

# Entwicklung von Straßenbeleuchtungskonzepten mittels LED-Technik zur Verbesserung der visuellen Wahrnehmung von Radfahrern

Frithjof Hansen, Prof. Dr. Stephan Völker

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Lichttechnik, Fakultät IV, Elektrotechnik und Informatik, Einsteinufer 19, 10587 Berlin

## Zusammenfassung

Radfahrende im Straßenverkehr sind durch den motorisierten Verkehr besonders gefährdet. Eine Ursache für ihr Sicherheitsrisiko ist die verminderte Sichtbarkeit bei unzureichender Straßenbeleuchtung.

Das Forschungsvorhaben der TU Berlin untersucht die Auswirkungen bestehender Beleuchtungsvorgaben für Radwege auf die Sichtbarkeit von Radfahrenden und prüft die Notwendigkeit neuer Planungsparameter. Hierfür wurden photometrische Messungen an Unfallorten durchgeführt. Die Auswertung der Daten zeigt, dass die Einhaltung der normativen Beleuchtungsvorgaben nicht immer gewährleistet ist. Niedrige Visibility Level deuten auf eine unzureichende Sichtbarkeit hin. Im Rahmen des Projektes werden neue photometrische Parameter entwickelt, die eine sichtbarkeitsbasierte Beleuchtungsplanung ermöglichen.

**Schlagwörter:** Straßenbeleuchtung, Radverkehrswege, Sichtbarkeit, Radfahrende

## 1 Einleitung

Fließender Radverkehr findet entweder im Mischverkehr mit dem motorisierten Verkehr auf der Fahrbahn statt oder auf gesonderten Radverkehrsanlagen, die den motorisierten Verkehr durch Markierung, bauliche oder verkehrsregelnde Maßnahmen abgrenzen.

Mit Radverkehrsanlagen kann der Verkehrsfluss für Kraftfahrzeuge sowie für Radfahrende verbessert werden. Zudem soll die Verkehrssicherheit durch die Trennung bzw. Abgrenzung vom motorisierten Verkehr erhöht werden.

Untersuchungen der Unfallforschung der Medizinischen Hochschule Hannover zeigen jedoch höhere Unfallzahlen mit Radfahrenden auf von der Fahrbahn getrennten Radwegen gegenüber dem Mischverkehr auf der Fahrbahn [1]. Insbesondere an Knotenpunkten kommt es häufig zu gefährlichen Konfliktsituationen zwischen dem Rad- und Kraftfahrzeugverkehr, wo mehr als die Hälfte der Unfälle mit Radfahrbeteiligung stattfinden. Auch insgesamt zeigen die jährlichen Unfallzahlen des Statistischen Bundesamtes einen Anstieg der Radfahrunfälle, bei simultan allgemein sinkenden Unfallzahlen (Tab. 1).



## Jahrestabellen

1.1 Das Straßenverkehrsunfallgeschehen von Kraft- und Fahrrädern im Überblick

	2000	2005	2010	2015	2017	2018	2019	2020	Veränderung 2020 gegenüber 2019 in %
Unfälle insgesamt .....	382 949	336 619	288 297	305 659	302 656	308 721	300 143	264 499	- 11,9
dar.: Unfälle mit Beteiligung von Fahrern von									
Kraftfahradern mit Versicherungskennzeichen <sup>1</sup> .....	19 184	17 609	17 003	15 466	13 750	14 683	13 748	12 086	- 12,1
Kraftfahradern mit amtlichen Kennzeichen <sup>2</sup> .....	39 348	34 266	25 915	29 295	28 120	30 174	26 938	25 120	- 6,7
Fahrrädern <sup>3</sup> .....	73 927	78 678	65 647	78 341	79 826	88 472	87 253	91 533	+ 4,3

Tab. 1: Zunehmende Unfallzahlen mit Radfahrbeteiligung bei insgesamt sinkenden Unfallzahlen [2]

Das Sicherheitsrisiko von Radfahrenden wird auf verschiedene Ursachen zurückgeführt. Studien der TU Berlin [3] [4] zeigen die hohe Bedeutung einer verminderten Sichtbarkeit aus Sicht des Kraftfahrenden und Fußgängers insbesondere bei Dämmerung und in den Dunkelstunden durch eine unzureichende ortsfeste Straßenbeleuchtung.

In dem Forschungsvorhaben der TU Berlin werden aktuelle Vorgaben und Praktiken zur Beleuchtung von Radwegen im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf die Sichtbarkeit von Radfahrenden untersucht und die Notwendigkeit neuer Planungsparameter überprüft. Mit Hilfe photometrischer Messungen an Radunfallorten im Raum Hannover wurden Sichtbarkeiten bei typischen Unfallszenarien erfasst und Indizien für eine weitergehende sichtbarkeitsbasierte Parameterentwicklung gesammelt.

## 2 Normative Vorgaben für Radwegbeleuchtung

Bei der Auslegung der ortsfesten Straßenbeleuchtung findet die DIN EN 13201 Anwendung. Sie teilt sich in insgesamt fünf Teile. Der erste Teil [5] kategorisiert beleuchtete Verkehrsflächen in sogenannte M-, P- und C-Klassen mit bis zu sieben Abstufungen. Für die unterschiedlichen Beleuchtungsklassen werden im zweiten Teil [6] Vorgaben für das mittlere Beleuchtungsstärkeniveau auf Verkehrsflächen mit überwiegendem Fuß- und Radverkehr (P-Klasse) und Konfliktzonen (C-Klasse) sowie ein mittleres Leuchtdichteniveau auf Verkehrsflächen mit überwiegend motorisiertem Verkehr (M-Klasse) gegeben.

Von der Fahrbahn vollständig separierte Radwege werden in der Norm im Regelfall als P-Klasse angesehen. Die Einteilung der Radwege in die Abstufungen der Klassen P1 bis P6 erfolgt auf Basis der Summe gewichteter Auswahlparameter, wie in Tabelle 9 der DIN 13201-1 dargestellt (Tab. 2). Neben baulichen Parametern fließen auch Verkehrsdaten und Umgebungsleuchtdichten in die Bestimmung des Wichtungswertes ein. Ein hoher Wichtungswert resultiert in gesteigerten Anforderungen an die Auslegung der ortsfesten Beleuchtungsanlagen mit der Klasse P1 am oberen und der Klasse P6 am unteren Ende der Skala.

Tabelle 9 — Radwege für P-Klassen

Auswahlparameter	Optionen/Auswahlmöglichkeit	Wichtungswert $V_W$	Gewählter Wichtungswert	
Betriebsart	Zweirichtungsverkehr	1		
	Einrichtungsverkehr	0		
Lagebezug zu angrenzenden Verkehrsflächen	sonstige	1		
	bauliche Abgrenzung oder räumlich getrennt <sup>a</sup>	0		
<b>Zwischenwert</b>				
Variable Parameter für die adaptive Beleuchtung	Optionen/Auswahlmöglichkeit	Wichtungswert $V_W$	Zeitpunkt	
			$t_0$	$t_1$
Radverkehrsfluss	normal	0		
	gering	-1		
Verkehrsart / Zusammensetzung	Radfahrer und Fußgänger	1		
	reiner Radverkehr	0		
Leuchtdichte der Umgebung	hoch	1		
	mittel	0		
	gering	-1		
Erhöhte Anforderungen	vorhanden	1		
	nicht vorhanden	0		
		<b>Summe der Wichtungswerte <math>V_{WS}</math></b>		
		<b>Beleuchtungsklasse <math>P = 6 - V_{WS}</math></b>		
Die beiden Radverkehrsflächen „Radfahrstreifen“ und „Schutzstreifen“ („Angebotsstreifen“) müssen beleuchtungstechnisch als zur Fahrbahn gehörig behandelt werden. Die zu verschiedenen Zeiten realisierten Beleuchtungsklassen dürfen sich um nicht mehr als drei Stufen der Beleuchtungsklassen verändern.				
<sup>a</sup> Abgrenzung per Gitter, Geländer, Schutzvorrichtung und ähnliches oder räumlicher Abstand zu umliegenden Verkehrsflächen mind. 1,5 m				

Tab. 2: Auswahlkriterien der geeigneten P-Klassen für Radwege [5]

Die Anforderungen für Beleuchtungsanlagen von P-klassifizierten Radwegen basieren im Wesentlichen auf dem Wert der mittleren horizontalen Beleuchtungsstärke, wie in Tabelle 3 der DIN EN 13201-2 gezeigt (Tab. 3).

Tabelle 3 — P-Beleuchtungsklassen<sup>N2)</sup>

Klasse	Horizontale Beleuchtungsstärke		Zusätzliche Anforderungen falls Gesichtserkennung erforderlich ist	
	$\bar{E}^a$ [minimaler Wertungswert]	$E_{min}$ [Wertungswert]	$E_{v,min}$ [Wertungswert]	$E_{sc,min}$ [Wertungswert]
	lx	lx	lx	lx
P1	15,0	3,00	5,0	5,0 <sup>N2)</sup>
P2	10,0	2,00	3,0	2,0
P3	7,50	1,50	2,5	1,5
P4	5,00	1,00	1,5	1,0
P5	3,00	0,60	1,0	0,6
P6	2,00	0,40	0,6	0,2 <sup>N2)</sup>
P7	unbestimmte Anforderung	unbestimmte Anforderung		

<sup>a</sup> Um Gleichmäßigkeit sicherzustellen, darf der tatsächliche Wert des Wertungswertes der mittleren Beleuchtungsstärke das 1,5-fache des für die Klasse vorgesehenen Mindestwertes  $\bar{E}$  nicht überschreiten.

ANMERKUNG 4 Eine hohe Farbwiedergabe trägt zu einer besseren Gesichtserkennung bei.

Tab. 3: Anforderungen an P-Klassen [6]

Verläuft der Radweg direkt neben der Fahrbahn oder ist mit dieser identisch, wird die Radspur undifferenziert als M-Klasse mitbeleuchtet.

In Bereichen, in denen sich Verkehrsströme mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten kreuzen, fordert die Norm die Anwendung von C-Klassen. Diese definieren in der Regel ein höheres und gleichmäßigeres Beleuchtungsniveau, gemessen als horizontale Beleuchtungsstärke, als es in den M- oder P-Klassen gefordert wird. Die Auswahl der spezifischen C-Klassen erfolgt über die Klasseneinteilung der an der Konfliktzone beteiligten Verkehrsströme. Die Beleuchtungsklasse muss mindestens eine Stufe höher als die der angrenzenden Klasse mit den höchsten Anforderungen gewählt werden. Das Anforderungsprofil der einzelnen C-Klassen ist in Tab. 4 einzusehen.

Tabelle 2 — C-Beleuchtungsklassen, basierend auf der Fahrbahnbeleuchtungsstärke

Klasse	Horizontale Beleuchtungsstärke	
	$\bar{E}$ [minimaler Wert] lx	$U_0$ [Mindestwert]
C0	50	0,40
C1	30	0,40
C2	20,0	0,40
C3	15,0	0,40
C4	10,0	0,40
C5	7,50	0,40

Tab. 4: Parameteranforderung für C-Klassen [6]

### 3 Messmethodik

In Kooperation mit der Medizinischen Hochschule Hannover wurden die Unfalldaten der GIDAS (German In-Depth Accident Study) Datenbank im Raum Hannover mit Fokus auf den Radverkehr ausgewertet. Untersucht wurden Unfälle mit Radfahrerbeteteiligung unter Ausschluss von Alleinunfällen mit dem Ziel, Unfälle in denen mangelnde Sichtbarkeit des Radfahrenden durch den motorisierten Verkehr als Unfallursache anzunehmen ist, zu filtern und genauer zu analysieren. An ausgewählten Unfallorten, welche einen Querschnitt verschiedener Kreuzungssituationen und Beleuchtungsklassen darstellen, wurden photometrische Daten nacherfasst und die Beleuchtungssituation durch die ortsfeste Straßenbeleuchtung auf ihre Auswirkungen auf die Sichtbarkeit des Unfallbeteiligten Radfahrenden ermittelt. Aus 22 prinzipiell geeigneten Unfällen wurden fünf Unfallstellen ausgewählt und in zwei Nächten zwischen dem 15.11.2022 und dem 17.11.2022 in Hannover vermessen. Verwendet wurde eine kalibrierte Leuchtdichtkamera LMK6 der Firma TechnoTeam mit zwei Objektiven (25 mm, 50 mm) und ein Beleuchtungsstärkemesskopf. Erhoben wurden Werte dreier verschiedener Messkonstellationen, die nachfolgend genauer beschrieben werden:

#### 3.1 Messaufbau: Adaptionsstrecke

Im Anfangsaufbau wurde die Leuchtdichtkamera mit einem 50 mm Objektiv in einer Entfernung von 60 Metern zu einem Auswertungsfeld zwischen zwei Leuchtenmasten aufgestellt, das sich auf der Straße befindet, auf der der betroffene PKW vor der Kollision fuhr. Das Auswertungsfeld erstreckt sich über die gesamte Straßenbreite. Mit Hilfe des Leuchtdichtbildes kann die Beleuchtungsklasse der Fahrbahn bestimmt werden. Dies ermöglicht eine Abschätzung der Kurzzeitlichthistorie des PKW-Fahrenden. Dabei wird von einer annähernd symmetrischen Reflexion der Fahrbahnoberfläche ausgegangen, wodurch eine Invertierung der Perspektive des Aufbaus mit kleinem Fehler ermöglicht wird. Dies ermöglicht auch die Messung

kurviger Einmündungsstraßen und einen praktikablen Ablauf. Der Messaufbau ist schematisch in Bild 1 dargestellt.

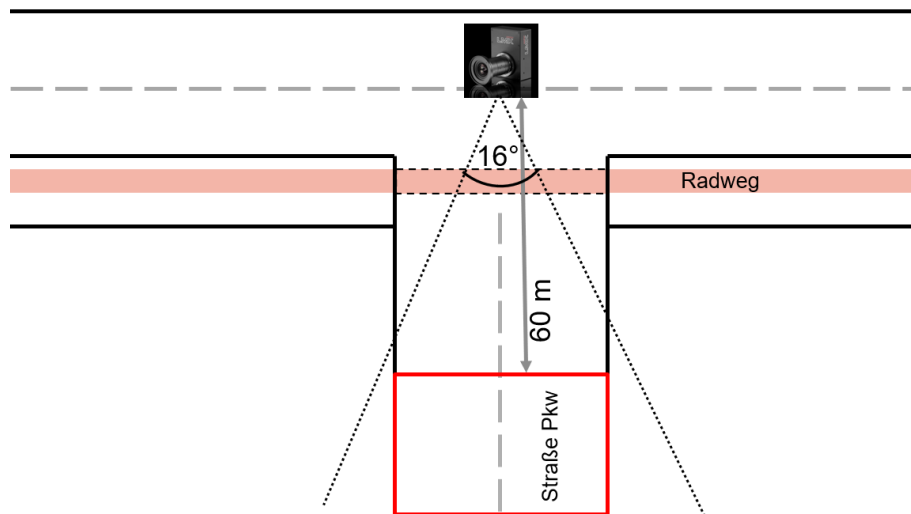


Bild 1: Messung der Leuchtdichte der Adaptationsstrecke des PKW mit 50 mm Objektiv

### 3.2 Messaufbau: Unfallstelle

In der zweiten Messkonstellation wurde die Leuchtdichtekamera mit einem 25 mm Objektiv in einer Entfernung von 10 m von der Unfallstelle (kreuzender Radweg) positioniert. Diese Entfernung stellt den letztmöglichen Reaktionspunkt des Pkw-Fahrenden vor der Kollision dar (s. Rechnung dritter Messaufbau). Das Messfeld erstreckt sich über die Breite der zuführenden Fahrbahn und wird in der Länge durch die gegenüberliegende Bordsteinkante und den Rand des kreuzenden Radwegs begrenzt. In der Mitte des Messfeldes wurden an drei Positionen Graukarten aufgestellt, jeweils eine horizontal ausgerichtete Graukarte in Höhe der Fahrbahn mit einem Reflexionsgrad von 0,3 und eine vertikal zur Kamera ausgerichtete Graukarte in 1,30 m Höhe mit einem Reflexionsgrad von 0,2. Die gewählten Positionen der Graukarten und der allgemeine Messaufbau sind in Bild 2 dargestellt. Aus den Leuchtdichtewerten der Graukarten kann bei bekanntem Reflexionsgrad die Beleuchtungsstärke (horizontal und vertikal) berechnet werden. Für die Kontrolle der Plausibilität der berechneten Beleuchtungsstärken wurden zusätzlich Messungen mit dem Beleuchtungsstärkemesskopf an denselben Positionen durchgeführt. Diese Messungen ermöglichen die Bestimmung der Beleuchtungsverhältnisse an der Unfallstelle, wie sie dem PKW-Fahrenden bei Zufahrt dargeboten wurden, und eine Einschätzung der Beleuchtungsklasse.

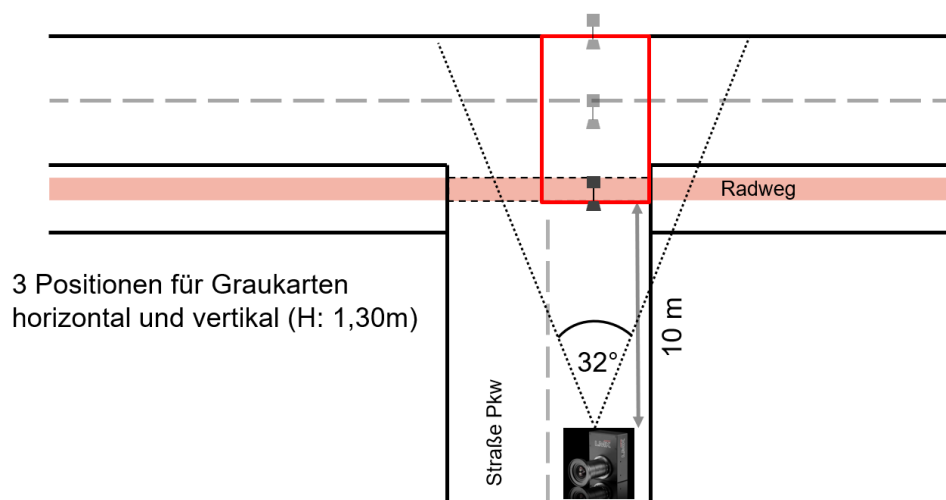


Bild 2: Vermessung der Unfallstelle aus 10m Distanz mit einem 25 mm-Objektiv.

### 3.3 Messaufbau: Visibility Level

Die letzte Messanordnung diente der Ermittlung des Visibility Levels (VL - Definition nach Adrian [7]) des Radfahrenden aus Sicht des in den Unfallort einfahrenden Pkw. Erfasst wurde aufgrund der beliebig komplexen, dynamischen Unfallsituation nur das VL im letztmöglichen Moment der Reaktion zur Vermeidung der Kollision, welcher mit 10 m Entfernung von der Unfallstelle definiert wurde. Diese Annahme wird durch allgemeine Geschwindigkeitsannahmen der Unfallbeteiligten und den resultierenden Wegstrecken und Anhaltewegen bestimmt: Für den Radfahrenden wird eine mittlere Geschwindigkeit von 23 km/h (6,4 m/s) [8] angenommen, während für den Autofahrenden eine Restgeschwindigkeit von 25 km/h beim Einfahren in die Kreuzung veranschlagt wird. Es wird von einer Reaktionszeit von 1s und einer Gefahrenbremsung ausgegangen.

Um den Anhalteweg eines PKW bei einer bestimmten Geschwindigkeit zu berechnen, werden der Reaktionsweg des Fahrers und der Bremsweg des PKW addiert.

Die (Faust)formel lautet:

$$\text{Mit Reaktionsweg} = \frac{\text{Geschwindigkeit}}{10} \times 3 \times 1s = \frac{6,94m/s}{10} \times 3 \times 1s = 7,5m$$

$$\text{und (Gefahren)bremsweg} = \left(\frac{\text{Geschwindigkeit}}{10}\right)^2 \div 2 \times 1s = \left(\frac{6,94m/s}{10}\right)^2 \div 2 \times 1s = 3,13m$$

ergibt sich der Anhalteweg des PKW zu  $7,5m + 3,13m = 10,63m$

Aus messpraktischen Erwägungen wird der Abstand der Leuchtdichtkamera von der Kollisionsstelle auf 10 m gerundet. Die zurückgelegte Wegstrecke des Radfahrenden berechnet sich bei einer geschätzten Anhaltezeit von 2 sec. wie folgt:

$$\text{Wegstrecke} = \text{Geschwindigkeit} \times \text{Zeit} = 6,4 \frac{m}{s} \times 2s = 12,8m \approx 13m$$

Eine Graukarte mit Reflexionsgrad 0,2 wurde daher stellvertretend für den Radfahrenden in 1,30 m Höhe 13 m entfernt zum Ort der Kollision entlang des Radweges platziert.

Der Messaufbau (Bild 3) simuliert also, ob es dem PKW-Fahrenden in einer Entfernung von 10 m von der Unfallstelle möglich war, den 13 m entfernten Radfahrenden auf dem Radweg zu erkennen.

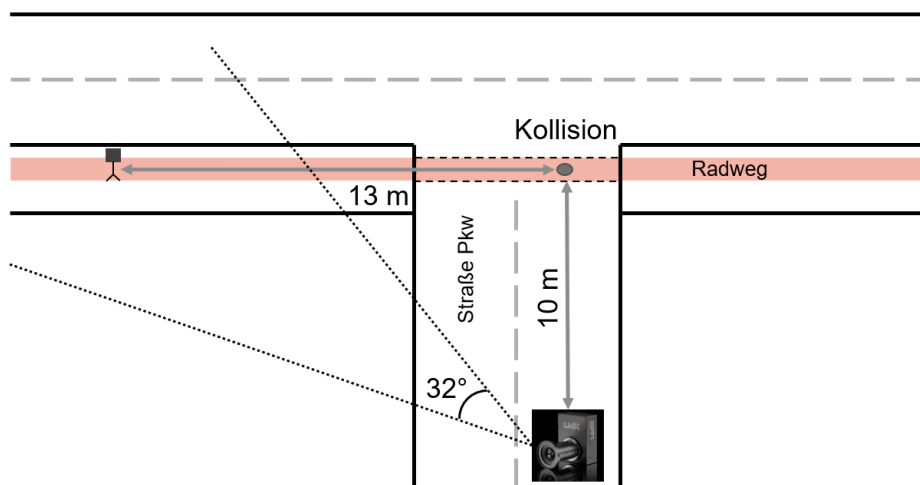


Bild 3: Ermittlung des VL des Radfahrenden aus der Perspektive des Unfallgegners mittels 25 mm-Objektiv

Neben der Erfassung der photometrischen Daten, wurde für alle fünf Unfallorte eine Ortsbeschreibung protokolliert, mit Angaben zur Lufttemperatur, zur Bebauung, dem Zustand des Straßenbelags und dem Mastabstand.

## 4 Durchführung und Auswertung

### 4.1 Analyse der Messdaten

Die aufgenommenen Leuchtdichtebilder der Unfallstellen wurden in der Software LMK LabSoft ausgewertet und die Einhaltung der anzusetzenden Beleuchtungsklasse überprüft. Ergänzend wurden über die Anforderungen an die Beleuchtungsklassen hinausgehende Parameter, wie Minimalwerte und Schwellenwerterhöhung erfasst.

Mithilfe des Visibility Level als Kontrastmaß wurde eine Abschätzung zur Sichtbarkeit des Radfahrenden vorgenommen. Die verwendete Methodik kann die Situation aufgrund der hohen Dynamik nicht vollständig beschreiben, jedoch als Indikation schlechter Sichtverhältnisse dienen.

### 4.2 Beleuchtungsklassen – Adaptationsstrecke

In Tab. 5 sind, sortiert nach Unfallnummern, die photometrischen Parameter der Straße aufgelistet, welche der Pkw im Zeitraum vor der Kollision befuhr (Messaufbau 1). Konkret wurden folgende Größen im Auswertungsfeld erhoben:

- Mittlere Leuchtdichte  $\bar{L}$
- Minimale Leuchtdichte  $L_{min}$
- Gesamtgleichmäßigkeit  $U_0$
- minimale Längsgleichmäßigkeit  $U_l$
- Schwellenwerterhöhung  $f_{TI}$

Basierend auf den örtlichen Begebenheiten erfolgte eine Zuordnung zu den entsprechenden Beleuchtungsklassen. In der „Soll“ Spalte werden die Grenzwerte der Bewertungsgrößen abhängig von der zugeordneten Beleuchtungsklasse aufgeführt und den tatsächlichen Messwerten in der „Ist“ Spalte gegenübergestellt. Der Farbcode symbolisiert die Einhaltung der Grenzwerte (Grün) bzw. das Über- oder Unterschreiten der Vorgaben (Rot). Die Grenzwerte für die Leuchtdichte bei P-Klassen ergeben sich aus den Äquivalenzwerten zur Beleuchtungsstärke nach Tabelle 12 in der DIN 13201-1 [5]. Aufgrund der mangelnden Kenntnis des genauen Reflexionsgrades wird nach Empfehlung der Norm der Wert  $\rho = 0,15$  verwendet.

	Unfall 1 (P5)		Unfall 2 (M6)		Unfall 3 (P5)		Unfall 4 (M6)		Unfall 5 (M6)	
	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist
$\bar{L}$ in $\frac{cd}{m^2}$	0,15	0,43	0,3	0,28	0,15	1,38	0,3	0,63	0,3	0,28
$L_{min}$ in $\frac{cd}{m^2}$	0,03	0,12	-	-	0,03	0,51	-	-	-	-
$U_0$	-	-	0,35	0,43	-	-	0,35	0,26	0,35	0,44
$U_l$	-	-	0,4	0,23	-	-	0,4	0,05	0,4	0,28
$max. f_{TI}$ in %	30	1,77	20	1,85	30	0,3	20	0,7	20	1,89

Tab. 5: Bewertungsgrößen nach DIN EN 13201 im Auswertungsfeld – Adaptationsstrecke

Der Auswertung zufolge wurde die Norm bei Unfall 1, 3 und 4 eingehalten. Unfall 3 weist dabei ein ungewöhnlich hohes Beleuchtungsniveau auf. Die Werte der Unfälle 2 und 5 liegen geringfügig unter den nach Norm geforderten Werten.

Bei den Unfällen 2, 4 und 5 können Mängel in der Gleichmäßigkeit festgestellt werden. Besonders Unfall 4 liegt mit dem Wert 0,05 weit vom geforderten Wert 0,4 in der Längsgleichmäßigkeit entfernt.

Eine Blendung durch die Straßenbeleuchtung kann aufgrund der geringen TI-Werte bei allen Unfällen nicht vermutet werden.

### 4.3 Beleuchtungsklassen – Unfallstelle

Der nächste Auswertungsschritt befasste sich mit der Beleuchtungssituation an der Unfallstelle (Messaufbau 2). Die aufgeführten Bewertungsgrößen in Tab. 6 sind, wie zuvor, nach Unfallnummer sortiert und in „Soll“ und „Ist“-Spalten unterteilt. Erhoben wurden folgende Größen:



- Mittlere Leuchtdichte  $\bar{L}$
- Mittlere horizontale Beleuchtungsstärke  $\bar{E}_h$
- Mittlere vertikale Beleuchtungsstärke  $\bar{E}_v$  in 1,30 m Höhe
- Gesamtgleichmäßigkeit  $U_0$
- minimale Längsgleichmäßigkeit  $U_l$
- Schwellenwerterhöhung  $f_{TI}$

Die Werte der Beleuchtungsstärken wurden, wie im Messaufbau beschrieben, mittels der Graukarten im Messfeld, bzw. im Falle von Unfall 1 mithilfe des Beleuchtungsstärkemesskopfs ermittelt, da eine Auswertung aus der Leuchtdichteaufnahme in diesem Fall aufgrund einer Messspanne nicht fehlerfrei möglich war.

Eine abschließende Beurteilung nach DIN EN 13201 ist aufgrund des Messabstands von 10 m und dem daraus resultierenden steileren Winkel nicht legitim. Dennoch ergeben die Messwerte ihrer Gesamtheit eine gute Einschätzung der Beleuchtungssituation, wie sie dem Pkw-Fahrenden dargeboten wird. Die angesetzten Beleuchtungsklassen bieten dabei einen hilfreichen Rahmen.

	Unfall 1 (C3)		Unfall 2 (M3)		Unfall 3 (M4)		Unfall 4 (M5)		Unfall 5 (FÜ*)	
	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist	Soll	Ist
$\bar{L}$ in $\frac{cd}{m^2}$	0,75	0,32	1	0,44	0,75	0,27	0,5	0,35	1,5	2,31
$\bar{E}_h$ in lx	15	1,9	-	9,82	-	5,43	-	7,83	-	33,88
$\bar{E}_v$ in lx	-	1,00	-	6,30	-	4,93	-	3,38	4,00	11,54
$U_0$	0,4	0,25	0,4	0,49	0,4	0,42	0,35	0,63	0,4	0,26
$U_l$	-	-	0,6	0,55	0,6	0,14	0,4	0,51	0,7	0,22
$max. f_{TI}$ in %	20	0,50	10	0,09	15	3,11	20	0,343	10	0,15

Tab. 6: Bewertungsgrößen nach DIN EN 13201 im Auswertungsfeld – Unfallstelle

Auffallend mangelnde Beleuchtungsbedingungen zeigen sich an der Stelle des Unfalls 1, welche aufgrund der abknickenden Vorfahrtstraße und einmündenden Straße mit kreuzendem Radweg als Konfliktzone einzustufen wäre.

Auch Unfall 2,3 und 4 erreichen die für die jeweilige Beleuchtungsklasse geforderten Mittelwerte der Leuchtdichte nicht. Jedoch weisen diese Zonen eine deutlich bessere Gleichmäßigkeit gegenüber Unfall 1 und 5 auf. Die Beleuchtungsstärken im Auswertungsfeld indizieren ein generell akzeptables Beleuchtungsniveau.

Der hohe Wert der Leuchtdichte bei Unfall 5 ist durch die anteilige Position des Auswertungsfeldes innerhalb eines hellerleuchteten Fußgängerüberweges zu erklären.

#### 4.4 Visibility Level

Tab. 7 zeigt die errechneten Visibility Level nach Adrians des Radfahrenden aus der Perspektive des Kraftfahrzeugführenden.

	Unfall 1	Unfall 2	Unfall 3	Unfall 4	Unfall 5
Adrian	3	15	16	3	8

Tab. 7: VL des Radfahrenden für 5 Messorte (gerundet auf  $\mathbb{Z}$ )

Die Werte der Visibility Level deuten große Unterschiede in der Sichtbarkeit zwischen den fünf Unfallorten an. Während in Unfall 2 und 3 ein vergleichsweise hohes VL errechnet wurde, liegen die Werte bei Unfall 1 und 4 im niedrigen einstelligen Bereich. Damit sind die Ergebnisse nicht zwangsläufig deckungsgleich zu den Einschätzungen der Beleuchtungssituation am Unfallort. Unfall 1 zeigt das geringste Sichtbarkeitsniveau bei zugleich mangelhafter Beleuchtung an der Unfallstelle. Dieser Zusammenhang ist bei Unfall 4 deutlich weniger signifikant. Im Falle von Unfall 2 und 3 ist ein deutlich höheres VL im Vergleich zu Unfall 4 zu erkennen, obwohl nur geringe Unterschiede in den Leuchtdichten und Beleuchtungsstärken vorliegen. Unfall 5 liegt im akzeptablen Grenzbereich, indiziert jedoch herausfordernde Sichtbedingungen.

## 5 Fazit

Die Analyse der Unfalldaten und der darauf basierenden Messungen an Unfallstellen im Raum Hannover zeigt, dass die Einhaltung der Vorgaben für die Beleuchtungsklassen nicht in allen Fällen gewährleistet ist. Es gab Fälle, in denen die tatsächlichen Beleuchtungsstärken die geforderten Werte nicht erreichten oder überschritten, was auf eine teilweise unzureichende Umsetzung der Normen hinweist.

Gleichwohl korrelierten niedrige Visibility Level nicht zwangsläufig mit nicht-normengerechter Beleuchtung. Das deutet darauf hin, dass eine Beleuchtung von Radwegen nach aktuellen Vorgaben die Sichtbarkeit von Radfahrern nicht hinreichend sicherstellen kann, wenn davon ausgegangen wird, dass ein Visibility Level von mindestens 10 unter Feldbedingungen für eine zuverlässige Sichtbarkeit benötigt wird [9].

Besonders in Kreuzungssituationen mit dem motorisierten Verkehr, in denen die Sichtbarkeit des Radfahrers essenziell ist, müssen neue photometrische Parameter entwickelt und erprobt werden, die eine sichtbarkeitsbasierte Beleuchtungsplanung ermöglichen. Dieses ist die Zielsetzung des laufenden Forschungsvorhabens.

## 6 References

- [1] M. Jänsch and H. Johannsen, “Unfallanalyse der GIDAS Daten,” MH Hannover, Hannover, 2022.
- [2] Statistisches Bundesamt (destatis), “Verkehrsunfälle - Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2020,” 2021. [Online]. Available: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-zweirad-5462408207004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-zweirad-5462408207004.pdf?__blob=publicationFile)
- [3] A. H. Kopp, “Fotometrische Analyse von Radfahr- und Fußgängerunfallsschwerpunkten,” Bachelorarbeit, Lichttechnik, TU Berlin, Berlin, 2020.
- [4] S. Maus, “Ganzheitliche Bewertung öffentlicher Straßenbeleuchtungen mittels lichttechnischer Messungen und Kosten-Nutzen-Analysen,” Bachelorarbeit, Lichttechnik, TU Berlin, Berlin, 2015.
- [5] *Straßenbeleuchtung - Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen*, 13201-1:2021-09, DIN, Berlin, 2021.
- [6] *Straßenbeleuchtung - Teil 2: Gütemerkmale*, 13201-2:2016-06, DIN, Berlin, 2016.
- [7] W. Adrian, “Visibility of targets: Model for calculation,” *Lighting Research & Technology*, vol. 21, no. 4, pp. 181–188, 1989, doi: 10.1177/096032718902100404.
- [8] Statista, “Erfasste Durchschnittsgeschwindigkeit von Fahrradfahrern in Deutschland nach Bundesländern im Jahr 2018\* (in km/h).,” 2018. [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/872531/umfrage/geschwindigkeit-der-fahrradfahrer-in-deutschland-nach-bundeslaendern/>
- [9] W. Adrian, “Visibility Level und die Sichtbarkeit in der Straßenbeleuchtung,” *LICHT*, vol. 1993, no. 10, pp. 734–739, 1993.

Diesem Bericht liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE 82.0761/2021 durchgeführten Forschungsarbeit im Rahmen des Forschungsprogramms Straßenverkehrssicherheit zugrunde. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.