

Schlechtwetter-optimierte LED-Straßenbeleuchtung zur Verbesserung der Sehsicherheit

*Dipl.-Ing. Andreas Walkling, Univ.-Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz
Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Lichttechnik, Prof.-Schmidt-Str. 26, 98693 Ilmenau*

Die in diesem Beitrag vorgestellte LED-Pilotleuchte wurde im Rahmen des Thüringer Verbundprojekts „CoLight“ (Corporate in Lighting) entwickelt. Das Projekt CoLight wurde durch die Thüringer Aufbaubank (TAB) und den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

1. Einleitung

Ein Ausgangspunkt im richtungsweisenden Projekt CoLight war, dass bisherige Straßenbeleuchtungsanlagen von Verkehrsstraßen in Deutschland die zusätzliche Anforderung an die Gesamtgleichmäßigkeit für nasse Straßenoberflächen nach DIN EN 13201-2 im Betrieb normalerweise nicht erfüllen, weil die Beleuchtung allein für trockene Straßenoberflächen ausgelegt wird /1/.

In Deutschland kann man aber mit mehr als 200 Regentagen pro Jahr rechnen. Damit sind für einen großen Teil der Nachtstunden die Straßenoberflächen mit Beleuchtungen nach ME-Beleuchtungsklassen nicht normkonform. Es entstehen damit Tarnzonen, die Reflexblendung wächst, kritische Objekte und Hindernisse im Straßenraum werden zudem erschwert sichtbar und Anhaltewege bei Bremsmanövern vergrößern sich, was im Ganzen zu einem erhöhten Gefährdungspotential für alle Verkehrsteilnehmer führt /2/.

Um die Verschlechterung der Seh- und Verkehrssicherheit bei nasser Straßenoberfläche zu verringern und die DIN EN 13201-2 ganzheitlich zu erfüllen, wurde eine dynamisch-adaptive LED-Pilotleuchte mit variablem Beleuchtungsniveau und erstmals mit variabler Lichtstärkeverteilung als ein Schwerpunkt im Projekt CoLight entwickelt. Die Leuchte mit zwei Lichtstärkeverteilungen („2-LVK-Leuchte“) kann im laufenden Betrieb in Abhängigkeit der Witterung eine entsprechende Lichtverteilung sowohl für die trockene als auch nasse Straßenoberfläche einschalten.

2. Stand der Normung und Technik

Die derzeitige in Deutschland gültige europäische Norm für Straßenbeleuchtung DIN EN 13201:2003 definiert ein Parametersystem und ermöglicht anhand spezifischer Parameter wie Verkehrsnutzung und Umgebungseinflüsse eine adaptive Beleuchtung. Auch die neue CIE-Publikation 115:2010 „Beleuchtung von Straßen für Fußgänger und motorisierten Verkehr“ empfiehlt ein Konzept der adaptiven Beleuchtung zur Anwendung /3/. Das Beleuchtungsniveau kann hiermit verkehrs- und zeitbedingt variiert werden. Beide Publikationen enthalten auch zusätzliche Anforderungen an die Beleuchtung für nasse Straßenoberflächen, wodurch eine weitere Variation der Lichtstärkeverteilung aus Sicht der Energieeinsparung sinnvoll wird.

Mit bisherigen Straßenleuchten (auf Basis von konventionellen und LED-Lampen) ist eine adaptive Lichtstärkeverteilung während des Betriebes nicht möglich. Variieren kann man ausschließlich das Beleuchtungsniveau. Dafür stehen dem Anwender verschiedene Rege-

lungssysteme zur Verfügung: zum Beispiel die zeitgesteuerte Regelung, die lampenalterungsabhängige Regelung (CLO) oder die anwesenheitsabhängige Regelung. Im Bereich der Kfz-Beleuchtung wird bereits die adaptive Fahrbahnausleuchtung mit variabler Lichtstärkeverteilung eingesetzt. Die sogenannte AFS-Leuchtentchnik (Advanced Frontlighting System) stellt variable Lichtverteilungen wie zum Beispiel das Stadtlicht, Landstraßenlicht, Autobahnlicht, Schlechtwetterlicht und Kurvenlicht bereit, um die Verkehrssicherheit bei Nacht zu erhöhen /4/.

3. Eigenschaften der LED-Pilotleuchte

Die für die LED-Pilotleuchte ausgewählte Beleuchtungsaufgabe ist eine sehr typische für Stadtstraßen. Und zwar sind alle Verkehrsstraßen mit gemischtem Verkehr in geschlossenen Ortschaften zu beleuchten (Beleuchtungssituationen der Gruppe B nach DIN 13201-1). Deren zweistreifiger Fahrbahnquerschnitt ist im Allgemeinen 6,50 m groß. Es sind also Hauptverkehrsstraßen und Erschließungsstraßen, die beispielsweise als Sammelstraßen, Quartierstraßen, dörfliche Hauptstraßen, örtliche Einfahrtsstraßen und Geschäftsstraßen, Hauptgeschäftsstraßen, Gewerbestraßen oder als anbaufreie Straßen beispielsweise fungieren.

Die lichttechnischen Anforderungen an die Beleuchtung dieser Stadtstraßen sind durch die ME-Klassen ME3, ME4 und ME5 nach DIN EN 13201-2 gegeben. Die damit verbundenen Anforderungen hinsichtlich der mittleren Fahrbahnleuchtdichte, der Längs- und Gesamtgleichmäßigkeit, der physiologischen Blendung und der Mindestausleuchtung der Randbereiche der trockenen Fahrbahn werden von der Pilotleuchte erfüllt. Bei nasser Straßenoberfläche werden mit einer veränderten Lichtverteilung die MEW-Beleuchtungsklassen 3, 4 und 5 normgerecht umgesetzt (= variable Lichtstärkeverteilung).

Die von den Verbundprojektpartnern (dilitronics GmbH, Fraunhofer Institut für angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jenoptik Polymer Systems GmbH, MAZeT GmbH, 2K Moxa Lighting GmbH) mitentwickelte Konzeptleuchte besteht aus maximal 18 LED-Clustern mit insgesamt 24000 lm Lampenlichtstrom. Pro Cluster liegen drei verschiedene LED-Lampentypen „Mint“, „Amber“ und „Blau“ vor, so dass Mischspektren und eine Vielzahl von ähnlichsten Farbtemperaturen im laufenden Betrieb der Versuchsleuchte realisierbar sind (ein weiterer Schwerpunkt des Projektes CoLight, siehe dazu /5/). Die variablen LED-Optiken (bestehend aus Cluster und Reflektor) sind in einer hermetisch abgeschlossenen Kassette untergebracht (siehe Abbildung 1).



Abb. 1: Links: eine CoLight-Kassette; rechts: das LED-Cluster mit Freiformreflektor

Zur Umsetzung der dynamisch-adaptiven Versuchsbeleuchtung enthält die Leuchte mehrere Sensoren, die die Messdaten für den Verkehrsfluss, den Lampenlichtstrom und für die Umgebungshelligkeit erfassen. Dazu gehört auch die Integration von Softwarealgorithmen zur Verarbeitung der Messdaten zu Steuerdaten.

4. Beleuchtung auf nasser Straßenoberfläche

Das Reflexionsverhalten der Straßenoberfläche ist nicht nur von der Textur und der Zusammensetzung, sondern auch vom Nässegrad abhängig. Je größer der Nässegrad wird, desto spiegelnder ist die Reflexion. Dadurch vergrößert sich die mittlere Fahrbahnleuchtdichte, wogegen die Gesamtgleichmäßigkeit kleiner wird. Zudem werden im Vergleich zur Beleuchtung auf trockener Straßenoberfläche die hellen Leuchtdichtebereiche flächenmäßig kleiner und die dunklen Leuchtdichtebereiche größer (siehe Abbildung 2). Damit verbunden verstärken sich die Reflexionsbilder von Straßenleuchten entlang der Verbindungsgeraden zwischen Fahrzeugführer und Leuchten. Das führt zur erhöhten Blendung und Verminderung der Sichtbarkeit /3/.

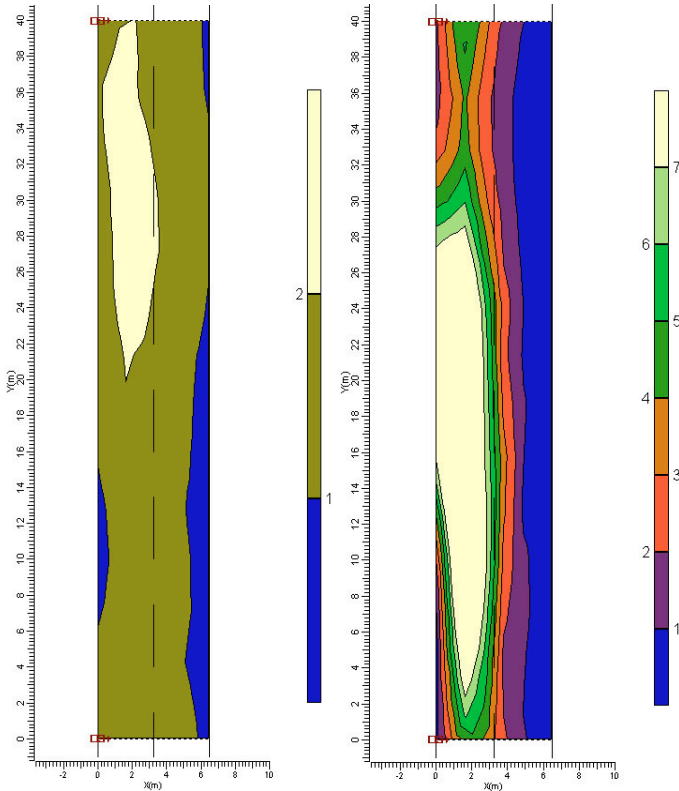


Abb. 2. Links: Leuchtdichteverteilung [cd/m^2] auf trockener Straßenoberfläche; rechts: Leuchtdichteverteilung auf nasser Straße; beide Beleuchtungen basieren auf einer herkömmlichen Lichtstärkeverteilung (d.h. leuchtdichteoptimierte LVK für die Anwendung auf trockener Straße)

Um den nachteiligen Einfluss des Nässegrads auf die Gesamtgleichmäßigkeit und Blendung zu minimieren, kann beispielsweise die Lichtstärkeverteilung optimiert werden, indem die Lichtstärken in Richtungen der spiegelnden Reflexion zum Fahrzeugführer hin reduziert werden und das Hauptlicht in Richtung zur Querachse der Straße hin verschoben wird /6/. Damit vergrößert sich die Spreizung der Lichtstärkeverteilung, wie in Abbildung 3 gezeigt.

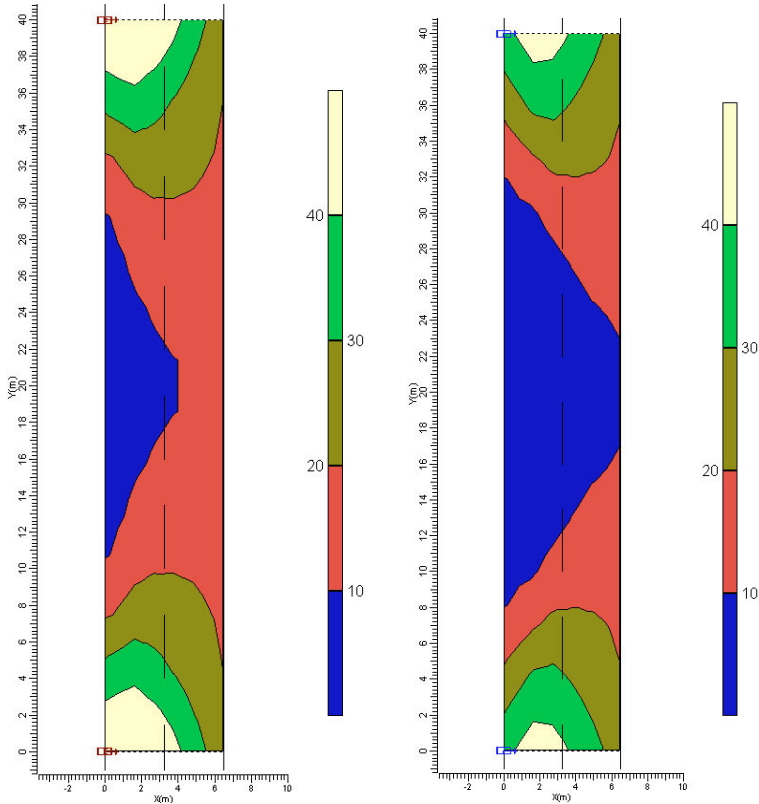


Abb. 3: Beleuchtungsstärkeverteilungen [lx] im Vergleich: links, die LVK mit herkömmlicher LVK und einer Spreizung von 15°; rechts, die LVK mit einer vergrößerten Spreizung von beispielsweise 25° (für die Realisierung einer Regenlichtverteilung)

Einen Überblick über die Verschlechterung und Verbesserung der Lichtstärkeverteilung (LVK) auf nasser Straßenoberfläche vermittelt Tabelle 1. Das Berechnungsbeispiel basiert auf einer einseitigen Leuchtenanordnung mit einem Lichtpunktabstand von 40 m und einer Lichtpunkthöhe von 8 m. In der Spalte „Situation 1“ ist mit herkömmlicher Lichtverteilung auf trockener Straßenoberfläche die Beleuchtungsklasse ME3c erfüllbar. In der Spalte „Situation 2“ ist der typische kritische Fall (siehe Einleitung) zu sehen, wo mit gleicher herkömmlicher Lichtverteilung die Anforderung an die Gesamtgleichmäßigkeit für die nasse Straßenoberfläche für die Beleuchtungsklasse ME3W nicht erfüllt wird. Dieser Nachteil lässt sich mithilfe der adaptiven Lichtstärkeverteilung der Pilotleuchte beheben. Das ist in der Spalte „Situation 3“ zu sehen: Der Wert für die Gesamtgleichmäßigkeit U_0 ist größer als das geforderte Mindestniveau von 0,15.

	Mindest-/Höchstwerte für Klasse ME3c	Situation 1: trockene Straße	Situation 2: nasse Straße	Situation 3: nasse Straße
Straßenbreite [m]		6,5	6,5	6,5
r-Tabelle		CIE C2	CIE W4	CIE W4
Q ₀		0,07	0,166	0,166
LVK		Trockenlicht	Trockenlicht	Regenlicht
Lichtpunkthöhe [m]		8	8	8
Lichtpunktabstand [m]		40	40	40
Überhang [m]		0	0	0
Neigungswinkel [°]		5	5	5
L _m [cd/m ²]	1,0	1,4	3,1	1,4
U ₀	0,4 (trocken) 0,15 (nass)	0,6	0,1	0,2
U _i	0,5	0,6	0,3	0,3
TI [%]	15	14	8	8
SR	0,5	0,5	0,5	0,7

Tab. 1: Vergleich zwischen Beleuchtungen auf nasser Straßenoberfläche (CIE-Klasse W4) mit entweder herkömmlicher Lichtstärkeverteilung (= „Trockenlicht“) oder Regenlichtverteilung (adaptive Lichtstärkeverteilung)

5. Fazit

Mit der im Projekt CoLight entwickelten LED-Pilotleuchte kann die Sichtbarkeit von Hindernissen auf nasser Straßenoberfläche verbessert werden, weil das Regenlicht die Gesamtgleichmäßigkeit deutlich anhebt und normkonform macht. Die Sehsicherheit und Verkehrssicherheit beim Fahren unter kontrastmindernden unfallträchtigen Schlechtwetterbedingungen wie Regen können damit positiv beeinflusst werden.

Alles in allem stellt diese 2-LVK-Pilotleuchte die dynamisch-adaptive Straßenbeleuchtung auf eine neue Entwicklungsstufe, weil damit erstmals eine variable Lichtstärkeverteilung im laufenden Betrieb realisierbar wird.

6. Literatur

- /1/ DIN EN 13201-2: Straßenbeleuchtung – Güteermerekmale (2003)
- /2/ Eckert, M.: Lichttechnik und optische Wahrnehmungssicherheit im Straßenverkehr. Berlin, München: Verlag Technik (1993)
- /3/ CIE Publikation Nr. 115:2010: „Lighting of roads for motor and pedestrian traffic“
- /4/ Labahn N., Wördenweber, B., Lauber, R.: Research & Development Review 1999, Hella Licht und Elektronik
- /5/ Ueberschaer, A.: Objektdetektion bei verschiedenen Adaptationsspektren und Störgrößen unter mesopischen Bedingungen, Tagungsband Licht 2012
- /6/ CIE Publikation Nr. 47:1979: „Road lighting for wet conditions“