beauftragt durch

Handlungsempfehlungen für die Qualitätssicherung der Beleuchtung bei Um- und Nachrüstungsmaßnahmen

Folgende Handlungsempfehlungen für die Qualitätssicherung der Beleuchtung bei artenschutzrechtlich gebotener Um- und Nachrüstung wurden im Rahmen des Forschungsprojektes 77.0605 der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) erarbeitet und aus dem Forschungsprogramm Stadtverkehr (FoPS)[1] finanziert. Die Anwendung des hier vorgestellten Verfahrens soll sicher stellen, dass mit einer Um- oder Nachrüstungsmaßnahme sowohl die Anforderungen nach DIN (EN) 13201 als auch der künftigen Rechtsverordnung nach BNatSchG erfüllt werden. Falls es zum Beispiel aufgrund gegebener Straßengeometrien weder vor noch nach der Maßnahme möglich ist, die Anforderungen der DIN (EN) 13201 einzuhalten, gewährleistet die Anwendung des Verfahrens, dass die Maßnahme nicht zu einer Verschlechterung der Beleuchtungsqualität führt. Zusätzlich ermöglicht das Verfahren eine Bestimmung der Änderung des Energiebedarfs.
Da noch nicht klar ist, wie die die neuen Grenzwerte des §41 BNatSchG aussehen, ist das Verfahren offen gestaltet; entsprechende notwendige Anpassungen können nachträglich vorgenommen werden.

Mit in das Verfahren einbezogen wurden Ergebnisse eines 2023 abgeschlossenen BASt-Projektes (FE 82.0792/2021 „Vereinfachte lichttechnische Vermessung der ortsfesten Straßenbeleuchtung bei Dunkelheitsunfällen“). Hier wurden ein Verfahren zur Erhebung von Beleuchtungsstärken mittels eines Messfahrzeugs entwickelt sowie ein spezielles Kalibrierverfahren zur Erhebung von Leuchtdichten positiv evaluiert.

Inhalt

1 Hintergrund 2
2 Um- und Nachrüstungsmaßnahmen 3
3 Verfahren 5
3.1 Änderung Beleuchtungsniveau 7
3.2 Änderung Abstrahlcharakteristik 8
3.3 Änderung Spektrum 9
4 Beurteilungsbogen 10

[1] Nähere Informationen über das FoPS unter www.fops.de

1 Hintergrund

Künstliches Licht ist allgegenwärtig in Gebieten, in denen Menschen leben. Neben einer gewünschten Beleuchtung führt es zu schwerwiegenden Nebenwirkungen für Menschen, Flora, Fauna und das ganze Ökosystem. Mit Inkrafttreten des § 41 a BNatSchG werden daher Vorgaben entwickelt, welche Tiere, Pflanzen und Lebensräume vor den negativen Auswirkungen künstlicher Beleuchtung schützen sollen. Da im Zusammenhang mit artenschutzschonender Beleuchtung insbesondere die Parameter Beleuchtungsniveau, Abstrahlcharakteristik und Spektrum relevant sind, sind vornehmlich zu diesen Parametern Vorgaben jeweils in Abhängigkeit der Beleuchtungsumgebung zu erwarten.
Daneben müssen jedoch gleichzeitig die Anforderungen in Bezug auf die Verkehrssicherheit nach DIN (EN) 13201 erfüllt werden. Auch wenn die hier aufgestellten Vorgaben für Beleuchtungsniveaus, Gleichmäßigkeit, Blendung und Randbeleuchtungsstärkeverhältnis zum Teil veraltet sind und einer Überarbeitung bedürfen, sind sie maßgeblich für die Sicherstellung einer notwendigen Sichtbarkeit von Verkehrsteilnehmenden, bilden den Stand der Technik ab und werden bei Haftungsfragen von Gutachtenden herangezogen.
Künftig sind also teilweise konträre Anforderungen an Außenbeleuchtungsanlagen zu erfüllen, wie nachfolgend dargestellt:

Künftige Anforderungen an Außenbeleuchtungsanlagen

a. In Bezug auf Umweltverträglichkeit

Anforderungen durch das BNatSchG:
- möglichst niedrige Beleuchtungsniveaus
- möglichst wenig Blendung
- keine Himmelsaufhellung
- minimaler Lichtstrom in angrenzende Bereiche
- minimaler/kein Blauanteil

b. in Bezug auf Verkehrssicherheit

Mindestanforderungen nach DIN (EN) 13201:
- vorgegebene Beleuchtungsniveaus
- mit entsprechend hoher Gleichmäßigkeit
- und geringer Blendung
- geforderte Randbeleuchtungsstärkeverhältnisse

Generell ist ein Kompromiss zwischen Artenschutz und Verkehrssicherheit zu finden. Wichtig ist es, eine Überbeleuchtung zu vermeiden; hierbei helfen vor allem eine konsequente Beleuchtungsplanung, zeitliche Anpassungen über die Nacht, die richtige Einstufung in Beleuchtungsklassen sowie die korrekte Einmessung einer Anlage.

2 Um- und Nachrüstungsmaßnahmen

Um- und Nachrüstungsmaßnahmen an Beleuchtungsanlagen zur Verminderung von Lichtimmissionen sind konstruktive Möglichkeiten und Schutzmaßnahmen, die an bestehenden Anlagen vorgenommen werden. Hierbei bezeichnet der Begriff Umrüstung den Austausch von Leuchten und der Begriff Nachrüstung eine nachträgliche Ergänzung oder Änderung an einer bestehenden Anlage. Die komplette Neueinrichtung einer Beleuchtungsanlage inklusive Masten fällt nicht hierunter.
Für das Verfahren wurden folgende Um- und Nachrüstungsmaßnahmen definiert, die sich jeweils auf unterschiedliche relevante Beleuchtungsparameter beziehen:

Beleuchtungsparameter	**Umrüstung**	**Nachrüstung**
Änderung Beleuchtungsniveau *(statisch/adaptiv)*	Austausch Leuchte	Neueinstellung der Anlage
Änderung Abstrahlcharakteristik *(oberer Halbraum/Streulicht)*	Austausch Leuchte	Abschirmung
		Änderung der Neigung
Änderung Spektrum *(in der Regel Reduktion Blauanteil)*	Austausch Leuchte	Austausch Leuchtmittel
		Anbringung Blaulichtfilter

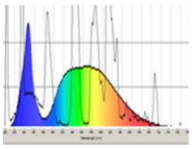
Eine Änderung des Beleuchtungsniveaus kann statisch oder adaptiv erfolgen. Im Falle einer statischen Änderung wird das Beleuchtungsniveau generell abgesenkt. Im Falle einer adaptiven Änderung wird zeit- oder verkehrsabhängig gedimmt. Die Zeiträume und Beleuchtungsniveaus werden dabei entweder vorher genau festgelegt oder es erfolgt eine dynamische Erfassung des Verkehrsaufkommens mittels Sensorik oder Zählschleifen. Für die vereinfachte Umsetzung adaptiver Systeme kommt auch eine vorprogrammierte Dimmung mittels Zhaga in Frage.

Beispiel unterschiedlicher Dimmlevel, Heiningen, TU Berlin

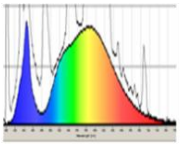
Eine Änderung der Abstrahlcharakteristik kann sich auf die Reduktion der Beleuchtung der umliegenden Flächen zur Verminderung von Streulicht beziehen, auf eine Verminderung der Abstrahlung in den oberen Halbraum, oder auf beides.

Beispiel einer geänderten Abstrahlcharakteristik, mit und ohne Beleuchtung der Fassade, LED Laufsteg TU Berlin

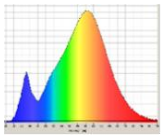
Eine Änderung des Spektrums zielt in der Regel auf eine Reduktion des Blauanteils, auch wenn nicht die spektralen Empfindlichkeiten der schützenswerten Arten stark varriieren. Die Änderung ist entweder durch einen Leuchtentausch oder den Austausch des Leuchtmittels zu erreichen. Ein ungeprüfter Austausch von Leuchtmitteln ist hierbei jedoch nicht zu empfehlen, da die lichtlenkenden Systeme einer Leuchte speziell auf ihr Leuchtmittel abgestimmt sind und ein Leuchtmitteltausch daher zu vollkommen unspezifischen Beleuchtungsergebnissen in Bezug auf die Abstrahlcharakteristik führen kann, was unter Umständen größere Lichtimmissionen als vor dem Tausch verursacht. Die Verminderung des Blauanteils kann weiterhin durch die nachträgliche Anbringung einer speziellen Folie erfolgen. Hierbei kann es jedoch zu unerwünschten Absenkungen des Beleuchtungsniveaus kommen.



5700 K, 139 lm/W



4000 K, 136 lm/W



3000 K, 113 lm/W

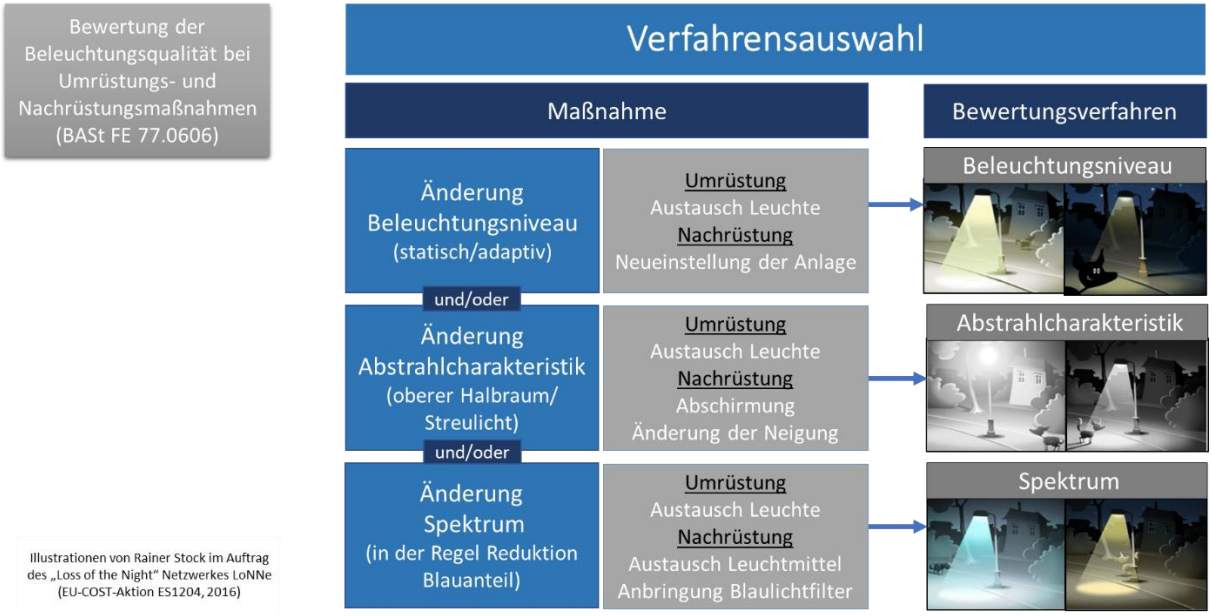
Beleuchtung mit unterschiedlichen Spektren, LED Laufsteg TU Berlin

► Generell sollten vor allem Maßnahmen bezüglich der Parameter Beleuchtungsniveau und Abstrahlcharakeristik ergriffen werden, da hier die positiven Effekte auf den Artenschutz am größten sind und für alle Arten gelten.

Die Durchführung von Um- und Nachrüstungsmaßnahmen kann mehrere Parameter betreffen. So kann beispielsweise eine Anpassung des Beleuchtungsniveaus auch eine geänderte Abstrahlcharakteristik beinhalten, wenn zum Beispiel Fassaden zu bestimmten Zeiten ausgespart werden, oder es kann bei einem Leuchtentausch zur Änderung der Abstrahlcharakteristik gezielt ein Leuchtmittel mit niedrigerem Blauanteil verwendet werden.

3 Verfahren

Je nachdem, auf welchen Planungsparameter eine geplante Um- oder Nachrüstungsmaßnahme abzielt, sind unterschiedliche Verfahren zu wählen. Bei Änderungen mehrerer Parameter sind die Verfahren gegebenenfalls zu kombinieren.



► Generelle Empfehlungen

Generell ist die Vorher-Situation ist zu erheben. Denn nur so ist es möglich, festzustellen, ob mit der Maßnahme eine Verbesserung der Beleuchtungsqualität erreicht wird.

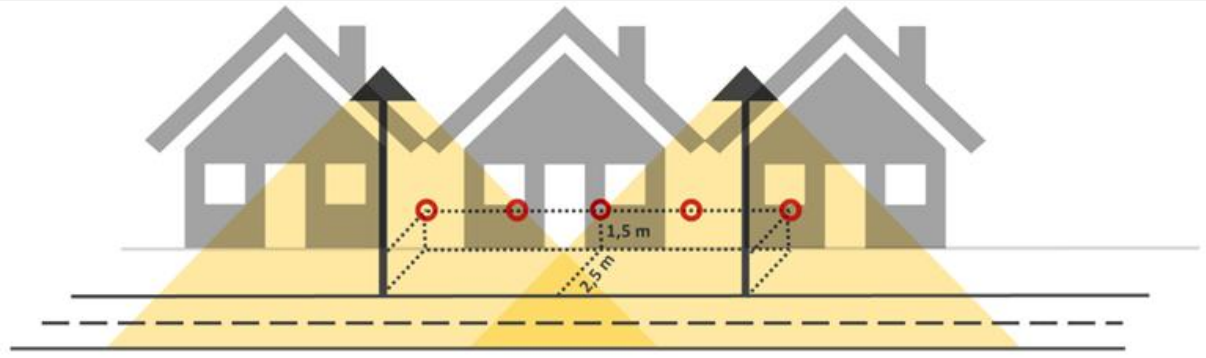
Die Vorher-Betrachtung umfasst eine messtechnische Überprüfung des Beleuchtungsniveaus sowie der vertikalen Beleuchtungsstärken gemäß unten aufgeführtem Messraster. Alternativ kann eine kritische Bewertung der vorhandenen Geometrien und bisher verwendeten Leuchten mittels Leuchtenkataster vorgenommen oder eine Begehung durchgeführt werden mit anschließender Dokumentation der Beobachtungen. Von Interesse sind hier z. B. direktes oder reflektiertes Licht von anderen Lichtquellen, Reflexionen von Fassaden und Interferenzen durch Bäume oder Hindernisse, um einen möglichen negativen Einfluss auf die Aufhellung der Umgebung identifizieren und bereits im Vorfeld berücksichtigen zu können. Im Rahmen der Vorher-Betrachtung sollten auch Beleuchtungszweck und -ort definiert werden. Ebenfalls kann eine Befragung der Anwohner und eine Auswertung möglicher vorhergehender Beschwerden wertvolle Hinweise für die Planung der Maßnahme liefern.

Generell zu empfehlen ist eine Bemusterung möglicher Leuchtentypen.

Nach einem Leuchtentausch sollte grundsätzlich auch die Neigung überprüft werden zum Beispiel mit Hilfe einer Wasserwaage, da Simulationen im Projekt zeigten, dass der Einfluss der Neigung auf die mittlere Beleuchtungsstärke bis zu 18 % betragen kann. Weiterhin sind in jedem Fall die Angaben im Datenblatt abzugleichen sowie Montagefehler auszuschließen. Alle Maßnahmen sind darüber hinaus im Leuchtenkataster zu erfassen.

► **Messraster zur Überprüfung vertikaler Anteile**

Für die Überprüfung der vertikalen Anteile vor und nach einer Maßnahme ist eine vereinfachte Beleuchtungsstärkemessung an insgesamt fünf Messpunkten auf einer Bezugsebene 2,5 m hinter beziehungsweise zwischen zwei Masten in 1,5 m Höhe durchzuführen. Bei breiteren Gehwegen, näher stehenden Fassaden oder näher anliegenden zu schützenden Flächen ist der Abstand gegebenenfalls zu vergrößern bzw. zu verringern. Die Messpunkte befinden sich jeweils direkt hinter zwei benachbarten Leuchten, in der Mitte zwischen zwei benachbarten Leuchten sowie wiederum mittig zwischen Leuchte und mittlerem Messpunkt, wie in nachfolgender Skizze gezeigt. Bei sichtbarem Schattenwurf hinter dem Leuchtenmast ist der dem Mast nächstgelegene erste Punkt ohne Schatten als Messpunkt zu wählen.

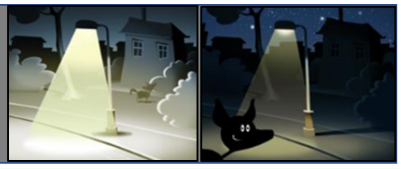


Messraster zur vereinfachten Überprüfung vertikaler Beleuchtungsstärken, TU Berlin

Im Folgenden wird näher auf die einzelnen Verfahren eingegangen sowie je Verfahren eine Übersicht gegeben. Für die Anwendung der Verfahren ist je Maßnahme die am Ende dieser Empfehlung bereitgestellte Checkliste zu verwenden.

3.1 Änderung Beleuchtungsniveau

Beleuchtungsniveau
- statisch/dauerhaft
- adaptive Konzepte



Austausch Leuchte	Neueinstellung Anlage
Umrüstung	Nachrüstung

Vorher-Erfassung	Vorher-Messung inkl. vertikaler Beleuchtungsstärke gemäß Messraster, Begehung mit Dokumentation, Anwohnerbefragung, Beleuchtungszweck und -ort definieren
Planungsphase	• Bemusterung • Konstantlichtstromregelung (w = 1)
	• Ermittlung der Beleuchtungsklasse für das betreffende Gebiet • Simulation mit Dialux, Relux oder AGI32 • Mindestvorgaben DIN 13201 und weitere Vorgaben beachten • Berechnung vertikaler Anteile 2,5 m auf einer Ebene hinter dem Mast in 1,5 m Höhe
	Bei adaptiven Konzepten **zusätzlich**: • Vorgabe von Beleuchtungsklassen und Werten für verschiedene Zeiten • Dimmkurven und ggf. Verkehrsaufkommen müssen bekannt sein • Alternativ vorprogrammierte Dimmung mittels Zhaga
Nach Umrüstung	• Einmessung & regelmäßige Wartung und Überprüfung • Überprüfung Beleuchtungsniveau, **alternativ:** vereinfachte Messung mittels Messfahrzeug$_{TU,}$ Sichtkontrolle, Messung Stromverbrauch, Check im Controller • Überprüfung vertikale Beleuchtungsstärke gemäß Messraster
	• Überprüfung Datenblatt • Überprüfung Montagefehler • Überprüfung Neigung
	Erfassung der Maßnahme im Leuchtenkataster

► Planungsphase

Zunächst muss die Beleuchtungsklasse nach DIN (EN) 13201 für das betreffende Gebiet ermittelt werden; bei adaptiven Konzepten entsprechend mehrere Klassen, je Zeit oder Verkehrsaufkommen. Die Dimmkurven der Leuchten müssen bekannt sein. Statt individueller Einstellungen kann eine vorprogrammierte Dimmung mittels Zhaga vorgenommen werden. Für alle Klassen sind die entsprechenden Mindestvorgaben sowie gegebenenfalls weitere Vorgaben zu beachten.

Die Planung kann mit Dialux, Relux oder AGI32 erfolgen – bei Umrüstungen unter Anwendung einer Konstantlichtstromregelung (Wartungsfaktor w = 1). Zur Berücksichtigung vertikaler Anteile ist Streulicht in einer Bezugsebene 2,5 m hinter dem Mast in 1,5 m Höhe zu berechnen.

► Nach Umrüstung

Bei einem Leuchtentausch ist vor Installation das Datenblatt zu prüfen. Nach der Maßnahme muss eine Einmessung der Anlage erfolgen. Insbesondere bei M-Klassen kann es aufgrund der Nichtkenntnis der Reflexionsgrade der Straßendeckschicht ansonsten leicht zu einer Über- oder Unterbeleuchtung kommen. Alternativ kann für P-Klasssen eine vereinfachte Messung mittels des Messfahrzeugs$_{TU}$ erfolgen. Zur Überprüfung der vertikalen Anteile ist eine vereinfachte Beleuchtungsstärkemessung gemäß Messraster durchzuführen.

Für eine vereinfachte Überprüfung einer adaptiven Beleuchtung kann zunächst eine Sichtkontrolle vorgenommen werden. Hinweise auf eine erfolgreiche Umstellung liefern auch Änderungen im Stromverbrauch sowie Einstellungen im Controller. Eine genaue Überprüfung umfasst lichttechnische Messungen zu den verschiedenen Dimmzeiten. Montagefehler sind auszuschließen.

3.2 Änderung Abstrahlcharakteristik

Abstrahlcharakteristik
- Begrenzung der zu beleuchtenden Fläche
- Begrenzung der Abstrahlung nach oben

	Austausch Leuchte	Abschirmung	Änderung Neigung
	Umrüstung	Nachrüstung	Nachrüstung
Vorher-Erfassung	Vorher-Messung inkl. vertikaler Beleuchtungsstärke gemäß Messraster, Begehung mit Dokumentation, Anwohnerbefragung, Beleuchtungszweck und -ort definieren, Notwendigkeit vertikaler Anteile prüfen		
Planungsphase	Bemusterung		
	Wartungsfaktor W = 1	Neue LVK vom Hersteller	
	• Simulation mit Dialux, Relux oder AGI 32 • Mindestvorgaben DIN 13201 und weitere Vorgaben beachten • Utilanzen und Randbeleuchtungsstärkeverhältnisse festlegen • Berechnung vertikaler Anteile 2,5 m auf einer Ebene hinter dem Mast in 1,5 m Höhe • Photometric toolbox und/oder OSP-Überprüfung von BUG-Einstufung und Streulicht		
Nach Umrüstung	Kritische Winkel mit Winkelmesser überprüfen		
	• Nachmessung des Beleuchtungsniveaus, **alternativ:** vereinfachte Messung mittels Messfahrzeug$_{TU}$ • Überprüfung vertikale Beleuchtungsstärke gemäß Messraster		
	• Überprüfung Datenblatt • Überprüfung Montagefehler • Überprüfung Neigung		
	Erfassung der Maßnahme im Leuchtenkataster		

► Planungsphase

Für die Simulation können Dialux, Relux oder AGI32 verwendet werden. Der Wartungsfaktor bei Umrüstungen ist auf w = 1 einzustellen. Bei Verwendung abgeschirmter Leuchten, sind differenzierte LVKs des Herstellers zu verwenden. Abschirmungen anderer Hersteller als der der ursprünglichen Leuchten werden nicht empfohlen. Die Mindestvorgaben nach DIN (EN) 13201 sowie mögliche weitere Vorgaben sind zu beachten. Utilanzen und Randbeleuchtungsstärkeverhältnisse sind festzulegen.

Neben der Kalkulation der Gütemerkmale nach DIN (EN) 13201 ist eine simulative Bewertung der Beleuchtungsstärken auf den umgebenden Fassaden oder Flächen vorzunehmen, um die Auswahl einer Alternative mit einer möglichst geringen Aufhellung zu ermöglichen. Hierzu ist Streulicht in einer Bezugsebene 2,5 m hinter dem Mast in 1,5 m Höhe sowie in Masthöhe zu berechnen und ggf. die Outdoor-Site -Lighting Performance Methode (OSP) zu verwenden.

Folgende Hinweise sind zu berücksichtigen:

- Der Wartungsfaktor ist auf 1,0 einzustellen.
- Die photometrischen Daten der LVK dürfen in der Vertikalen einen Winkelabstand von höchstens 2,5° und im Azimut einen Abstand von höchstens 10° aufweisen. Sie müssen Messungen enthalten, die in der oberen Hemisphäre durchgeführt wurden, damit Simulationsprogramme die ULR angemessen berechnen können.
- Der Reflexionsgrad der Oberflächen sollte, soweit bekannt, verwendet werden, insbesondere wenn er spiegelnd und > 0,7 ist. Alternativ ist nur der Direktanteil der Beleuchtungsstärke zu berücksichtigen.
- Bäume sind nicht als Hindernis zu betrachten, da deren Einfluss jahreszeitlichen Schwankungen unterliegt.

Ggf. zusätzliche Anwendung der Photometric Toolbox zur Überprüfung der BUG-Einstufung

► Nach Umrüstung

Vor der Installation kann die Abstrahlcharakteristik im Falle eines Leuchtentauschs oder abgeschirmter Leuchten zunächst mit Hilfe eines Winkelmessers überprüft werden. Weiterhin ist das Datenblatt zu prüfen. Nach der Installation sind Montagefehler auszuschließen sowie eine vereinfachte Beleuchtungsstärkemessung gemäß Messsraster durchzuführen. Weiterhin ist das Beleuchtungsniveau messtechnisch zu überprüfen.

3.3 Änderung Spektrum

	Spektrum		
	Austausch Leuchte	Austausch Leuchtmittel	Blaufilter
	Umrüstung	Nachrüstung	Nachrüstung
Vorher-Erfassung	Vorher-Messung inkl. vertikaler Beleuchtungsstärke gemäß Messraster, Begehung mit Dokumentation, Anwohnerbefragung, Beleuchtungszweck und -ort definieren, Berücksichtigung der Umgebung		
Planungsphase	Bemusterung		
	• Leuchtenauswahl nach gewünschtem Spektrum, ggf. Berechnung G-Index oder alternativer Indizes • Vorgaben beachten (Lichtmasterpläne, Landesgesetze) • Auswirkungen auf die Energieeffizienz beachten		
	Planung von Beleuchtungsniveau und Abstrahlcharakteristik gemäß entsprechender Verfahren	Auswirkungen auf die Abstrahlcharakteristik prüfen	Auswirkungen auf das Beleuchtungsniveau prüfen
Nach Umrüstung	Sichtkontrolle, Messung des Spektrums (ggf. auch umliegender Lichtquellen)		
	• Überprüfung Datenblatt • Überprüfung Montagefehler • Überprüfung vertikale Beleuchtungsstärke gemäß Messraster		
	Überprüfung Neigung		
	Erfassung der Maßnahme im Leuchtenkataster		

► Planungsphase

Auch hier ist auf die Einhaltung externer Vorgaben beispielsweise auf Grundlage von Landesgesetzen oder Masterplänen zu achten. Wichtig ist auch die Berücksichtigung der Umgebung; so kann z. B. bei braunen Gewässern eine höherer Blauanteil besser für das Ökosystem sein, als ein niedrigerer.

Zu beachten sind außerdem Auswirkungen auf die Energieeffizienz, sowie mögliche Auswirkungen auf die Abstrahlcharkateristik bei einem Leuchtmitteltausch und Auswirkungen auf das Beleuchtungsniveau bei der Verwendung von Blaulichtfiltern.

Für die Auswahl geeigneter Leuchten bzw. Leuchtmittel ist beispielsweise der G-Index zu berechnen.

► Nach Umrüstung

Vor Installation ist das Datenblatt zu prüfen und auf besondere Montagehinweise zu achten.

Nach Installation kann zunächst eine Sichtkontrolle erfolgen. Eine messtechnische Überprüfung des Spektrums sollte gegebenenfalls auch umliegende Lichtquellen mit einbeziehen.

Wichtig ist eine messtechnische Überprüfung des Beleuchtungsniveaus bei der nachträglichen Ausstattung einer Leuchte mit einem Blaulichtfilter sowie generell eine Überprüfung von Montagefehlern.

Zur Überprüfung der vertikalen Anteile ist eine vereinfachte Beleuchtungsstärkemessung gemäß Messraster durchzuführen.

4 Beurteilungsbogen

Ort:
Beleuchtungsumgebung:
Beleuchtungszweck:

Anzahl Lichtpunkte:
Lichtpunkthöhe:
Mastabstand:

Maßnahme:

Zeitpunkt:

Vorher

Messung am:

Anlage aus E_m: _____ L_m: _____

Anlage ein E_m: _____ E_{min}: _____ $E_{v2,5m/1,5m}$: _____ L_m: _____ U_o: _____

D_p: _____ D_E: _____ Utilanz: _____ G-Index: _____

Besonderheiten Vor-Ort (z. B. Bäume, Verschmutzte Leuchten, andere Lichtquellen, Sky Glow):
_____
_____
_____
_____

Nachher

Datenblatt stimmt mit Bestellung überein ☐ Montage überprüft ☐

Neigung überprüft ☐

Messung am:

Anlage aus E_m: _____ L_m: _____

Anlage ein E_m: _____ E_{min}: _____ $E_{v2,5m/1,5m}$: _____ L_m: _____ U_o: _____

D_p: _____ D_E: _____ Utilanz: _____ G-Index: _____

Besonderheiten vor Ort (z. B. Bäume, Verschmutzte Leuchten, andere Lichtquellen, Sky Glow):
_____
_____
_____
_____

Erfassung Leuchtenkataster ☐