



Schweizer Licht Gesellschaft
Association Suisse pour l'éclairage
Associazione Svizzera per la luce
Associaziun Svizra per la glisch

Olten, 08. September 2016

Ermittlung der vertikalen Beleuchtungsstärke an Fassaden im Nahbereich von optimal geplanten Strassenbeleuchtungen

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)



Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Lärm und NIS, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Schweizer Licht Gesellschaft SLG

Das vorliegende Dokument ist von der Arbeitsgruppe „Normen“ der Fachgruppe 51 „Strassen und Plätze“ der Schweizer Licht Gesellschaft SLG erarbeitet worden.

Die Arbeitsgruppe umfasste folgende Mitglieder:

- Jörg Haller, Zürich (Vorsitzender)
- Thomas Blum, Villarsel-le-Gibloux
- Urs Etter, Wil (SG)
- Jörg Imfeld, Wädenswil
- Michael Rammelt, Birmenstorf
- Hans-Ulrich Rothenbühler, Hombrechtikon
- Thomas Rutschi, Mellingen
- Stephan Werder, Geroldswil

Begleitung BAFU: Alexander Reichenbach

Hinweis: Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.



Inhaltsverzeichnis

1 Aufgabenstellung	4
2 Konzept der Berechnungen und Auswertungen	5
3 Vergleich der Störwirkung mit Natriumdampf-Hochdrucklampen und LED	6
4 Berechnungsergebnisse	8
5 Anhang.....	11
5.1 Verzeichnis der Abkürzungen	11

1 Aufgabenstellung

Das Bundesamt für Umwelt BAFU ist beauftragt eine bestehende Vollzugshilfe zur Vermeidung von unnötigen Lichtemissionen aus dem Jahr 2005 zu überarbeiten. Im Rahmen von Vorbereitungsarbeiten zu dieser Aktualisierung wurden die Strassenbeleuchtungen speziell thematisiert. Denn zum einen stellt die öffentliche Beleuchtung eine der Hauptquellen von Lichtemissionen dar und zum andern kommt ihr wegen der grossen Sicherheitsfunktion im Strassenverkehr eine bedeutende Rolle zu. Es wurde angeregt, vertieft abklären zu lassen, welche Immissionen bei angrenzenden Wohnhäusern bei verschiedenen Beleuchtungssituationen und Leuchtentypen von Strassenbeleuchtungen auftreten können.

Im Rahmen dieser Studie sollen für repräsentative Strassensituationen optimale Beleuchtungskonzepte geplant und die resultierenden Immissionen (vertikale Beleuchtungsstärke) bei angrenzenden Fassaden berechnet werden. Die Untersuchungen sollen zur Abklärung beitragen, welche Immissionen bei einer normgerechten Beleuchtung der Strasse bei angrenzenden Wohnhäusern auftreten können und wie diese Immissionen mit Beleuchtungen nach dem aktuellsten Stand der Technik minimiert werden können.

Im Moment gibt es Grenzwerte für die Störwirkung einer Beleuchtungsanlage für Sportstätten in der SN EN 121393 und Arbeitsstätten im Freien in der SN EN 12464-2.

Um Grenzwerte der Störwirkung in der Strassenbeleuchtung festlegen zu können, müssen mehrere Probleme gelöst werden. So gibt es in der Strassenbeleuchtung mehr als 10 Beleuchtungsklassen mit Beleuchtungsstärken zwischen 2 Lux und 50 Lux. Die Erfüllung der Anforderungen der für eine Strasse festgelegte Beleuchtungsklasse hat dabei die oberste Priorität. Besonders in Bereichen mit Fussgängern, Velo- und Autofahrern ist das für die Verkehrssicherheit und eine sinkende Wahrscheinlichkeit für einen Verkehrsunfall entscheidend.

Ausserdem gibt es viele unterschiedliche Strassengrundrisse, Leuchtentypen und Lichtpunkthöhen. Besonders hervorgehoben werden müssen die unterschiedlichen Abstände, in der eine Strassenleuchte von einer Hausfassade entfernt stehen kann. So gibt es Wandausleger mit 0.5 m Abstand der Leuchte von der Wand. Auf der anderen Seite gibt es Strassenleuchten, die 30 m von der nächsten Hausfassade entfernt sind und so praktisch keine Störquelle für dieses Haus mehr darstellen.

Zu beachten ist auch, dass nach der Strassenbeleuchtungsnorm SN EN 13201-2 der direkt an eine Strasse grenzende Randbereich auch beleuchtet werden muss. Nur so kann ein Autofahrer Personen oder Hindernisse erkennen, die sich aus diesem Randbereich auf die Strasse bewegen. Das gilt vor allem im Bereich von Fussgängerstreifen.

In diese Empfehlung soll auch einfließen, dass die Parameter theoretisch in Beleuchtungssoftware berechnet aber vor allem in der Praxis mit akzeptablem Aufwand überprüft werden können. So ist ein Verfahren festzulegen, welches die

Berechnungsergebnisse unterschiedlicher Leuchtentypen vergleichbar macht und mit dem die Störwirkung in der Praxis gemessen werden kann.

2 Konzept der Berechnungen und Auswertungen

Zunächst sind die Lichtimmissionen auf unterschiedlich entfernten Fassaden mit verschiedenen Leuchtentypen und Beleuchtungsklassen berechnet worden. So konnte mit aktuellen Leuchten der Verlauf der Lichtimmissionen über unterschiedliche Fassadenentfernungen bestimmt werden. Die Strasse und die Gebäude, für die die Lichtimmission berechnet wird, befinden sich auf dem gleichen Höhenniveau.

In den Berechnungen wurde die Lichtverteilung eines Leuchtentyps und der Leuchtenabstand so gewählt, dass die Anforderungen an die mittlere horizontale Beleuchtungsstärke und die Gleichmässigkeit der jeweiligen Beleuchtungsklasse erfüllt wurde. Dann wurden die Fassadenlängen so auf den Leuchtenabstand angepasst, dass die Fassaden immer genau zwischen zwei Leuchten mit der Länge des Leuchtenabstandes lagen. Es wurden keine abschattenden Elemente wie Kandelaber, Bäume oder Zäune sowie kein Fremdlicht und Reflexionen ausserhalb der Fläche der Strasse berücksichtigt. Im folgenden **Bild 1** ist die 3D-Ansicht einer Berechnungsdatei dargestellt.

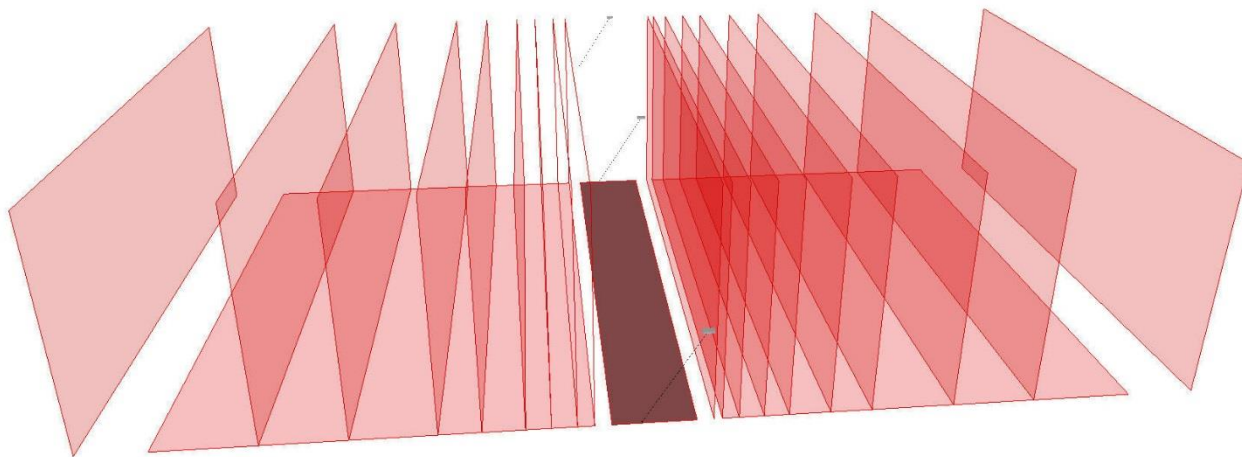


Bild 1: 3D-Ansicht einer Berechnungsdatei - Grundriss und Fassaden

Aus diesen Ergebnissen soll dann versucht werden, eine praxisorientierte Methode zur Bestimmung der Grenzwerte zu entwickeln. In diese Methode müssen vor allem die unterschiedlichen Beleuchtungsklassen und der Abstand der Leuchte von der Fassade einfließen.

3 Vergleich der Störwirkung mit Natriumdampf-Hochdrucklampen und LED

Die LED-Technik hat den Vorteil, dass das Licht besser gerichtet werden kann als mit herkömmlichen Leuchten mit Natriumdampf-Hochdrucklampen. Deshalb wurden in einem ersten Schritt typische Lichtimmissionen dieser beiden Technologien miteinander verglichen.

Bereits die Lichtverteilungskurven zeigen, dass die LED-Leuchte weniger Störwirkung produzieren wird. Um das visualisieren zu können, wurde eine moderne Leuchte mit einer Natriumdampf-Hochdrucklampe (HST 100 W) und eine neue Leuchte LED 78 W auf die gleiche Höhe aufgehängt und die Beleuchtungsstärkeverteilung auf dem Boden gezeigt (**Bild 2**).

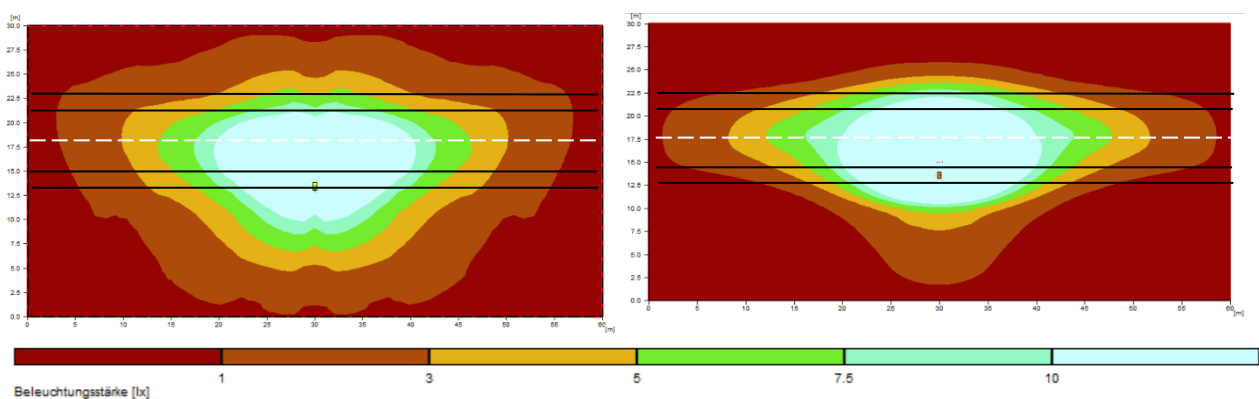


Bild 2: Beleuchtungsstärkeverteilung einer Leuchte auf dem Boden

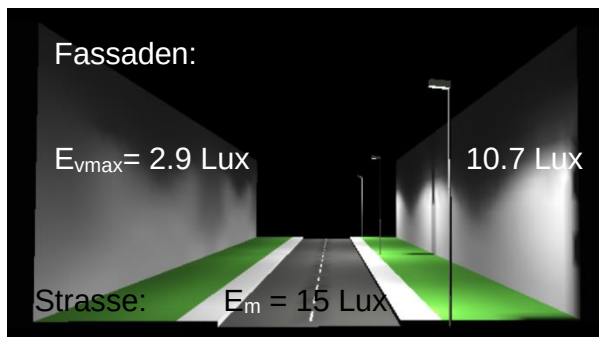
Dabei geben die HST 100 W und die LED 78 W ungefähr den gleichen Lichtstrom ab.

Das **Bild 2** zeigt deutlich, dass die Leuchte mit einer HST 100 W mehr Lichtimmissionen neben der Strasse erzeugt. Das betrifft sowohl den Bereich hinter der Leuchte als auch den Bereich neben der Strasse gegenüber der Leuchte.

Um den Unterschied in der Lichtimmission auf einer Fassade zwischen HST- und LED-Technik zu zeigen, wurde eine Strassenbeleuchtung mit den folgenden Parametern berechnet und im **Bild 3** dargestellt.

Leuchtenhöhe: 8 m
 Leuchtenabstand: 30 m
 Strassenbreite: 6.5 m
 Trottoirs: je 1.5 m
 Grünstreifen: je 5 m, anschliessend beginnt die Fassade

HST 100 W



LED 78 W

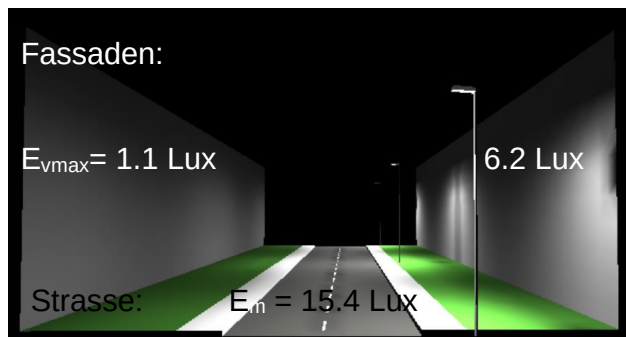


Bild 3: Visualisierung einer Strassenbeleuchtung mit Fassaden

Obwohl die Beleuchtungsstärke auf der Strasse mit beiden Leuchten etwa gleich ist, wird die geringere Lichtimmission mit der LED-Leuchte sowohl visuell als auch in den maximalen Beleuchtungsstärken auf der Fassade deutlich. Die maximale Beleuchtungsstärke auf der Fassade hinter der Leuchte sinkt mit der LED-Technik auf 58 %. Gegenüber der Leuchte sinkt die maximale Beleuchtungsstärke mit der LED-Technik sogar auf 38 %.

Es kann somit festgestellt werden, dass bereits der *Wechsel der Technologie* von Natriumdampf-Hochdrucklampen auf die LED-Technik *eine deutliche Verminderung der Lichtimmission* möglich macht. Voraussetzung dafür ist allerdings die Auswahl einer gut modellierten Lichtverteilungskurve der LED-Leuchte, in der sich das Know-how eines erfahrenen Leuchtenproduzenten zeigt.

Des Weiteren hat die LED-Technik den Vorteil der stufenlosen Dimmbarkeit. Die lichttechnische Planung kann durch die flexible Anpassung des Lichtstroms sehr nah an die Anforderungen einer Beleuchtungsklasse herankommen. Natriumdampf-Hochdrucklampen sind dagegen nur in abgestuften Leistungen (50 W, 70 W, 100 W, 150 W, 250 W und 400 W) erhältlich und nur sehr begrenzt reduzierbar.

Somit kann es in der Praxis vorkommen, dass obwohl nur 15 Lux Beleuchtungsstärke gefordert sind, 18 Lux mit HST erzeugt werden. Diese anlagenbedingte Überbeleuchtung erhöht die unerwünschte Lichtimmission.

Ein weiterer Vorteil der LED-Leuchten ist die CLO-Technik. Mittels der CLO-Technik, die den Rückgang der Lichtabgabe über die Lebensdauer verhindert, gibt es keine, durch den Lichtstromrückgang einzuplanende, anfängliche Überbeleuchtung mehr. Mit CLO ist nur noch die Verschmutzung der Leuchte zu berücksichtigen. Ohne CLO muss zusätzlich der Lichtstromrückgang über die Lebensdauer der HST-Lampe bzw. der LED in der Planung über einen Wartungsfaktor berücksichtigt werden, weil die Anforderung an die Beleuchtung über die gesamte Lebensdauer der HST-Lampe bzw. der LED erfüllt werden müssen. Die anfängliche Überbeleuchtung erhöht die unerwünschte Lichtimmission ebenfalls.

4 Berechnungsergebnisse

Es wurden auf der Grundlage des im Kapitel 2 dargestellten Konzeptes für die Beleuchtungsklasse P1 bis P6 und C1 bis C5 mit bis zu 8 verschiedenen Leuchtentypen lichttechnische Berechnungen durchgeführt (siehe Bild 1).

In den Grafiken der beiden folgenden Seiten werden die Verläufe der maximalen vertikalen Beleuchtungsstärken in Abhängigkeit von der Entfernung zur Leuchte bzw. des Fahrbahnrandes auf einer Fassade für die Beleuchtungsklasse C3 (Strassenbreite 8 m) und P4 (Strassenbreite 5 m) sowie jeweils für 3 typische Leuchten (2 Leuchten mit LED, LED 1 und LED 2; 1 Leuchte mit HST bzw. HIT) dargestellt.

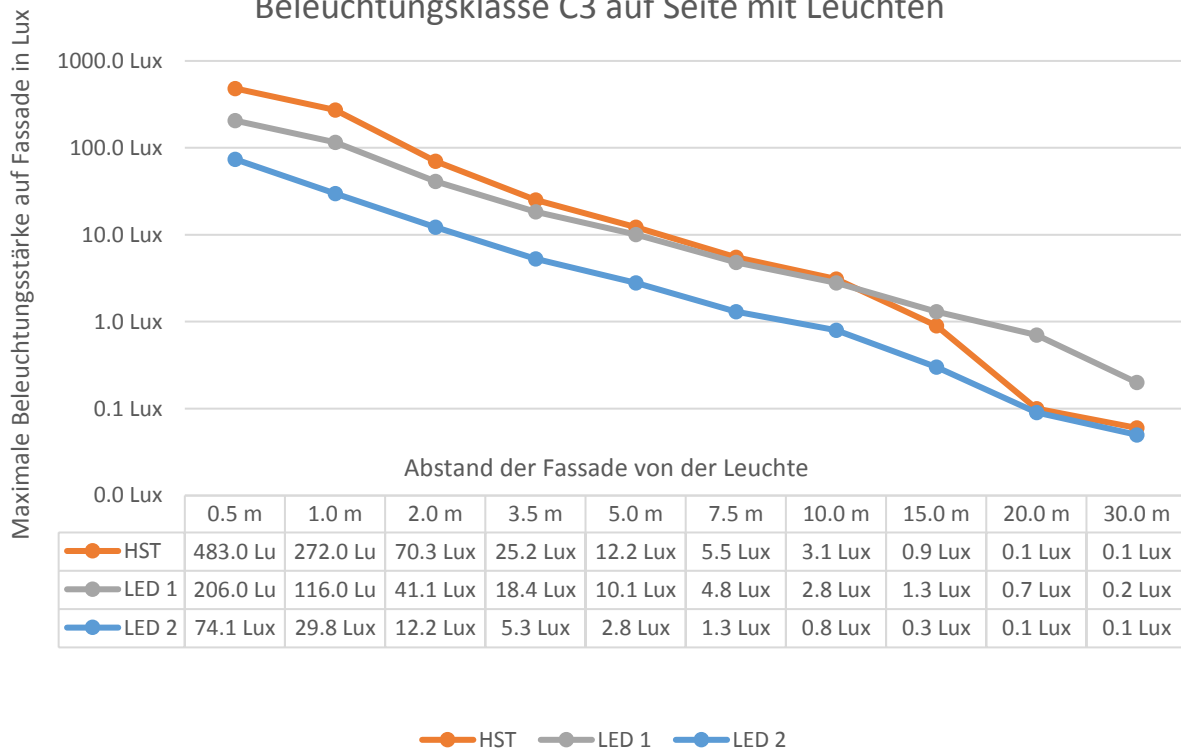
Es kann festgestellt werden, dass die Leuchten mit konventioneller Technik (HST / HIT) meistens die höhere Lichtimmission erzeugen. Die gewählten LED-Leuchten sind Standard-Ausführungen ohne zusätzliche Massnahmen zur Reduzierung der Lichtimmission. Die Lichtimmission der unterschiedlichen LED-Leuchten unterscheidet sich signifikant. Somit sollten die LED-Leuchten im lichttechnischen Planungsprozess sorgfältig ausgewählt werden, damit die Ausstrahlung der LED-Leuchten (Lichtverteilungskurve – LVK) die Anforderungen des Projektes erfüllt, die störende Lichtimmission allerdings minimiert.

Es wird deutlich, dass eine LED-Leuchte mit einer geringeren Fassadenaufhellung auf der Seite der Leuchten (LED 2) jedoch mehr Lichtimmission auf der gegenüberliegenden Seite ohne Leuchten erzeugt. Dies zeigen auch die beiden folgenden Tabellen. Hier erzeugt die Leuchte LED 2 die geringste Aufhellung einer horizontalen Fläche ("Vorgartenaufhellung") auf der Seite der Leuchten. Auf der Seite ohne Leuchte liegt die Lichtimmission der LED 2 für die Beleuchtungsklasse P4 im "Vorgarten" sogar über der konventionellen Technik.

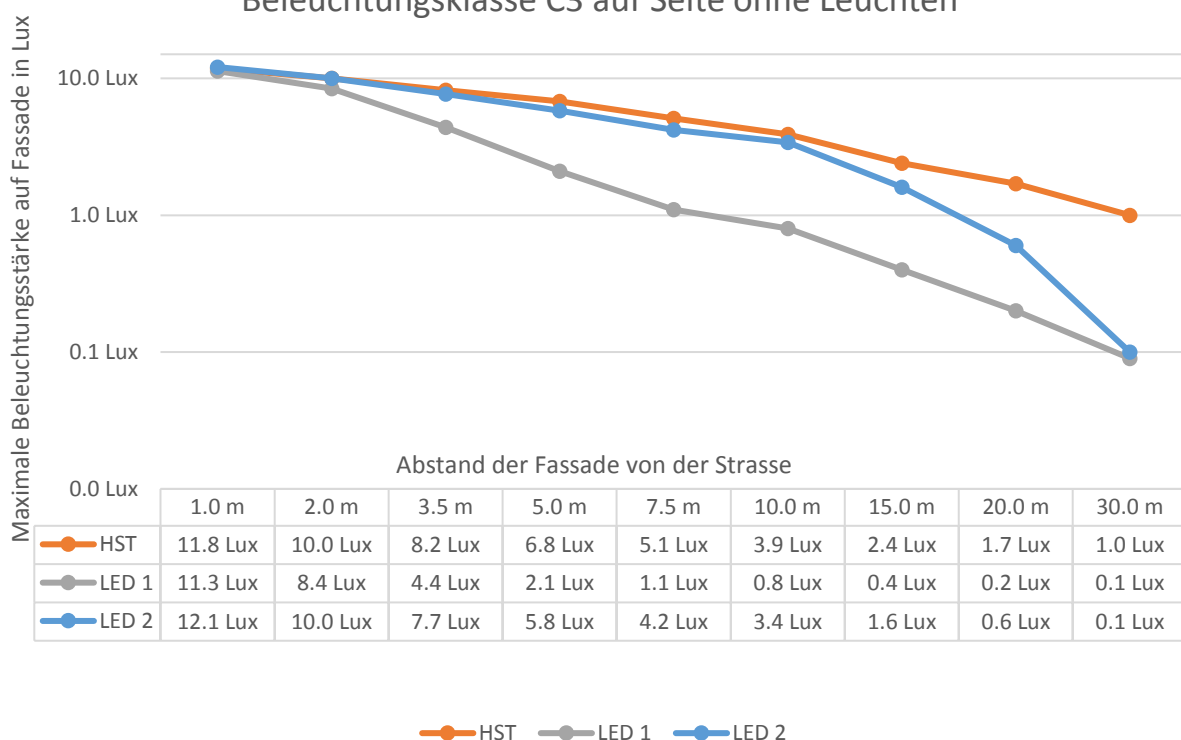
Mittlere horizontale Beleuchtungsstärke auf einer 25 m breiten Fläche zwischen zwei Leuchten - "Vorgartenaufhellung"		
Beleuchtungsklasse C3	Seite mit Leuchten	Seite ohne Leuchten
HST	2.9 Lux	1.8 Lux
LED 1	2.1 Lux	0.8 Lux
LED 2	2.0 Lux	1.6 Lux

Mittlere horizontale Beleuchtungsstärke auf einer 25 m breiten Fläche zwischen zwei Leuchten - "Vorgartenaufhellung"		
Beleuchtungsklasse P4	Seite mit Leuchten	Seite ohne Leuchten
HIT	0.9 Lux	0.2 Lux
LED 1	0.5 Lux	0.1 Lux
LED 2	0.3 Lux	0.3 Lux

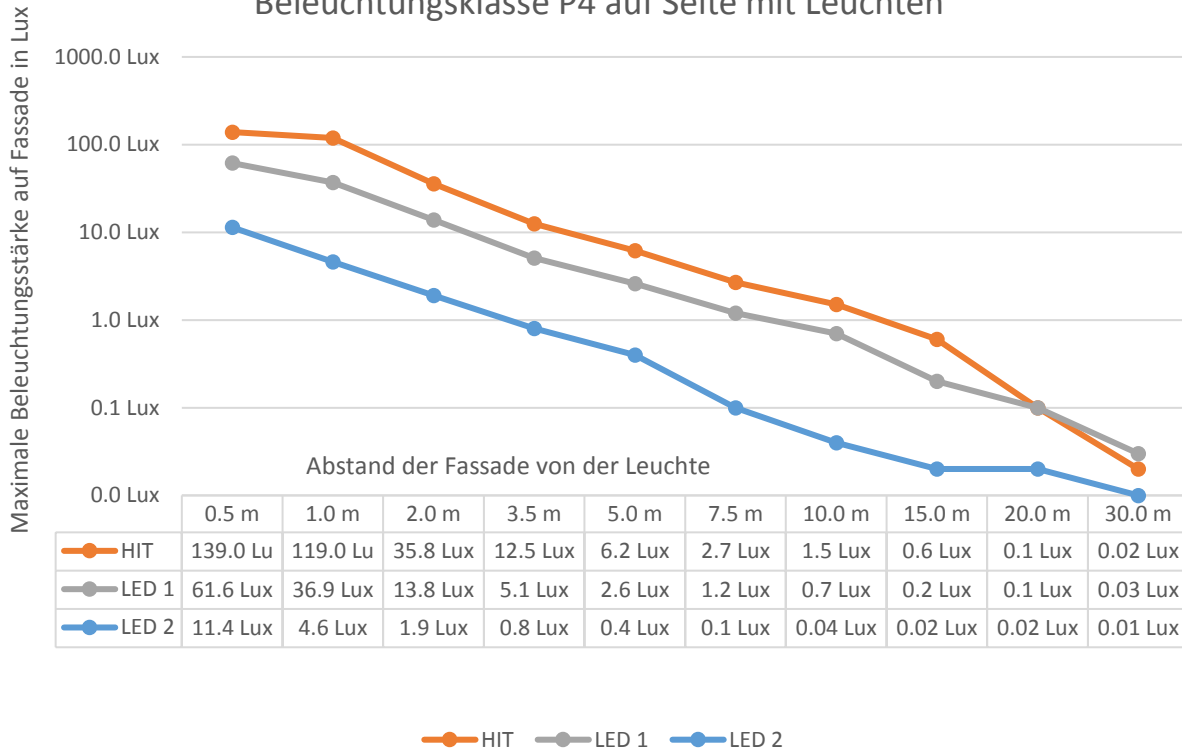
Typischer Verlauf der Beleuchtungsstärken auf den Fassaden für Beleuchtungsklasse C3 auf Seite mit Leuchten



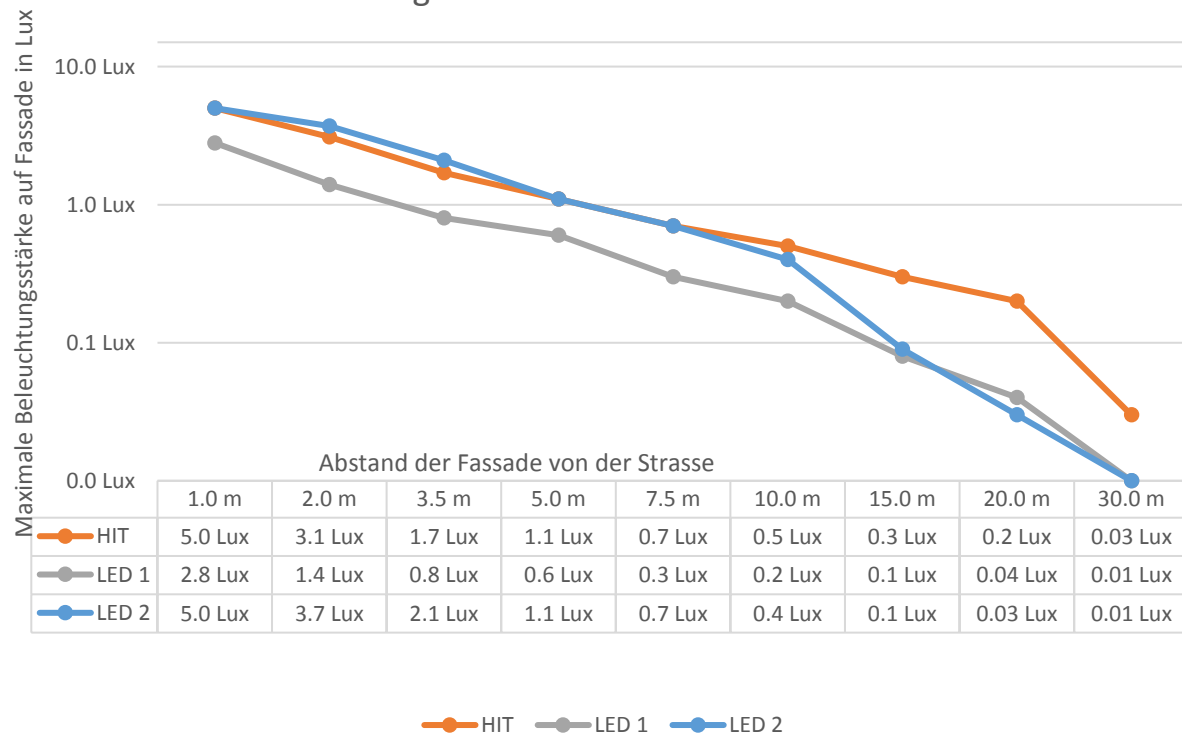
Typischer Verlauf der Beleuchtungsstärken auf den Fassaden für Beleuchtungsklasse C3 auf Seite ohne Leuchten



Typischer Verlauf der Beleuchtungsstärken auf den Fassaden für Beleuchtungsklasse P4 auf Seite mit Leuchten



Typischer Verlauf der Beleuchtungsstärken auf den Fassaden für Beleuchtungsklasse P4 auf Seite ohne Leuchten



5 Anhang

5.1 Verzeichnis der Abkürzungen

B1	Breite der Strasse in m
B2	Breite des Fussweges in m
B3	Breite des Fussweges in m
CLO	Constant Light Output - Konstante Lichtstromabgabe über die Lebensdauer der LED
D _{mL}	Bewertungsdistanz auf der Strassenseite mit Leuchten in m
D _{oL}	Bewertungsdistanz auf der Strassenseite ohne Leuchten in m
D ₂	Bewertungsdistanz auf der Seite der Nutzebene 2 in m
D ₃	Bewertungsdistanz auf der Seite der Nutzebene 3 in m
DN	Distanz aller Nutzebenen in m
E _m	Mittlere Beleuchtungsstärke in Lux
E _{max}	Maximale Beleuchtungsstärke in Lux
E _{v mL}	Vertikale Beleuchtungsstärke auf der virtuellen Fassade der Seite mit Leuchten in Lux
E _{v oL}	Vertikale Beleuchtungsstärke auf der virtuellen Fassade der Seite ohne Leuchten in Lux
E _{v2}	Vertikale Beleuchtungsstärke auf der virtuellen Fassade der Seite der Nutzebene 2 in Lux
E _{v3}	Vertikale Beleuchtungsstärke auf der virtuellen Fassade der Seite der Nutzebene 3 in Lux
H	Höhe in m
HIT	Halogen-Metall dampflampe
HST	Natriumdampf-Hochdrucklampe
k _{mL}	Korrekturfaktor für Fassaden mit Leuchten auf der Strassenseite
k _{oL}	Korrekturfaktor für Fassaden ohne Leuchten auf der Strassenseite
LED	Leuchtdiode
LPH	Lichtpunkthöhe in m