum, das von der Quelle emittiert wird. Lichtquellen, die über das volle Spektrum hinweg leuchten, stellen jegliche Farbe von beleuchteten Objekten auf eine sehr natürliche Art und Weise dar. Bei Lichtquellen, die nur ausgewählte Farben emittieren, gilt dies nur für diese speziellen Farben.

Für Fußgänger ist zusätzlich die Gesichtserkennung – für die außerdem Farbkontraste gut wahrnehmbar sein müssen – äußerst wichtig. Studien haben gezeigt, dass Menschen Gesichter mindestens auf eine Distanz von 4 m erkennen müssen, um sich sicher zu fühlen (siehe auch P, HS und SC Beleuchtungsklassen in Kapitel 2.2.2, die Gesichtserkennungsaspekte beinhalten). [LRT]

Die Farbwiedergabefähigkeit einer Lichtquelle wird unter Laborbedingungen mithilfe von acht spezifizierten Standardfarben bestimmt. Die Farbwiedergabe wird über den Farbwiedergabeindex angegeben (CRI, Maximalwert 100). Beleuchtungssysteme mit einem Farbwiedergabeindex über 80 sind für gute Gesichtserkennung geeignet. [LRT] Was LED-Lampen betrifft, ist auch die spezifische Wiedergabe für rotes Licht wichtig. Dieser sogenannte R9-Wert ist normalerweise nicht im klassischen CRI, sondern im erweiterten Index enthalten, der 14 Standardfarben enthält. Für LED-Lampen sollten der CRI und der R9-Wert immer in Kombination betrachtet werden. Tabelle 3 zeigt typische Farbwiedergabewerte für verschiedene Technologien, die in der

Straßenbeleuchtung zum Einsatz kommen. Der Farbwiedergabeindex von LED-Leuchten liegt in der Regel über 80. Für Straßen mit einem einfachen Gebrauchsmuster genügt aber oft auch ein Farbwiedergabeindex von Ra 70. Für komplexere Situationen können Werte über 80 besser geeignet sein.

Abschließend sind sowohl die Lichtfarbe (Farbtemperatur) als auch die Farbwiedergabe einer Lichtquelle wichtig für die Sichtbarkeit und Wahrnehmung von Objekten in der Umgebung.

Tabelle 3: Farbwiedergabe für Straßenbeleuchtungssysteme [BG]

Lampentyp	CRI
Hochdruck-Quecksilber	40–60
Metallhalogenid	70–95
Niederdruck-Natrium	einfarbig
Hochdruck-Natrium	20
LED	80+

### 2.1.1.5 Farbkonsistenz

Farbkonsistenz spielt besonders bei LED-Lampen eine Rolle, da alternde LED-Module die Farbtemperatur und Farbkoordinaten ändern können. Probleme mit der Farbkonsistenz können durch Alterung von Materialien im Gehäuse oder der Linsen, Kontaminierung oder anderweitiger Systemdegradation verursacht werden. Zu den Ursachen, die momentan untersucht werden, zählen hohe Betriebstemperaturen, hohe Betriebsströme und Entfärbung von optischen Materialien durch kurzweilige Strahlung.

Bis jetzt bieten erst wenige Hersteller Garantien für die Farbkonsistenz an, und es sind auch keine Standardverfahren für die Vorhersage der Farbkonsistenz verfügbar. [ENG]

Die altersbedingte Farbabweichung kann über die Farbkoordinaten und MacAdam-Ellipsen beschrieben werden.

### 2.1.1.6 Lichtverschmutzung

Künstliches Licht kann schädliche Auswirkungen auf Menschen und Tiere haben. Unerwünschtes Licht im Außenbereich wird auch Lichtverschmutzung genannt. Bei Menschen geht dies von der Erhellung des Nachthimmels in und im Umkreis von Städten, bis hin zu Schlafstörungen durch Außenbeleuchtung in Wohngebieten. Tiere verwenden auf der anderen Seite natürliche Lichtquellen als Navigationshilfe und können so durch künstliche Beleuchtung verwirrt oder verschreckt werden. Viele Tiere nehmen außerdem Licht in anderen Wellenlängenbereichen stärker wahr als Menschen.

Studien haben gezeigt, dass LED-Lampen weniger Insekten anziehen als andere Lichtquellen, die als Straßenbeleuchtung

verwendet werden, wobei „warmweiße“ LEDs (Farbtemperatur von 3000 K) deutlich weniger Insekten anziehen als „kaltweiße“ LEDs (6000 K). [SdN]

Ein Weg, um die Lichtverschmutzung zu reduzieren, ist die Verwendung von Leuchten, die das Licht ausschließlich auf die zu beleuchtenden Flächen ausrichten. Gerichtete Lichtquellen wie LEDs sind besonders gut geeignet, um eine optimale Lichtverteilung zu erreichen. Emissionen über der Lichtquelle sind meistens nicht erwünscht.

Der Anteil des nach oben emittierten Lichts wird mit dem „upward light output ratio“ (ULOR) angegeben.

$$\text{ULOR} = \frac{\text{Lichtstrom nach oben}}{\text{Lichtstrom gesamt}}$$

Abhängig von der vertikalen Lichtverteilung werden Leuchten in vier grundlegende Typen unterteilt [IIEC]:

- **Full-Cut-Off-Leuchten:** Maximal 10 % der gesamten Lichtmenge der Lampe wird bei einem Winkel von 80° über dem Nadir abgestrahlt, bei einem Winkel von 90° über dem Nadir 0 %.
- **Cut-Off-Leuchten:** Maximal 10 % der gesamten Lichtmenge der Lampe wird bei einem Winkel von 80° über dem Nadir abgestrahlt, bei einem Winkel von 90° über dem Nadir 2,5 %.
- **Semi-Cut-Off-Leuchten:** Maximal 20% der gesamten Lichtmenge der Lampe wird bei einem Winkel von 80° über dem Nadir abgestrahlt, bei einem Winkel von 90° über dem Nadir 5 %.
- **Non-Cut-Off-Leuchten:** Emittieren in alle Richtungen.

Diese traditionelle Definition des Cut-Off wird in der EN 13201-2 auf sechs verschiedene Leuchtintensitätsklassen erweitert, die auch Maximalwerte für einen Winkel von 70° und darüber enthalten. Für weitere Details der EN 13201-2 siehe Kapitel 2.2.2.

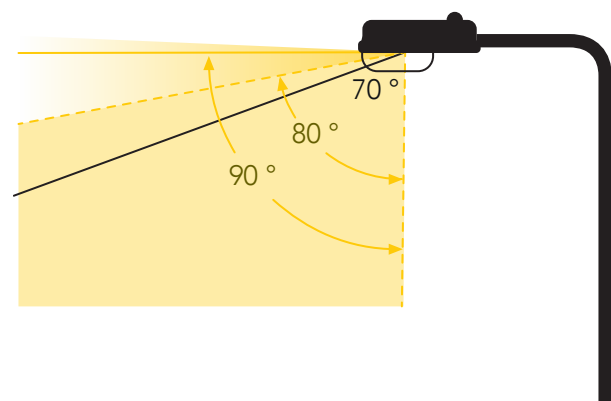


Abbildung 4: Definition der Cut-Off-Kriterien



Tabelle 4: Schutzart (IP)

IP	Erste Ziffer	Zweite Ziffer
0	Kein Schutz	Kein Schutz
1	Geschützt gegen Festkörper größer als 50 mm	Geschützt gegen Tropfwasser/Kondenswasser
2	Geschützt gegen Festkörper größer als 12 mm	Geschützt gegen Regenwasser bis zu 15° von der Vertikalen
3	Geschützt gegen Festkörper größer als 2.5mm	Geschützt gegen Regenwasser bis zu 60° von der Vertikalen
4	Geschützt gegen Festkörper größer als 1 mm	Geschützt gegen Spritzwasser aus allen Richtungen
5	Geschützt gegen Staub (keine schädlichen Ablagerungen)	Geschützt gegen Wasserstrahlen aus allen Richtungen
6	Vollständig gegen Staub geschützt	Geschützt gegen wellenartige Wasserstrahlen aus allen Richtungen
7		Geschützt gegen Eintauchen
8		Geschützt gegen die Auswirkungen von längerem Eintauchen

[IIEC, 2015]

Weitere Möglichkeiten zur Verminderung der Lichtverschmutzung beinhalten:

- **Reduktion der Beleuchtungsstärke:** Diese Maßnahme muss mit den Sicherheitsbestimmungen für menschliche Verkehrsteilnehmer abgestimmt werden. Smarte Lichtregelung kann die Beleuchtungsstärke in verschiedenen Situationen auf angemessene Werte einstellen (siehe Kapitel 3.5) [JAE]. Trotzdem ist es unwahrscheinlich, dass das Ausschalten/Verringern der Beleuchtung spät in der Nacht (z.B. zwischen Mitternacht und 05:30) wesentliche Vorteile für die Tierwelt mit sich bringt, da viele nachtaktive Tiere wie Fledermäuse in den frühen Nachtstunden aktiv sind, während die Beleuchtung noch vollständig aktiviert ist. [BAT]
- **Änderung des Spektrums:** Die Empfindlichkeit für verschiedene Lichtfarben variiert von Spezies zu Spezies. Insgesamt scheint es, als hätten Lampen, die ein schmales „warmweißes“ Spektrum emittieren – wie zum Beispiel Niederdruck-Natrium-Lampen – einen geringeren Einfluss auf die Umwelt als andere Technologien. Bei LEDs kann die Farbtemperatur je nach Situation angepasst werden. Dennoch müssen Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen erfüllt werden.

Mit LED-Lichttechnik kann eine gleichmäßigere Helligkeit erzielt werden. Hochleistungsentladungslampen (HID) wie HPS- oder MH- Leuchten haben höhere Helligkeitsspitzen direkt unter den Leuchten, zwischen den Leuchten entstehen jedoch dunkle Zonen .

### 2.1.2 Sicherheitskriterien

Leuchten für Straßenbeleuchtung müssen gegen Einflüsse von Fremdkörpern (sowohl fest als auch flüssig), mechanische Stöße sowie gegen Spannungsfluktuationen geschützt sein, um deren kontinuierlichen Betrieb zu gewährleisten. Zu

diesem Zweck werden Anforderungen an Schutzart, Stoßfestigkeit und Spannungsschutz gestellt.

#### 2.1.2.1 Schutzart

Der Widerstand von Leuchten gegen Fremdkörper wird mit dem so genannten International Protection (IP) Code, einem zweistelligen Zahlencode, der in der IEC 60529 Norm definiert ist, angegeben. Die erste Ziffer steht für den Widerstand gegen Feststoffe, die zweite bewertet den Widerstand gegen Flüssigkeiten (siehe Tabelle 4).

Für Straßenbeleuchtung sollten IP65 Leuchtmittel verwendet werden, um ausreichenden Schutz vor Staub und Schlechtwetter sicherzustellen.

#### 2.1.2.2 Stoßfestigkeit

Der Widerstand von Leuchten gegen Stöße wird mit ihrem Mechanical Impact (IK) Code angegeben, der in der IEC 62262 Norm definiert ist.

Tabelle 5: Mechanical Impact (IK) Bewertung

IK Bewertung	Stoßstärke in Joule
00	–
01	0.15
02	0.2
03	0.35
04	0.5
05	0.7
06	1
07	2
08	5
09	10
10	20

Da Leuchten im Außenbereich bei starkem Wind von losen Ästen und anderen Trümmern getroffen werden oder sogar Ziel von Vandalismus sein können, wird mindestens IK08 empfohlen.

### 2.1.2.3 Spannungsschutz

Vorübergehende Überspannungen (Spannungszunahme über die Auslegungsspannung für mehrere Mikrosekunden bis hin zu Millisekunden) können Schäden am LED-Modul und den Steuergeräten verursachen. Deren Unempfindlichkeit gegen solche Fluktuationen wird an ihrem Überspannungsschutz gemessen.

Obwohl EN 61547 Mindestanforderungen für den Überspannungsschutz für LED-Lampen festlegt, liegt die Grenze für das Erdpotential nur bei 0.5 kV – unzureichend für schwerere Belastungen wie Blitzeinschläge in unmittelbarer Nähe. Viele Straßenbeleuchtungsprojekte schreiben aus diesem Grund einen Überspannungsschutz von bis zu 10 kV vor. [ZVEI2]

### 2.1.3 Effizienzkriterien

Verglichen mit den meisten anderen Technologien erreichen LEDs äußerst hohe Lichtausbeuten (lm/W).

Tabelle 6: Typische Energieeffizienzwerte für Straßenlampen [BG]

Lampentyp	Energieeffizienz [lm/W]
Hochdruck-Quecksilber	60
Metallhalogenid	120
Hochdruck-Natrium	150
LED	150

Die endgültige Effizienz eines LED-Beleuchtungssystems hängt nicht nur von der Effizienz des LED-Moduls ab, sondern auch von der Leuchte, dem Lichtsteuerungssystem und der Planung des Beleuchtungssystems. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Effizienz auf den Levels LED-Modul, Leuchte und gesamtes System zu unterscheiden.

Die Effizienz des Systems wird unter anderem von der räumlichen Lichtverteilung (Lichtstärke) und der geometrischen Anordnung von Straße und Beleuchtungssystem beeinflusst (siehe Kapitel 3.2 und 3.3 für weitere Informationen). Um die Energieeffizienz eines gesamten Straßensystems zu beurteilen, wurde der Power Density Indicator (PDI) als geeignetes Maß entwickelt.

Während der Power Density Indicator nützliche Informationen über die Energieeffizienz für einen bestimmten Beleuchtungszustand liefert, können Helligkeitswerte, wenn Steuersysteme installiert sind, über die Nacht und über ein ganzes Jahr hinweg variieren. Die gesamte Energieeffizienz

und der Energieverbrauch über ein ganzes Jahr werden so besser mit dem Annual Energy Consumption Indicator (AECI) dargestellt. Kapitel 2.2.3 erklärt PDI und AECI genauer.

### 2.1.4 Lebensdauer

Um die Lebensdauer von LED-Modulen bestimmen zu können, definiert die IEC 62722-2-1 Norm die folgenden Begriffe:

Die **mittlere Lebensdauer L<sub>x</sub>** ist die Zeit, nach der das durchschnittliche LED-Modul weniger als x Prozent seines ursprünglichen Lichtstroms bereitstellen kann. Zum Beispiel bedeutet L80 50.000 h, dass sich der Lumen Output des Moduls nach 50.000 Betriebsstunden um 20 % verringert hat.

Die **Nennlebensdauer L<sub>xBy</sub>** gibt an, welcher Prozentanteil y der LED-Module nach der spezifizierten Zeit den Lumen Output x haben wird. Insofern würde L80B10 50.000 h Folgendes bedeuten:

- Nach 50.000 Betriebsstunden werden 10 % der LEDs weniger oder genau 80 % des ursprünglichen Lichtstroms bereitstellen können.

Die **Zeit zum abrupten Versagen C<sub>z</sub>** beschreibt die Zeit, nach der z Prozent der LEDs ausgefallen sind. In diesem Sinn bedeutet C10 50.000 t=35°C:

- Nach 50.000 Stunden bei einer Umgebungstemperatur von 35°C sind 10 % der installierten Leuchten mit dem gleichen LED-Modul komplett ausgefallen.

Wegen der langen Lebensdauer von LEDs und ihren vergleichsweise kurzen Entwicklungszeiten sind die Nennlebensdauern statistische Extrapolationen und sollten auch als solche gesehen werden. Außerdem kann die tatsächliche Lebensdauer einer Leuchte von mehreren Faktoren abhängen. Totalausfall und die Verminderung des Lichtstroms einer Leuchte hängen von den elektrischen und thermischen Betriebsdaten, der Umgebungstemperatur und anderen Parametern ab. Der Planer muss alle relevanten Daten von den Herstellern erhalten, um die passende Leuchte für die beabsichtigte Anwendung auswählen zu können und muss auf Grundlage dieser Informationen geeignete Wartungspläne erstellen [ZVEI, 2015]. LEDs haben eine Lebensdauer von 100.000 h oder mehr. Die Lebensdauer der Steuergeräte muss ebenfalls mitberücksichtigt werden, was normalerweise über die Wahrscheinlichkeit des Versagens innerhalb eines bestimmten Zeitraums formuliert wird, so wie „Ausfallsrate von 0,2 % in 1.000 Stunden“.

## 2.2 Europäische Norm EN 13201

---

Das primäre Ziel von Straßenbeleuchtung ist es, die Sicherheit auf Straßen während dunkler Perioden zu gewährleisten. Gute Straßenbeleuchtungssysteme ermöglichen es Verkehrsteilnehmern, Menschen, Hindernisse und Gefahrenquellen auf oder neben der Straße zu erkennen. So können sie entsprechend handeln und Unfälle in der Dunkelheit vermeiden.

Die wesentlichen Qualitätskriterien für Straßenbeleuchtung sind in der Europäischen Norm EN 13201 „Road lighting“ angegeben, die folgende Themen umfasst:

- PD CEN/TR 13201-1:2014: Richtlinien zur Auswahl von Beleuchtungsklassen
- EN 13201-2:2015: Gütemerkmale
- EN 13201-3:2015: Berechnung der Gütemerkmale
- EN 13201-4:2015: Methoden zur Messung der Gütemerkmale von Straßenbeleuchtungsanlagen
- EN 13201-5:2015: Energieeffizienzindikatoren.

Die kürzlich überarbeiteten Teile 2 bis 5 sind in der gesamten EU gültig. Teil 1 erlaubt den einzelnen Nationen, eigene Anpassungen und Spezifizierungen für die Auswahl der Straßenklassen anzugeben. Im Hinblick darauf werden hier neben der PD CEN/TR 13201-1:2014 auch die wichtigsten Inhalte der ÖNORM O-1055 (2017-08-01) und die Unterschiede zur Europäischen Norm erklärt.

### 2.2.1 Auswahl der Beleuchtungsklassen

PD CEN/TR 13201-1:2014 legt ein System zur detaillierten Beschreibung aller typischen Beleuchtungssituationen im Straßenverkehr fest. Basierend auf dieser Norm können die Anforderungen an die Beleuchtung entsprechend den spezifischen Straßenbedingungen bestimmt werden. Zur Identifizierung von Beleuchtungsklassen, für die qualitative und quantitative Lichnanforderungen beschrieben werden, werden verschiedene Beleuchtungsparameter wie die Geometrie der Verkehrszone, Art des Verkehrs und Umwelteinflüsse verwendet.

PD CEN/TR 13201-1:2014 verwendet ein Auswahlverfahren, um die Beleuchtungsklassen M1 bis M6, C0 bis C5 und P1 bis P6 zu bestimmen. Die Richtlinien beinhalten keine Angaben zur Identifikation der Beleuchtungsklassen HS, SC und EV, die auf nationaler Ebene spezifiziert werden können.

Die Auswahlkriterien für jede Unterklasse beruhen auf der Straßengeometrie, dem Verkehrsaufkommen und der

Umgebung. Die tatsächlichen Kriterien (laut PD CEN/TR 13201-1:2014) beinhalten:

- Maßgebliche Geschwindigkeit
- Maßgebliche Verkehrsmenge
- Verkehrszusammensetzung
- Trennung der Richtungsfahrbahnen
- Abstand zwischen Verkehrsknoten/Kreuzungsdichte
- Parkende Fahrzeuge
- Leuchtdichte der Umgebung
- Gesichtserkennung
- Schwierigkeit der Fahraufgabe.

Bestimmte Parameter (vor allem die Verkehrsdichte und die Leuchtdichte der Umgebung) können sich über die Jahreszeiten oder über verschiedene Stunden in der Nacht hinweg ändern. Dadurch können Straßenabschnitte in eine andere Straßenklasse verschoben werden.

[PD CEN/TR 13201-1:2014; EN 13201-2:2003; EN 13201-2:2015]

### 2.2.2 Leistungsanforderungen, Mess- und Berechnungsmethoden

Teil 2 der EN 13201 legt Spezifikationen für die verschiedenen Beleuchtungsklassen fest, die über ein Set von photometrischen Anforderungen definiert sind, die von den Bedürfnissen und Anforderungen der jeweiligen Verkehrsteilnehmer und Straßentypen abhängen.

Die Beleuchtungsklassen vereinfachen die Entwicklung und Anwendung von Produkten im Bereich der Straßenbeleuchtung und ihre Wartung. Um die Anforderungen zu vereinheitlichen, werden die Beleuchtungsklassen auf der Basis nationaler Normen der Mitgliedsstaaten und der CIE 115:2010 Normen festgelegt.

Teil 2 führt eine Anzahl an zusätzlichen Begriffen ein, die verwendet werden, um Mindest- bzw. Maximalkriterien für jede Unterklasse zu definieren.

**M-Klasse-Straßen** sind Straßen für motorisierten Verkehr mit mittlerer bis hoher Fahrgeschwindigkeit. Um die Kriterien der Norm zu erfüllen, muss unbedingt eine minimale mittlere Leuchtdichte der Straßenoberfläche, eine minimale Gleichmäßigkeit dieser Leuchtdichte (mit separaten Grenzwerten für trockene und feuchte Bedingungen), eine minimale Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte entlang der Zentren der Fahrspuren und ein maximales Blendungslevel eingehalten werden. Außerdem muss sichergestellt werden, dass die Beleuchtungsstärke außerhalb der Fahrbahn nicht zu schnell abfällt.

**C-Klasse-Straßen** stehen für Konfliktzonen, wo motorisierte Fahrzeuge mit anderen Verkehrsteilnehmern (so wie Fußgängern oder Radfahrern) rechnen müssen oder durch andere komplexe Verkehrssituationen wie Kreuzungen, Kreisverkehre, Stauzonen usw. navigieren müssen. Während Beleuchtungssysteme für C-Klasse-Straßen auch eine minimale Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Straßenoberfläche erfüllen müssen, sind die meisten anderen Kriterien für M-Klasse-Straßen nicht anwendbar oder unpraktisch (viele Konfliktzonen haben beispielsweise keinen freien Bereich neben der Fahrbahn um zu berechnen, wie schnell die Beleuchtungsstärke dort abfällt).

Stattdessen müssen sie eine durchschnittliche horizontale Beleuchtungsstärke im Straßenbereich einhalten. Während C-Klasse-Straßen – anders als M-Klasse-Straßen – keine verpflichtenden Kriterien erfüllen müssen, um Blendung zu minimieren, stellt der Anhang C der EN 13201-2 zusätzliche informative Kriterien zur Verfügung.

**P- und HS-Klasse-Straßen** sind für Fußgänger und Radfahrer auf Fußwegen, Radwegen, Notwegen und anderen Straßenbereichen bestimmt, die getrennt von einer Verkehrsstraße oder daneben liegen. Außerdem beinhalten sie Wohnstraßen, Fußgängerzonen, Parkplätze, Schulhöfe und ähnliche Bereiche. Kriterien für P-Klasse-Straßen beinhalten eine minimale gleichbleibende durchschnittliche Beleuchtungsstärke im Straßenbereich und eine absolute Untergrenze für die Beleuchtungsstärke auf der Straße. Wenn die Möglichkeit zur Gesichtserkennung wichtig ist, müssen zusätzliche Kriterien für die Beleuchtungsstärke in der vertikalen Ebene (an einem Punkt) und ein Mindestmaß an halbzylindrischer Beleuchtungsstärke (in einer Ebene über dem Straßenbereich) berücksichtigt werden. Als Alternative zur P-Klasse basieren die Kriterien der HS-Klasse auf der gesamten Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Straßenoberfläche und auf der durchschnittlichen hemisphärischen Leuchtdichte.

**SC-Klasse-Straßen** bilden eine zusätzliche Klasse für Fußgängerzonen, wo Gesichtserkennung und das Gefühl von Sicherheit besonders wichtig sind. Diese erfordert Mindestwerte für die halbzylindrische Beleuchtungsstärke.

**EV-Klasse-Straßen** sind eine zusätzliche Klasse für Situationen, wo vertikale Oberflächen deutlich erkennbar sein müssen, z.B. in Austauschbereichen.

Zusätzlich führt der Anhang A der EN 13201-2 sechs verschiedene Lichtstärke-Klassen für die Verminderung von Blendung ein, wo normale Berechnungsmethoden (Schwellwertänderung) nicht verwendet werden können.

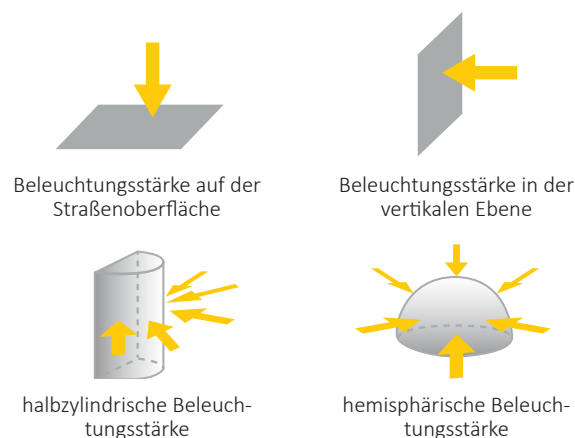


Abbildung 5: Typen von Kriterien für die Beleuchtungsstärke

Die Klassen G\*1, G\*2 und G\*3 entsprechen den traditionellen „semi cut-off“ und „cut-off“ Konzepten, während G\*4, G\*5 und G\*6 dem „full cut-off“ Konzept entsprechen. Für die Definitionen dieser Begriffe siehe Abschnitt 2.1.1.4.

EN 13201-3 beschreibt die mathematischen Methoden und Vorgänge, die bei der Berechnung von Lichtleistungswerten verwendet werden sollen, die in EN 13201-2 definiert werden.

EN 13201-4 beschreibt die Methoden, die zur Messung der Lichtleistung verwendet werden sollen. Es gibt drei grundlegende Situationstypen, bei denen Messungen in Betracht gezogen werden sollten:

- In der finalen Testphase sollten Messungen durchgeführt werden, um die Einhaltung der Standardanforderungen und/oder Designvorgaben zu überprüfen.
- In vorher festgelegten Intervallen während der Lebensdauer der Straßenbeleuchtung, um die Verminderung der Lichtleistung zu bestimmen und um Wartungsbedarf zu ermitteln.
- Fortlaufend oder in festgelegten Intervallen, um den Lichtstrom der Lampen anzupassen, wenn die Straße eine adaptive Straßenbeleuchtung verwendet (z.B. wenn die Leuchtdichte oder Beleuchtungsstärke in Bezug auf Verkehrsaufkommen, Zeit, Wetter oder andere Umgebungsfaktoren gesteuert wird).

### 2.2.3 Energieeffizienzindikatoren

EN 13201-5 beschreibt die zwei Energieeffizienzindikatoren Power Density Indicator (PDI)  $D_p$  (gemessen in  $W/(lx \cdot m^2)$ ) und den Annual Energy Consumption Indicator (AECI)  $D_e$  (gemessen in  $Wh/m^2$ ), die bereits im vorigen Kapitel eingeführt wurden. Diese Indikatoren sollten für die Bewertung der Energieeffizienz eines bestimmten Beleuchtungssystems herangezogen werden.

Der Power Density Indicator definiert, wie die Energieeffizienz einer bestimmten Straßenbeleuchtungsanlage zu berechnen ist und ermöglicht den Vergleich mehrerer Setups und Technologien für das gleiche Straßenbeleuchtungsprojekt (da unterschiedliche Standorte unterschiedliche Geometrien und Umweltbedingungen haben, können PDI-Werte nur verwendet werden, um verschiedene Setups für die gleiche Installation zu vergleichen). Um den Power Density Indicator für einen bestimmten Bereich zu berechnen, werden folgende Informationen benötigt:

- Die **Gesamtleistung P** des Beleuchtungssystems (entweder der gesamten Installation oder eines repräsentativen Abschnitts), die sowohl die Leistung aller Lichtpunkte (Lichtquellen und zugehörige Geräte) als auch die Leistung von Geräten beinhaltet, die nicht Teil der einzelnen Lichtpunkte, aber notwendig für deren Betrieb sind (z.B. zentrale Regeleinheiten und Schalter).
- Die **mittlere gleichbleibende horizontale Beleuchtungsstärke  $\bar{E}$**  (in lx) jedes Bereichs (sowie die Größe jedes Bereichs). Grasstreifen und Flächen, die dazu verwendet werden, um den Lichtabfall neben der Fahrbahn zu berechnen, sind dabei nicht mitinbegriffen. Die Beleuchtungsstärke kann mithilfe von Werten berechnet werden, die bereits für die Auswahl der Beleuchtungsklasse benötigt worden sind.

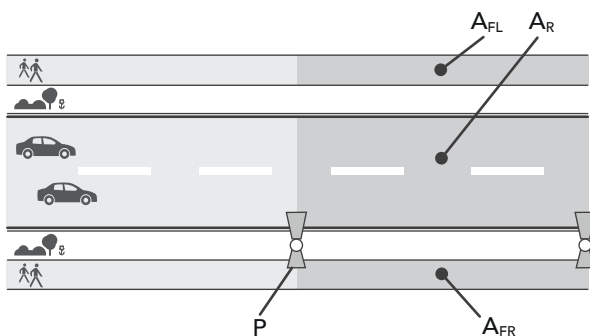


Abbildung 6: Beispiel-Layout für eine PDI-/AECI-Berechnung

Die vollständige Gleichung zur Berechnung des PDI ist:

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

wobei  $\bar{E}_i$  die gleichbleibende durchschnittliche horizontale Beleuchtungsstärke des Bereichs „i“,  $A_i$  die Fläche des durch die Lichtinstallation beleuchteten Bereichs „i“ (in m<sup>2</sup>) und  $n$  die Anzahl der zu beleuchtenden Bereiche ist. Für Beleuchtungsklassen, die nicht die mittlere gleichbleibende horizontale Beleuchtungsstärke (Beleuchtungsklassen außer M) verwenden, liefert Abschnitt 4.2 der EN 13201-5 geeignete Umrechnungshilfen.

Da sich die Beleuchtungsklasse über die Jahreszeiten normalerweise ändert, sollte der PDI für jede relevante Klasse extra berechnet werden. Um den Energieverbrauch zweier Setups nicht nur für eine bestimmte Beleuchtungsklasse, sondern für ein ganzes Betriebsjahr vergleichen zu können, ist es notwendig, den AECI zu berechnen. Zu diesem Zweck muss das Jahr in mehrere Betriebsperioden unterteilt werden, in denen verschiedene Werte für P verwendet werden. Die vollständige Gleichung zur Berechnung des AECI lautet:

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

wobei  $P_j$  die Gesamtleistung in der j-ten Betriebsperiode (in W),  $t_j$  die Dauer der j-ten Betriebsperiode, in der die Leistung  $P_j$  verbraucht wird,  $A$  die Größe des Bereichs, der von der gleichen Lichtanlage beleuchtet wird (in m<sup>2</sup>) und  $m$  die Anzahl der Perioden mit verschiedenen Leistungswerten  $P_j$  ist.

Alle Periodendauern  $t_j$  zusammen sollten ein Jahr ergeben. Zeiträume, in denen die Beleuchtung nicht in Betrieb ist (z.B. untertags) sollten auch in der Berechnung enthalten sein, da das System in diesen Zeiträumen Standby-Leistung verbraucht.

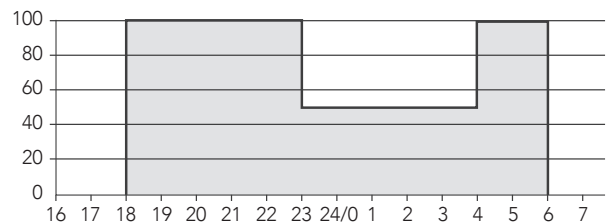


Abbildung 7: Beispiel für zeitabhängige Leistung: Volle Leistung am Abend und am frühen Morgen und halbe Leistung in der Nacht

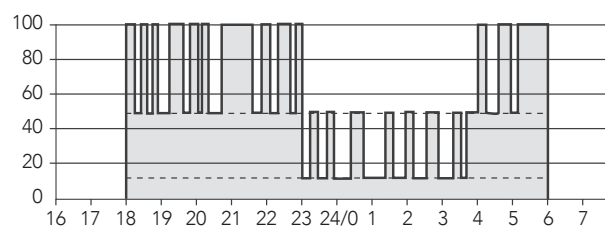


Abbildung 8: Zeitabhängige Lichtleistung mit Fahrzeug- bzw. Bewegungsdetektoren – volle Leistung, wenn Bewegungen registriert werden

Anhang A der EN 13201-5 liefert einige Beispielwerte für PDI und AECI für einen breiten Bereich an Beleuchtungsklassen und Fahrbahnbreiten (basierend auf Beleuchtungsprodukten verfügbar im Jahr 2014). Nachfolgend sind einige Beispielwerte aufgelistet (alle für die Fahrbahnbreite 7 m).

Anhang C der EN 13201-5 bietet eine vereinfachte Methode, um Beleuchtungssysteme für die Beleuchtungsklasse M zu

Tabelle 7: Beispiel D<sub>p</sub> (in [W/(lx·m<sup>2</sup>)] / D<sub>e</sub> (in [(kWh)/m<sup>2</sup>)]-Werte für eine zweispurige Straße für motorisierten Verkehr

Beleuchtungs- klasse	Lampentyp				
	Hochdruck-Quecksilber	Metallhalogenid	Hochdruck-Natrium	Niederdruck-Natrium	LED
M1		45/5,0		34–41/4,0–5,3	25–32/3,0–3,8
M2	100/10,8	50/4,6		31–40/3,2–4,2	24–27/2,4–2,5
M3	84/6,0	47/3,6	40/2,8–3,1	34–38/2,5–2,6	23–25/1,5
M4	90/5,0	60/3,1	41–47/2,3–2,5	34–42/1,8–2,4	23/1,1
M5	86/3,2	30/0,9	47/1,7	38–45/1,1–1,6	24/0,8
M6	85/1,9	37/0,6		45–49/0,2–1,2	20–27/0,4–0,5

vergleichen, die auf der mittleren gleichbleibenden horizontalen Beleuchtungsstärke  $\bar{E}$  beruht. Anhang D stellt ein Beispielschema für die Darstellung von Informationen zu Energieeffizienzindikatoren vor.

### 2.2.4 Beispiel – Straßen in städtischen Gebieten

Der folgende Abschnitt soll veranschaulichen, wie EN 13201 und ÖNORM O 1055 für verschiedene Beleuchtungssituationen in Bezug auf Straßenklassifizierung und Anforderungen angewendet werden können. Als erstes Beispiel dient ein Innenstadt-Standort, der einen Fußgängerübergang und eine Fahrradspur beinhaltet. Die Straße ist deutlich überfüllt, was zu schweren Verkehrsstaus während der Stoßzeiten führt.



Abbildung 9: Innenstadt-Standort

Entsprechend ÖNORM 1055:2017-08 handelt es sich hier wegen des Fußgängerübergangs und der Fahrradspur um eine Konfliktzone, für die eine C-Beleuchtungsklasse vorgesehen ist. Um die endgültige Beleuchtungsklasse feststellen zu können, muss man vorher die M-Beleuchtungsklasse bestimmen, die dieser Straße entsprechen würde. Dazu muss die "Tabelle 1" in der ÖNORM verwendet werden:

- Maßgebliche Geschwindigkeit: Während der Stoßzeiten ist der Verkehr relativ langsam, was einer Gewichtung von -2 entspricht.

- Maßgebliche Verkehrsmenge: Die Verkehrsmenge ist hoch, die Gewichtung also 1.
- Verkehrszusammensetzung: Wegen des Fußgängerübergangs und der Fahrradspur handelt es sich hier um gemischten Verkehr, die Gewichtung ist 1.
- Trennung der Richtungsfahrbahnen: Die Fahrbahnen sind nicht getrennt, die Gewichtung ist 1.
- Parkende Fahrzeuge: Es gibt im Allgemeinen keine parkenden Fahrzeuge, die richtige Gewichtung ist 0.
- Leuchtdichte der Umgebung: Die Umgebung ist wegen Werbeflächen und Schaufenstern hell, die Gewichtung also 1.
- Schwierigkeit der Fahraufgabe: Durch den Fußgängerübergang ist die Fahraufgabe schwierig, der Gewichtungsfaktor beträgt 1.

Die Summe aller Gewichtungsfaktoren "VWS" ist 4, die entsprechende M-Beleuchtungsklasse ist dadurch M2 ( $M = 6 - VWS$ ). Um die dazugehörige C-Beleuchtungsklasse zu bestimmen, muss man noch die Reflexionseigenschaften  $q_0$  des Fahrbahnbelages berücksichtigen. Sind diese wie hier im durchschnittlichen Bereich ( $0,05 \text{ cd m}^{-2} \text{ lx}^{-1} < q_0 \leq 0,08 \text{ cd m}^{-2} \text{ lx}^{-1}$ ) führt das zur Beleuchtungsklasse **C2**.

Entsprechend EN 13201-2 ergibt dies die folgenden Anforderungen für die Stoßzeiten:

- Mindestwert für die gleichbleibende durchschnittliche horizontale Beleuchtungsstärke  $\bar{E}$ : 20 lx
- Mindestwert für die insgesamt Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Straßenoberfläche  $U_0$ : 0,4
- Der informative Anhang C der EN 13201-2 schlägt außerdem eine maximale Schwellwertänderung  $f_{T1}$  von 15 % vor (siehe Abschnitt 2.1.1.2 für eine Diskussion von Blendung und der Schwellwertänderung).



Tabelle 8: Auswahl der Beleuchtungsklasse für einen Innenstadt-Standort (entsprechend ÖNORM 1055:2017-08)

Parameter	Auswahl	Beschreibung	Gewichtung $V_w$
Maßgebliche Geschwindigkeit	Sehr hoch	$v \geq 100$ km/h	2
	Hoch	$70 < v < 100$ km/h	1
	Mittel	$40 < v \leq 70$ km/h	-1
	Langsam	$v \leq 40$ km/h	-2
Verkehrsmenge	Hoch		1
	Mittel		0
	Gering		-1
Verkehrszusammensetzung	Gemischter Verkehr, mit hohem Anteil an nicht motorisiertem Verkehr		2
	Gemischter Verkehr		1
	Nur motorisierter Verkehr		0
Trennung der Richtungsfahrbahnen	Nein		1
	Ja		0
Kreuzungsdichte	Hoch		1
	Normal		0
Parkende Fahrzeuge	Zulässig		1
	Nicht zulässig		0
Leuchtdichte der Umgebung	Hoch	Örtlich durchgängige, hohe Leuchtdichte der Umgebung durch Schaufenster, Werbeflächen, Sportplätze, Bahnhofsbereiche, Rangierbereiche von Speditionen, ...	1
	Mittel	Normale Situation	0
	Gering	Dunkler als normal, unbeleuchtet	-1
Schwierigkeit der Fahraufgabe	Sehr schwierig		2
	Schwierig		1
	Einfach		0

### 2.2.5 Beispiel – Straßen in ländlichen Gebieten

Unser zweites Beispiel ist eine Strecke zwischen zwei Orten. Straßenbeleuchtung ist für solche Straßen nicht verpflichtend. Wenn aber dennoch Straßenbeleuchtung geplant wird (zum Beispiel, um Unfälle zu vermeiden), müssen wie üblich die Beleuchtungsklasse und die Mindestanforderungen bestimmt werden.



Abbildung 10: Ländlicher Standort

Da die Situation nicht als Konfliktzone klassifiziert ist (es gibt einen kombinierten Fuß-/Radweg neben der Straße, Fußgänger und Radfahrer dürfen die Straße also nicht verwenden) und die maßgebliche Geschwindigkeit relativ hoch ist, gilt für diese Straße die Beleuchtungsklasse M.

Um die exakte Beleuchtungsklasse zu bestimmen, muss wiederum Tabelle 1 der ÖNORM herangezogen werden:

- Maßgebliche Geschwindigkeit: die Geschwindigkeit liegt meist zwischen 70 und 100 km/h, die Gewichtung ist 1.
- Maßgebliche Verkehrsmenge: in diesem Beispiel gehen wir von mäßigem Verkehrsaufkommen aus, die entsprechende Gewichtung ist 0.
- Verkehrszusammensetzung: der Verkehr ist ausschließlich motorisiert, die Gewichtung ist 0.
- Trennung der Richtungsfahrbahnen: die Fahrbahnen sind nicht getrennt, der Gewichtungsfaktor ist 1.
- Kreuzungsdichte: es gibt weniger als 3 Kreuzungen pro Kilometer, die Gewichtung ist 0.
- Parkende Fahrzeuge: das Parken neben und auf der Straße ist verboten, die Gewichtung ist also 0.
- Leuchtdichte der Umgebung: Die Umgebung ist relativ dunkel, die Leuchtdichte gering und die entsprechende Gewichtung - 1.
- Schwierigkeit der Fahraufgabe: Da es weder viele Kreuzungen gibt, noch andere Verkehrsteilnehmer auf der Straße fahren, gilt hier die Gewichtung 0 für „einfach“.

Die endgültige Beleuchtungsklasse wird mit  $M = 6 - VWS$  berechnet. Mit einer Summe der Gewichtungsfaktoren von  $VWS = 1$  führt dies zur Beleuchtungsklasse **M5** und zu den folgenden Kriterien:

- Mindestwert für die mittlere gleichbleibende Leuchtdichte der Straßenoberfläche  $\bar{L}$ : 0,5 cd / m<sup>2</sup>
- Mindestwert für die insgesamt Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Straßenoberfläche  $U_0$ : 0,4
- Mindestwert für die longitudinale Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Straßenoberfläche  $U_0$ : 0,4

- Mindestwert für die insgesamt Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte der Straßenoberfläche  $U_{0w}$ : 0,15 (feuchte Bedingungen)
- Schwellwertänderung  $f_{TI}$ : 15 %
- Randbeleuchtungsverhältnis  $R_{Ei}$ : 0,3 (dies betrifft den Rand der Straße ohne den kombinierten Rad-/Fußweg – der separate Weg hat seine eigene Beleuchtungsklasse und seine eigenen Kriterien).

Tabelle 9: Auswahl der Beleuchtungsklasse für einen ländlichen Standort (entsprechend ÖNORM O-1055)

Parameter	Auswahl	Beschreibung		Gewichtung $V_w$
Maßgebliche Geschwindigkeit	Sehr hoch	$v \geq 100$ km/h		2
	Hoch	$70 < v < 100$ km/h		1
	Mittel	$40 < v \leq 70$ km/h		-1
	Niedrig	$v \leq 40$ km/h		-2
Maßgebliche Verkehrsmenge		Richtungsverkehr (Autobahnen und Straßen mit mehr als einem Fahrstreifen)	Gegenverkehr (auch für Richtungsverkehr mit nur einem Fahrstreifen)	
	Hoch	> 45 000	> 7 000	1
	Mittel	25 000 bis 45 000	2 000 bis 7 000	0
	Niedrig	< 25 000	< 2 000	-1
Verkehrszusammensetzung	Gemischter Verkehr, mit hohem Anteil an nicht motorisiertem Verkehr			2
	Gemischter Verkehr			1
	Nur motorisierter Verkehr			0
Trennung der Richtungsfahrbahnen	Nein			1
	Ja			0
Kreuzungsdichte		Anzahl von Kreuzungen je km	Abstand zwischen Anschlussstellen, Entfernung zwischen Brücken	
	Hoch	> 3	< 3	1
	Normal	$\geq 3$	$\leq 3$	0
Parkende Fahrzeuge	Zulässig			1
	Nicht zulässig			0
Umgebungsleuchtdichte	Hoch	Örtlich durchgängige, hohe Leuchtdichte der Umgebung durch Schaufenster, Werbeflächen, Sportplätze, Bahnhofsbereiche, Rangierbereiche von Speditionen, ...		1
	Mittel	Normale Situation		0
	Gering			-1
Schwierigkeit der Fahraufgabe	Sehr schwierig			2
	Schwierig			1
	Einfach			0

Anmerkung: Erhöhtes Kriminalitätsrisiko kann durch die zusätzliche Anwendung der ergänzenden EV- und/oder SC-Klassen gemäß ÖNORM EN 13201-2, aber auch durch die Erhöhung der Beleuchtungsklasse um zumindest eine Stufe berücksichtigt werden.

## 2.2.6 Unterschiede zwischen ÖNORM O-1055 und PD CEN/TR 13201-1

Während in der ÖNORM die Auswahl der C-Beleuchtungsklasse zwangsläufig die vorhergehende Auswahl der entsprechenden M-Beleuchtungsklasse erfordert, existiert in der europäischen Fassung ein separates Auswahlverfahren für bestimmte Konfliktzonen (sowie beispielsweise Stadtzentren).

Dieses erfordert nicht die Kenntnis der Reflexionseigenschaften der Straße, sondern funktioniert ähnlich wie der Prozess für die M-Beleuchtungsklasse. Es gibt eine eigene Tabelle mit eigenen Kriterien und Gewichtungsfaktoren, die sich leicht von ihren Äquivalenten in der M-Beleuchtungsklasse unterscheiden. Außerdem wird die Kreuzungsdichte nicht berücksichtigt.

### 2.2.6.2 Erweiterung der Gewichtung für situative Verkehrsmengen

Die ÖNORM bietet zusätzlich zu den existierenden Kriterien für die Verkehrsmenge auch eine Möglichkeit, situative Verkehrsmengen zu vorgegebenen Zeiten effektiver zu berücksichtigen. Dies funktioniert über erweiterte Gewichtungsfaktoren, die statt den ursprünglichen Werten zu verwenden sind. Die ÖNORM unterscheidet hier zwischen zwei unterschiedlichen Methoden:

- **Durchschnittlicher täglicher Verkehr (JDTV):** Ist der durchschnittliche tägliche Verkehr bekannt, ist innerhalb des Zeitraumes von 22:00 Uhr bis 06:00 Uhr eine erweiterte Gewichtung des Parameters "maßgebliche Verkehrsmenge" zulässig.
- **Maßgebliche stündliche Verkehrsmenge (MSV):** Bei einer bekannten maßgeblichen stündlichen Verkehrsmenge oder in entsprechend angepassten Zeitabschnitten ist die erweiterte Gewichtung im Absenkbetrieb ohne Zeiteinschränkung möglich.

### 2.2.6.3 Spezifikation des minimalen Beleuchtungsniveaus

In der ÖNORM wird für mit Verkehrssensoren geregelte Straßen ein Mindestbeleuchtungsniveau spezifiziert, das während der gesamten Dunkelstunden für Zeitabschnitte ohne Verkehrsaufkommen aufrechtzuerhalten ist. Dieses darf 50 % der Leuchtdichte/Beleuchtungsstärke der niedrigsten Stufe der gewählten Kategorie der Beleuchtungsklassen (M, C, P) nicht unterschreiten.

### 2.2.6.4 Adaptationsstrecken

Im jeweiligen Übergangsbereich von einem hellen zu einem dunkleren Beleuchtungsniveau ist auf die Einhaltung von Adaptationsstrecken, deren erforderliche Länge von der gefahrenen Geschwindigkeit abhängt, zu achten. Nähere Informationen zur Auslegung von Adaptationsstrecken finden sich in ÖNORM O 1051.

# 3. Beleuchtungs- komponenten und Lichtplanung



## 3.1 Komponenten von Beleuchtungssystemen

Komponenten von Straßenbeleuchtungssystemen können in drei breite Kategorien unterteilt werden:

- Optische Systeme, die die Leuchten (inklusive Reflektoren, Refraktoren und Linsen) sowie Lampen und deren Steuergeräte enthalten,
- Tragkonstruktionen bestehend aus Stangen und deren Fundamenten,
- Elektrische Systeme (inklusive Wartungskästen) wie Energieversorgungs-, Steuer- und Messeinrichtungen.

### 3.1.1 Optische Systeme

#### 3.1.1.1 Leuchte, Lampe und Lichtquelle

Um die Begriffe „Leuchte“, „Lampe“ und „Lichtquelle“ zu unterscheiden, wird auf die kürzlich erschienenen EU-Verordnungen 874/2012 (Energieverbrauchskennzeichnung von elektrischen Lampen und Leuchten) und 1194/2012 (Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lampen mit gebündeltem Licht, LED-Lampen und dazugehörigen Geräten) verwiesen:

- „Leuchte“ steht für ein Gerät, das Licht von einer oder mehreren Lampen verteilt, filtert oder umwandelt und das alle Teile enthält, die zum Stützen, Fixieren und Schützen der Lampen notwendig sind, und gegebenenfalls Schaltungshilfsmittel mit den nötigen Mitteln, um sie an die Stromversorgung anzuschließen.
- Eine „Lampe“ ist als Einheit definiert, deren Leistung unabhängig beurteilt werden kann und die aus einer oder mehreren Lichtquellen besteht. Sie kann zusätzliche Komponenten beinhalten, die zum Start, zur Stromversorgung, zum stabilen Betrieb der Einheit oder zur Verteilung, Filterung und Umwandlung der optischen Strahlung notwendig sind, wenn diese nicht entfernt werden können, ohne die Lampe zu beschädigen.

- Der Begriff „Lichtquelle“ steht für eine Oberfläche oder ein Objekt, das konstruiert wurde, um durch Umwandlung von Energie hauptsächlich sichtbare optische Strahlung zu erzeugen. Der Ausdruck „sichtbar“ bezieht sich auf Wellenlängen zwischen 380 und 780 nm.

In diesem Kontext kann eine „Leuchte“ eine oder mehrere „Lampen“ enthalten, die wiederum mit einer oder mehreren Lichtquellen ausgestattet sein kann.

#### 3.1.1.2 Lampen

Von einem physikalischen Standpunkt aus gesehen wandeln alle Lampentechnologien elektrische Energie in sichtbares Licht um. Hochdruckentladungslampen waren über Jahrzehnte die vorherrschende Technologie in der Straßenbeleuchtung. Wie bereits im vorigen Abschnitt erwähnt, ersetzt die LED-Technologie alle anderen Lampentypen, besonders bei neuen Straßenbeleuchtungssystemen. Hochdrucknatrium- und dampflampen (HPS) bleiben vor allem bei bestimmten Beleuchtungsaufgaben (wie z.B. auf Autobahnen) eine Alternative. Ihre hohe Effizienz überwiegt die schlechte Farbwiedergabe, die in diesem Anwendungsbereich kein Problem darstellt.

In LED-Lampen wird Licht durch sog. Elektrolumineszenz produziert. Eigentlich ist eine "light-emitting diode" (LED) eine p-n-Übergang-Diode, die Licht emittiert, wenn sie aktiviert wird. Der LED-Chip besteht aus Halbleitermaterial, das mit Fehlstellen dotiert wird, um einen p-n-Übergang zu erzeugen. Wie in anderen Dioden fließt der Strom von der p-Seite (Anode) zu der n-Seite (Kathode). Ladungsträger (Elektronen und Löcher) fließen von Elektroden mit unterschiedlichen Spannungen in den Übergang. Wenn ein Elektron auf ein Loch trifft, fällt es auf ein niedrigeres Energieniveau und setzt Energie in Form eines Photons frei.

Die Wellenlänge des emittierten Lichts, und damit seine Farbe, hängt von der Bandlücke des Materials des p-n-Übergangs ab. Die Materialien, die für LEDs benutzt werden, haben eine Bandlücke, die dem nahen Infrarot-, sichtbaren oder nahen Ultraviolett-Bereich entspricht. Für Straßenbeleuchtungszwecke werden häufig blaue LEDs verwendet, die, wenn sie mit einem Phosphormantel (vgl. Abbildung 11 und 12) umgeben sind, weißes Licht liefern. Blau-leuchtende LEDs haben mit einem Wirkungsgrad von 55 % derzeit die höchste Effizienz von allen LED-Arten. Die restlichen 45 % werden in Wärme und unsichtbare Licht umgewandelt. Da eine höhere Sperrschichttemperatur (die Temperatur des LED-Halbleitermaterials) sowohl die Effizienz, als auch die Lebensdauer verringert, ist ein gutes thermisches Design erforderlich. Um die Wärme abzuführen, sind der LED-Chip und der Reflektor auf einem Kühlkörper montiert. Dieser Kühlkörper soll die Wärme wiederum auf die Leuchte übertragen, die sie in die Umgebung abführt.

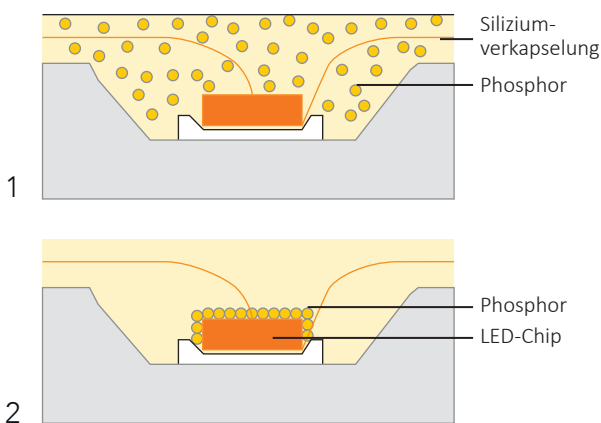


Abbildung 11: Phosphor in Siliziumverkapselung (1) und Phosphorbeschichtung (2)

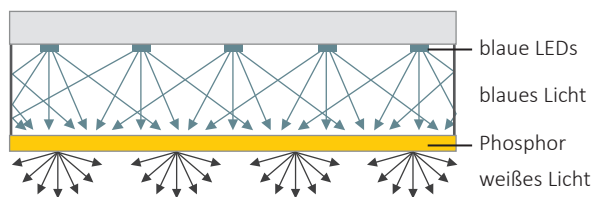


Abbildung 12: Prinzip eines Remote-Phosphor LED-Moduls für weißes Licht

Eine andere LED-Art ist die organische LED (OLED), die anstelle von Halbleitern eine flache Schicht organischer Moleküle als Licht emittierende Substanz verwendet. Obwohl sie viele interessante Anwendungsmöglichkeiten haben (z.B. High-End Flat Screen Fernseher) und ihre Technologie rasch voranschreitet, sind sie noch nicht für Straßenbeleuchtungszwecke geeignet.

Da der Lichtstrom einer einzelnen LED (selbst mit hoher Leistung), verglichen mit dem Lichtstrom, der für Straßenbeleuchtung benötigt wird, relativ niedrig ist, werden mehrere LED-Chips auf einer Leiterplatte verbaut und können mit zusätzlichen Komponenten kombiniert werden. So müssen mehrere Integrationsstufen unterschieden werden. Die folgenden LED-bezogenen Definitionen werden in den Verordnungen der Kommission 874/2012 und 1194/2012 fixiert:

- „Leuchtdiode (LED)“ bezeichnet eine Lichtquelle, die aus einem Festkörper besteht, der einen p-n-Übergang enthält. Der Übergang emittiert optische Strahlung, wenn er durch einen elektrischen Strom angeregt wird;
- „LED-Paket“ bezeichnet eine Anordnung einer oder mehrerer LED(s). Die Anordnung kann auch ein optisches Element oder thermische, mechanische und elektrische Schnittstellen enthalten;
- „LED-Modul“ bezeichnet eine Anordnung ohne Sockel, die eine oder mehrere LED-Pakete auf einer Leiterplatte enthält. Die Anordnung kann außerdem elektrische, optische und thermische Komponenten, Schnittstellen und Steuerungsgeräte beinhalten;
- „LED-Lampe“ bezeichnet eine Lampe mit einem oder mehreren eingebauten LED-Modulen. Die Lampe kann mit einem Sockel ausgestattet sein.

Diese Unterscheidung steht im Einklang mit der Segmentierung von LED-Produkten (Konzept von „Levels“), die in der Beleuchtungsindustrie üblich ist, abgesehen von Level 2.

Tabelle 10: Levels der LED-Integration

Integrations-Level	Beschreibung
Level 0	LED chip
Level 1	Verbaute LED mit elektrischen und mechanischen Anschlüssen sowie Schutz, Kühlkörper und grundlegenden optischen Komponenten
Level 2	Anordnung mehrerer LEDs (LED-Cluster) auf einer Leiterplatte
Level 3	LED-Modul (oder LED-Gerät). Ein Modul mit LED-Cluster, Kühlkörper, elektrischem Treiber und manchmal einem optischen Gerät. Das LED-Modul fungiert als Lampe.
Level 4	Leuchte bestehend aus dem LED-Modul, dem Gehäuse und sekundärer Optik
Level 5	LED Beleuchtungssystem mit Bedienelementen

Die Betriebstemperatur des LED-Chips – besonders die Temperatur des p-n-Übergangs – ist ein kritischer Aspekt, der speziell die Effizienz und die Lebensdauer beeinflusst. Die Leistungsdaten eines LED-Chips sind für eine Sperrschichttemperatur von 25 °C spezifiziert. Dennoch können die tatsächlichen Temperaturen bei normalen Betriebsbedingungen leicht 60–90 °C erreichen, was einen Abfall des Lichtstroms um bis zu 40 % nach sich zieht. Blaue LEDs sind von erhöhten Betriebstemperaturen in der Regel weniger betroffen (mit einer Abnahme des Flusses um 5 bis 20 % bei 80 °C Sperrschichttemperatur).

Die Lebensdauer einer LED-Lichtquelle erreicht bis zu 100.000 h (spezifiziert für L80, siehe Kapitel 2.1.4), hängt aber stark von der tatsächlichen Betriebstemperatur und der Wirksamkeit des Wärmemanagements ab, das eine ausreichende Wärmeabfuhr sichert.

LED-Module sind im Gegensatz zu anderen Beleuchtungstechnologien (wie Entladungslampen) mit den Leuchten selbst verbunden oder zumindest nicht so konzipiert, dass sie als Komponenten mit standardisierten Maßen, Fassungen und elektrischen Anschlüssen ersetzt werden können. Dies ist eine Herausforderung für eine langfristige reibungslose Reparatur- und Ersetzungsstrategie, selbst wenn die Ersatzteile mehrere Jahre nach der Inbetriebnahme vom Erstlieferanten bezogen werden. Mehrere Industrieakteure haben sich bemüht, einen offenen Standard namens Zhaga für die Interoperabilität und Austauschbarkeit von LED-Modulen und Leuchten verschiedener Hersteller zu entwickeln. Dennoch stellen Zhaga-zertifizierte Produkte immer noch einen kleinen Bereich des Marktes dar.

LEDs können nicht direkt mit der Netzspannung (AC) betrieben werden. Deshalb wird ein Vorschaltgerät („Treiber“) benötigt, dessen Hauptfunktion es ist, eine stabilisierte

Gleichspannung zu liefern. Abhängig von der Qualität des Treibers können Leistungsverluste zwischen 10 und 30 % der Nennleistung der Lichtquelle variieren, bei Treibern besonders schlechter Qualität bis zu 50 %, und die Lebensdauer der Lichtquelle vermindert werden. Eine wichtige Zweitfunktion des Treibers ist die Dimmfunktion, die im Abschnitt 3.3.4 diskutiert wird. [RL]

### 3.1.1.3 Leuchten

Die Leuchte ist die komplette Beleuchtungsapparatur bestehend aus dem Gehäuse sowie allen für Montage und Betrieb notwendigen Teilen, einschließlich der Lampen, Steuerungsgeräte, Vorschaltgeräte, Verkabelung etc. LED-Lichtquellen sind üblicherweise in speziell entworfenen flachen Leuchten verbaut, die ihre optischen Eigenschaften optimal nutzen. Es existieren andere LED-Leuchtentypen, die nach klassischen Leuchten für andere Lichtquellen modelliert sind. [IIEC] Solche Leuchten sind allerdings eher als Ersatz oder Imitation von früheren, nicht-LED-Leuchten gedacht und verwenden deshalb nicht die modernen, optimierten optischen Systeme und Kühlsysteme, die für LEDs verfügbar sind. Dennoch können sie an Standorten, wo das Ersetzen der momentanen Mastanordnung durch ein besseres System nicht möglich ist, durchaus nützlich sein. [LRT4]

Der Teststandard für Leuchten, auf den Hersteller verweisen, ist IEC 60598-2-3, der allgemeine Empfehlungen für Leuchten und deren Abdeckung bietet. Leuchten sollten korrosionsbeständig oder durch geeignete Oberflächen vor Korrosion geschützt sein. Leuchten enthalten optische Elemente wie Reflektoren, Refraktoren und Linsen (vgl. Abbildung 13), die die gewünschte Lichtverteilung prägen und für die Regelung von Blendung und die Begrenzung der Lichtverschmutzung notwendig sind.



Abbildung 13: LED-Leuchtentypen



**Reflektoren** werden verwendet, um den Lichtoutput zu formen und umzuleiten. Die Reflektorspiegel erzeugen mehrfache Bilder der Lichtquelle, die dazu verwendet werden, eine möglichst einheitliche Leuchtdichte auf der beleuchteten Fläche zu erzeugen. [RL] Während LEDs im Vergleich zu anderen Lichtquellen bereits sehr stark ausgerichtet sind, können Reflektoren noch immer nützlich sein, um Lichtverschmutzung und Blendung zu minimieren (siehe Abschnitte 2.1.1.2 und 2.1.1.6).

**Refraktoren oder prismatische Linsen** lenken das Licht der Lampe selbst und das Licht von den Reflektoren und bieten zusätzlichen Schutz vor äußeren Schäden. Sie werden am häufigsten in „Kobra-Kopf“-Leuchten verwendet.

**Linsen** gestatten eine noch bessere Ausrichtung des Lichts von LED-Lampen und werden direkt auf die LEDs montiert. Sie können bei der Umlenkung von Licht und der Verringerung von Blendung nützlich sein und bieten zusätzlichen Schutz vor Fremdkörpern (siehe Abschnitt 2.1.2.1). [IIEC]

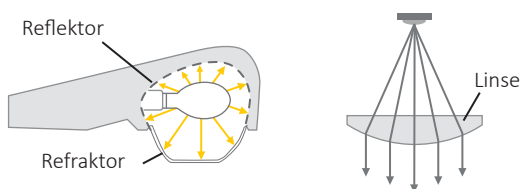


Abbildung 14: Reflektor, Refraktor und Linse in Straßenleuchten

In modernen LED-Leuchten können fortschrittliche linseartige Refraktoren auf jede einzelne LED montiert werden, was ermöglicht, die Lichtverteilung durch das Schalten oder Dimmen von LEDs mit verschiedenen Linsen zu ändern. Dies bietet eine größere Flexibilität in der Anpassung der Lichtverteilung an den Leuchtenabstand, die Straßenbreite, die Reflexionseigenschaften der Straßenoberfläche und an unterschiedliche Wetterbedingungen. [RL]

Der CIE Technical Report 115:2010 stellt Lichtstärkeklassen für Leuchten vor, die Kriterien für maximale Lichtstärkewerte für verschiedene Höhenwinkel definieren und von G1 bis G6 bewertet werden, was zunehmend strengeren Kriterien für höhere Winkel entspricht (und damit Lichtverschmutzung und Blendung verringert).

Die Komponenten einer Leuchte sollten modular sein, so dass jede Komponente im Fall eines Defekts oder Upgrades leicht durch ein identisches oder kompatibles Teil ersetzt werden kann, ohne die ganze Leuchte ersetzen zu müssen. [BFE] Wie im vorigen Abschnitt erklärt, spielt die Wärmeabfuhr für Leuchten, die für LED-Lampen gedacht sind, eine wesentliche Rolle. Neben einer guten Wärme-

leitung zwischen Lampe und Leuchte sind die folgenden Eigenschaften der Leuchte wichtig für die Wärmeabfuhr:

- Das Leuchtenvolumen – je größer das Volumen, desto niedriger ist die Temperatur in der Leuchte.
- Die Wärmeleiteigenschaften des Leuchtengehäuses, die bestimmen, wie schnell der Wärmetransfer an die Umgebungsluft ist. Die meisten Metalle funktionieren hier gut, während Kunststoff ein thermischer Isolator und deswegen generell ungeeignet für LED-Leuchten ist.
- Kühlrippen können ebenfalls verwendet werden, um den Wärmetransfer an die Umgebungsluft zu verbessern, da sie die Oberfläche der Leuchte vergrößern.

Leuchten werden generell über die maximale Umgebungstemperatur „ $T_a$ “, bei der sie sicher arbeiten können, bewertet. Wird kein  $T_a$ -Wert angegeben, sind sie für eine maximale Umgebungstemperatur von 25 °C geeignet. [RL]

### Konformitätszeichen und Qualitätszeichen

#### CE

Jedes auf dem europäischen Markt platzierte Produkt muss allen relevanten EU-Richtlinien entsprechen. Mit der CE-Kennzeichnung bestätigt ein Unternehmen verbindlich die Konformität des Produktes mit den relevanten Regelungen. Seit 1997 muss an allen in Europa gehandelten Produkten, die von den CE-Kennzeichnungsrichtlinien betroffen sind, eine CE-Kennzeichnung angebracht sein.

Die CE Kennzeichnung (Communautés Européennes, European Community) ist kein Prüfzeichen wie das ENEC oder andere nationale Gütezeichen, sondern eine Konformitätskennzeichnung. Es muss hervorgehoben werden, dass das CE-Symbol nicht durch ein (unabhängiges) Prüfinstitut, sondern vom Hersteller selbst ausgestellt wird.

Die Überwachungsbehörden erkennen ein Produkt mit einer CE-Kennzeichnung ohne weitere Tests als marktfähig an. Die Konformität wird von den Marktüberwachungsbehörden nur im Rahmen von Stichprobenkontrollen oder bei Verdacht auf Nichtkonformität überprüft.

Für Straßenbeleuchtung umfasst das CE-Konformitätszeichen die folgenden Rechtsvorschriften:

- Richtlinie 2014/35/EU zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung elektrischer Betriebsmittel zur Verwendung innerhalb bestimmter Spannungsgrenzen auf dem Markt (Niederspannungsrichtlinie)
- Richtlinie 2014/30/EU zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit.

## ENEC

Das ENEC-Zeichen (European Norms Electrical Certification) ist ein europäisches Sicherheitszeichen mit einheitlichen Testbedingungen in ganz Europa. Das ENEC-Abkommen beschreibt das Verfahren für die Verleihung und Verwendung einer gemeinsam vereinbarten Marke für bestimmte elektrische Geräte, die den europäischen Normen entsprechen. Derzeit haben die folgenden 19 Länder das Abkommen unterzeichnet: Österreich, Belgien, Tschechien, Dänemark, Finnland, Frankreich, Deutschland, Griechenland, Ungarn, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Portugal, Slowenien, Spanien, Schweden, Schweiz, Vereinigtes Königreich.

Das ENEC-Symbol bestätigt, dass das Produkt die entsprechenden Anforderungen der Europäischen Union erfüllt. Das ENEC-Zeichen kann von einer nationalen Zertifizierungsstelle vergeben werden, die Vertragspartei des ENEC-Übereinkommens ist. Die Zahl nach dem ENEC-Zeichen gibt an, welches Testzentrum in welchem Land zertifiziert wurde (z. B. ENEC 03 für Italien). Ein Produkt mit ENEC-Zeichen aus einem anderen europäischen Land wird so behandelt, als wäre es von der nationalen Kontrollstelle in seinem eigenen Land zertifiziert worden. Dies vereinfacht den freien Warenverkehr im europäischen Wirtschaftsraum, in der Schweiz - und zunehmend auch im osteuropäischen Markt.

Die gemeinsamen Prüfbedingungen sind in der Normenreihe EN 60598 festgelegt. Um die durch das ENEC-Zeichen garantierte Produktqualität zu gewährleisten, müssen Hersteller auch über ein Qualitätssicherungssystem verfügen.

### 3.1.2 Tragkonstruktionen

Masten müssen sich an die Norm EN 12767 („Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen für die Straßenausstattung“) halten, die Kriterien spezifiziert, um die Gefahr für Fahrzeuginsassen im Fall einer Kollision zu minimieren. Laut der Norm werden Tragkonstruktionen für Straßenausstattung in drei Kategorien für passive Sicherheit eingeteilt:

- Hoch energieabsorbierend (HE)
- Wenig energieabsorbierend (LE)
- Nicht energieabsorbierend (NE).

Energieabsorbierende Tragkonstruktionen bremsen das Fahrzeug während einer Kollision stark ab und vermindern das Risiko für weitere Kollisionen. Nicht energieabsorbierende Konstruktionen erlauben dem Fahrzeug mit nur leichter Geschwindigkeitsverringern weiterzufahren, was das Risiko für die Insassen bei der ersten Kollision verringert, aber das Risiko weiterer Kollisionen erhöht – auch mit anderen Verkehrsteilnehmern. Die Art der Masten für einen bestimmten Straßenabschnitt kann durch die verantwortliche

Verwaltungsebene auf der Grundlage ihrer eigenen Bewertung der lokalen Bedürfnisse ausgewählt werden – man könnte zum Beispiel HE-Masten in städtischen Gebieten installieren, um das Sekundärrisiko für andere Verkehrsteilnehmer zu reduzieren.

Für Tragkonstruktionen sind vier Levels der Insassensicherheit spezifiziert, wobei Level 4 für nicht schädliche Tragkonstruktionen steht, von denen angenommen wird, dass sie nur geringe Schäden verursachen. Die anderen Levels werden bei Aufpralltests mit PKWs bei Geschwindigkeiten von 35, 50, 70 und 100 km/h bestimmt. Die Testdaten werden verwendet, um den „acceleration severity impact“ (ASI) und die "theoretical head impact velocity" (THIV) abzuleiten, die die Gefahr für Passagiere beschreiben [TRB].

Für stationäre Lichtmasten ist eine Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten vorgesehen. Lichtmasten aus Stahl sind heute verzinkt. In der Vergangenheit waren sie durch Rostschutz vor Korrosion geschützt. Edelstahl wird nur in repräsentativen Bereichen eingesetzt. Elektrische oder sonstige Installationen werden wesentlich öfter gewartet und ausgetauscht als der Mast selbst. Umwelteinflüsse wie Sonne, normaler Regen und Wind sind für die Komponenten eher unkritisch. Dennoch können starke Stürme, Schneelast oder Eisschichten eine Gefahr sein.

Die Anordnung der Masten sowie ihre Höhe sind technische Entscheidungen. Diese basieren auf der Geometrie der Straße, den Systemeigenschaften, den Bodenbedingungen der Straße, den physikalischen Eigenschaften der Masten, den Umwelthanforderungen, dem verfügbaren Raum für Wartungsarbeiten, dem verfügbaren Budget der Ästhetik und den Beleuchtungszielen. Die häufigsten Anordnungen sind unten abgebildet. [RL]

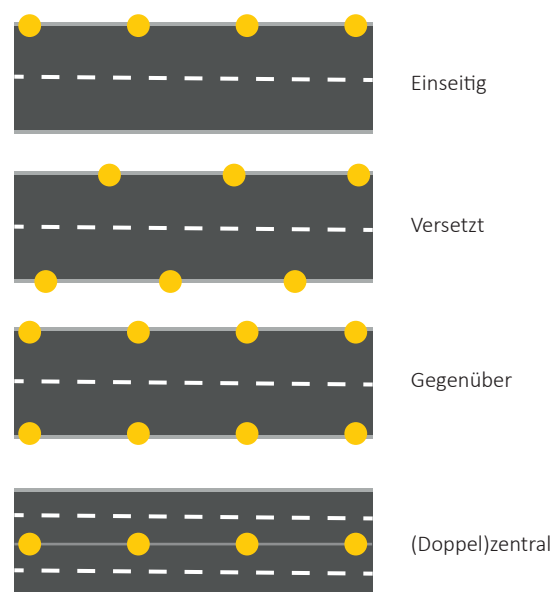


Abbildung 15: Lampenanordnungen

Die gewählte Lampenanordnung bestimmt die Mindesthöhe der Leuchten als Faktor der effektiven Straßenbreite (gemessen von der horizontalen Position der Leuchte zu der gegenüberliegenden Straßenseite).

- Bei **einseitigen Anordnungen** kann die effektive Straßenbreite so breit wie die Höhe der Leuchte sein. Außerdem wird die Leuchtdichte auf der Straßenoberfläche im Gegensatz zu anderen Anordnungen nicht auf beiden Spuren gleich sein.
- Bei **versetzten Anordnungen** kann die effektive Straßenbreite bis zu 1,5-mal der Höhe der Leuchte entsprechen. Ihre longitudinale Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte ist im Allgemeinen niedrig und erzeugt ein wechselndes Muster aus hellen und dunklen Flecken. Dennoch decken sie die ganze Straße bei feuchtem Wetter besser ab als einseitige Anordnungen.
- Bei **gegenüberliegenden Anordnungen** kann die effektive Straßenbreite 2- bis 2,5-mal der Höhe der Leuchte entsprechen. Wenn die Anordnung für eine zweiteilige Fahrbahn mit einer zentralen Fläche, die mindestens einem Drittel der Fahrbahn entspricht, verwendet wird, oder wenn die zentrale Fläche andere deutliche visuelle Hindernisse (wie Bäume oder Werbeflächen) enthält, wird sie zu zwei einseitigen Anordnungen - diese müssen auch als solche behandelt werden.
- Bei **zentralen Anordnungen** hängen die Leuchten von sogenannten Spanndrähten, die über die Straße, normalerweise zwischen Gebäuden, gespannt werden. Die effektive Straßenbreite kann hier bis zu 2-mal der Höhe der Leuchte entsprechen.
- Bei **doppelzentralen Anordnungen** – wo zwei Leuchten Rücken an Rücken im Zentrum installiert werden – kann die effektive Straßenbreite so breit wie die Höhe der Leuchten sein. Vorausgesetzt, die zentrale Fläche ist nicht zu breit, können beide Leuchten zur Leuchtdichte auf der Straßenoberfläche beider Straßenseiten beitragen, was diese Anordnung im Allgemeinen effizienter macht als gegenüberliegende Anordnungen. Dennoch können gegenüberliegende Anordnungen bei feuchten Bedingungen bessere Lichtverhältnisse liefern.

Die Entscheidung über die genauen Mastpositionen und die Leuchtenhöhe ist Teil des Planungsprozesses und wird üblicherweise mit spezieller Software getroffen, da das Ziel nicht nur die Einhaltung einer minimalen Leuchtdichte sondern auch einer minimalen Gleichmäßigkeit der Leuchtdichte ist, die von der Lichtstärkeverteilung der Leuchten im System abhängt. [RL] Da viele LED-Produkte als Ersatz für bestehende Leuchten konzipiert sind (und dadurch existierende Masten verwendet werden), wird das moderne LED-Leuchtendesign oft nicht vollständig ausgenutzt, das eine wesentlich gleichmäßigere Lichtstärkeverteilung ermöglicht als vergleichbare HPS oder MH-Leuchten. [LRT4]

### 3.1.3 Elektrische Systeme

Das Erdungskabel sollte an folgende Komponenten angeschlossen werden: die Metall-Leitungen des Deckels der metallenen Box, Metallstangen, sowie jegliche zusätzlichen Bodenstangen, die im Fundament verankert sind.

Der Widerstand der Drähte und Kabel einer bestimmten Straßenbeleuchtungsschaltung wird zu einem Spannungsabfall führen, was zu einem ineffizienten Betrieb führt. Um sicherzustellen, dass alle Leuchten innerhalb einer bestimmten Schaltung einen Mindestlevel an Spannungsversorgung erhalten, sollte der Spannungsabfall zwischen Einspeisepunkt und den am weitesten entfernten Leuchten 3 % der Systemspannung nicht überschreiten.

Der Serviceschrank sollte ein regendichtes Gehäuse sein, das mit einer Dichtung verschlossen ist [IIEC].

## 3.2 Steuerungssysteme für Straßenbeleuchtung

---

Eine aktive Steuerung von Straßenbeleuchtung ermöglicht deutliche Energieeinsparungen. Potentielle Einsparungen müssen aber zunehmender Komplexität und höheren Kosten gegenübergestellt werden. Es gibt drei grundlegende Typen von Beleuchtungssteuerungssystemen, basierend auf der Art ihrer Steuerung: autonome Steuerung, zentrale Steuerung und dynamische Steuerung.

### 3.2.1 Autonome Steuerung

Bei autonomer Straßenbeleuchtungssteuerung sind die Leuchten (meistens durch den Hersteller) mit fixen Betriebszeiten vorprogrammiert. Dies ist eindeutig die einfachste und billigste Lösung, da sie keine weitere Steuerung und Netzwerksysteme benötigt. Da die Programmierbarkeit aber meistens beschränkt ist, besteht oft keine Möglichkeit, die Leuchten an Wochenenden oder Feiertagen anzupassen. Außerdem kann die interne Zeitschaltung ungenau sein und jedes Upgrade des Systems erfordert Änderungen an jeder Leuchte. Als Alternative können Sensoren an jeder Lampe das Umgebungslicht detektieren und entscheiden, ob die Lampe eingeschaltet wird. Dies führt jedoch zu zusätzlichen Kosten.

### 3.2.2 Zentrale Steuerung

Bei einer zentralen Straßenbeleuchtungssteuerung sendet ein zentrales System ein Steuerungssignal an alle Leuchten einer Gruppe (üblicherweise durch ein Signal über die Stromversorgung). Dieses Setup ist ebenfalls vergleichsweise einfach und billig zu implementieren, es bietet aber eine gewisse

Flexibilität in der Anpassung der Beleuchtung an wechselnde Umstände – zum Beispiel könnte ein zentraler Lichtsensor bestimmen, wann alle Leuchten einer bestimmten Gruppe aktiviert werden sollen (dies erlaubt im Gegensatz zu einer reinen Zeitschaltung die Anpassung an lokale Wetterverhältnisse). Solche Sensoren sollten regelmäßig gereinigt werden, um einen reibungslosen Betrieb zu ermöglichen. [BFE] Andere Möglichkeiten beinhalten zeitbasiertes Dimmen, was das Licht bestimmter Lampen zu bestimmten Zeiten und in bestimmten Gegenden entweder ausschaltet oder reduziert, so wie spät in der Nacht, wenn das erwartete Verkehrsaufkommen niedrig ist. Während die Reduktion der Energiekosten und der Lichtverschmutzung (siehe Abschnitt 2.1.1.6) erheblich sein kann, könnte diese Lösung Verkehrsteilnehmer erhöhten Risiken aussetzen, wenn ihre Fähigkeit, Hindernissen auszuweichen, eingeschränkt wird. [CEE]

Außerdem läuft Information nur in eine Richtung – der zentrale Knotenpunkt kann zwar den Status von Lampengruppen bestimmen, er erhält aber keine Informationen über den individuellen Status oder anderen lokalen Umständen.

Sowohl eine zentrale als auch eine dynamische Steuerung erfordern die Implementierung von ICT (Information and Communications Technology)-Systemen unterschiedlicher Komplexität. Während sie zusätzliche Möglichkeiten zum Energiesparen mit sich bringen, benötigt die Implementierung und Wartung zusätzliche Ressourcen und Expertise, da höhere Komplexität das Risiko von Systemversagen erhöht [HCS]. Beschaffer und Planer sollten berücksichtigen, ob eine solche Expertise nach der Implementierung verfügbar ist.

### 3.2.3 Dynamische Steuerung

Mit dynamischer Straßenbeleuchtungssteuerung ist das größte Ausmaß an Steuerung möglich. Die Lampen können nicht nur entweder in Gruppen oder individuell angesprochen werden, der zentrale Kontrollserver kann auch Informationen zu ihrem Status (so wie Defekte) und andere Daten abhängig vom installierten Sensorsystem sammeln (z.B. Energieverbrauch, Betriebstemperatur, Umgebungstemperatur, Verkehr, Gegenwart von Fußgängern). Änderungen in der Programmierung können ebenfalls am zentralen Server vorgenommen werden, Änderungen an der Hardware sind nicht notwendig.

Allerdings kommt, wie oben beschrieben, diese zusätzliche Flexibilität mit erheblicher Komplexität und damit zusätzlichen Kosten einher. Die Steuerungssoftware muss entwickelt und gepflegt werden und die lokalen Entscheidungsträger, die für das System verantwortlich sind, müssen in dessen Verwendung geschult werden. Außerdem erhöht die zusätzliche Komplexität das Risiko von

Programmierfehlern. Die Lampen sollten mit fehlersicheren Systemen installiert werden, die sicherstellen, dass sie auch dann grundlegende Verkehrssicherheit in der Nacht gewährleisten können, wenn sie keine oder falsche Befehle vom Steuerungssystem erhalten [BFE].

Moderne intelligente Management-Systeme werden in der Regel von einer Kommandozentrale gesteuert, die oft ein Server in den Büroräumen der lokal Zuständigen ist. Dieser Server überwacht eine große Anzahl an Lampen und sendet Befehle, die das Verhalten der einzelnen Lampen bestimmen. Diese Befehle werden aber nicht direkt von den Lampensteuerungssystemen empfangen, sondern zuerst durch Konzentratoren geführt, die die Nachrichten dann an lokale Netzwerke, die aus einer begrenzten Anzahl von Lampen und den Reglern bestehen, weitergeben. [PE]

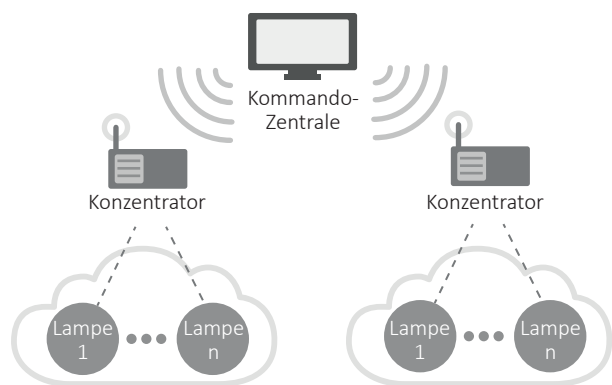


Abbildung 16: Straßenbeleuchtungssteuerungs-Architektur

Für das Verständnis und zur Entscheidungsfindung bei der Architektur des Steuerungssystems werden zwei technologische Konzepte benötigt – die Kommunikationstechnologie (wie wird Information übertragen) und das Kommunikationsprotokoll (wie wird die Information kodiert).

In einem Straßenbeleuchtungssystem gibt es zwei Kommunikationsebenen, die mit der Kommunikationstechnologie überbrückt werden müssen: Kommandozentrale zu Konzentratoren, und Konzentratoren zu individuellen Lampen. Beide können Informationen entweder über Kabel oder als kabellose Signale übertragen, wobei beide Möglichkeiten Auswirkungen auf die verfügbaren Kommunikationsprotokolle haben.

Kabelgebundene Kommunikation zwischen Kommandozentrale und den Konzentratoren verwendet in der Regel normale Ethernet-Kommunikationsprotokolle, die eine etablierte Technologie sind. [PE] Während Ethernet-Kabel zwischen Konzentratoren und Lampen theoretisch zwar möglich sind, würde dies zusätzliche Verkabelungen und damit zusätzliche Kosten nach sich ziehen. Stattdessen

verwenden kabelgebundene lokale Netzwerke für Straßenbeleuchtung normalerweise Powerline-Communication (PLC), die die Signale der Stromversorgung verändert, um Informationen auszutauschen.

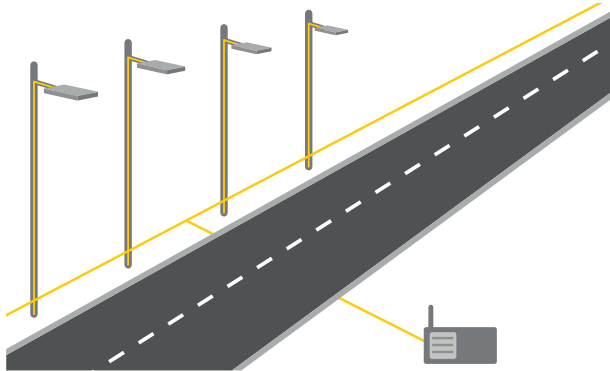


Abbildung 17: Power-line communication

Für drahtlose Kommunikation zwischen Kommandozentrale und den Konzentratoren ist es notwendig, dass die vergleichsweise großen Distanzen kabellos mit Funk-Signalen überbrückt werden können. Geeignete Protokolle sind unter anderem Wi-Fi (802.11), GPRS (General Packet Radio Services) oder WiMax.

Drahtlose Signale zwischen den Konzentratoren und den einzelnen Lampen können als Mesh implementiert werden, was den Vorteil hat, dass die einzelnen Knoten nicht in einer Sichtlinie liegen müssen, um eine unterbrechungsfreie Verbindung aufrecht zu erhalten. Wenn nötig, kann die Signalstärke mit Repeatern verstärkt werden. Zu den für diese Ebene geeigneten Protokollen zählen:

- DALI (Digital Addressable Lighting Interface): ein IEC-anerkannter Standard, der für die Steuerung von Vorschaltgeräten zur Überwachung der Lichttechnik entwickelt wurde. Allerdings können so nur bis zu 64 Knoten gesteuert werden.
- ZigBee: kostengünstige, stromsparende und Low-Data-Alternative für drahtlose Netzwerke. Dieses Protokoll hat allerdings Mängel in Bezug auf Verzögerungen und kann zu Verlangsamungen im Netzwerk führen.
- 6LoWPAN (IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks): [PE] Dieser Standard definiert kein spezielles Routing-Protokoll für ein bestimmtes System, was zwar mehr Flexibilität bietet, andererseits zusätzlichen Aufwand erfordert, um die für eine bestimmte Installation verwendeten Protokolle zu definieren. [SEN]



Abbildung 18: Drahtlose Kommunikation

### 3.3 Strategien zur Straßenbeleuchtungssteuerung

In den letzten Jahren wurden verschiedene Strategien unterschiedlicher Komplexität entwickelt, um zu entscheiden, wann Straßenbeleuchtung aktiviert werden sollte, wobei alle Vor- und Nachteile mit sich bringen.

#### 3.3.1 Astronomischer Timer

Astronomische Timer liefern präzise Informationen über Sonnenaufgangs- und Sonnenuntergangszeiten für eine beliebige geographische Position. Diese können im Vorhinein mit sehr hoher Genauigkeit für lange Zeiträume berechnet werden. Lichtsteuerungsstrategien, die auf astronomischen Timern beruhen, ziehen allerdings geographische Eigenheiten der Region, so wie große Hügel oder Berge, die die Sonne in der Dämmerung verdecken, nicht in Betracht. Außerdem können sie keinerlei Voraussagen über Wetterbedingungen, wie beispielsweise Stürme, treffen, die auch dann künstliche Beleuchtung erfordern können, wenn eigentlich Tageslicht herrschen würde.

Astronomische Timer können entweder simple Ein-/Aus-Schemen für Beleuchtung erstellen, die die Zeit zum Einschalten der Beleuchtung am Abend und das Ausschalten am Morgen spezifizieren, oder sie bestimmen Zeiträume in der späteren Nacht, in denen weniger Verkehr erwartet wird, während denen die Beleuchtung zwar eingeschaltet bleibt, aber mit einer verringerten Intensität arbeitet.

Einer der größten Vorteile von astronomischen Timern ist, dass sie zum Betrieb keine komplexen ICT-Systeme benötigen.

### 3.3.2 Tageslichtnutzung

Im Gegensatz zu astronomischen Timern verwenden Tageslichtnutzungsstrategien Photosensoren, um das Umgebungslicht zu messen und steuern die künstliche Beleuchtung, wenn das Umgebungslicht unter oder über bestimmte Schwellwerte fällt oder steigt. Besonders gut funktioniert dieser Ansatz mit Dimmen (siehe unten), da die Beleuchtung sowohl an lange Dämmerungsperioden (eine häufige Erscheinung in Regionen näher am Polarkreis) als auch an schlechtes Wetter angepasst werden kann. Die Photosensoren benötigen allerdings regelmäßige Reinigungsmaßnahmen, um fehlerfreien Betrieb sicherzustellen. Außerdem muss entschieden werden, ob ein einzelner Photosensor die Beleuchtung eines großen Bereichs steuert oder ob Lampengruppen oder sogar einzelne Lampen ihren eigenen Sensor haben. Ersteres verringert zwar die Komplexität des Systems, kann aber nicht auf alle lokalen Bedingungen reagieren (schattige Bereiche oder kleinere Wettererscheinungen) und stellt einen einzelnen Ausfallpunkt für das System dar. Letzteres bietet zwar mehr Flexibilität, erfordert aber auch den Kauf vieler zusätzlicher Sensoren und führt zu einem höheren Wartungsaufwand, um die Sensoren sauber zu halten.

Die Photosensoren können in eine größere ICT-Infrastruktur eingebettet werden, die (abhängig vom Sensoren-Setup) eine Echtzeit-Überwachung der Straßenausleuchtung ermöglicht. Auf diesem Weg können Probleme mit unzureichender Beleuchtung schnell identifiziert und behandelt werden.

### 3.3.3 Verkehrserkennung

Auf vielen Straßen ist das Verkehrsaufkommen eher gering, vor allem in der Nacht. Aus diesem Grund birgt das Reduzieren der Beleuchtung in Einklang mit den Anforderungen in der EN 13201 möglicherweise erhebliches Energieeinsparpotential. Um sicherzustellen, dass Verkehrsteilnehmer die Straßen dennoch sicher befahren können, können Verkehrserkennungssysteme installiert werden, die den Beleuchtungslevel bei Bedarf wieder anheben. Die häufigste Methode zur Verkehrserkennung – ob motorisierte Fahrzeuge, Radfahrer oder Fußgänger – sind Bewegungssensoren. Arten von Bewegungsmeldern sind:

**Ultraschall-Bewegungsmelder** erkennen die Änderung der Schallwellen, die von einem bewegten Objekt zurückgeworfen werden. Sie sind billig, können Objekte unabhängig von ihrem Material erkennen und werden kaum von Luftbewegungen von bis zu 10 m/s (36 km/h) beeinflusst. Sie haben jedoch eine geringe Reichweite und können durch Feuchtigkeit und hohe Temperaturen gestört werden.

**Mikrowellen-Sensoren** erkennen Änderungen von Mikrowellen, die von bewegten Objekten zurückgeworfen werden. Sie können auch kleine Bewegungen wahrnehmen und sind nicht empfindlich in Bezug auf die Temperatur von Objekten. Sie sind jedoch teurer und können zu falsch-positiven Meldungen führen, die durch Bewegungen außerhalb der gewünschten Zone ausgelöst wurden.

**Infrarot-Sensoren** erkennen die Wärmeunterschiede zwischen Objekten oder Personen und ihrer Umgebung. Sie sind rein passive Sensoren – emittieren also keinerlei Töne oder Strahlung, um Informationen über ihre Umgebung zu sammeln. Auch hier können jedoch heiße Luft, Regen oder heiße Objekten falsch-positive Meldungen auslösen.

**Videoverarbeitung** verwendet Kameras als smarte Sensoren, mit denen bewegte Objekte über Algorithmen erkannt werden. Sie können größere Bereiche als andere Systeme abdecken und erkennen nicht nur die Bewegung, sondern auch die Gegenwart von Objekten. Sie haben auch eine geringe Wahrscheinlichkeit für falsch-positive Meldungen. Die datenverarbeitenden Algorithmen sind jedoch recht komplex (dies schlägt sich in höheren Softwarekosten und in einem höheren Stromverbrauch wegen der zur Verarbeitung benötigten Leistung nieder) und sind vom Licht abhängig (dies kann mit Infrarotfiltern bis zu einem bestimmten Grad kompensiert werden).

**Bewegungserkennungssysteme** können auch kombiniert werden, so dass die Nachteile des einen Typs durch die Fähigkeiten des anderen kompensiert werden.

Wenn die Sensoren Bedarf an zusätzlicher Beleuchtung wahrnehmen, soll das System sicherstellen, dass die üblichen Anforderungen für die relevante Straßenbeleuchtungskategorie (siehe Abschnitt 2.2.1) eingehalten werden. Das bedeutet, dass der an einer bestimmten Lampe montierte Bewegungsmelder in der Regel nicht nur zur Steuerung dieser einen Lampe, sondern auch für eine oder mehrere anschließende Lampen verwendet werden sollte, so dass Verkehrsteilnehmer nicht schnell wechselnden Lichtverhältnissen oder Blendung ausgesetzt sind.

Jedes System, das auf Bewegungserkennung basiert und Bereiche abdecken soll, die nicht ausschließlich für Fußgänger gedacht sind, erfordert meist unweigerlich die Integration in ein größeres ICT-Setup. Dies hat aber auch den Vorteil, dass Verkehrsinformationen gesammelt werden können, die für Verkehrsregelungen, Stadtplaner, Rettungsdienste und andere Einrichtungen nützlich sein können.



### 3.3.4 Dimmen

Abhängig von Verkehr, Wetter und Umgebungslicht muss es nicht unbedingt notwendig sein, Lampen die ganze Nacht lang mit voller Leistung zu betreiben. Durch eine vernünftige Kombination von astronomischen Timern, Tageslichtnutzung und Verkehrserkennungsmethoden können mit Dimmen erhebliche Energieersparnisse erzielt werden – bei manchen Projekten wurden Ersparnisse von bis zu 85 % erreicht. Außerdem reduziert das kontinuierliche Steigern und Senken der Beleuchtung die psychologische Blendung für Anrainer. [BFE]

LEDs sind besonders gut für dimmbasierte Strategien geeignet, da sie beinahe ohne technische Komplikationen kontinuierlich gedimmt werden können, während andere Lampentypen, die als Straßenbeleuchtung verwendet werden, überhaupt nicht gedimmt werden können (Niederdruck-Natrium), beim Dimmen starke Farbverschiebungen aufweisen (Hochdruck-Quecksilber und Metallhalogenidlampen) oder in der Dimmbarkeit stark begrenzt sind (Hochdruckentladungslampe). [RL]

### 3.3.5 Überlegungen

Sowohl dynamische Straßenbeleuchtungssteuerung als auch fortschrittliche Steuerungslösungen wie Tageslichtnutzung und Verkehrserkennung sind sich schnell verändernde Technologiebereiche, und erfordern daher eine besonders sorgfältige Berücksichtigung der Hindernisse für ihre erfolgreiche Umsetzung.

Nationale und lokale Gesetze, Vorschriften und Normen für Straßenbeleuchtung berücksichtigen oft nicht die neu-

esten technologischen Entwicklungen. Es ist daher Vorsicht geboten, um sicherzustellen, dass die vorgeschlagenen Lichtsteuerungssysteme alle gesetzlichen Anforderungen erfüllen. Ein zusätzliches Problem stellt die Haftung dar – wenn das System aufgrund technischer Mängel nicht ordnungsgemäß funktioniert und deswegen gegen die lokalen Standards verstößt, muss klar ersichtlich sein, wer für die Störungen verantwortlich ist.

Da die Einführung einer dynamischen Straßenbeleuchtungssteuerung zu einem technischen System von beträchtlicher Komplexität führen kann, sollte der für die Installation verantwortliche Anbieter auch für den Betrieb zuständig sein, was voraussichtlich verlängerte Dienstleistungsverträge erfordert. Dies ist besonders wichtig, wenn die implementierte Lösung Systeme und Komponenten von mehreren Anbietern beinhaltet, die integriert und gelegentlich upgedatet werden müssen. Eine nachweisbare Erfolgsbilanz mit dynamischen Straßenbeleuchtungssystemen oder verwandten Technologien sollte bei der Anbieterauswahl als großer Vorteil gesehen werden.

Außerdem sollte jede Leuchte mit einem „Default“-Zustand programmiert werden, zu dem sie zurückkehren kann, wenn sie keine oder fehlerhafte Steuersignale erhält. Dieser „Default“-Zustand sollte eine grundlegende zeitbasierte Beleuchtungssteuerung darstellen, die gesetzliche Standards ohne dynamische Funktionen erfüllt. Darüber hinaus sollten im Fall eines kompletten Systemausfalls bestimmte Schlüsselpersonen in der Lage sein, kurzfristig das ganze Straßenbeleuchtungssystem oder zumindest Teile davon in diesen „Default“-Zustand zurückzusetzen, ohne dass ein unmittelbarer Eingriff des verantwortlichen Anbieters notwendig ist.

# 4. Beschaffung von Beleuchtungssystemen



## 4.1 Einführung

Das folgende Kapitel widmet sich dem Thema Beschaffung von energieeffizienten qualitative hochwertigen Beleuchtungssystemen für Straßenbeleuchtung. Eine Tabelle mit den empfohlenen PremiumLight-Pro Beschaffungskriterien findet sich im Anhang dieser Broschüre.

Das hier empfohlene Set von Beschaffungsanforderungen umfasst Eignungskriterien für die Auswahl des geeigneten Bieters, technische Mindestanforderungen, die grundsätzlich eingehalten werden sollen sowie Zuschlagskriterien. Für die Zuschlagskriterien wird ein Bewertungskonzept angeboten. Darüber hinaus werden allgemeine technische und vertragliche Aspekte behandelt. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die verschiedenen Kriterien und Anforderungen.

Tabelle 11: PremiumLight-Pro Mindestanforderungen und Zuschlagskriterien

A) Allgemeine technische Spezifikationen	
Plan/Layout des Straßensystems Spezifizierung von Straßen und Wegen sowie diesbezüglich passenden technischen Eigenschaften (Beleuchtungsstärke, Gleichmäßigkeit, Wartungsfaktoren etc.).	Der Beschaffer muss den Plan von Straßen und Wegen zur Verfügung stellen, für die ein Straßenbeleuchtungssystem implementiert wird, oder Straßentypen spezifizieren, für die Lichtpunkte (Leuchten und Masten) beschafft werden. Die Anforderungen aus EN 13201 sollen für alle Teile/ Bereiche des Straßenbeleuchtungssystems berücksichtigt werden. Unter anderem vom Beschaffer zu spezifizieren sind: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Level der Beleuchtungsstärke,</li> <li>• Level der Gleichmäßigkeit,</li> <li>• Wartungsfaktoren des Beleuchtungssystems</li> </ul> entsprechend EN 13201 oder basierend auf speziellen Anforderungen.
Lichtsteuerungsfunktionen	Der Beschaffer muss eine der folgenden drei Optionen wählen: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es sollen keine Lichtsteuerungsfunktionen in Betracht gezogen werden, da Lichtsteuerung bzw. Dimmen vom Beschaffer für das vorliegende Beleuchtungssystem als nicht geeignet befunden werden.</li> <li>• Der Beschaffer weiß über die Lichtsteuerungs-/Dimmoptionen Bescheid, die für das vorliegende Beleuchtungssystem geeignet sind und spezifiziert detaillierte Anforderungen an das Lichtsteuerungssystem.</li> <li>• Der Beschaffer ist nicht in der Position, die optimalen Lichtsteuerungsfunktionen für das Beleuchtungssystem zu spezifizieren, holt aber vom Anbieter ein Angebot für ein dimmbares System, begleitet von einer transparenten LCC-Berechnung, ein.</li> </ul>

## A) Allgemeine technische Spezifikationen

Energieverbrauchsmessung	<p>Der Beschaffer muss eine der folgenden drei Optionen wählen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es soll keine Energieverbrauchsmessung in Betracht gezogen werden, da eine Messung für das vorliegende Beleuchtungssystem vom Beschaffer als nicht geeignet befunden wird.</li> <li>• Der Beschaffer weiß über die für das vorliegende Beleuchtungssystem geeigneten Messoptionen Bescheid und spezifiziert detaillierte Anforderungen an das Messkonzept.</li> <li>• Der Beschaffer ist nicht in der Position, die optimalen Messoptionen für das System zu spezifizieren, holt aber vom Anbieter ein Angebot für ein geeignetes Messsystem, begleitet von einer transparenten LCC-Berechnung, ein.</li> </ul>
--------------------------	--

## B) Auswahlkriterien

	Obligatorische Anforderung	Zuschlagskriterium
Know-how und Erfahrung des Planungs- und Installationsteams	✓	
Vermögen des Anbieters, in einem bestimmten Zeitraum zu liefern.	✓	
Compliance mit ISO und EN Normen	✓	

## C) Technische Anforderungen und Zuschlagskriterien

Energiekriterien – Systemebene		
Jährlicher Energieverbrauch und Power Density Indicator	(✓)	✓
Power Factor	✓	✓
Lichtsteuerung: optional, wie in den allgemeinen technischen Spezifikationen (siehe oben)		✓
Energieverbrauchsmessung: optional, wie in den allgemeinen technischen Spezifikationen (siehe oben)		✓
Energiekriterien – Komponentenebene (für Projekte, in denen nur eine Komponente ersetzt wird)		
Energieeffizienz der Leuchte	✓	✓
Energieeffizienz des Treibers	✓	✓
Qualitäts- und Planungskriterien		
Farbtemperatur	✓	
Farbwiedergabe	✓	
Farbkonsistenz	✓	✓
Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke	✓	
Lichtverteilung, Gleichmäßigkeit der Beleuchtungsstärke	✓	✓
Lichtverschmutzung (ULOR)	✓	
Blendungsschutz (physiologisch und psychologisch)	✓	✓
Schutzart (IP-Bewertung)	✓	
Stoßfestigkeit (IK-Bewertung)	✓	
IEC Schutz	✓	
Überspannungsschutz	✓	
Prüfzeichen für alle Komponenten (ENEC, nationale Vorschriften)	✓	
Lebensdauer	✓	✓
Garantie	✓	✓

C) Technische Anforderungen und Zuschlagskriterien		
Verfügbarkeit von Ersatzteilen	✓	✓
Einfache Reparatur und Recycling	✓	✓
Design		✓
Qualitätskriterien nur für Projekte auf Komponentenlevel		
Lebensdauer der Leuchte	✓	✓
Lebensdauer des LED-Moduls	✓	✓
Lebensdauer des Treibers	✓	✓

D) Kostenkriterien		
TCO Berechnung (empfohlen)		✓
Investitionskosten (Rückfalloption)		✓

E) Vertragliche Angelegenheiten		
Inbetriebnahme von Beleuchtungssystemen und Steuerung	✓	
Korrekte Installation	✓	
Verringerung und Verwertung von Abfällen	✓	

## 4.2 Allgemeine Anforderungen

Tabelle A) umfasst einige grundsätzliche Spezifikationen, die in den frühen Phasen des Beschaffungsprozesses berücksichtigt werden sollten. Zu diesem Zeitpunkt müssen das Gesamtkonzept des Beleuchtungssystems und wesentliche Leistungsanforderungen entsprechend EN 13201 oder nach speziellen Bedürfnissen festgelegt werden. Unter anderem sind das:

- Level der Beleuchtungsstärke
- Level der Gleichmäßigkeit
- Wartungsfaktoren des Beleuchtungssystems.

Weiters müssen Lichtsteuerungsfunktionen und Energieverbrauchsmessungsoptionen spezifiziert werden.

### 4.2.1 Spezifizierung des Beleuchtungssystems

In der Frühphase des Prozesses ist unter anderem das Straßensystem zu spezifizieren, für das die neue Beleuchtung beschafft werden soll. Die relevanten Straßentypen sind auf Basis internationaler Standards (EN 13201) oder, sofern gewünscht, nationaler Standards zu spezifizieren.

### 4.2.2 Steuerungs- und Regelungsfunktionen sowie Vernetzung und Kommunikation

Im Rahmen der Projektplanung und Spezifikation ist auch festzulegen, welche Art von Steuerungs- und Regelungsoptionen gegebenenfalls vorzusehen ist. Für viele

Beleuchtungssituationen und Straßentypen werden eher einfache Optionen in Frage kommen. Umfassende smarte Steuerungs- und Regelungsmöglichkeiten werden eher speziellen Beleuchtungssituationen- bzw. Anwendungen vorbehalten bleiben. Die Evaluierung von unterschiedlichen Optionen erfordert gegebenenfalls die Beratung durch unabhängige Experten. Smarte Steuerungs- und Regelungsmöglichkeiten müssen auch den entsprechenden Qualitäts- und Sicherheitsanforderungen gerecht werden. Verschiedene technische Optionen sind in Kapitel 3 dieser Guidelines beschrieben. Die relevanten Optionen sind auch hinsichtlich Lebenszykluskosten zu bewerten. Weitere wichtige Aspekte sind Anforderungen hinsichtlich Kompatibilität und Vernetzung.

#### Kommunikation

##### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Die Vernetzungs- und Steuerungsoptionen müssen die Kommunikation mit den Steuerungseinheiten der einzelnen Leuchten ermöglichen. Die sogenannte PLC-Technologie (Power-Line Communication) bietet die Mindestanforderungen zur Erfüllung dieser Kriterien. Bei Bedarf können leistungsfähigere Kommunikationssysteme eingesetzt werden. Die Steuerungselektronik für die Leuchten sollte programmierbar sein und eine Fehlerrückmeldefunktion beinhalten.

### Kompatibilität mit Regelfunktionen

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Leuchten müssen mit Dimm- und sonstigen Regelfunktionen kompatibel sein (z.B. Zeitschaltung, Bewegungssteuerung, Tageslichtsteuerung etc.).

#### **Optionale Anforderung:**

Leuchten müssen mit einem Konstantlichtsteuerungssystem ausgestattet sein. Dies stellt sicher, dass die Leuchte trotz der graduellen Lichtstromabnahme von LEDs einen konstanten Lichtstromoutput liefert.

#### **Nachweis**

Der Bieter muss eine Dokumentation zur Verfügung stellen, die die Dimmfunktionen und die Schnittstelle für Dimmung beschreibt.

Als optionale Anforderung ist es vorteilhaft, wenn die Informations- und Kommunikationsmodule für das Lichtmanagement modifizierbar, modular und erweiterbar sind. Die Modifizier- und Erweiterbarkeit stellen sicher, dass das Steuerungssystem bei Bedarf aktualisiert und erweitert werden kann und bei Bedarf weitere Funktionen hinzugefügt werden können. Modularität erlaubt, dass Komponenten ausgetauscht oder erweitert werden können, ohne dass das gesamte System ausgetauscht werden muss. Kriterien für die Offenheit und Modifizierbarkeit umfassen unter anderem:

- Upgrade- und Updateplan
- Skalierbarkeit des Systems
- Beschreibung der Systemgrenzen und der internen Limitierungen
- Beschreibung der Modul-Schnittstellen und Standardisierung der Softwareschnittstellen
- Kompatibilität und Austauschbarkeit von Modulen
- Zugänglichkeit des Netzwerks, der Infrastruktur und der Daten, die im System gemeinsam genutzt werden
- Anschlussfähigkeit des Systems an andere Systeme, Anwendungen und Domänen.

### **4.2.3 Energieverbrauchsmessung und Monitoring**

Parallel zur Spezifizierung der erforderlichen Steuerungsfunktionen sollten auch die gewünschten Funktionen für die Energieverbrauchsmessung bzw. ein Energieverbrauchsmonitoring festgelegt werden. Optionen und Empfehlungen dazu sind in Kapitel 3 dieser Guidelines ausgeführt. Die Überwachung eines Beleuchtungssystems hinsichtlich optimalen Betriebs und Wartung sowie der Betriebs- und Energiekosten erfordert ein geeignetes Monitoring bzw. Messkonzept. AECI-Werte können nur durch entsprechende Messungen verifiziert werden. Messungen bzw. Monitoring erlauben im Weiteren eine rasche Feststellung von Fehlern und von Wartungsbedarf. Das Monitoring kann

auf verschiedenen Ebenen des Systems erfolgen und entsprechend unterschiedlich komplex sein. Passende Optionen sind entsprechend zu vergleichen und zu bewerten.

#### **PremiumLight-Pro-Anforderung:**

Falls spezifische Steuerungs- und Regelungsoptionen und/oder Funktionalitäten für Monitoring für das Projekt als sinnvoll eingestuft werden, sind die Funktionalitäten für die Ausschreibung entsprechend zu spezifizieren und zu beschreiben. Kosten und Vorteile der entsprechenden Funktionalitäten sind entsprechend in die LCC/TCO-Kalkulation miteinzubeziehen.

#### **Nachweis**

Bieter müssen entsprechende Optionen anbieten und beschreiben und die Kosten und Vorteile auch anhand einer LCC/TCO-Betrachtung beschreiben.

## **4.3 Eignungskriterien**

---

Eignungskriterien legen die allgemeinen Anforderungen unabhängig von den Produktkriterien fest. Die Kriterien umfassen unter anderem typischerweise das Know-how, die Kapazität sowie auch Zertifizierungen des Bieters.

### **4.3.1 Know-how und Erfahrung des Planungs- und Installationsteams**

Die Planung und Installation des Beleuchtungssystems wird gegebenenfalls durch einen oder durch mehrere Bieter abgedeckt. In beiden Fällen ist sicherzustellen, dass die Planungs- und Installationstasks von Teams mit adäquatem Know-how und Erfahrung durchgeführt werden.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Der Bieter bzw. die Experten, die für das Projekt verantwortlich sind, haben in den vergangenen drei Jahren fünf Projekte im Bereich LED-Straßenbeleuchtung durchgeführt, die hinsichtlich Größe und Komplexität mit dem geplanten Projekt vergleichbar sind.

#### **Nachweis**

Der Bieter muss die Personen spezifizieren, die für das Projekt verantwortlich sind und entsprechende Informationen zur Qualifikation, Erfahrungen sowie zu Zertifizierungen zur Verfügung stellen. Im Weiteren muss der Bieter eine Liste von vergleichbaren Projekten zur Verfügung stellen, die in den vergangenen drei Jahren durchgeführt worden sind. Falls Teile des Projekts in Form von Subverträgen durchgeführt werden, ist von den Subauftragnehmern vergleichbare Information zur Verfügung zu stellen. Die Projektgröße kann beispielsweise auf Basis der Lichtpunkte spezifiziert werden.

### 4.3.2 Kapazität des Bieters

#### PremiumLight-Pro Anforderung:

Der Bieter muss die entsprechende Kapazität für die zeitgerechte Projektabwicklung darstellen und bestätigen.

#### Nachweis:

Der Bieter muss die für das Projekt vorgesehenen Personalressourcen und den konkreten Zeitplan spezifizieren.

### 4.3.3 Compliance mit EN und ISO Standards

#### PremiumLight-Pro Anforderung:

Der Bieter muss über entsprechende EN- und ISO-Zertifizierungen verfügen.

#### Nachweis:

Der Bieter muss die entsprechenden Zertifizierungen nachweisen.

## 4.4 Technische Anforderungen (obligatorische Anforderungen und Zuschlagskriterien)

---

Die technischen Kriterien umfassen obligatorische Anforderungen und Zuschlagskriterien hinsichtlich Qualität und Energieeffizienz.

### 4.4.1 Energiebezogene Kriterien

#### 4.4.1.1 Leuchteneffizienz

Die folgenden Anforderungen spezifizieren eine Mindesteffizienz für LED-Leuchten. Die Leuchteneffizienz variiert mit der Lichtfarbe der Lichtquelle. Aus diesem Grund werden für verschiedene Farbtemperaturen unterschiedliche Effizienzanforderungen vorgeschlagen. Besonders Leuchten mit sehr niedriger Farbtemperatur (z.B. 2000 K) weisen vergleichsweise niedrige Effizienzwerte auf. Anforderungen an die Leuchteneffizienz werden jährlich aktualisiert, für das Jahr 2019 werden die neuen Levels im Herbst 2018 spezifiziert.

#### PremiumLight-Pro Anforderung:

Die folgenden Effizienzanforderungen werden für 2017 und 2018 spezifiziert:

- 4000 K:  $\geq 120$  lm/W
- 2700–3000 K:  $\geq 105$  lm/Watt
- $\leq 2000$  K:  $\geq 80$  lm/Watt.

Leuchten mit sehr niedriger Farbtemperatur (gelb-orange) sollten ausschließlich für spezielle Orte und Anwendungen eingesetzt werden, wo die Verwendung ausreichend gerechtfertigt ist (Vororte, Gebiete mit speziellen Naturschutzaspekten).

PremiumLight-Pro-Kriterien sind ausschließlich für LED-Beleuchtung gedacht, Effizienzwerte für traditionelle Technologien werden also nicht berücksichtigt.

#### Nachweis

Der Bieter muss die Effizienzwerte aller Komponenten in der technischen Dokumentation des Angebots spezifizieren und bestätigen. Lichtstrom und Leistung müssen normgerecht deklariert werden.

#### 4.4.1.2 AECI und PDI

Die Kriterien jährlicher Energieverbrauch "Annual Energy Consumption Indicator" (AECI) und "Power Density Indicator" (PDI) sind die wesentlichen Indikatoren für die Bewertung des Energieverbrauchs und der Effizienz auf Ebene des Beleuchtungssystems (siehe S. 18, Kapitel 2).

Wenn der Energieverbrauch und die Effizienz auf Systemebene bewertet werden, sind weitere Anforderungen auf Komponentenebene zumeist nicht erforderlich. Allerdings basieren Berechnungen zum AECI und PDI auch auf technischen Spezifikationen der Hardwarekomponenten und die Verifizierung der Produktinformationen ist daher erforderlich, um die Korrektheit der Berechnungen zu überprüfen. Der AECI deckt Aspekte wie Dimmung oder Konstantlichtbeleuchtung mit ab (CLO) (EN 13201-5:2016) und ist daher oft der zu bevorzugende Indikator.

In dieser ersten Version der PremiumLight-Pro-Kriterien sind AECI und PDI nur als Zuschlagskriterien angeführt. Deshalb sind keine Mindestanforderungen spezifiziert.

In Fällen, wo der Beschaffer verpflichtende Mindestanforderungen spezifizieren will, wird nachfolgend ein möglicher Ansatz vorgeschlagen.

#### PremiumLight-Pro-Anforderung:

PDI und AECI sollen vom Anbieter, wie in EN 13201-5:2016 spezifiziert und in Kapitel 2 dieses Dokuments weiter erläutert, berechnet werden:

Power Density Indicator (PDI)

$$D_p = \frac{P}{\sum_{i=1}^n (\bar{E}_i \times A_i)}$$

Annual Energy Consumption Indicator (AECI)

$$D_E = \frac{\sum_{j=1}^m (P_j \times t_j)}{A}$$

$D_p$  (PDI): Power density indicator

$D_E$  (AECI): Annual Energy Consumption indicator

P: Leistung (W)

$\bar{E}$ : mittlere horizontale Mindestbeleuchtungsstärke (lx)

A: beleuchtete Fläche (m<sup>2</sup>)

PDI und AECI müssen vom Bieter transparent berechnet und durch Messungen auf einem bestimmten Straßenstück bestätigt werden. Der AECI inkludiert meist Dimmung.

#### Nachweis

Der Bieter muss transparent berechnete AECI-Werte zur Verfügung stellen, oder alternativ dazu, sofern vertretbar, PDI-Werte (nach Standard EN 13201-5:2016). Der Bieter muss die photometrischen Daten für die Leuchte und die Informationen zu den Komponentenparametern zur Verfügung stellen, die für die AECI- und PDI-Berechnung erforderlich sind. Im Weiteren sind die technischen Spezifikationen der Lichtquelle zur Verfügung stellen (die Deklarationen sollen jeweils den europäischen Standards entsprechen). In Fällen mit Dimmung sollen die Anforderungen entsprechend EN 13201-5:2016 festgelegt werden (siehe Kapitel 2, Seite 14 ff. für weitere Details).

#### Alternativer Ansatz für Beschaffer, die Mindestanforderungen an die Energieeffizienz des Systems stellen wollen

Während PremiumLight-Pro keine verpflichtenden Anforderungen an die Effizienz auf Systemebene stellt, wird hier ein möglicher Ansatz für Beschaffer vorgeschlagen, die an Anforderungen an das System interessiert sind. Der Ansatz wird momentan von EU-GPP diskutiert. Die vorgeschlagenen Mindestwerte für PDI und AECI werden ausgehend von den Parametern Beleuchtungsstärke, Raumwirkungsgrad, Leuchteneffizienz, Systemwartung und Dimmfaktor berechnet (EU-GPP Draft August 2017, JRC Sevilla). Wir schlagen vor, den folgenden etwas vereinfachten Ansatz zu verwenden, der anstatt des Raumwirkungsgrades die Straßenbreite benutzt:

$$PDI < M / (\eta \times F_m \times 0,07 \times RW)$$

$$AECI < M \times PDI \times F_{dim} \times E_m \times T \times 1 \text{ kW}/1000 \text{ W}$$

$F_m$ : Wartungsfaktor des Beleuchtungssystems

RW: Straßenbreite

$F_{dim}$ : Dimmfaktor

$E_m$ : Beleuchtungsstärke

T: Zeit (h)

$\eta$ : Leuchteneffizienz

M: Anpassungsfaktor:

- M = 1,3 für existierende Systeme, wo die Positionen bestehender Lichtpunkte und Masten nicht verändert werden können.
- M = 1,2 für neue Beleuchtungssysteme

Zwei verschiedene Anpassungsfaktoren M = 1,2 oder 1,3 werden abhängig davon verwendet, ob das gesamte Beleuchtungssystem neu installiert wird (Position von Masten und Leuchten frei wählbar) oder ob bereits bestehende Masten verwendet werden.

#### 4.4.1.3 Leistungsfaktor

Die Relevanz des Leistungsfaktors für die Performance von Beleuchtungssystemen ist in Kapitel 2 erläutert. Aus der Sicht von PremiumLight-Pro werden zwei Anforderungen für 50 % Last und volle Last empfohlen.

#### PremiumLight-Pro-Anforderung:

M = 1,3 für Systeme, wo die Positionen bestehender Lichtpunkte und Masten nicht verändert werden können.

- Leistungsfaktor bei voller Last:  $\cos \phi \geq 0,9$
- Für dimmbare Systeme: Leistungsfaktor bei 50 % Last:  $\cos \phi \geq 0,8$

#### Nachweis

Der Bieter muss den Leistungsfaktor in der technischen Dokumentation deklarieren. Die Deklaration muss entsprechend den relevanten EU-Verordnungen und Standards erfolgen.

### 4.4.2 Qualitäts- und Designkriterien

#### 4.4.2.1 Lichtfarbe, Farbwiedergabe und Farbkonsistenz

##### Farbtemperatur (Lichtfarbe)

Für die Auswahl der Lichtfarbe (Farbtemperatur) ist der Straßentyp bzw. Anwendungsbereich zu berücksichtigen. Typischerweise werden Farbtemperaturen im Bereich von 3000 bis 4000 Kelvin gewählt. Gemäß Forschungsergebnissen unterstützt neutralweißes Licht die Wahrnehmung des menschlichen Auges effektiver als gelbliches Licht. Weißes Licht erscheint heller als gelbliches Licht (für Details zum Thema Farbtemperatur siehe Kapitel 2, Seite 10).

Entsprechend den unterschiedlichen Anwendungsbedürfnissen kann hinsichtlich der Auswahl der Farbtemperatur keine einheitliche Empfehlung gegeben werden. Die Auswahl ist entsprechend dem Anwendungsbereich zu treffen. PremiumLight-Pro beschränkt sich daher auf allgemeine Empfehlungen.



#### **PremiumLight-Pro Empfehlung:**

- Farbtemperatur für Wohngebiete oder Bereiche mit überwiegender Fußgängernutzung: ca. 3000 K.
- Farbtemperatur für stark befahrene Straßen mit hoher Verkehrsgeschwindigkeit und Bereiche mit komplexen Verkehrssituationen und gemischtem Verkehr: ca. 4000 K.

#### **Farbwiedergabe**

Neben der Farbtemperatur ist auch die Farbwiedergabe für die Wahrnehmung von Objekten und Objektfarben wesentlich. Hinsichtlich Farbwiedergabe lassen sich ebenfalls keine einheitlichen Anforderungen festlegen, sondern können lediglich allgemeine Empfehlungen für unterschiedliche Straßentypen gegeben werden.

#### **PremiumLight-Pro Empfehlung:**

- stark befahrene Straßen mit hoher Verkehrsgeschwindigkeit: Der Farbwiedergabeindex (CRI) muss höher als Ra 70 ( $Ra \geq 70$ ) sein.
- Straßen mit komplexen Verkehrssituationen und gemischtem Verkehr (Autos, Radfahrer, Fußgänger): Der Farbwiedergabeindex muss höher als Ra 80 sein.

#### **Farbkonsistenz**

Die Farbkonsistenz spezifiziert die Abweichung der Lichtquelle von der Lichtfarbe eines idealen schwarzen Strahlers. Die Veränderung dieser Farbabweichung kann auch über die Lebensdauer der Produkte betrachtet werden. Die Abweichungen werden durch sogenannte MacAdam-Ellipsen spezifiziert (für Details siehe Kapitel 2).

#### **PremiumLight-Pro Anforderung**

- Die Farbkonsistenz einer Lichtquelle zum Zeitpunkt der Installation muss innerhalb einer fünfstufigen MacAdam Ellipse liegen.
- Die Farbkonsistenz über die Lebensdauer sollte innerhalb einer sechsstufigen MacAdam Ellipse liegen.

#### **Nachweis**

Der Bieter muss die Einhaltung des Kriteriums im Angebot darstellen. Die Einhaltung der Standards hat den relevanten Standards und Regelungen entsprechend zu erfolgen.

#### **4.4.2.2 Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke**

Die Leuchtdichte und Beleuchtungsstärke sind entsprechend den Anforderungen für den jeweiligen Straßentyp und gemäß EN13201 festzulegen.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung**

- Die Beleuchtungsstärke muss entsprechend der Norm EN13201 festgelegt werden.

- Die Leuchtdichte muss entsprechend der Norm EN13201 festgelegt werden.

#### **4.4.2.3 Lichtverschmutzung**

Lichtverschmutzung kann als Lichtemission definiert werden, die nicht gewünschte Beleuchtungsaufgaben erfüllt, sondern zur Beleuchtung von Bereichen beiträgt, in welchen diese eigentlich unerwünscht ist (z.B. Nachthimmel, Häuser und Gärten). Wie in Kapitel 2 näher ausgeführt, sollte Lichtverschmutzung durch geeignete Lichtregelung möglichst weitgehend vermieden werden, zumal dadurch die Beleuchtungseffizienz insgesamt reduziert wird und negative Effekte für Bewohner und die natürliche Umwelt entstehen können (Irritation von Vögeln, Insekten etc.).

Der wichtigste Indikator zur Lichtverschmutzung ist der nach oben gerichtete Lichtanteil (Upward Light Output Ratio, ULOR), d.h. der Anteil der Lichtemissionen, der über der horizontalen Fläche im Bereich des Lichtpunktes abgegeben wird.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung**

- Der ULOR-Wert für die Leuchte soll für alle Straßentypen 0 % sein, außer wenn aus nachvollziehbaren Gründen andere Anforderungen gerechtfertigt erscheinen.

Die LED-Technologie erlaubt grundsätzlich eine präzisere Lichtverteilung als herkömmliche Technologien und dadurch auch geringere Lichtverschmutzung. Anforderungen an ULOR-Werte sind beispielsweise auch im Guide CIE 126:1997 spezifiziert worden.

Für traditionelle Hochdruckdampf lampen wurden sowohl tropfenförmige als auch flache Linsen eingesetzt. Heute werden für LED-Beleuchtung ausschließlich Flachglaslinsen empfohlen, die eine präzisere und effizientere Lichtverteilung erlauben. Damit können unerwünschte Lichtemissionen und beispielsweise Blendung durch Fenster in Wohngebäuden vermieden werden.

#### **Nachweis**

Der Bieter muss das photometrische File bereitstellen, das Informationen zum ULOR-Wert beinhalten muss.

#### **4.4.2.4 Blendungsschutz**

Blendung ist ein wichtiges Qualitätskriterium für Straßenbeleuchtung, zumal dadurch nicht nur die Beleuchtungsqualität sondern auch die Sicherheit beeinflusst wird. Sowohl für die physiologische als auch für die psychologische Blendung gibt es Klassifizierungen für unterschiedliche Blendungsniveaus (siehe auch Kapitel 2) mit den Klassen G1-G6 (physiologische Blendung) und D1-D6 (psychologische Blendung).

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

- Bezüglich der physiologischen Blendung wird eine Schutzklasse von mindestens G4 oder höher empfohlen. Es sollten generell Systeme mit flachen Abschirmungen verwendet werden
- Bezüglich der physiologischen Blendung wird für lokale Straßen und Wohngebiete die Verwendung von Produkten der Klasse D6 und für Straßen mit Fußgängerverkehr die Klasse D5 empfohlen.
- Ähnliche Anforderungen werden in verschiedenen nationalen und internationalen Guidelines empfohlen (z.B. dänische Guidelines für Straßenbeleuchtung).

#### **Nachweis**

Die Blendungsstufe ist vom Anbieter zu deklarieren.

#### **4.4.2.5 Schutzanforderungen für Leuchten**

##### Schutzart

Die Lichtqualität und Lampenhelligkeit wird durch die Menge an Staub und Feuchtigkeit, die in die Lampe eindringt, beeinflusst. Die Leuchte muss daher einen ausreichenden Schutz bezüglich dem Eindringen von Schmutz und Wasser aufweisen. Der Schutzfaktor wird durch die entsprechende IP-Klassifizierung dargestellt (nach CIE 154:2003). Die IP-Klassifizierung ist auch für den Leuchtenwartungsfaktor ausschlaggebend. Im Rahmen der Ökodesignverordnung EC/245/2009 wurde IP65 als Benchmark für die Straßenklassen ME1 bis ME6 und MEW1 bis MEW6 festgelegt. (IP65: kein Eindringen von Staub, kompletter Schutz gegen Regen- und Spritzwasser bei allen Witterungsbedingungen).

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

- Für alle Straßenklassen soll die Schutzart IP65 verwendet werden.

##### Stoßfestigkeit

Verschiedene Stoßfestigkeitsklassen werden für verschiedene Straßentypen und Anwendungssituationen empfohlen. In Dänemark werden beispielsweise die Schutzklassen IK06 bis IK10 angewendet [VEJ].

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

- Die Stoßfestigkeitsklasse der Leuchte soll mindestens IK07 oder höher sein.

#### **Nachweis**

Die entsprechenden Anforderungen auf Leuchtenebene sind vom Hersteller den relevanten EU-Verordnungen und Standards entsprechend zu deklarieren.

##### Schutzisolierung (IEC)

Die Schutzisolierung sichert eine ausreichende Isolierung von Teilen im Falle eines Defekts.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

- Alle Leuchten sollen einen elektrischen Schutz gemäß Klasse II aufweisen.

Dies stellt sicher, dass es zwei Isolierungsschichten gibt, die im Falle eines Defekts ausreichenden Schutz von Bauteilen liefern [z.B. WB und VEJ].

##### Überspannungsschutz

Überspannungsschutz bietet Schutz gegen Schäden durch Hochspannung.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

- Die Installation soll einen Überspannungsschutz im Bereich bis zu 10 kV haben.

Damit ist das System mit Ausnahme von extremen Überspannungen gut geschützt. Ein Überspannungsschutz im Bereich bis 4 kV wird häufig angewendet [SES]. Der vorgeschlagene Level ist etwas vorsichtiger ausgeführt.

#### **Nachweis**

Der Überspannungsschutz ist vom Anbieter zu deklarieren.

#### **4.4.3 Konformitätskennzeichnung**

Konformitätskennzeichnungen stellen sicher, dass die Komponenten des Beleuchtungssystems die wesentlichen Standards für elektrische Produkte erfüllen. Die CE-Kennzeichnung ist für jegliche Produkte verpflichtend, die im EU-Raum angeboten werden und wird daher als Anforderung nicht gesondert angeführt.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Alle Komponenten sollen die folgende Konformitätskennzeichnung aufweisen:

- ENEC (European Norm Electromechanical Certification).

#### **Nachweis**

Vom Anbieter ist für sämtliche Komponenten eine Konformitätskennzeichnung nachzuweisen.

##### **4.4.3.1 Lebensdauer, Garantie und Reparierbarkeit**

##### Lebensdauer der Leuchte und des LED-Moduls

Das Kriterium für die Nennlebensdauer ist als LxBy-Anforderung spezifiziert (siehe Kapitel 2). Für PremiumLightPro wird eine Spezifikation als L80B10-Wert gefordert.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

- Die Leuchte muss eine Nennlebensdauer bezogen auf L80B10 von 100.000 h aufweisen.

PremiumLight-Pro befasst sich ausschließlich mit Kriterien für LED-Technologie. Kriterien für Hochdruckdampflampen und andere Technologien werden daher nicht berücksichtigt. Die Richtlinien von topstreetlight.ch fordern beispielsweise ebenfalls eine Lebensdauer von mindestens 100.000 h. [SES]

#### **Nachweis**

Der Anbieter muss die technischen Spezifikationen der Leuchte nachweisen (basierend auf State-of-the-Art Messmethoden und, wo vorhanden, auf harmonisierten EU-Standards).

#### **Lebensdauer von Vorschaltgeräten**

Vorschaltgeräte sind eine häufige Fehlerquelle und daher ein wesentlicher Faktor, der den Bedarf für Wartung und Reparatur erheblich beeinflusst. Qualitativ hochwertige Komponenten erreichen eine Lebensdauer von 100.000 h, wohingegen Komponenten niedriger Qualität nur 30.000 Stunden oder weniger schaffen.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Die Ausfallsrate bei Vorschaltgeräten muss niedriger als 0,1 % pro 1.000 Stunden sein, bzw. niedriger als 10 % nach 100.000 Stunden.

#### **Nachweis**

Der Bieter muss die technischen Daten des Vorschaltgeräts deklarieren (basierend auf anerkannten Messmethoden, die, sofern verfügbar, auf anerkannten Europäischen Normen basieren sollen).

#### **Garantie**

Garantien für das Beleuchtungssystem bzw. für Komponenten sind relevante Vertragsaspekte, die die erwartete Lebensdauer von Projekten absichern. Eine lange Lebensdauer kann eine höhere anfängliche Investition in qualitativ hochwertigere Beleuchtungslösungen rechtfertigen.

Für Wartung und Reparatur sollten keine proprietären Werkzeuge erforderlich sein.

#### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Die Garantie oder die Servicevereinbarung sollten mindestens eine Periode von 10 Jahren umfassen und folgende Aspekte abdecken:

- a Kostenloser Ersatz von defekten Lichtquellen (oder Lichtquellen mit zu starker Lumenreduktion), Vorschaltgeräten oder Leuchten.

- b Ersatz der kompletten Charge von Leuchten, wenn mehr als 10 % der Charge defekt sind.

Die Garantie sollte folgende Fälle exkludieren:

- c Defekte aufgrund von Vandalismus, Unfall, Blitzschlag oder Sturm.
- d Defekte bei Lampen oder Leuchten, die unter abnormalen Bedingungen betrieben worden sind (z.B. Verwendung mit falscher Betriebsspannung).

#### **Reparierbarkeit und Verfügbarkeit von Ersatzteilen**

##### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

- Die Verfügbarkeit von Ersatzteilen soll über 10 Jahre hinweg garantiert sein. Betreffend der Reparierbarkeit müssen die Lichtquelle (Lampe oder LED-Modul) und relevante Komponenten leicht zugänglich und ersetzbar sein (z.B. direkt am Montagepunkt). Die Reparatur soll mit Standardwerkzeug möglich sein.

Verschiedene öffentliche Stellen fordern eine noch längere Verfügbarkeit von Ersatzteilen von beispielsweise 15 Jahren.

Heute zeigt sich unter anderem der Trend dazu, dass LED-Module komplett in Leuchten integriert sind und nicht durch neue Module ersetzt werden können. Angesichts der gegenwärtig verfolgten Strategie zur Kreislaufwirtschaft, sollte allerdings konsequent eine Austauschbarkeit der LED-Module gefordert werden.

#### **Nachweis**

Eine entsprechende Garantie oder ein Service-Agreement ist vom Anbieter entsprechend zur Verfügung zu stellen. Die Komponenten, die damit abgedeckt werden, sind entsprechend zu spezifizieren. Eine Ersatzteilliste ist gemeinsam mit einer Anleitung zur Verfügung zu stellen, die die Demontage und Montage der Komponenten beschreibt bzw. illustriert.

#### **4.4.4 Lebenszykluskosten/TCO**

Die Wirtschaftlichkeit von LED-Beleuchtungssystemen lässt sich am besten mit einem Lebenszykluskosten-Ansatz bewerten. Während die Beschaffungskosten deutlich höher sein können als bei traditionellen Systemen, sind die Gesamtkosten inkl. Betriebs- und Wartungskosten häufig niedriger. Eine Gesamtanalyse kann daher gegebenenfalls höhere Anfangskosten rechtfertigen.

##### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Der Bieter hat eine LCC- bzw. TCO-Berechnung für das Beleuchtungssystem zur Verfügung zu stellen, basierend auf einer Methodik, die vom Beschaffer spezifiziert wird. Beispielsweise kann einer der folgenden Ansätze verwendet werden:

- die Barwertmethode wie in CIE 115:2010 Technical Report, p. 24 dargestellt. [CIE]
- Die "durchschnittliche jährliche Kosten"-Methode wie in CIE 115:2010 Technical Report, p. 24 dargestellt. [CIE]
- die von "Requirement ID:10677:1 of the Swedish National Agency for Public Procurement (Uphandlings myndigheten)" spezifizierte Methode. [UM]

TCO-Bewertungen sollten unter anderem die folgenden Kostenarten und Kalkulationsparameter berücksichtigen: Arbeitskosten, Stromkosten, erwartete Lebensdauer der Leuchten, Wartungskosten (Zeitaufwand für die Leuchtenreinigung, Zeitaufwand für die Reparatur, Häufigkeit der Leuchtenreinigung, etc.).

#### Nachweis

Der Bieter muss eine LCC/TCO-Kalkulation basierend auf anerkannten Kalkulationsmethoden vorlegen, die vom Beschaffer zu spezifizieren sind.

### 4.4.5 Vertragliche Aspekte

Verschiedene Anforderungen hinsichtlich der Angebote beziehen sich nicht auf technische sondern auf vertragliche Aspekte.

Die korrekte Installation des Systems ist beispielsweise eine grundsätzliche Anforderung, die den sicheren und effizienten Betrieb sicherstellt. Die Beschaffungskriterien sollen daher auch Anforderungen hinsichtlich der Installation und der unterstützenden Information und Dokumentation für die Wartung beinhalten.

#### 4.4.5.1 Korrekte Installation und Kalibrierung

Eine korrekte Installation und Kalibrierung ist entsprechend wichtig, um die Qualität der Beleuchtung sicherzustellen. Die folgenden Anforderungen sollen gewährleisten, dass die Beleuchtung mit den Spezifikationen der Planung und den relevanten Standards übereinstimmt.

##### Korrekte Installation

##### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Der Bieter muss:

- sicherstellen, dass das Beleuchtungssystem einschließlich aller Komponenten (Leuchtmittel, Leuchten, Vorschaltgeräte, Messgeräte) exakt der Planung entsprechend installiert ist.
- eine Dokumentation der Systemkomponenten zur Verfügung stellen, die bestätigt, dass alle Komponenten der Planung entsprechen.

- eine Messung für ein zufällig ausgewähltes Straßensegment durchführen, die die Übereinstimmung mit den Spezifikationen und den relevanten Standards belegt. Unter anderem sollen der PDI und AECI auf Basis einer einwöchigen Messung nach EN 13201 ermittelt werden (Berechnung mit einer Toleranz von  $\pm 10\%$ ).
- verifizieren, dass die Anforderungen hinsichtlich Lichtverschmutzung eingehalten werden (Nachmessung des Auslegerwinkels für zufällig ausgewählte Leuchten ( $\pm 2^\circ$  Toleranz max.).

#### Nachweis

Der Bieter muss alle erforderlichen Informationen und Dokumente zur Verfügung stellen.

##### Kalibrierung

##### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Der Bieter muss sicherstellen, dass die Lichtmanagementfunktionen planungsgemäß funktionieren und der Energieverbrauch nicht höher ist, als in der Planung spezifiziert. Insbesondere die folgenden Funktionen müssen korrekt kalibriert sein und ordnungsgemäß funktionieren:

- tageslichtabhängige Steuerung
- verkehrsabhängige Steuerung
- Zeitschaltung.

#### Nachweis

Der Bieter muss das System entsprechend den Anforderungen bzw. Spezifikationen abstimmen. Im Weiteren sind entsprechende Informationen und eine Dokumentation für den Betrieb und die Wartung der Managementfunktionen zur Verfügung zu stellen.

##### Information und Dokumentation betreffend Wartung, Ersetzung und Rekalibrierung

##### **PremiumLight-Pro Anforderung:**

Eine verständliche Dokumentation soll sicherstellen, dass der Betreiber des Beleuchtungssystems mit allen relevanten Informationen ausgestattet ist, die für den effizienten Betrieb und die Wartung notwendig sind. Folgende Informationen müssen zur Verfügung stehen:

- Anweisung zur Demontage der Leuchten
- Anweisung zum Ersatz von Leuchtmitteln
- Anweisungen hinsichtlich Betrieb und Rekalibrierung der Lichtmanagementfunktionen sowie zur Anpassung von Abschaltzeiten.

#### Nachweis

Der Bieter muss eine entsprechende Dokumentation und Hinweise für die verantwortlichen Mitarbeiter zur Verfügung stellen.

#### 4.4.6 Reduktion von Abfall und Rückgewinnung von Materialien

Reduktion von Abfall und Rückgewinnung von Rohmaterialien sind für viele Beleuchtungsprojekte essentiell, zumal auch viele neue Systeme die alten Systeme ergänzen. Erhebliche Abfallmengen müssen gesammelt werden, damit verschiedene Materialien rückgewonnen werden können.

##### PremiumLight-Pro Anforderung:

Während der Demontage und der Neuinstallation müssen alle relevanten Komponenten gemäß der WEEE-Richtlinie (Richtlinie über Elektro- und Elektronik-Altgeräte) der EU getrennt und wiederverwertet werden [WEEE].

##### Nachweis

Der Bieter muss darstellen, wie Abfälle im Zuge der Deinstallation von Altsystemen und der Installation von neuen Beleuchtungssystemen gesammelt und verwertet werden.

#### 4.5 PremiumLight-Pro Zuschlagskriterien – Gewichtung und Ergebnis

Im vorhergehenden Abschnitt werden sowohl obligatorische Mindestkriterien als auch Zuschlagskriterien spezifiziert. Für die in Tabelle 12 gelisteten Auszeichnungskriterien wird auch ein Punktesystem angewendet, das eine Reihung der Angebote ermöglicht. Für die Berechnung der endgültigen Punktzahl wird eine Gewichtung von verschiedenen Kriterien benötigt. Der folgende Abschnitt gibt einen Vorschlag für ein mögliches Gewichtungskonzept..

Die Tabellen 12 und 13 zeigen die vorgeschlagene Gewichtung für die Zuschlagskriterien. Die zwei Ansätze zeigen Konzepte für Projekte mit und ohne TCO-Berechnung.

Für Projekte, bei denen ein robuster TCO-Ansatz angewendet werden kann, der die Hauptparameter im Bezug auf Investitions-, Betriebs- und Wartungskosten abdeckt, müssen nur einige zusätzliche Parameter einschließlich Qualität, Design, Garantie und End-Of-Life-Aspekte berücksichtigt werden. Energieverbrauch und Wartung werden bereits in den Elektrizitäts- und Wartungskosten berücksichtigt. Folglich ist die Gewichtung der TCO-Kriterien vergleichsweise hoch.

Wenn keine TCO-Berechnung verwendet wird, müssen Energie-, Wartungs- und Investitionskosten separat beurteilt werden.

Die Gewichtung der Kriterien wird typischerweise an lokale Anforderungen angepasst. Daher ist die hier vorgeschlagene Gewichtung nur eine von vielen Möglichkeiten.

Tabelle 12: Vorgeschlagene Gewichtung für Zuschlagskriterien für Projekte mit TCO-Information

Zuschlagskriterium	Gewichtung [%]	
Kostenkriterien basierend auf Total Cost of Ownership-Bewertung (TCO)	50	
TCO	Investitionskosten	15
	Stromkosten	20
	Wartungskosten	15
Qualitäts- und Planungskriterien	30	
Lichtqualität	20	
Planung	10	
Garantie, recyclingorientiertes Design	20	
Garantie	10	
Verfügbarkeit von Ersatzteilen, recyclingorientiertes Design	10	
Gesamt	100	

Tabelle 13: Gewichtung für Zuschlagskriterien für Projekte ohne TCO-Information

Zuschlagskriterium	Gewichtung [%]
Kostenkriterien	25
Investitionskosten	25
Qualitäts- und Planungskriterien	35
Lichtqualität und Lebensdauer	25
Planung	10
Energiekriterien	20
AECI oder PDI oder Effizienz der Komponenten (abhängig von der Projektart soll der geeignetste Indikator verwendet werden; manche Projekttypen erlauben nur die Verwendung von PDI oder der Effizienz der Komponenten)	20
Betrieb, Wartung, End-of-Life-Kriterien	20
Wartungs- und Reparaturfreundlichkeit	10
Garantie, Verfügbarkeit von Ersatzteilen	10
Gesamt	100

## Literaturverzeichnis

---

BAT – Bats in the Anthropocene: Conservation of Bats in a Changing World (2016). C. Voigt, T. Kingston (Editors). Springer Open

BFE – Energieeffiziente Straßenbeleuchtung mit LED (2016). Energie Schweiz, BFE

BG – Beleuchtungstechnik Grundlagen (2016). Baer, Barfuß, Seifert. HUSS-MEDIEN GmbH, Berlin

CIE – CIE 115:2010 Technical Report “Lighting of Roads for Motor and Pedestrian Traffic”, Commission Internationale De L’Eclairage

European Commission (2015a): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements (‘Lot 8/9/19’), Final report Task 3: Use of Light Sources

European Commission (2015b): Preparatory Study on Light Sources for Ecodesign and/or Energy Labelling Requirements (‘Lot 8/9/19’), Final report Task 4: Technologies

PD CEN/TR 13201-1:2014 – Street lighting. Guidelines on selection of lighting classes

EN 13201-2:2015 – Street lighting – Part 2: Performance requirements

EN 13201-3:2015 – Street lighting – Part 3: Calculation of performance

EN 13201-4:2015 – Street lighting – Part 4: Methods of measuring lighting performance

EN 13201-5:2015 – Street lighting – Part 5: Energy performance indicators

ENG – Engineering: Progress in Understanding Color Maintenance in Solid-State Lighting Systems (2015). Maryam Yazdan Mehra, Willem Dirk van Driela, G. Q. (Kouchi) Zhang, Volume 1, Issue 2, 2015, Pages 170–178

GPP – Revision of the EU Green Public Procurement Criteria for Street Lighting and Traffic Signals (2016); Technical report and criteria proposal (1st draft)

IIEC – International Institute for Energy Conservation (2015): Energy Efficiency Guidelines for Street Lighting in the Pacific; Bangkok

LRT – An examination of the fundamentals of street lighting for pedestrians and drivers (2004). P Raynham. Lighting Res. Technol. 36, 4 2004 pp. 307–316

LRT2 – A smart LED luminaire for energy savings in pedestrian street lighting (2015). E Juntunen, E Tetri, O Tapaninen, S Yrjänä, V Kondratyev, A Sitomaniemi, H Siirtola, EM Sarjanoja, J Aikio, V Heikkinen. Lighting Res. Technol. 2015; Vol. 47: 103–115

PE – The design and implementation of an energy efficient street lighting monitoring and control system (2012). Electrical Review, ISSN 0033-2097, R. 88 NR 11a

RO – Lighting (2014).D.C. Pritchard. Routledge

RL – Street lighting (2015): Fundamentals, Technology, and Application. Wout van Bommel, Springer

SdN – Schutz der Nacht – Lichtverschmutzung, Biodiversität und Nachtlandschaft (2013). BfN-Skripten 336, Bundesamt für Naturschutz, M. Held, F. Hölker, B. Jessel (Editors)

SEN – Streetlight Control System Based on Wireless Communication over DALI Protocol (2016). F J Bellido-Outeiriño, F JQuiles-Latorre, C D Moreno-Moreno, PMC

SES – Straßenbeleuchtung (2016). Effiziente Systeme – Empfehlungen für Gemeindebehörden und Beleuchtungsbetreiber. topstreetlight.ch

VEJ – Handbook Street Lighting – Construction and Planning (2015). Vejregler, Denmark

WEEE – Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE)

ZHA – Zhaga Interface specification book 1 (2015): overview and common information, Edition 1.7

ZHA5 – Zhaga Interface Specification Book 5 (2014): Socketable LED Light Engine with Separate Electronic Control Gear, Edition 1.2

ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. (2016): Leitfadensicherheitsrichtlinien in der LED-Beleuchtung- Begriffe, Definitionen und Messverfahren: Grundlagen für Vergleichbarkeit, Frankfurt am Main

ZVEI2 – Überspannungsfestigkeit in Leuchten der Schutzklasse II für die Straßenbeleuchtung (2014). Informationspapier, Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

ZVEI3 – Information zum Dimmen von LED-Lichtquellen (2014). ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V., 2014

## Bildnachweis

---

Innenstadt-Standort – Seite 16  
© Angelina Dimitrova / shutterstock.com

ländlicher Standort – Seite 17  
© Milan Noga / shutterstock.com

LED-Leuchtentyp 1 – Seite 23  
© Embeki / fotolia.com

LED-Leuchtentyp 2 – Seite 23  
© Jamrooferpix / fotolia.com

LED-Leuchtentyp 3 – Seite 23  
© Embeki / fotolia.com



PremiumLight-Pro Konsortium:



AUSTRIAN ENERGY AGENCY

Österreich

Österreichische Energieagentur

[www.energyagency.at](http://www.energyagency.at)



Tschechien

SEVEN, The Energy Efficiency Center

[www.svn.cz](http://www.svn.cz)



**Energy piano**

Dänemark

Energy piano



UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Portugal

Institute for Systems and Robotics,  
University of Coimbra



Vereinigtes Königreich

Energy Saving Trust

[www.energysavingtrust.org.uk](http://www.energysavingtrust.org.uk)

**co2online**

Deutschland

co2online gGmbH

[www.co2online.de](http://www.co2online.de)



Italien

Politecnico Milano

[www.energia.polimi.it](http://www.energia.polimi.it)



Spanien

Ecoserveis

[www.ecoserveis.net](http://www.ecoserveis.net)



Polen

FEWE, Polish Foundation for Energy

Efficiency, [www.fewe.pl](http://www.fewe.pl)

**Kontakt:**

Österreichische Energieagentur - Austrian Energy Agency

Mariahilfer Straße 136, A-1150 Wien

Telefon: +43 (1) 586 15 24

Internet: <http://www.premiumlightpro.at>