

Ausblendungsstrategien von adaptiven Scheinwerfersystemen

Robin Hofner; Steffen Michenfelder; Cornelius Neumann; Iulia Cristea *Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI) Engesserstraße 13, Geb. 30.34, 76131 Karlsruhe*

Tel. 0721-608 46735, iulia.cristea@student.kit.edu, www.lti.kit.edu

1 EINLEITUNG

Eine zentrale Herausforderung für die automobilen Lichttechnik ist, optimale Sichtverhältnisse für den Fahrer zu schaffen, ohne dabei keine Verkehrsteilnehmer zu blenden. Es gibt hauptsächlich zwei Lichtverteilungen: zum einen das Fernlicht und zum anderen das Abblendlicht. Verschiedene Gründe, wie z. B. die Bequemlichkeit des Fahrers oder eine schlechte Einschätzung der Verkehrssituation, führen dazu, dass das Fernlicht nur in 5% der Nachtfahrten eingesetzt wird [1]. Zur Unterstützung der Fahrer in dieser Hinsicht wurden verschiedene Arten von Assistenzsystemen entwickelt. Der Fernlichtassistent z.B. schaltet automatisch zwischen Abblend- und Fernlicht um, basierend auf den Daten einer Szenenkamera. Die gleitende Leuchtweitenregulierung (LWR) oder adaptive Hell-Dunkel-Grenze (aHDG) genannt, passt die Abblendlichtverteilung der Verkehrssituation an. Sind Fahrzeuge weiter entfernt, so wird diese weiter eingestellt, was zu einer Erhöhung der Erkennbarkeitsentfernung führt [2]. Weiterhin gibt es Assistenzsysteme, welche mit der Fernlichtverteilung arbeiten. Die vertikale Hell-Dunkelgrenze (vHDG) erzeugt eine Ausblendung, um entgegenkommende und/oder vorausfahrende Fahrzeuge zu entblenden. Der Matrix-Beam Scheinwerfer arbeitet mit einer segmentierten Fernlichtverteilung. Dies ermöglicht die Ausblendung mehrerer Bereiche unabhängig voneinander. Im Vergleich dazu kann ein Pixellicht Scheinwerfer durch ein höheres Auflösungsvermögen noch genauere Ausblendungsbereiche erzeugen und somit exakter die anderen Verkehrsteilnehmer ausblenden.

Unabhängig von der technischen Realisierung stellt sich die Frage nach der idealen Ausblendung. Welche Eigenschaften soll diese besitzen, so dass der Fahrer eine maximale subjektive Sichtweite hat, sowie nur ein minimales Blendgefühl für die anderen Verkehrsteilnehmer erzeugt? Zusätzlich soll für visuellen Komfort der Verkehrsteilnehmer gesorgt werden. Eine unpassende Dimensionierung der Ausblendung oder zu scharfe Übergänge zwischen hell

und dunkel können optisch unangenehm wirken und sogar zur Ablenkung der Verkehrsteilnehmer führen.

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit waren daher unterschiedliche Ausblendungsstrategien für ein pixelbasiertes Scheinwerfersystem. Dazu wurden subjektive Bewertungen sowohl aus Sicht eines Fahrers mit einem adaptiven Scheinwerfersystem, als auch aus Sicht eines sonstigen Verkehrsteilnehmers herangezogen. Dafür wurde eine statische Probandenstudie konzipiert.

2 VERSUCHSDESIGN

Konzept

Die Verkehrssituationen im realen Straßenverkehr unterliegen einem steten Wechsel. Um eine Reproduzierbarkeit der Umgebungsbedingungen zu gewährleisten, wurde daher ein statisches Studiendesign verwendet. Simuliert wurde eine Landstraßensituation, in der zwei Fahrzeuge mit konstanten 80 km/h hintereinander fahren. Der gewählte Abstand von 40 m zwischen den Fahrzeugen entspricht dem Sicherheitsabstand bei dieser Geschwindigkeit. Für die Erzeugung des blendfreien Fernlichtes war ein Versuchsfahrzeug (Audi A6 C6 Avant) mit dem Forschungscheinwerfer *Propix* zuständig. Als vorausfahrendes Fahrzeug diente ein herkömmlicher Opel Astra J mit Xe-Scheinwerfern. In Abbildung 1 ist eine Skizze des Versuchsaufbaus dargestellt.

Das *Propix* System besteht aus sechs DMD-Projektoren, die mit einer Winkelauflösung von ca. $0,02^\circ$ eine pixelbasierte Lichtverteilung auf die Straße projizieren können. Die Lichtquellen sind Hochdruckgasentladungslampen mit einer Farbtemperatur von 6.400 K. Über eine Benutzeroberfläche besteht die Möglichkeit vorgegebene Lichtverteilungen in das *Propix* System zu übernehmen. [3]

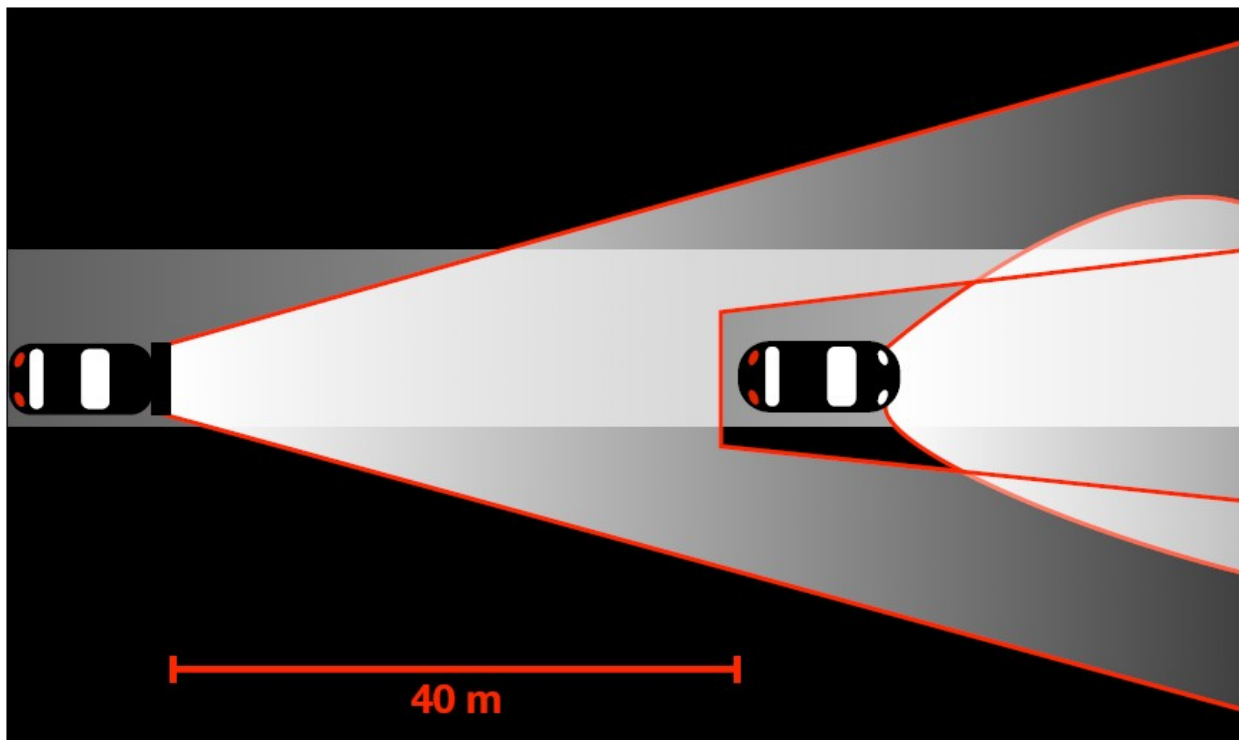


Abbildung 1: Versuchsaufbau: links der Versuchsträger *Propix*, rechts der Opel Astra [4]

Die Versuche fanden bei Dunkelheit, auf einer geraden, verkehrsfreien, von Bäumen umgebenen Strecke statt. Vorteil einer solchen Szenerie besteht in einer besseren Erkennung und Wahrnehmung der Wirkungsweise eines blendfreien Fernlichtes und des Lichtes oberhalb der Horizontalen.

Die Studie wurde im „*Within-Subjects Design*“ durchgeführt. Das heißt, jeder Proband hat aus beiden Fahrzeugen jede Lichtsituation bewertet. Dargeboten wurden vier unterschiedliche Ausblendungen, als Referenz diente die konventionelle Abblendlichtverteilung.

Die Charakteristika der Ausblendungen konnten über die Steuersoftware *Propix 3D Light* kontrolliert werden. Es wurden die Größe und die Lage der Ausblendung, sowie ein Sicherheitsbereich um die Ausblendung eingestellt. Zusätzlich konnten die Breite und der Gradient des Hell-Dunkel Übergangs definiert werden.

In Abbildung 2 sind die Parameter der Ausblendung dargestellt. Der weiße Rahmen stellt die Hauptausblendung dar. Innerhalb dieses Bereiches soll sich das Fahrzeug befinden. Der grüne Rahmen stellt den Sicherheitsbereich dar. Der Gradient für den Hell-Dunkel Übergang befindet sich zwischen dem roten und dem grünen Rahmen.

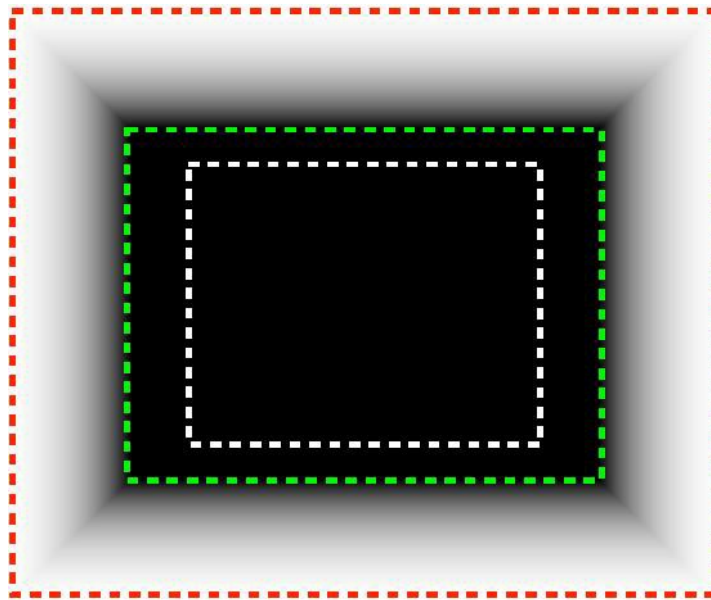


Abbildung 2: Veranschaulichung der Ausblendungsparameter

Für die Probandenstudie wurden vier verschiedene Ausblendungen mit unterschiedlichen Parameterkombinationen verwendet (s. Tabelle 1). Zusätzlich diente die Abblendlichtverteilung als Referenz.

Die Position der Ausblendung wurde manuell über die Steuersoftware eingestellt. Es sollte eine möglichst perfekte Erkennung des vorausfahrenden Fahrzeugs durch das *Propix* System simuliert werden.

Tabelle 1: Übersicht der Kombinationen aus Sicherheitsbereich und Gradient für die dargestellten Lichtverteilungen

Bezeichnung	Gradient	Sicherheitsbereich
0G-1SB	0°	1°
0G-2SB	0°	2°
1G-0SB	1°	0°
2G-0SB	2°	0°

In Abbildung 3 sind reale Aufnahmen der Straßenszene mit den vier verschiedenen Ausblendungen dargestellt.

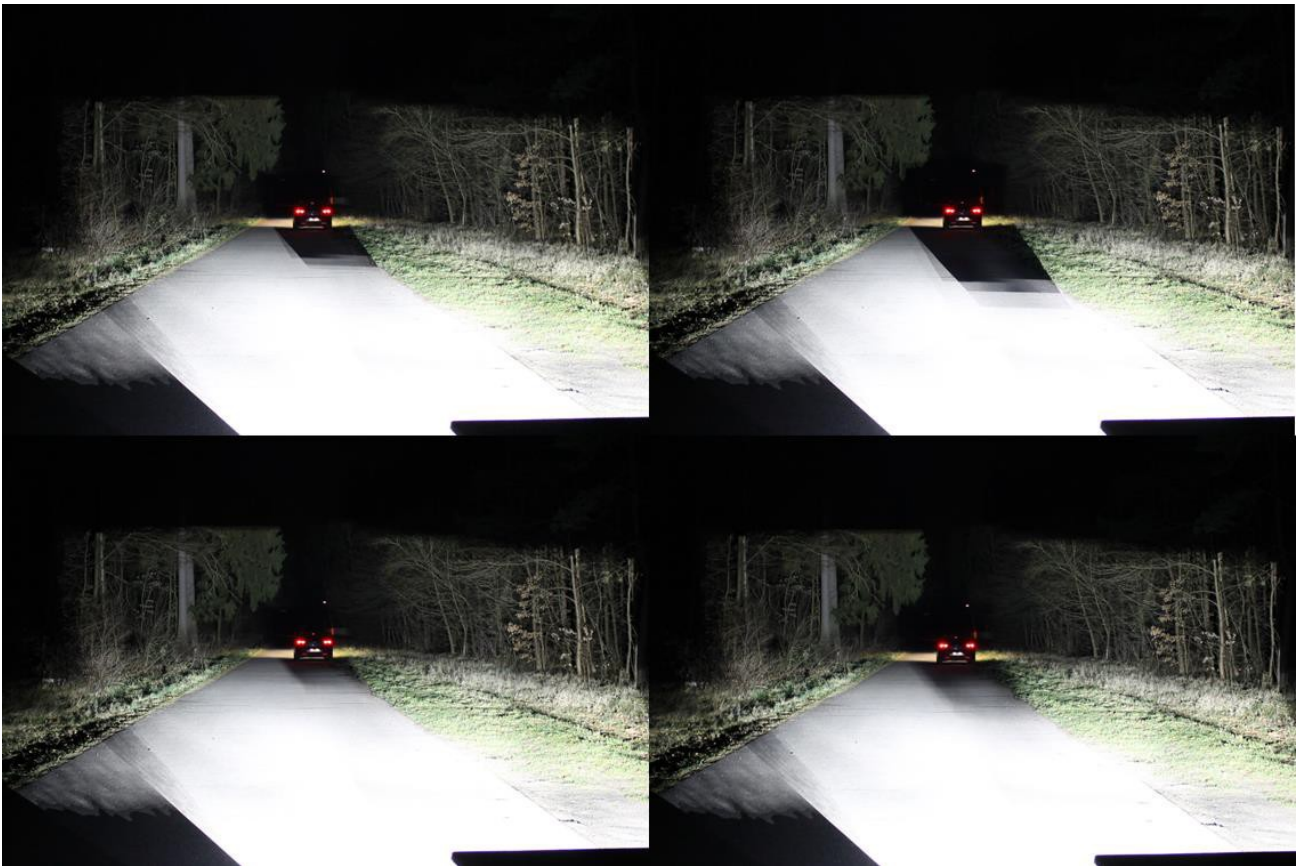


Abbildung 3: Reale Aufnahmen der Ausblendung; oben links: 0G-1SB; oben rechts: 0G-2SB; unten links: 1G-0SB; unten rechts: 2G-0SB [4]

Probandenkollektiv

Die Studie erfolgte mit 29 Probanden, die in zwei Altersgruppen eingeteilt wurden. Einerseits nahmen 16 Probanden im Alter zwischen 20 und 30 Jahren teil, zur zweiten Altersgruppe gehörten 13 Probanden mit einem Mindestalter von 50 Jahren. Alle Probanden verfügten über einen gültigen Führerschein Klasse B. Zusätzlich wurde mittels eines optometrischen Screenings sichergestellt, dass die Probanden einen Visus von mindestens 0,7 [5] hatten.

Durchführung

Die Studie wurde immer mit zwei Probanden gleichzeitig durchgeführt, einer saß im vorausfahrenden Fahrzeug (Astra), der zweite im ausblendenden Fahrzeug (*Propix*), beide jeweils auf dem Fahrersitz. Um Ablenkungen, die durch das Erscheinungsbild des Forschungscheinwerfers auftreten könnten, zu vermeiden, wurden sowohl die Seiten- als auch der Rückspiegel im Astra abgeklebt. Nach Darbietung der einzelnen Lichtsituationen wurden diese von den Probanden in einem Fragebogen bewertet.

Das vordere Fahrzeug hatte durchgehend die Abblendlichtverteilung (ABBL) an. Den Insassen des *Propix* wurde erst eine Abblendlichtverteilung dargeboten, dann vier Lichtverteilungen mit verschiedenen Parameterkombinationen für die Ausblendung (LV). Die vier unter-

schiedlichen Ausblendungsstrategien wurden jeweils zwei Mal in randomisierter Reihenfolge gezeigt. Am Ende eines Durchgangs wurde erneut die Abblendlichtverteilung dargeboten. Um Vergleiche zwischen den gezeigten Lichtverteilungen zu vermeiden, wurde zwischen der Darbietung der Lichtverteilungen ein Gitter (#) auf die Straße projiziert. Eine mögliche Abfolge der Lichtverteilungen war:

ABBL (LV1) # LV3 # LV4 # LV5 # LV2 # LV5 # LV4 # LV3 # LV2 # ABBL

Nach Abschluss des Durchgangs haben die zwei Probanden die Plätze getauscht und es erfolgte ein neuer Durchlauf.

Im ausblendenden Fahrzeug mussten die Probanden die Lichtverteilungen hinsichtlich Sichtweite (i), Blendgefühl (ii) und Komfort (iii) bewerten:

- i. *„Ich sehe mit der gezeigten Lichtverteilung weit.“*
- ii. *„Ich habe das Gefühl, meinen Vordermann zu blenden.“*
- iii. *„Die Ausleuchtung des Vorfahrenden Fahrzeugs empfinde ich als angenehm.“*

Aus Sicht des Fahrers im vorfahrenden Fahrzeug sollte nur die Bewertung hinsichtlich des Komforts erfolgen.

„Die Ausleuchtung der Straße empfinde ich als angenehm.“

Die Bewertung erfolgte auf einer sechsstufigen, unipolaren Skala, ohne Mittelkategorie:

trifft zu trifft nicht zu

Für die Auswertung wurden die Stufen der Bewertungsskala mit Zahlen von 1 bis 6 versehen, wobei für die anschließende Auswertung 1 der Bewertung „trifft zu“ und 6 der Bewertung „trifft nicht zu“ entsprach.

Zusätzlich zur Bewertungsskala, hatten die Probanden die Möglichkeit die gezeigten Lichtverteilungen qualitativ zu bewerten, vor allem hinsichtlich optischer Auffälligkeiten.

3 ERGEBNISSE

Subjektive Sichtweite

Hinsichtlich der Sichtweite wurde die am Anfang gezeigte Abblendlichtverteilung um etwa eine Stufe besser bewertet als nach der Darbietung der Fernlichtverteilungen.

Der Unterschied ergibt sich aus der Tatsache, dass die Probanden beim ersten Anblick der dargebotenen Abblendlichtverteilung diese unmittelbar mit dem bereits bekannten bzw. vom eigenen Scheinwerfer erzeugten Abblendlicht in Vergleich setzten. Am Ende des Durchgangs erfolgte unmittelbar ein Vergleich zu den gezeigten Fernlichtverteilungen, welche eine weitere und breitere Ausleuchtung erzeugen. Dies führte zu einer schlechteren Bewertung des Abblendlichts hinsichtlich der subjektiven Sichtweite.

Eine statistische Analyse ergab signifikante Unterschiede zwischen den Ausblendungen, Ausnahme war das Paar 1G-0SB - 2G-0SB (die Ausblendungen mit Gradient zwischen Hell und Dunkel). Was die Mediane der Stichproben der Ausblendungen angeht, lagen diese bei drei der vier Lichtverteilungen bei einem Wert von 2. Ausnahme war die Ausblendung mit dem 2° breiten Sicherheitsbereich, welche eine Stufe schlechter von den Probanden bewertet wurde.

Hinsichtlich der Sichtweite erhielt die Parameterkombination 1G-0SB die beste Bewertung.

Blendgefühl

Wird die Bewertung des Abblendlichts als erste und letzte Darbietung verglichen, so wird das Abblendlicht am Ende des Durchgangs hinsichtlich der Blendung besser bewertet. Nach der Betrachtung der Fernlichtverteilungen hatten die Probanden dementsprechend weniger das Gefühl, mit dem Abblendlicht den Vordermann zu blenden. Die Mediane der gezeigten Lichtverteilungen lagen bei der Bewertung hinsichtlich Blendung oberhalb des Wertes 5 auf der Bewertungsskala. Dies bedeutet, die Probanden hatten nicht den Eindruck den Fahrer des vorausfahrenden Fahrzeugs zu blenden. Am schlechtesten bewertet wurde jedoch die Ausblendung mit einem 1° breiten Gradienten. Ein möglicher Grund dafür könnte sein, dass die Ausblendung bzw. der Übergang von Hell zu Dunkel im Vergleich zu den harten Übergängen und der mit breiterem Gradient nicht so stark wahrgenommen wurde.

Visueller Komfort aus dem hinterherfahrenden Fahrzeug

Die Ausblendung des vorausfahrenden Fahrzeugs mit der Referenzlichtverteilung wurde im ersten Durchgang als angenehmer empfunden im Vergleich zur letzten Darbietung des Abblendlichtes.

Der paarweise Vergleich der gezeigten Ausblendungen ergab signifikante Unterschiede, mit Ausnahme der Lichtverteilungen mit graduelltem Hell-Dunkel-Übergang. Es zeigte sich

eine deutliche Präferenz für weichere Übergänge zwischen Hell und Dunkel im Vergleich zum Erscheinungsbild einer Lichtverteilung mit harten Kanten. Dies wurde auch durch die Kommentare der Probanden bestätigt. Die harten Hell-Dunkel-Übergänge wurden als unangenehm bis störend beschrieben („rechteckige ausgeleuchtete Fläche um das vordere Auto irritiert“), während der „fließende Übergang“ den Probanden „besonders gut gefallen“ hat.

Visueller Komfort aus dem vorausfahrenden Fahrzeug

Im zweiten Versuchsteil mussten die Probanden die Ausleuchtung der Straße aus dem zweiten Fahrzeug bewerten. Das konventionelle Abblendlicht des Astra wurde durchgehend verwendet.

Beim ersten Durchgang, als vom Versuchsscheinwerfer das Abblendlicht dargeboten wurde, wurde die Lichtsituation hinsichtlich des Komforts relativ neutral bewertet. Nach der Darbietung der anderen Lichtverteilungen wurde am Ende des Durchgangs das Abblendlicht herabgewertet. Die Probanden empfanden eine breitere Ausleuchtung der Straße durch das hinterherfahrende Fahrzeug aus Sicht des vorausfahrenden Fahrzeugs als angenehmer, da im Seitenbereich mehr Licht vorhanden war.

Die vier Ausblendungsstrategien wurden im Mittel mit der Bewertungsstufe 3 versehen, also von den Probanden als angenehm empfunden. Unterschiede ergaben sich zwischen der harten und weichen Ausblendung, wobei auch hier die weiche Ausblendung tendenziell als angenehmer empfunden wurde.

4 ZUSAMMENFASSUNG

In der dem Paper zugrundeliegenden Arbeit wurde untersucht, wie eine ideale Ausblendung eines adaptiven Scheinwerfersystems um ein vorausfahrendes Fahrzeug auszusehen hat. Dabei soll ein Kompromiss zwischen einer maximalen Ausleuchtung der Straße und einer minimalen Blendung anderer Verkehrsteilnehmer gefunden werden. Um zusätzlich einen visuellen Komfort zu kreieren, wurde ein gradueller Übergang zwischen dem hellen Teil des Fernlichtes und dem dunklen Teil der Ausblendung geschaffen.

Basierend auf subjektiven Bewertungen von Probanden hinsichtlich Sichtweite, Blendgefühl und Komfort wurden verschiedene Ausblendungsstrategien verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass weiche Ausblendungen hinsichtlich der Bewertungskriterien tendenziell besser beurteilt wurden. Es bestand eine erhöhte subjektive Sichtweite aus dem Fahrzeug mit dem adaptiven Scheinwerfersystem, da mehr Licht um das vorausfahrende

Fahrzeug herum auf die Straße antraf. Jedoch ergab sich der Eindruck, bei einem graduellen Hell-Dunkel-Übergang, den Vordermann mehr zu blenden. Bei Variierung des Gradienten waren geringe Unterschiede in der Bewertung zu erkennen. Daher lässt sich eine Aussage, ob 1° oder 2° Gradient angenehmer ist, nicht treffen.

Persönliche Kommentare der Probanden aus Sicht des vorausfahrenden Fahrzeugs wie „der Dunkeltunnel ist irritierend, wenn der Übergang vom Licht zum Dunkeln kaum diffus ist“ oder „man fährt in ein schwarzes Loch“, sprachen auch für eine Präferenz für einen weichen Hell-Dunkel-Übergang. Auch aus Sicht des Fahrers könnten harte Kanten der Ausblendung durch die hohen Kontraste optisch unangenehmer wirken oder ungewollte Fixationen auf sich ziehen. Ob die Dynamik im realen Straßenverkehr gegenüber einer statischen Studie diesen unangenehmen Effekt jedoch ausreichend abschwächen kann, lässt sich erst nach einer weiteren, dynamischen Probandenstudie mit Bestimmtheit sagen.

LITERATUR

- [1] J. Roslak, Entwicklung eines aktiven Scheinwerfersystems zur blendungsfreien Ausleuchtung des Verkehrsraums, *Dissertation*, Universität Paderborn **2005**.
- [2] M. Böhm, F. Kley, S. Kalthoff, in *Proceedings of the 7th International Symposium on Automotive Lighting*, Darmstädter Lichttechnik, Vol. 12 (Eds: T. Q. Khanh), Utz. München **2007**.
- [3] S. Michenfelder, *Konzeption, Realisierung und Verifikation eines automobilen Forschungsscheinwerfers auf Basis von Digitalprojektoren*, Spektrum der Lichttechnik / Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut, Vol. 9, KIT Scientific Publishing, Karlsruhe, Baden **2015**.
- [4] R. Hofner, Bewertung von Ausblendungsstrategien bei adaptiven Scheinwerfersystemen, *Bachelorarbeit*, Karlsruher Institut für Technologie **2014**.
- [5] Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, "Fahrerlaubnis-Verordnung vom 13. Dezember 2010 (BGBl. I S. 1980), die durch Artikel 1 der Verordnung vom 16. April 2014 (BGBl. I S. 348) geändert worden ist": FeV **2010**.