

# Helligkeits- und Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlichen Scheinwerfereinstellungen unter konstanter Straßenbeleuchtung

*Dr.-Ing. Max Wagner, Anil Erkan, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh*  
Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, Hochschulstraße 4a,  
64289 Darmstadt

wagner@etit.tu-darmstadt.de, erkan@lichttechnik.tu-darmstadt.de

## Zusammenfassung

Innerorts tragen sowohl die Straßenbeleuchtung, als auch die Fahrzeugscheinwerfer zur Beleuchtung der Fahrbahn bei. Die lichttechnischen Anforderungen unterscheiden sich dabei je nach Art der Straße. Die Spannweite bewegt sich von kleinen Anwohner- bis zu großen Hauptverkehrsstraßen. Sowohl Scheinwerfer, als auch Straßenleuchten sind nicht aufeinander abgestimmt. In dem vorliegenden Beitrag soll untersucht werden, inwiefern eine Anpassung des Frontscheinwerfers bei konstanter Straßenbeleuchtung aus Fahrersicht möglich ist.

Dazu wurde das Licht eines LED-Scheinwerferpaares eines PKWs gedimmt. Auf unterschiedlichen Straßen wird das Licht der Straßenbeleuchtung dagegen konstant gehalten. Die Probanden sitzen im Fahrzeug, im Gesichtsfeld befinden sich zu bewertende Straßenabschnitte. Die Probanden sollen einschätzen, ob die Helligkeit der Fahrbahnoberfläche für eine sichere Fahrt ausreicht. Außerdem dienen auf der Straße platzierte Detektionsobjekte zur Untersuchung der Kontrastwahrnehmung.

**Index Terms:** Straßenbeleuchtung, KFZ-Lichttechnik, Scheinwerfer

## 1 Einleitung

Leuchtdichten auf Fahrbahnoberflächen bewegen sich im mesopischen Bereich. Für die Untersuchungen wurden Straßenabschnitten ausgewählt, die bei ausgeschaltetem Scheinwerferpaar bereits durch die Straßenbeleuchtung eine konstante Leuchtdichte aufweisen. Die Abschnitte decken einen Abstand von 10 m bis 30 m vor dem Fahrzeug ab. Aus einer Forschungsarbeit von Kobbert [1] geht hervor, dass der Blickschwerpunkt von Fahrzeugführenden bei etwa  $-2,5^\circ$  unterhalb des Horizonts liegt, was in der vorliegenden Untersuchung einem Abstand von 27,5 m vor dem Fahrzeugführenden entspricht.



## 2 Dimmung der Scheinwerfer

Die Elektronik eines LED-Scheinwerfers in einem PKW wurde soweit modifiziert, dass der Gesamtlichtstrom des Scheinwerfers eingestellt werden konnte. Diese Dimmung erfolgt mittels Pulsweitenmodulation und einer Auflösung von 8 bit, wobei sehr kleine Werte nicht erreicht wurden. Somit sind Dimmstufen der PWM-Werte von 50 bis 255 darstellbar.

## 3 Feldtest

Der Feldtest wurde an drei unterschiedlichen Straßen mit einer festen Probandengruppe durchgeführt. Der Scheinwerfer liefert bei verschiedenen Dimmstufen eine zusätzliche Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahnoberfläche, die Probanden sollen dies in unterschiedlichen Straßenabschnitten bewerten. Quadratische Detektionsoberflächen sind dabei in unterschiedlichen Abständen auf der Fahrbahn platziert. Hierbei soll untersucht werden welcher Kontrast für die Detektion der Objekte nötig ist.

### 3.1 Probanden

Der Test wurde von 20 Personen mit einem durchschnittlichen Alter von 21 Jahren durchgeführt, was einer relativ jungen Fahrergruppe entspricht.

### 3.2 Dimmkurven

Durch die Einstellung von PWM-Werten in der Elektronik entstehen sogenannte Dimmkurven, welche die Leuchtdichte auf der Straßenbahnoberfläche in Bezug auf den PWM-Wert beschreiben. Für zwei Abschnitte ist dies jeweils in Abbildung 1 links dargestellt. Die Kurven sind nahezu linear, lediglich der letzte Wert weicht nach oben ab. Die sich nach rechts aufweitenden Abständen der PWM-Werte sind dadurch gegeben, dass die Abstufung der Werte nicht konstant, sondern logarithmisch erfolgt, da dies eher dem menschlichen Hellempfinden entspricht. Die mittleren Leuchtdichten ergeben sich durch die Flächen im Leuchtdichtebild (Abbildung 1, rechts).

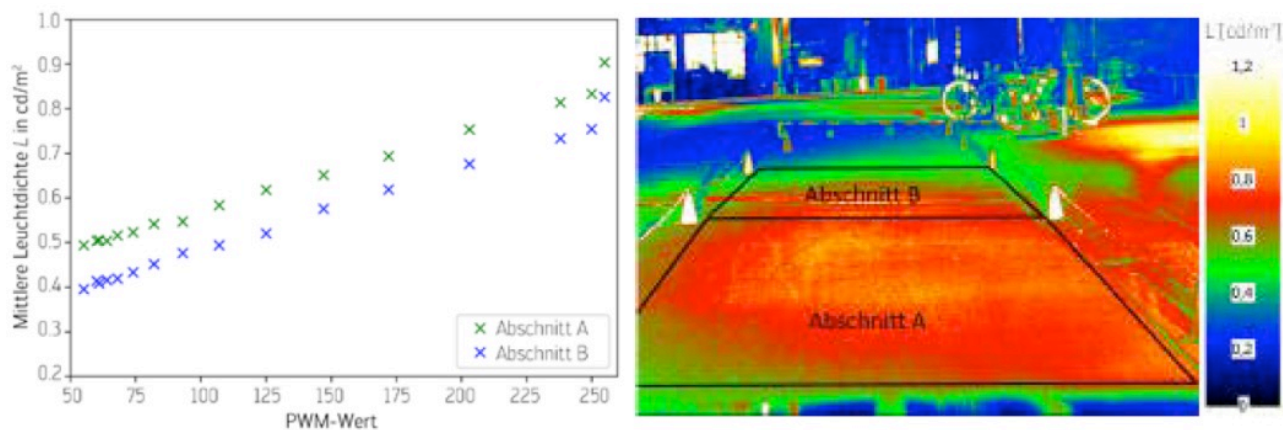


Abbildung 1: Mittlere Leuchtdichten bei unterschiedlicher Dimmstufe (links), erzeugte Leuchtdichten für Abschnitt A und B auf der Fahrbahnoberfläche (rechts)

### 3.3 Straßentypen

Bei allen Straßen befindet sich jeweils eine ortsfeste Straßenbeleuchtung, die je nach Art der Straße eine andere Beleuchtungsstärke auf der Oberfläche erzeugt. Die drei Straßen sind in folgender Abbildung 2 dargestellt.

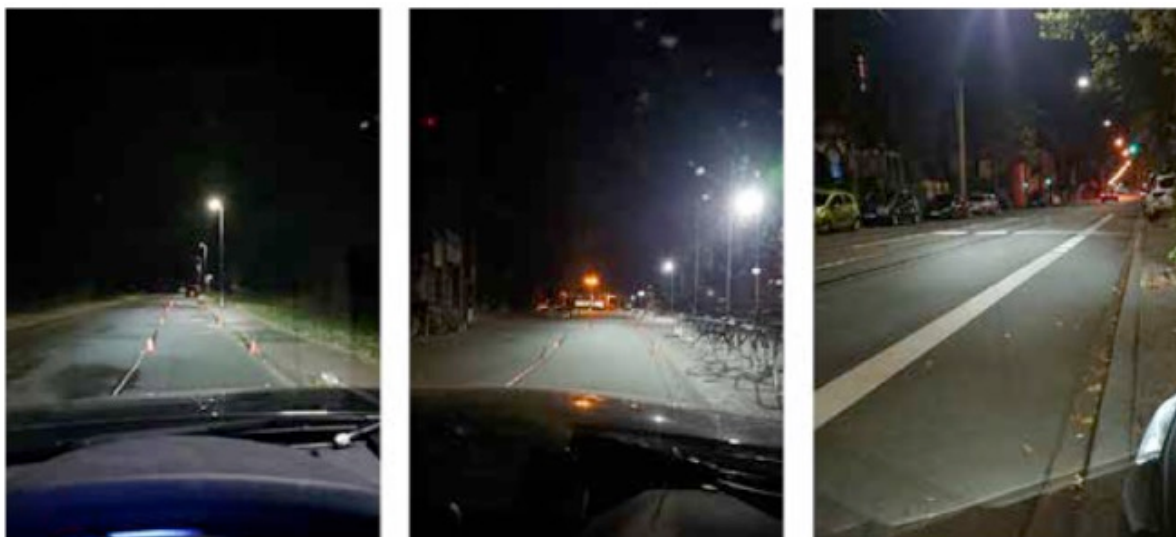


Abbildung 2: Drei untersuchte Straßentypen mit unterschiedlichen Beleuchtungsklassen

Das Foto links zeigt eine Anliegerstraße, in der Mitte ist eine Verkehrsstraße der Beleuchtungsklasse M5 nach DIN EN 13201 [2] abgebildet. Die Straße rechts ist eine Hauptverkehrsstraße.

## 4 Ergebnisse

Die Ergebnisse des Probandentests werden sowohl für die Helligkeitswahrnehmung, als auch die Detektionsuntersuchung dargestellt. Die dazu verwendeten Diagramme zeigen die Häufigkeit der Probandenantworten aufgetragen gegenüber der Leuchtdichte.

### 4.1 Helligkeitswahrnehmung

Die Frage, ob die Helligkeit der Fahrbahnoberfläche für ein sicheres Fahrgefühl ausreicht wurde von den Probanden bei jeder Scheinwerfereinstellung beantwortet. Je nach Einstellung wird die Frage positiv oder negativ beantwortet. Die Ergebnisse der Anliegerstraße befinden sich in Abbildung 3. Hier wurde der vordere Bereich der Fahrbahnoberfläche (in 10-20 m Entfernung vor dem Fahrzeug) und ein weiter hinten liegender Bereich (20-30 m) untersucht. Die Häufigkeit der Probanden, die den jeweiligen Straßenabschnitt für hell genug bewerten steigt mit höherer Leuchtdichte. Dieser Anstieg beträgt bereits 35 % bei etwa  $0,2 \text{ cd/m}^2$  und 100 % bei etwa  $3,5 \text{ cd/m}^2$  für den vorderen Bereich. Die Daten (blaue Kreuze und rote Pluszeichen) sind hier doppelt vorhanden, da ein zweifacher Durchlauf stattfand.

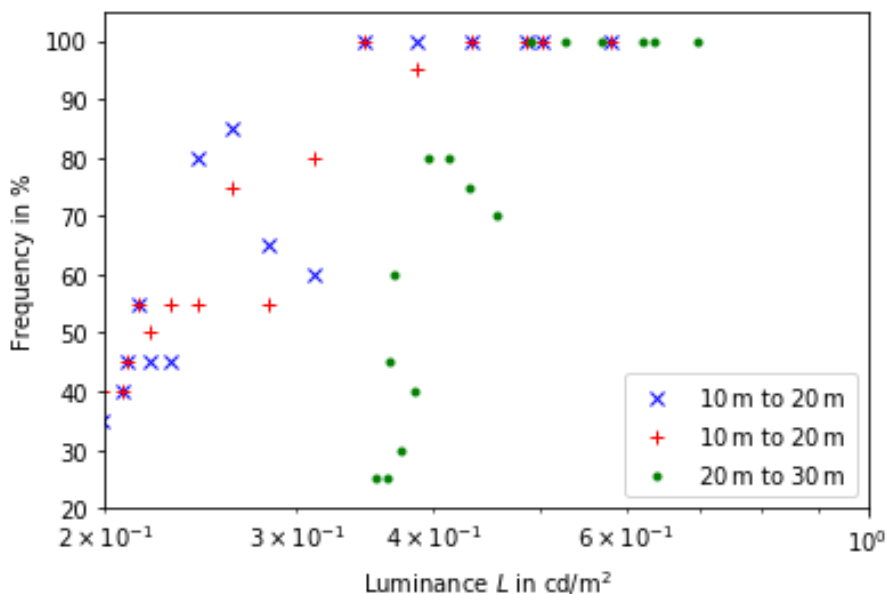


Abbildung 3: Ergebnis der Anliegerstraße

Für den weiter entfernten Bereich ist eine Verschiebung der Daten nach rechts zu verzeichnen. Erst bei 3,5 cd/m<sup>2</sup> sind 25 % der Probanden mit der Helligkeit der Oberfläche zufrieden. Die Daten steigen daraufhin sehr rasch an und erreichen bei 4,5 cd/m<sup>2</sup> bereits 100 %.

Das Ergebnis für die Hauptverkehrsstraße ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Straßenabschnitte konnten hier nicht in der Geometrie wie bei den anderen beiden Straßen gewählt werden, da sich das Fahrzeug nicht mittig auf der Fahrbahn befindet. Hier wurde der vordere Bereich mit geringer Ausleuchtung durch die Straßenbeleuchtung und der hintere Bereich mit höherer Beleuchtungsstärke gewählt. Diese Bereiche sind in Abbildung 2 zu erkennen.

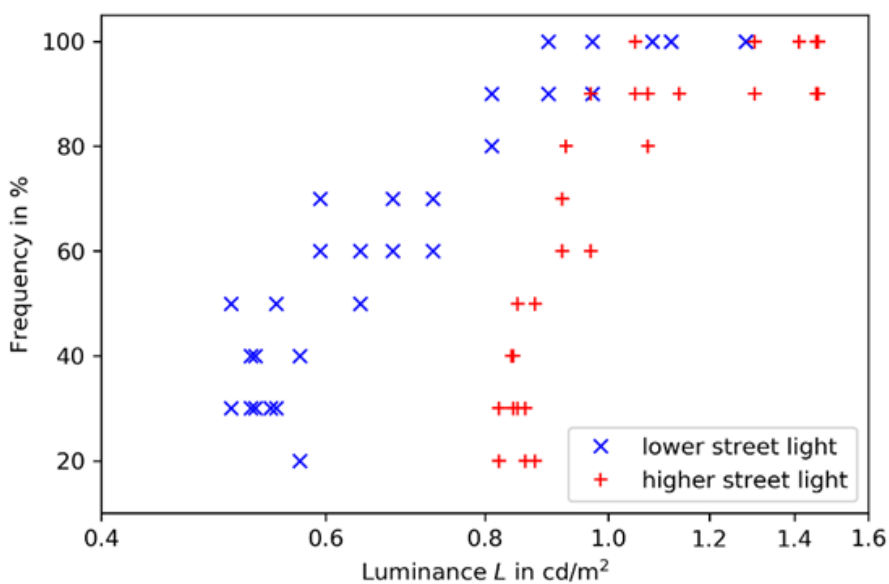


Abbildung 4: Ergebnis der Hauptverkehrsstraße

Im Vergleich zur Anliegerstraße liegen alle Leuchtdichten höher, da es sich um eine andere Beleuchtungskategorie handelt. Für den geringer ausgeleuchteten, vorderen Bereich bewertet die Hälfte der Probanden die Oberfläche bei einer Leuchtdichte von  $0,6 \text{ cd/m}^2$  als ausreichend hell. Für alle Probanden stellt sich dies bei etwa  $1,0 \text{ cd/m}^2$  ein.

Beim besser ausgeleuchteten starten die Daten erst oberhalb von  $0,8 \text{ cd/m}^2$ , steigen wiederum stärker an und erreichen das Maximum ab  $1,2 \text{ cd/m}^2$ . Obwohl die Leuchtdichte im stärker beleuchteten Bereich auch ohne zusätzliche Beleuchtung einen Wert erreicht, der für den überwiegenden Teil der Probanden im geringer beleuchteten Bereich ausreicht, muss eine zusätzliche Aufhellung der Oberfläche durch die Scheinwerfer erfolgen, damit die Probanden sich sicher fühlen. Dies ist ebenfalls bei der Anliegerstraße der Fall, wo der stärker beleuchtete Bereich ähnlich nach rechts verschobenen Daten zeigt.

## 4.2 Detektionsuntersuchung

Für die Detektionsuntersuchung wurden zwei Objekte von unterschiedlicher Größe und Reflexionsgrad in einer Entfernung von 48 m vor dem Testfahrzeug positioniert. Bei den Testobjekten handelt es sich um quadratische, asphaltähnliche Steinoberflächen mit einer Seitenlänge von 10 cm und 14,5 cm. Die Probanden bewerten die Oberflächen in Bezug auf ihre Sichtbarkeit bei verschiedenen Scheinwerfereinstellungen.

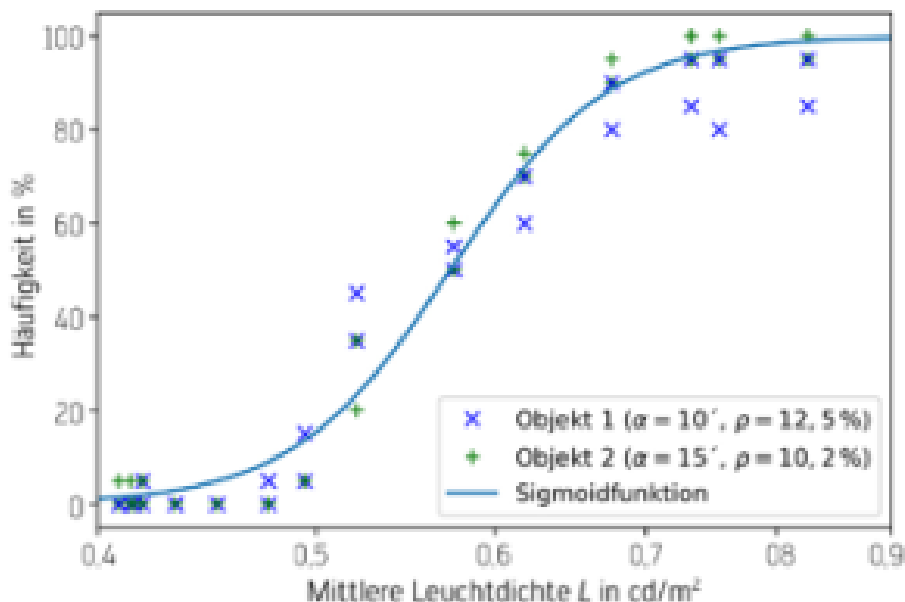


Abbildung 5: Häufigkeit der Detektion für zwei Objekte

Bei geringer Leuchtdichte sind die Kontraste der zu erkennenden Objekte noch zu gering. Mit dem Anstieg der Leuchtdichten steigt auch die Sichtbarkeit, bei  $0,6$  haben bereits 60 % der Probanden die Objekte erkannt. Im oberen Teil der Kurve ist zu

vermerken, dass das Objekt 2 aufgrund seiner größeren Fläche besser sichtbar ist. Die Daten können mit einer Sigmoidfunktion gut beschrieben werden.

Weber-Kontraste wurden über die Leuchtdichten auf dem Objekt und der Umgebung ermittelt. Für das Objekt 2 liegt die Erkennbarkeit mit einer Häufigkeit von 72,5 % bei einem Kontrast von 0,3. Ein Kontrastwert von 0,4 ist nötig, um die Häufigkeit der Erkennung auf 97,5 % zu steigern.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungsergebnisse zur Helligkeit der Fahrbahnoberfläche zeigen, dass es keine Leuchtdichte gibt, bei der auf den Einsatz eines Scheinwerfers verzichtet werden kann. Die Probanden bewerten die Helligkeit der Fahrbahn abhängig von der Leuchtdichte, die durch die ortsfeste Straßenbeleuchtung bereits ohne zusätzliche Beleuchtung erzeugt wird. Die Detektion von Objekten auf der Fahrbahnoberfläche steigt bei höheren Leuchtdichten an, die durch die zusätzlichen Fahrzeugscheinwerfer bereitgestellt werden.

Die Studie wurde mit einer jungen Probandengruppe durchgeführt. Die Ergebnisse für ältere Verkehrsteilnehmer können sich aufgrund ihres geringeren Sehvermögens unterscheiden und sollten in weiteren Untersuchungen ermittelt werden.

## 6 References

- [1] J. Kobbert, "Optimization of Automotive Light Distributions for Different Real Life Traffic Situations," Dissertation, TU Darmstadt, 2019.
- [2] DIN EN 13201-2-2016-06, „Straßenbeleuchtung – Teil 1: Auswahl der Beleuchtungsklassen“