

## 2-LVK-STRASSENBELEUCHTUNG FÜR TROCKENE UND NASSE STRASSEN – ZWECKMÄSSIG ODER NICHT?

1. Dipl.-Ing. **Andreas Walkling**<sup>1</sup>, 2. Prof. Dr. sc. nat. Christoph Schierz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>) TU Ilmenau, FG Lichttechnik, Prof.-Schmidt-Straße 26, 98693 Ilmenau, Deutschland

### 1. Einleitung

Regen tritt häufig in Mitteleuropa auf. In Deutschland kann man durchschnittlich von wenigstens 100 bis 120 Regentagen pro Jahr ausgehen (sogar 266 Regentage im Jahr 2004 in Halle/Saale). Auf regennasser Straße verändert sich das Reflexionsverhalten deutlich und damit auch die Leuchtdichteverteilung. Der dadurch auftretende Sichtbarkeitsverlust erhöht das Unfallrisiko bei Nacht. Eine Untersuchung im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen über den Einfluss der Witterung auf das Unfallgeschehen zeigte, dass bei nasser Straße die Unfallzahlen ca. 19 % höher sind als bei trockener Straße [1].

Aus Gründen der Verkehrssicherheit sind für trockene und nasse Straßen deshalb gleichbleibende Sichtbarkeitsbedingungen zu fordern. Das ist mit herkömmlicher Straßenbeleuchtung in Deutschland aber nicht erfüllbar, weil sie lediglich für trockene Straßen ausgelegt wird. In der Regel führt das auf nasser Straße zu einer Unterschreitung der nach DIN EN 13201-2 geforderten Gesamtgleichmäßigkeit der Leuchtdichte  $U_{o,nass}$  von 0,15 [2]. Zudem entstehen Reflexionsbilder von Leuchten auf der Straße, die Reflexblendung verursachen und die Sichtbarkeit weiter verschlechtern.

Diese kritische Verminderung der Gesamtgleichmäßigkeit auf nasser Straße kann mit Leuchten verhindert werden, deren Lichtstärkeverteilungskörper (LVK) die Spiegelreflexion zwischen Lichtquelle und Fahrzeugführer reduziert und umgekehrt die Lichtstärke in andere Richtungen vergrößert. Die dadurch besser angepasste Lichtstärkeverteilung unterscheidet sich von einer konventionellen, die ausschließlich für die trockene Bedingung leuchtdichteoptimiert ist [3].

Eine sinnvolle örtliche Anpassung der Lichtverteilung an die variierenden Umgebungsbedingungen (wie Stadt, Autobahn, Nebel, Regen oder Schneefall) wird in der Kfz-Scheinwerferbeleuchtung mittels Mehr-LVK-Systemen bereits angewendet. Das Regenlicht zum Beispiel reduziert die Eigenblendung des Fahrzeugführers und leuchtet die Fahrbahnränder heller aus, um so die Sichtbedingungen bei Schlechtwetter zu verbessern [4].

## 2. Pro 2-LVK-Leuchte

Ein Argument, das für einen Einsatz der 2-LVK-Leuchte mit zusätzlichen Regenlicht spricht, ist, dass der herkömmliche Lichtpunktstand (*LPA*) nicht verkürzt werden muss, wenn man sowohl die trockene als auch nasse Bedingung erfüllen sollte. Denn mit der 1-LVK-Leuchte wird der geforderte Wert von  $U_{o,nass}$  nicht erreicht. Die Tabelle 1 stellt den Sachverhalt dar. Das verwendete Berechnungsbeispiel basiert auf einer typischen einseitigen Leuchtenanordnung, mit einem *LPA* von 40 m und einer Lichtpunkthöhe (*LPH*) von 8 m. In der Spalte "Situation 1" ist der bedenkliche Allgemeinfall zu sehen, in welchem die  $U_{o,nass}$ -Anforderung nicht erfüllt wird. Dies bedeutet für die Praxis, dass konventionell ausgelegte 1-LVK-Anlagen die nasse Straße nicht normgerecht beleuchten. Der Vergleich zwischen der Situation 1 und 2 zeigt zudem, dass der *LPA* der 1-LVK-Leuchte um etwa 20% auf 33 m unakzeptabel verkürzt werden müsste, um zugleich  $U_{o,nass}$  zu entsprechen. Darüber hinaus wäre diese Beleuchtung nachteilhaft überdimensioniert, weil  $L_{m,nass} \gg 1 \text{ cd/m}^2$  und  $U_{o,trocken} \gg 0,4$  sind (siehe Situationen 2 und 3).

Tab. 1: Vergleich zwischen verschiedenen Beleuchtungen der 1-LVK-Leuchte auf trockener und nasser Straße.

	Mindest-/ Höchstwerte für Klasse ME3c	Situation 1: nasse Straße	Situation 2: nasse Straße	Situation 3: trockene Straße
Straßenbreite (m)		6,5	6,5	6,5
r-Tabelle		CIE W4	CIE W4	CIE C2
q <sub>0</sub>		0,166	0,166	0,07
LVK		1-LVK	1-LVK	1-LVK
Lichtpunkthöhe (m)		8	8	8
Lichtpunktstand (m)		40	33	33
Überhang (m)		0	0	0
Neigungswinkel (°)		5	17	17
$L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	1,0	3,09	2,57	1,33
$U_o$	0,4 (trocken) 0,15 (nass)	0,10	0,15	0,66
<i>TI</i> (%)	15	7,8	6,5	12,8
<i>SR</i>	0,5	0,54	0,66	0,66

Die 2-LVK-Leuchte macht jene Verkürzung des *LPA* nicht erforderlich. Ein Überblick über diesen Vorteil vermittelt die Tabelle 2. Der herkömmliche *LPA* von 40m kann bei nasser Straße beibehalten werden, weil die  $U_{o,nass}$ -Anforderung erfüllt wird. Vorteilhaft ist auch, dass der Fahrbahnrand heller ausgeleuchtet wird (*SR* nimmt von 0,54 auf 0,73 zu). Die Situation 2 zeigt außerdem, dass die Leuchtdichte  $L_{min,trocken}$  von 0,4 cd/m<sup>2</sup> auf nasser Straße nicht erzielt wird. Das ist zwar keine Anforderung nach DIN EN 13201-2, aber erstrebenswert. So ergibt sich daraus ein Potenzial für eine weitere Optimierungsstufe der LVK<sub>nass</sub>.

Tab. 2: Vergleich zwischen verschiedenen Beleuchtungen der 2-LVK-Leuchte auf trockener und nasser Straße.

	Mindest-/ Höchstwerte für Klasse ME3c	Situation 1: trockene Straße	Situation 2: nasse Straße	Situation 3: nasse Stra- ße, 50 % gedimmt
Straßenbreite (m)		6,5	6,5	6,5
r-Tabelle		CIE C2	CIE W4	CIE W4
q <sub>0</sub>		0,07	0,166	0,166
LVK		2-LVK	2-LVK	2-LVK
Lichtpunkthöhe (m)		8	8	8
Lichtpunktstand (m)		40	40	40
Überhang (m)		0	0	0
Neigungswinkel (°)		5	5	5
$L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	1,0	1,42	1,37	0,68
$U_o$	0,4 (trocken) 0,15 (nass)	0,55	0,21	0,21
$L_{min}$ (cd/m <sup>2</sup> )	0,4	0,82	0,32	0,16
TI (%)	15	14,5	8,4	8,4
SR	0,5	0,54	0,73	0,73

Ein weiteres wichtiges Argument, das für den Einsatz der 2-LVK-Leuchte spricht, ist die erhöhte Sehsicherheit auf nasser Straße, die im Wesentlichen von der Gesamtgleichmäßigkeit beeinflusst wird. Der Grund: Das Adaptationsniveau des Fahrzeugführers ist weniger durch die mittlere Fahrbahnleuchtdichte  $L_m$  bestimmt, sondern vielmehr durch die kleinen hellen und großen dunklen Bereiche innerhalb des Bewertungsfeldes auf der Fahrbahn.

Dazu ist eine eigene Feldstudie mit Versuchsstraße und -personen durchgeführt worden. Die gerade Straße wurde einseitig beleuchtet ( $LPA = 30$  m,  $LPH = 8$  m, Beleuchtungsklasse ME2 bei trockener und nasser Fahrbahn, Farbtemperatur = 2000 K). Für die Untersuchung wurde die Fahrbahn über eine Länge von ca. 300 m kontrolliert bewässert (siehe Abbildung 1).

Als Sehobjekte wurden Standardgrautafeln (20 cm x 20 cm) mit verschiedenen Reflexionsgraden (0,03, 0,15, 0,2, 0,3) eingesetzt, die in der Straßenbeleuchtung als klassisches Hindernis gelten. Die Objekte wurden innerhalb des DIN-Bewertungsfeldes an neun Positionen zufällig verteilt aufgestellt. Die Versuche erfolgten mit maximal 13 Versuchspersonen je Versuchsdurchlauf und Abend. Keiner der Versuchspersonen war älter als 40 Jahre. Die Sehaufgabe war, bei einer begrenzten Beobachtungszeit die Sichtbarkeit der Hindernistafeln mithilfe einer vierteiligen Skala zu bewerten. Dies kann im Übrigen als Abstrahierung für kritische Sehbedingungen im Straßenverkehr angesehen werden.



Abb. 1: Trockene und bewässerte Straße mit Sehobjekten unterschiedlichen Reflexionsgrades. Auf der nassen Straße sind typische Reflexbilder der Leuchten zu erkennen.

Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, zeigen die Ergebnisse, dass bei zunehmender Gesamtgleichmäßigkeit die Sichtbarkeit von Objekten auf nasser Fahrbahn im Durchschnitt ansteigt. Die mittlere Beobachterposition befindet sich dabei mittig auf der rechten Fahrspur.

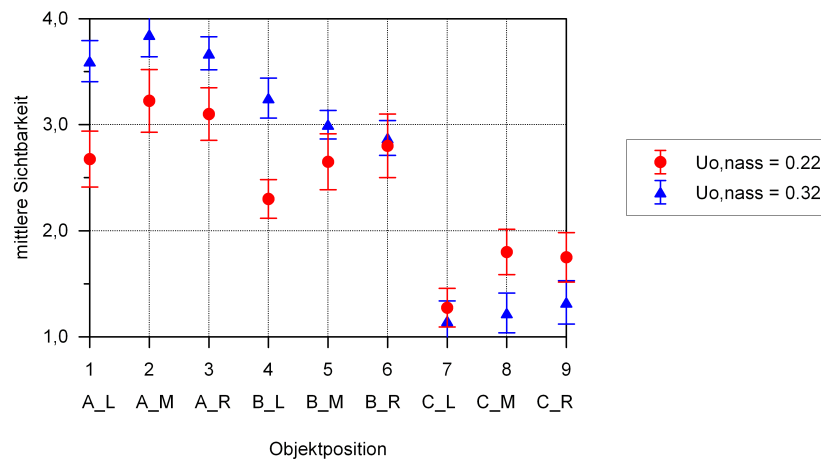


Abb. 2: Die Mittelwerte mit deren Standardfehler der Sichtbarkeiten von Objekten, aufgetragen über der Objektposition. Parameter ist die Gesamtgleichmäßigkeit. Die Objektpositionen umfassen drei Querreihen ("A" = 65, "B" = 75 und "C" = 85 m Beobachtungsentfernung) und drei Längsreihen ("L" = links, "M" = mittig und "R" = rechts). Die Sichtbarkeitsskala verwendet Werte zwischen 0 (unsichtbar), 1 (sehr schlecht sichtbar), 3 (mäßig sichtbar) und 5 (sehr gut sichtbar).

### 3. Kontra 2-LVK-Leuchte

Ein wichtiges Gegenargument für die 2-LVK-Leuchte mit zusätzlichem Regenlicht ist die angeblich geringe Niederschlagsmenge, die in Deutschland fällt. Vergleicht man jedoch die jährlich auftretenden 700 mm Regen mit dem häufigen Nasswetter von 750 mm im CIE-Referenzland Dänemark (dem klassischen Regenlichtland), so erscheint das Gegenargument als nicht zutreffend [5]. Auch wenn in der kühlen und feuchten Jahreszeit die Niederschlagsmenge in Deutschland um ca. 30 % kleiner ist (siehe Abbildung 3), ist die Nass-Bedingung (W-Klassen) dennoch ganzjährig anwendbar. Der Grund: Die Trocknungszeit ist viel länger als im Sommer. D. h., nass bzw. feucht ist eine Straße nicht nur während des Regenfalls, sondern noch während der anschließenden Trocknungszeit, die bei völlig durchnässter Deckschicht im Frühling oder Herbst, wenn der Anteil der Dunkelstunden besonders hoch ist, Tage dauern kann. In diesem Fall verliert das Reflexionsverhalten der trockenen Straße (C-Klassen) seine Bedeutung für die Praxis [6].

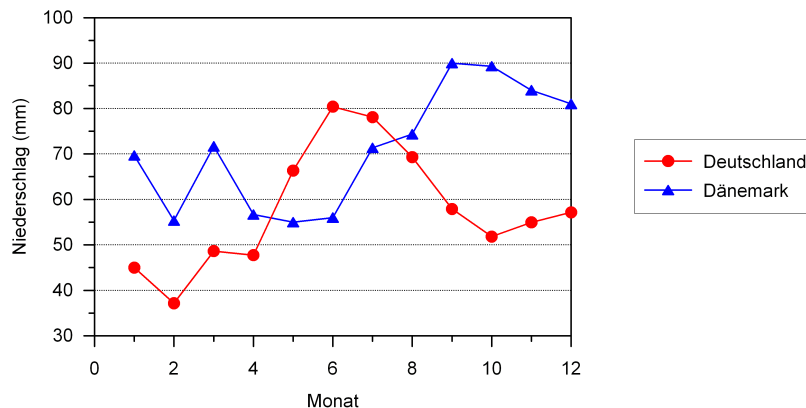


Abb. 3: Mittlere Niederschlagsmenge im Jahresverlauf. Mittel: 1961 - 1990.

Ein weiteres Gegenargument ist, dass man bei Anwendung der konventionellen 1-LVK-Leuchte deren Beleuchtung angeblich dimmen kann, egal ob die Straße trocken oder nass ist. Der deutliche Anstieg des mittleren Leuchtdichteniveaus  $L_{m,nass}$  dient in diesem Zusammenhang als zusätzliche Rechtfertigung für das Dimmen auf nasser Straße. Dabei wird jedoch nicht beachtet, dass mit der 1-LVK-Beleuchtung die geforderte Gesamtgleichmäßigkeit  $U_{o,nass}$  nicht erfüllt wird. Dies führt unvermeidlich zu einem großen Abstand zwischen den Werten von  $L_{min,nass}$  und  $L_{m,nass}$  bzw.  $L_{max,nass}$ , wodurch die Sichtbedingungen bei nasser Straße nachträglich verschlechtert werden. Somit trifft das Gegenargument ebenso nicht zu.

Zur Veranschaulichung werden anhand des oben genannten Standardbeleuchtungsbeispiels ( $LPA = 40$  m,  $LPH = 8$  m, Beleuchtungsklasse ME3c) in Tabelle 3 die Zahlenwerte wiedergegeben, die sich beim herkömmlichen Einsatz der 1-LVK-Leuchte (ohne Regenlicht) ergeben. In

der Spalte "Situation 3" ist der kritische Allgemeinfeld zu sehen, wo die  $U_{o,nass}$ -Anforderung nicht erfüllt und dennoch um 50% gedimmt wird. Der damit verbundene Leuchtdichteunterschied (von größer gleich 1:10) zwischen  $L_{min,nass}$  und  $L_{m,nass}$  bzw.  $L_{max,nass}$  ist problematisch und deshalb zu vermeiden. Für die Praxis bedeutet dies, dass bei Verwendung der 1-LVK-Leuchte das Beleuchtungsniveau bei nasser Straße nicht reduziert werden sollte.

Tab. 3: Vergleich zwischen verschiedenen Beleuchtungen der 1-LVK-Leuchte auf trockener und nasser Straße.

	Mindest-/ Höchstwerte für Klasse ME3c	Situation 1: trockene Straße	Situation 2: nasse Straße	Situation 3: nasse Stra- ße, 50 % gedimmt
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		1-LVK	1-LVK	1-LVK
Lichtpunkthöhe (m)		8	8	8
Lichtpunktstand (m)		40	40	40
Überhang (m)		0	0	0
Neigungswinkel (°)		5	5	5
$L_m$ (cd/m <sup>2</sup> )	1,0	1,42	3,09	1,54
$U_o$	0,4 (trocken) 0,15 (nass)	0,55	0,10	0,10
$L_{min}$ (cd/m <sup>2</sup> )	0,4	0,82	0,38	0,19
TI (%)	15	14,5	7,8	7,8
SR	0,5	0,54	0,54	0,54

#### 4. Fazit

Die vorigen Kapitel zeigen, dass der Feuchtigkeitseinfluss in Deutschland ähnlich hoch ist wie im CIE-Referenzland Dänemark. Eine eigene Feldstudie ergab, dass der Einfluss der Gesamtgleichmäßigkeit auf die Sichtbarkeit von Hindernissen bei nasser Fahrbahn unverkennbar ist, und dass deshalb  $U_{o,nass}$  als Gütekennziffer eingehalten werden sollte.

Der Umstand, dass konventionelle 1-LVK-Leuchten auch bei nasser Straße gedimmt werden, zeigt indessen den kritischen Allgemeinfeld, der die Sichtbedingungen unzulässig verschlechtert. Entweder sollte man die Lichtstromabsenkung möglichst vermeiden oder zweckmäßigerweise die 2-LVK-Leuchte (mit zusätzlichem Regenlicht) verwenden, um gleichermaßen normgerecht bei nasser Straße beleuchten und dimmen zu können.

Eine dafür benötigte dynamisch-adaptive 2-LVK-Straßenleuchte ist mit LED- und Sensortechnik als technischer Prototyp bereits realisiert worden [7].

## 5. Literatur

[1] Arminger, G, et. al.: Einfluss der Witterung auf das Unfallgeschehen. Schlussbericht zum BAST-Forschungsbericht 8901, 1996

[2] DIN EN 13201-2: Straßenbeleuchtung – Gütemerkmale, Berlin, Beuth-Verlag, 2003

[3] van Bommel, W. J. M.: Optimization of the quality of roadway lighting installations – especially under adverse weather conditions, Journal of IES, January 1976, S. 99

[4] <http://www.al-lighting.com/de/beleuchtung/frontscheinwerfer/afs/>

[5] CIE Publikation Nr. 47: Road lighting for wet roads, 1979

[6] Keschull, W.: Leuchtdichteverhältnisse auf feuchten Straßen, LICHTTECHNIK, 18. Jahrgang Nr. 9/1966, S. 109A

[7] Walkling, A. et. al.: Dynamisch-adaptive LED-Pilotleuchte, LICHT9/2012, S. 57