

Entwicklung von Maßzahlen für adaptive Beleuchtungssysteme

Stephan Völker und Peter Krenz

1. Einleitung

In Kommunen und Städten werden öffentliche Straßen und Plätze in der Nacht zum Zweck der Verkehrssicherheit beleuchtet (siehe Beitrag Pauen-Höppner und Höppner). Dabei ist das Verhältnis zwischen Verkehrssicherungspflicht, effizienter Energienutzung und Schutz der Umwelt (einschließlich der Aufhellung des Nachthimmels) zu optimieren.

Will man die unerwünschten Folgen der Beleuchtung gering halten, benötigt man deutlich komplexere Beleuchtungslösungen als jene, die heute Stand der Technik sind. Die Entwicklung der dafür benötigten Lichtquellen, Leuchten, Sensoren und Netzwerke ist eine wichtige Voraussetzung, bedarfsgerecht optimale Sehbedingungen zu schaffen. Eine weitere Voraussetzung sind entsprechende Maßzahlen, wann, wie viel Licht in welche Richtung abgestrahlt werden soll. Der vorliegende Beitrag liefert dafür eine erste Diskussionsgrundlage.

2. Grundlagen nutzflächenbasierter Beleuchtungsbewertung

Zur qualitativen Beurteilung der Straßenbeleuchtung im Sinne der Verkehrssicherheit wurden in der europäischen Norm die Gütekriterien der EN 13201 (2007) erarbeitet (vgl. Beitrag Walkling und Stockmar). Insbesondere ist die räumliche Verteilung des Lichtes anhand der Beleuchtungsstärke bzw. der mittleren Leuchtdichte zu bewerten. Die Bewertung erfolgt dabei allein auf der Fahrbahn und dem Rad-/Fußweg. Da diese Nutzflächen nur einen kleinen Raumwinkel der Abstrahlrichtung einer Leuchte ausmachen, gelangt ein nicht unwesentlicher Teil des Lichtes auf Flächen, wo es für die Verkehrssicherheit nicht benötigt wird. Von diesen Flächen wird das Licht wieder reflektiert und trägt damit unnötig zur Lichtimmission bei.

Empfehlungen zur Messung und Minderung von Lichtimmissionen durch künstliche Lichtquellen werden in der LiTG-Schrift 12.3 (LiTG 2011) aufgezeigt. Als beschreibende Größe der Lichtquelle dient der Lichtstärkeverteilungskörper und für die Bewertung der Himmelaufhellung die Abstrahlung in den oberen Halbraum. Eine detaillierte Beschreibung von Nutzflächen ist lediglich für Fenster von Wohnungen bzw. begrenzende Wände von Balkonen und Terrassen gegeben. Eine genauere Spezifikation anderer Flächen, insbesondere Biotope, fehlt. Erschwerend kommt hinzu, dass derzeitige Immissionsrichtwerte die öffentliche Straßenbeleuchtung teilweise explizit ausschließen.

Um die teilweise gegensätzlichen Ziele (gute Sichtbedingungen, kein Licht in den Schlafräumen, keine Himmelaufhellung) zu erreichen, ist eine lichttechnische Bewertung einzelner Nutzflächen unumgänglich. Dafür muss der Verkehrsraum in solche eingeteilt werden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Nutzflächenbestimmung in einer Anliegerstraße. Neben der eigentlichen Fahrbahn (hier rot), fällt Licht auf Grünstreifen (gelb), Fahrzeugabstellflächen (rot), Vorgärten (grau) und wird nach oben emittiert (blau). Besonders kritische Bereiche, in die möglichst wenig oder kein Licht gelangen sollte,



Abbildung 1: Einteilung des Blickfeldes in farblich gekennzeichnete Nutzflächen. Diese sind unterschiedlich zu beleuchten (Erläuterung zu Kreisen und Stern siehe Text).

sind im Bild grün gekennzeichnet. Dazu zählen Bäume, in denen Vögel nisten oder Hausfasaden, welche Schlafräume aufweisen (grün).

Im nächsten Schritt gilt es für die einzelnen Nutzflächen, Grenzwerte zu definieren, die visuelle, energetische, ökologische und ästhetische Aspekte berücksichtigen. Um diese Grenzwerte möglichst allgemeingültig angeben zu können, müssen im Projekt „Verlust der Nacht“ unter anderem folgende Fragen beantwortet werden:

1. *Wo muss beleuchtet werden und für welche Bereiche im Verkehrsraum sollte die Beleuchtung reduziert werden?*

Wie bereits ausgeführt, ist es primäre Aufgabe der Straßenbeleuchtung, Objekte auf und neben der Fahrbahn frühzeitig zu erkennen. Mithilfe eines angepassten Leuchtendesigns mit entsprechend ausgelegten Reflektoren und Leuchtenabdeckungen, der optimalen Lichtpunktposition und dem Neigungswinkel einer Leuchte lässt sich die räumliche Verteilung des Lichtes so variieren, dass möglichst maximale Kontraste auf der Straße erzeugt werden können. Abbildung 2 zeigt zwei typische Lichtstärkeverteilungskurven (LVK).

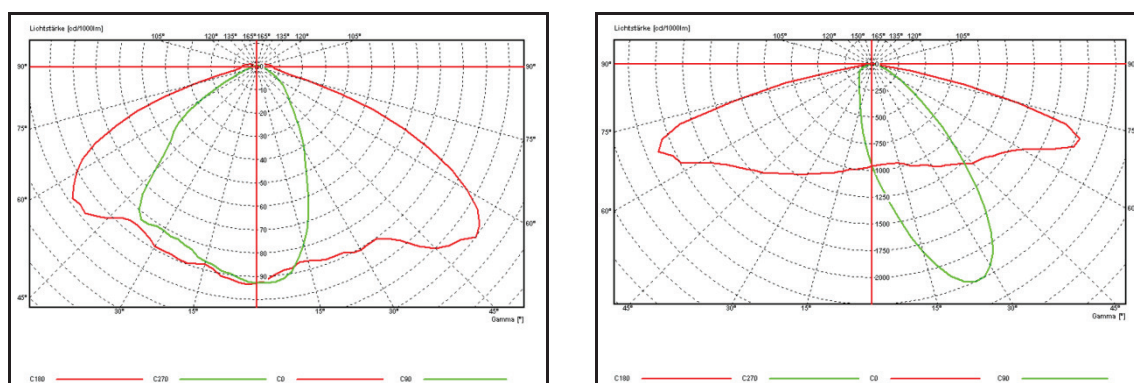


Abbildung 2: Konventionelle Lichtstärkeverteilungskurven einer normalen Straßenleuchte im Vergleich mit einer für große Mastabstände optimierten Leuchte.

Die linke LVK ist für geringe Mastabstände geeignet (rote Kurve symmetrisch, normale Breite), während die rechte LVK (rote Kurve symmetrisch, sehr breit) für weite Mastabstände eingesetzt wird. Die Asymmetrie in der grünen Kurve berücksichtigt, den Standort auf der rechten Straßenseite (linkes Bild) und auf der linken Straßenseite (rechtes Bild). Eine gezielte Beleuchtung einzelner Nutzflächen ist hierbei nicht vorgesehen.

Für die gezielte Beleuchtung von Nutzflächen müssen diese LVKs zukünftig anpassbar sein, d.h. jede Leuchte benötigt eine eigene LVK. Damit sind nicht nur Nutzflächen gezielter zu beleuchten, sondern auch unterschiedliche Mastabstände auszugleichen. Das BMBF beginnt z.Z. mit der Forschungsförderung zur Entwicklung entsprechender Systeme.

Im Rahmen des Projektes „Verlust der Nacht“ werden im Teilprojekt IP-KOM unterschiedliche Straßentypen auf ihr Einsparpotenzial analysiert. In die Analyse werden neben Anliegerstraßen in eher ländlichem Raum auch Durchfahrtsstraßen im großstädtischen Bereich einbezogen.

2. *Wie viel Licht soll auf die jeweils definierte Fläche auftreffen, damit die notwendige Sehauflage erfüllt werden kann und die ökologische Wirkung gering gehalten wird?*

Dieser Parameter kann anhand der örtlichen horizontalen und vertikalen Beleuchtungsstärke und der Leuchtdichte erfasst werden. Für die Sichtbarkeit eines Objektes sind in erster Linie die Objektgröße, der Objektkontrast und die Struktur des Umfeldes verantwortlich.

Um den Rechenaufwand gering zu halten, wird bis heute die Sichtbarkeit allein über die Beleuchtungsstärke auf der Straße bzw. die mittlere Leuchtdichte der Fahrbahn beschrieben. Dies ist aber nur eine Größe der Sichtbarkeit. Um mit möglichst wenig Licht eine maximale Sichtbarkeit zu gewährleisten, wird als Grundlage der Straßenbeleuchtung ein Sichtbarkeitskonzept (Visibility Konzept) benötigt. Dies ist nicht neu, wird aber bis heute wegen des höheren Planungsaufwandes und der teilweise fehlenden oder nur sehr ungenauen Maßzahlen und Messmethoden für Fahrbahndeckschichten nicht angewandt.

Mithilfe des Visibility Konzeptes werden an ausgewählten Stellen im Projekt „Verlust der Nacht“ Mindestanforderungen definiert und diese mit den Normwerten verglichen. Ziel ist die lichttechnische Güte der Beleuchtung zu verbessern, ohne dabei einen höheren Lichtstrom für die betreffenden Flächen einzusetzen. Durch eine Umverteilung des Lichtes soll der Kontrast erhöht und damit die Sichtbarkeit verbessert werden.

3. Welche spektrale Verteilung sollte die Straßenbeleuchtung aufweisen?

Unterschiedliche Lichtquellen emittieren unterschiedliche Spektren (Abbildung 3). Diese haben sowohl Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit und das Schlafverhalten des Menschen als auch auf Flora und Fauna. Für das Wohlbefinden und die Akzeptanz einer Beleuchtung spielt das Spektrum und die resultierende Farbtemperatur eine wichtige Rolle. Tiere reagieren unterschiedlich auf spektrale Bereiche künstlicher Lichtquellen, die für den Menschen unerheblich sein können (LiTG 1996, 1997, 2011). Bei nachtaktiven Insekten ist eine wellenlängenabhängige Anlockwirkung von künstlichen Lichtquellen festzustellen (siehe Beitrag Eisenbeis). Durch die Wahl der Leuchtmittel in der Außenbeleuchtung mit einer entsprechenden spektralen Zusammensetzung des Lichtes kann der negative Einfluss auf Menschen, Tiere und Pflanzen vermindert werden.

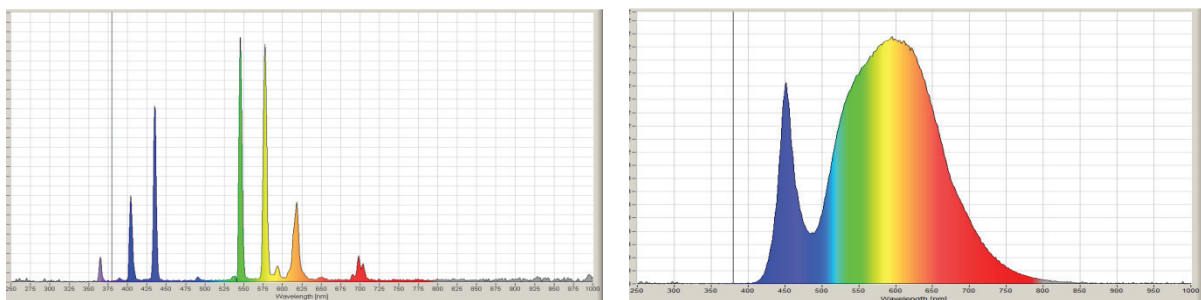


Abbildung 3: Relative Emissionsspektren einer Quecksilberdampf-Hochdrucklampe (linkes Bild) im Vergleich zu einer warm-weißen LED (rechtes Bild).

Lichtquellen lassen sich über weite Teile gezielt an gewünschte spektrale Verteilungen anpassen. Dies gilt in besonderem Maße für die LED. Die Lampen- bzw. LED-Hersteller benötigen aber Maßzahlen, nach denen sie geeignete Spektren entwickeln können.

Entsprechende Maßzahlen werden im Projekt „Verlust der Nacht“ entwickelt. Ziel ist den Einfluss der spektralen Verteilungen des Lichtes auf unterschiedliche Lebensräume zu analysieren. Entsprechend wurden (Leuchten-)Versuchsfelder sowohl im bewohnten Bereich (IP-KOM) als auch in unbewohnter Gegend (IP-Feld) realisiert. Dies erlaubt einen präzisen Vergleich der unterschiedlichen Lebensräume hinsichtlich der Wirkung verschiedener Spektren.

4. Wann und zu welchen Zeiten sollte künstliches Licht in der Öffentlichkeit zweckmäßig eingesetzt werden? Ist der Einsatz zeitlich variabler, adaptiver Systeme dabei sinnvoll? Kann unter der Prämisse der Verkehrssicherheit die Beleuchtung an bestimmten Stellen ausgeschaltet werden, um Energie und Kosten einzusparen?

Wenn Licht nicht zum Sehen benötigt wird, sollte es grundsätzlich abgeschaltet werden. Die flächendeckende Beleuchtung während der ganzen Nacht mindert nicht nur die Schlafqualität, sondern stört zudem Flora und Fauna und behindert astronomische Beobachtungen. Licht immer nur dann und dort einzusetzen, wo es benötigt wird, ist ein *noch* fernes Ziel. Dafür müssten alle Leuchten mit Sensorik und einem entsprechenden Netzwerk versehen sein. Auch wenn es technisch heute machbar ist, scheitert die Umsetzung sowohl

- a. am hohen Preis dieser Technik,
- b. der teilweise noch vorhandenen Störanfälligkeit und
- c. vor allem aber an Kriterien, wann und wo das Licht gesenkt bzw. ganz abgeschaltet werden kann.

Welches Leuchtdichteniveau sollte z. B. eine Anliegerstraße in der Nacht um 2 Uhr haben, wenn kein Verkehrsteilnehmer den Verkehrsraum nutzt? Wird der Verkehrsraum bei abgeschalteter Beleuchtung als Angstraum empfunden? Wäre eine gezielte Beleuchtung der Fußgänger nicht wirkungsvoller, als eine flächige Beleuchtung der Straße? Während die beiden ersten Fragen im Projekt „Verlust der Nacht“ bearbeitet werden, bleibt die zuletzt genannte Frage eine Aufgabe für die Zukunft.

3. Handlungsansätze und Folgenabschätzung

Der Konflikt zwischen Gewährleistung der Verkehrssicherheit durch ausreichende Kontrastwahrnehmung auf der einen Seite und geringer Lichtimmission auf der anderen Seite kann mithilfe von örtlich und zeitlich modulierten Lichtverteilungen gelöst werden. Darüber hinaus wird die Energieeffizienz erhöht. Die neue Norm EN 13201 Teil 5 wird erstmalig Energieeffizienzkriterien für die Straßenbeleuchtung definieren, was uns dem Ziel einer nutzflächenorientierten Beleuchtung näher bringt.

Darüber hinaus bedarf es rechtsverbindlicher und bezahlbarer Smartmeter (Stromzähler) in jeder Leuchte, solange die Kommunen kein eigenes Stromversorgungsnetz für die Beleuchtung betreiben. Dies trifft dabei nicht nur auf die beiden größten deutschen Kommunen Berlin und Hamburg zu, sondern auf eine Vielzahl anderer Kommunen. Nur wenn diese Smartmeter implementiert sind, lässt sich der geringere Stromverbrauch auch beim Energieversorger beziffern.

Literatur

- DIN (1981): DIN 5044 - 1: Ortsfeste Verkehrsbeleuchtung, Beleuchtung von Straßen für den Kraftfahrzeugverkehr, allgemeine Gütemerkmale und Richtwerte. Berlin: Beuth.
- DIN (2007): DIN EN 13201 – Teil 1 bis 4: Straßenbeleuchtung. Berlin: Beuth.
- Joint Working Group of CELMA, ELC and CEN/TC 169 (2010): Light and lighting: EN 13201 - 5 - Road Light – Part 5: Energy Efficiency Requirements. Draft, Version 3.00. Berlin: 04/2010.
- LiTG (1996): Publikation 12.2: Messung und Beurteilung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.
- LiTG (1997): Publikation Nr. 15: Zur Einwirkung von Außenbeleuchtungsanlagen auf nachtaktive Insekten. Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.
- LiTG (2011): Publikation 12.3: Empfehlungen für die Messung, Beurteilung und Minderung von Lichtimmissionen künstlicher Lichtquellen. Berlin: Deutsche Lichttechnische Gesellschaft.
- Senatsverwaltung für Stadtentwicklung (Hg.) (2011): Stadtbild Berlin. Lichtkonzept Handbuch. Berliner Senatsbauverwaltung für Stadtentwicklung 02/2011.