Blendfreie dynamische Abblendlichtverteilung für Kfz-Scheinwerfer – Anforderungen und Validierung

Werner, Ch. (Nürnberg), Kleinert, B. (Gifhorn), Bogdanow, S. (Gifhorn)

1 Einleitung

Angaben des Statistischen Bundesamtes zufolge ereigneten sich im Jahr 2013 ein Viertel aller Unfälle mit Personenschaden während der Nacht- und Dämmerungszeit. Dabei liegt der Anteil der Unfälle außerhalb von Ortschaften mit 28% um beinahe fünf Prozent höher als innerhalb von Ortschaften. [1] Dies lässt sich Untersuchungen von Akashi et al. [2] zufolge dadurch erklären, dass bei vorhandener ortsfester Straßenbeleuchtung die zusätzliche Ausleuchtung der Fahrbahn durch die fahrzeugeigenen Scheinwerfer nur einen geringen Einfluss auf die Erkennbarkeit von Objekten hat. Auf Land- bzw. Bundesstraßen ist jedoch meist keine ortsfeste Straßenbeleuchtung vorhanden, sodass die Ausleuchtung ausschließlich durch die kfz-eigenen Scheinwerfer erfolgt. Besonders auf nassen Fahrbahnen kann diese zu einem erhöhten Blendrisiko führen. [3]

Eine von Neumann [4] publizierte Umfrage ergab, dass einem Abblendlichtsystem für widrige Witterungsumstände (z.B. regennasse Fahrbahn) eine hohe Relevanz beigemessen wird. Dies deckt sich mit den Ergebnissen einer Marketing Studie, die im Rahmen des EUREKA PROJECT 1403 durchgeführt wurde [5]. Während für Fernlicht bereits verschiedene Systeme zur dynamischen Anpassung der Lichtverteilung erhältlich sind (siehe Kapitel 2.1) modifizieren derzeit erhältliche Systeme die Abblendlichtverteilung lediglich statisch. Untersuchungen von Rosenhahn [6] zeigen jedoch, dass eine Reduzierung der Blendung nicht allein dadurch erreicht wird. Eine dynamische Anpassung mit geeigneter Sensorik während des Passiervorgangs wäre notwendig.

Der nachfolgende Beitrag beschäftigt sich mit den Anforderungen an eine blendfreie dynamische Abblendlichtverteilung bei spiegelnden Fahrbahnoberflächen sowie mit Möglichkeiten der Validierung eines derartigen Systems. Anhand verschiedener Strategien der Ausmaskierung soll ein geeignetes Konzept abgeleitet und mit der IAV eigenen Software CAGE [Computer Aided Glare Evaluation] untersucht werden.

2 Stand der Technik

2.1 Erhältliche Systeme

Die Idee einer dynamischen Lichtverteilung ist keineswegs neu. Bereits 1948 realisierte die Tucker Car Corporation mit dem Tucker ’48 ein Fahrzeug, das neben zwei statischen einen mittig angebrachten, mit den Lenkbewegungen des Fahrzeugs gekoppelten, beweglichen Scheinwerfer aufwies. [7] Heute haben sich die einst rein mechanischen Lösungen zu teilweise hochkomplexen, computer- und kameraunterstützten Systemen entwickelt. Nach dem Verbot beweglicher Scheinwerfer in den Sechziger Jahren machte die Änderung der ECE [Economic Commission for Europe] -Regelung R98 eine Wiedereinführung möglich. Neben statischen Abbiegelichtern konnten fortan auch dynamische Abbiege- und Kurvenlichter realisiert werden. Diese können entweder durch eine zugeschaltete Lichtquelle oder durch Schwenkung des Abblendlichtmoduls erzeugt werden. [8]

Die neuesten Entwicklungen im Bereich dynamischer Lichtverteilungen werden unter dem Begriff adaptive Frontbeleuchtungssysteme [AFS] zusammengefasst. Die rechtlichen Anforderungen an diese AFS sind in der ECE-Regelung R123 beschrieben. Ein AFS ist demnach „eine Beleuchtungseinrichtung, die Lichtbündel mit unterschiedlichen Eigenschaften für die automatische Anpassung an verschiedene Verwendungsbedingungen des Abblendlichts und gegebenenfalls des Fernlichts […] erzeugt“. [9] Die am weitest verbreite Form eines AFS stellt das blendfreie Fernlicht dar. Es erzeugt mit Hilfe einer Kamera und einer geeigneten Sensorik eine Fernlichtverteilung derart, dass vorrausfahrende und/oder entgegenkommende Fahrzeug erkannt und die entsprechenden Bereiche aus der Lichtverteilung ausgeschnitten werden. Realisiert wird dies derzeit durch zwei unterschiedliche Herangehensweisen:

1. Das Fernlichtmodul ist horizontal und vertikal schwenkbar ausgeführt. Die Lichtverteilung wird durch eine Walze mit unterschiedlichen Profilen realisiert.
2. Das Fernlichtmodul besteht aus mehreren LED-Arrays (Matrix-Beam). Die Lichtverteilung wird durch das Zu- bzw. Abschalten einzelner LED realisiert.

2.2 Aktuelle Untersuchungen

Ein technischer Report [10] der National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA] untersuchte die Möglichkeit, durch ein erweitertes AFS die Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer zu reduzieren. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass eine gezielte Modifikation des Lichtstärkeverteilungskörpers [LVK] (insbesondere im Bereich der Blendkeulen [11]) eine Reduzierung der Blendung ermöglicht. Im Rahmen der Studie wurde zu

diesem Zweck ein Prototyp erstellt, der eine derartige veränderte Lichtverteilung erzeugt (vgl. Abbildung 1).

Abbildung 1: In [10] verwendete, dreieckige Ausmaskierungsstrategie

Fischer [12] wies nach, dass eine gezielte partielle Modifikation des LVK im Bereich des Reflexpunktes (bei Annahme von Totalreflexion) zu einer deutlich geringeren Blendung führt.

Trotz des wissenschaftlichen und technischen Fortschritts bleiben noch Fragen offen. Zu diesen zählen unter anderem die Art der Modifizierung der Lichtverteilung und die Möglichkeiten der Validierung der entwickelten Entblendungskonzepte.

3 Material & Methode

Die für diesen Beitrag durchgeführten Untersuchungen gliedern sich in zwei Teile. Erstens die Durchführung eines Tests zum Vergleich verschiedener Ausmaskierungsstrategien mit Hilfe eines Beamers. Zweitens die Validierung von Ausmaskierungsstrategien durch die IAV-eigene Software CAGE.

Die in [10] dargestellte Strategie zur Ausmaskierung verwendet eine vertikale Blende im Strahlengang des Scheinwerfers um ausgewählte Bereiche der Lichtverteilung auszuschneiden. Dies führt zu einem dreieckigen Ausschnitt auf der Fahrbahn (vgl. Abbildung 3a). Daher wird für die weiteren Untersuchungen ein trapezförmiges Stück der Lichtverteilung entfernt (Abbildung 3b).

Untersucht werden fünf verschiedene Ausmaskierungsstrategien, die skizzenhaft in Abbildung 2 dargestellt sind. Wie in Abbildung 4 skizziert, wird der Beamer so ausgerichtet, dass der komplette Bereich zwischen Beamer und Photometer ausgeleuchtet ist. Die obe-

re Kante des projizierten Bildes entspricht in etwa der Hell-Dunkel-Grenze [HDG] eines Kfz-Scheinwerfers. Neben der Ausmaskierung eines kompletten Streifens (Abbildung 2a) wird auch die von [12] verfolgte Strategie der partiellen Ausmaskierung getestet (Abbildung 2b). Zusätzlich wird die Wirkung einer Ausmaskierung des Vorfeldes untersucht (Abbildung 2 d-f).

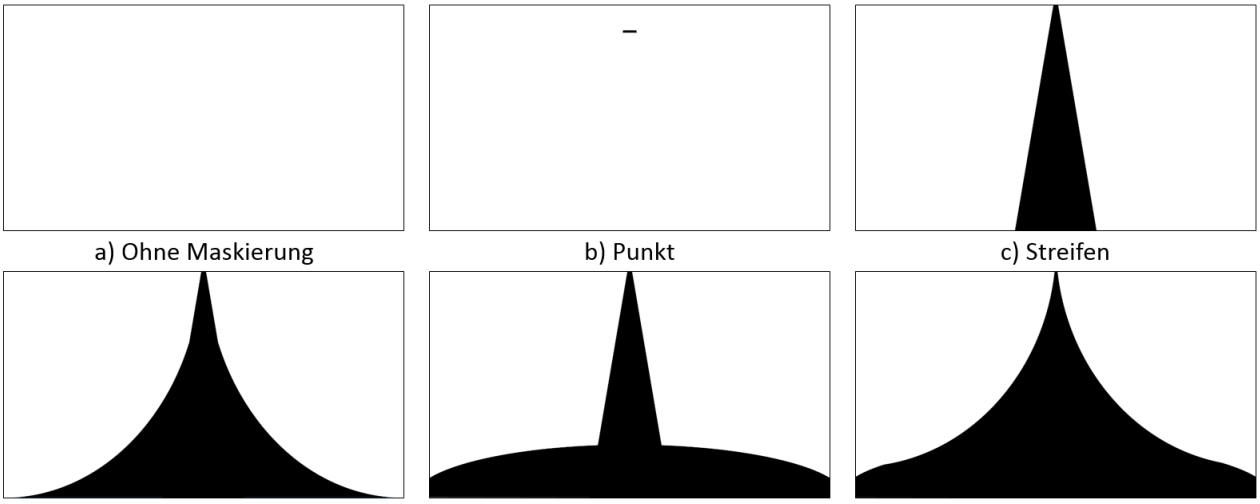


Abbildung 2: Untersuchte Ausmaskierungsstrategien

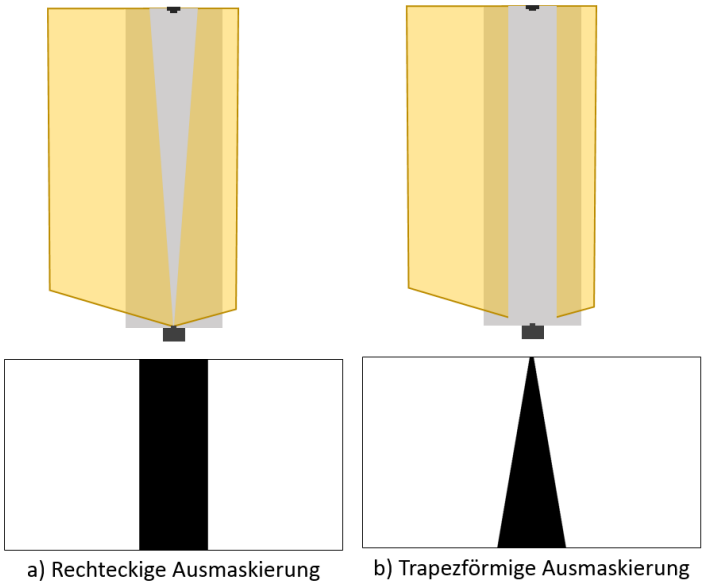


Abbildung 3: Aus der Art der Ausmaskierung (unten) resultierende Birds Eye View (oben)

3.1 Untersuchung der Ausmaskierungsstrategien

Die Messungen finden in einer Referenzmessumgebung bei IAV in Gifhorn statt, die vollständig verdunkelbar ist und Messentfernungen bis zu 10 m ermöglicht. Um auch Begegnungsdistanzen $> 10\ \mathrm{m}$ untersuchen zu können, werden Scheinwerferanbau- (0,65 m) und Augenhöhe (1,2 m) maßstabsgerecht verkleinert. Es wurde mathematisch ermittelt, dass für den vorhandenen Platz die Höhe des Beamers auf 0,2 m, die Augenhöhe auf 0,37 m

festgelegt werden muss, um eine Begegnungsdistanz von 30 m nachzubilden. Bei dem verwendeten Beamer handelt es sich um einen EPSON EB-1775w mit einer Weißhelligkeit von 3.000 Lumen. Als Messmittel kommen ein Beleuchtungsstärkemessgerät (pocketlux2, LMT) und eine Leuchtdichtekamera [LMK] (LMK 98-4 color, TechnoTeam Bildverarbeitung GmbH) zum Einsatz.

Eine Messreihe mit unmodifizierter Lichtverteilung (Abbildung 2a) dient als Referenzwert zur Beurteilung der modifizierten Lichtverteilungen. Nach der Positionierung des Photometers in Beobachterposition wird zu jeder dargebotenen Maskierungsstrategie die Beleuchtungsstärke gemessen. Um Messunsicherheiten zu berücksichtigen, werden alle Messungen dreimal ausgeführt. Der Mittelwert aus allen Messungen wird anschließend für die Auswertung verwendet. Es werden drei Fahrbahndeckschichten untersucht, um den Effekt geänderter Reflexionseigenschaften zu analysieren:

1. Betonboden der Referenzmessumgebung
2. Moltonstoff (trockene Fahrbahn)
3. Kunststofffolie (nasse Fahrbahn, vgl. auch [6])

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 dargestellt.

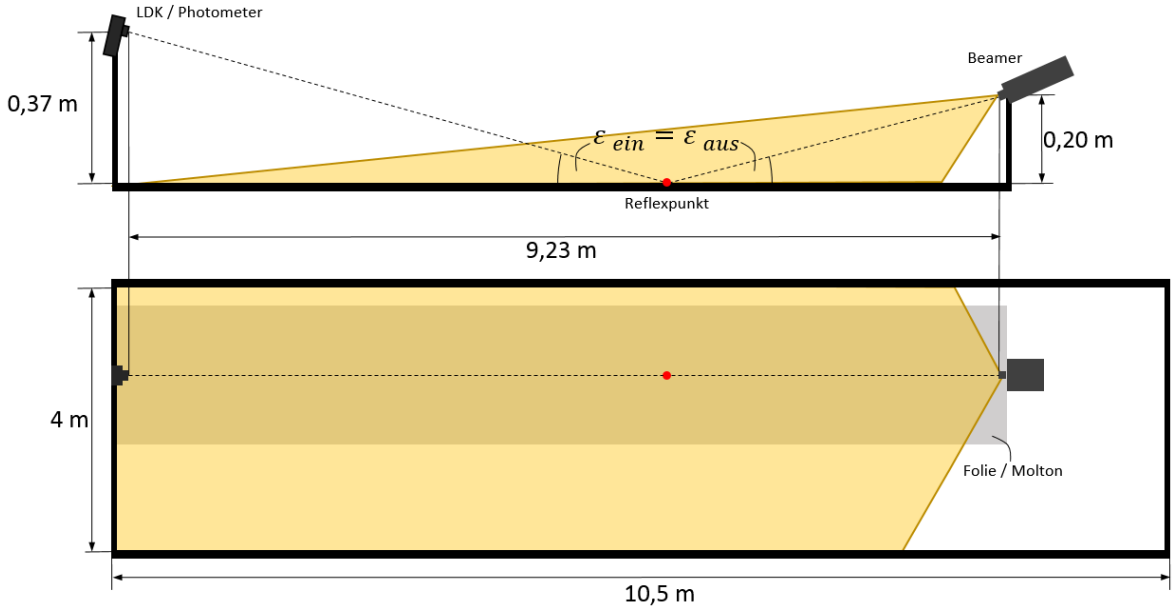


Abbildung 4: Seiten- (oben) und Draufsicht (unten) des Versuchsaufbau

3.2 Validierung blendfreier Abblendlichtverteilungen

IAV entwickelte zur Bewertung der Lichtstärkeverteilung von Kfz-Scheinwerfern die Simulationssoftware CAGE. [13]. Diese ermöglicht sowohl die Berechnung der direkten, als auch indirekten Blendbeleuchtungsstärke an der Position eines entgegenkommenden

Verkehrsteilnehmers während eines Passiervorgangs. In der Software können zahlreiche Variablen wie Augen- und Scheinwerferanbauhöhe, Scheinwerferanbauabstand und Fahrbahndeckschicht eingestellt werden.

Die in 3.1 beschriebenen Strategien basieren auf Untersuchungen der Lichtverteilung eines Serienscheinwerfers. Weitere Grundlage für die Maskierungsstrategien ist eine von der CIE erarbeitete Bewertungsmethode für Scheinwerfer. [14] Unter der Annahme eines Scheinwerferanbauabstands von 1,40 m ergibt sich daraus für den Punkt der höchsten Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Fahrerauges ein y-Versatz zum linken Scheinwerfer des entegenkommenden Fahrzeugs von -2,025 m an. Ausgehend von diesem Punkt wird eine horizontaler Bereich von $-3{,}025\ \mathrm{m} < y < -1{,}025\ \mathrm{m}$ $(-3{,}5° < \alpha < -1{,}2°)$ festgelegt, um ein blendfreies Fahrgefühl zu erzielen. Im Gegensatz zu [10] wird hierdurch auf der Fahrbahn ein rechteckiger Bereich ausmaskiert (vgl. Abbildung 5, vergrößerter Ausschnitt). Im nächsten Schritt wird die Beleuchtungsstärke in den berechneten Bereichen auf null gesetzt, um eine Ausmaskierung zu simulieren. Bevor die modifizierten Lichtverteilungen simulativ mittels CAGE auf das resultierende Blendpotenzial im Passiervorgang untersucht werden können, ist eine, wie in Abbildung 5 dargestellte, Bird Eye View [BEV] zu erzeugen.

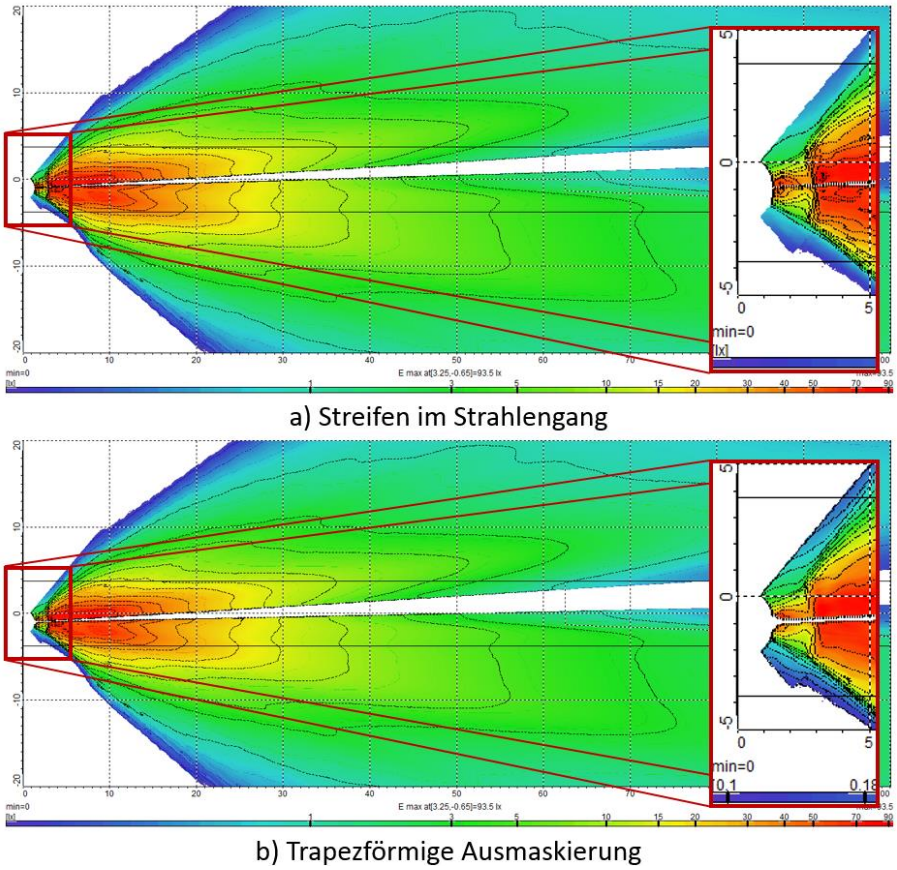


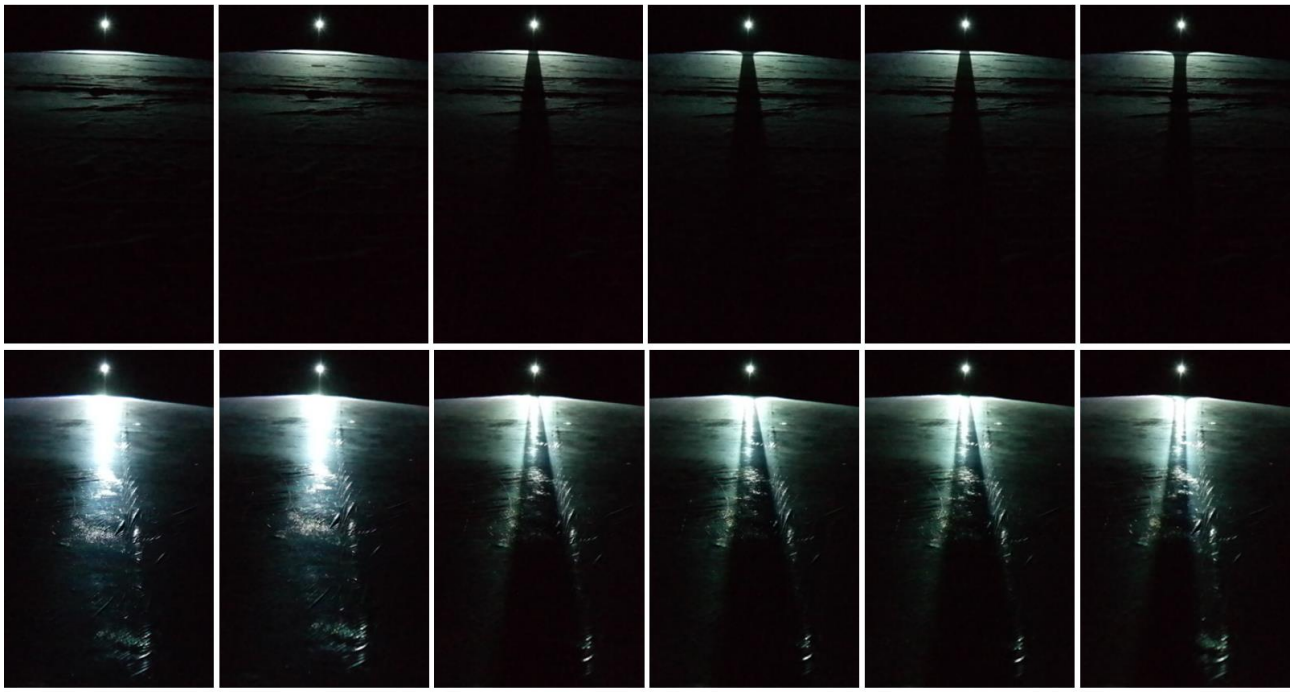
Abbildung 5: Von [10] verwendete (oben) und vorgeschlagene Lichtverteilung einer Gasentladungslampe

4 Ergebnisse

Zum Zeitpunkt der Einreichung dieses Beitrages war die Auswertung der Versuche noch nicht abgeschlossen. Die hier vorgestellten Ergebnisse sind daher nicht vollständig und werden im Rahmen des Tagungsvortrages komplettiert.

4.1 Untersuchung der Ausmaskierungsstrategien

In Abbildung 6 sind Aufnahmen der untersuchten Lichtverteilungen abgebildet. Wenngleich der visuelle Eindruck auf den Bildern die Realität der Situation nicht genau nachbildet, ist ein Unterschied zwischen den einzelnen Aufnahmen zu erkennen. Am deutlichsten zeigen sich diese im Bereich direkt unterhalb der Lichtquelle.



a) Unmaskiert b) Punkt c) Linie d) Vorfeld 1 e) Vorfeld 2 f) Vorfeld 3

Abbildung 6: Lichtbildaufnahmen der untersuchten Lichtverteilungen, Oben: Molton, Unten: Folie

Zwischen Moltonstoff und Folie liegt in etwa ein Faktor 9 in der Blendbeleuchtungsstärke. Dies deckt sich mit Untersuchungen von Kleinert [13]. Die untersuchten Deckschichten weisen zueinander folglich ein ähnliches Verhalten auf, wie trockene und nasse Fahrbahnen. Die Versuche mit dem Beamer zeigen, dass durch die Ausmaskierung der Blendkeule eine deutliche Reduzierung der Blendbeleuchtungsstärke am Fahrerauge erreicht wird. Da durch die Folie der Anteil der nach vorne reflektieren Strahlen gegenüber dem Molton zunimmt, fällt die Reduzierung der Blendbeleuchtungsstärke stärker aus.

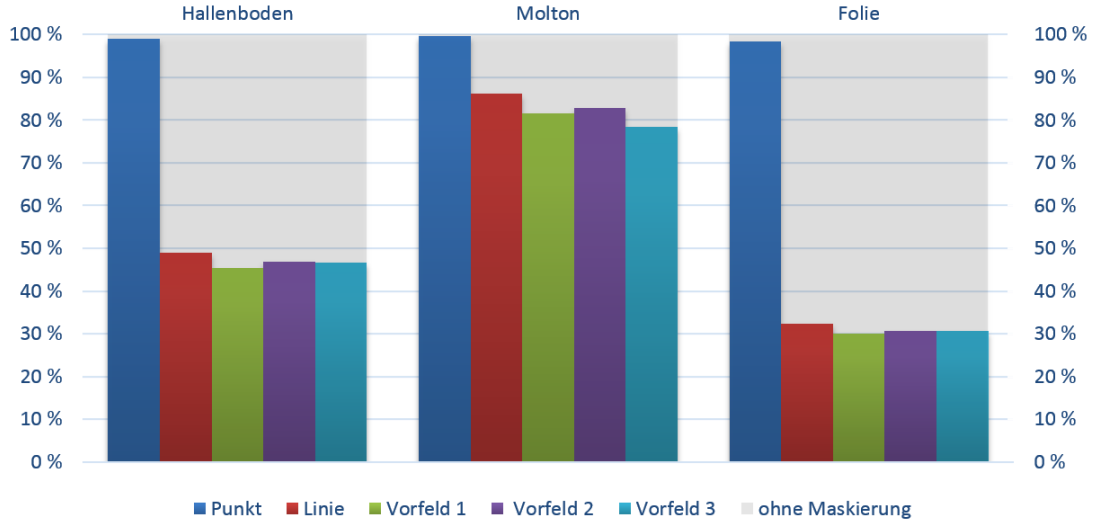


Abbildung 7: Resultierende prozentuale Blendbeleuchtungsstärke durch die verschiedenen Ausmaskierungsstrategien bezogen auf die unmaskierte Lichtverteilung (grau)

4.2 CAGE

Die Untersuchungen mit Hilfe der Software waren zur Zeit der Einreichung des Beitrages noch nicht abgeschlossen. Ergebnisse werden auf der Tagung veröffentlicht.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Das größte Potenzial zur Reduzierung der Blendbeleuchtungsstärke hat die Variante Linien- mit zusätzlicher Vorfeldmaskierung (-70%). Eine Ausmaskierung des Fahrzeugvorfeldes scheint nur einen geringen Einfluss auf die Blendbeleuchtungsstärke zu haben. Erste subjektive Eindrücke weisen jedoch darauf hin, dass diese Strategie für die psychologische Blendung durchaus von Relevanz sein könnte.

Für zukünftige Untersuchungen muss bei der Ausmaskierung unbedingt berücksichtigt werden, dass ein Scheinwerfer eine ausgedehnte Lichtquelle darstellt. Daher müssen bei der Berechnung der auszumaskierenden Bereiche die Abmessungen des Scheinwerfers mit einbezogen werden. Zudem zeigen sich wie in Abbildung 6 zu sehen noch Reflexionen im Bereich der Maskierung auf der Folie. Dies könnte auf Restlicht des Beamers trotz schwarzen Streifens oder auf eine nicht ausreichende Breite der Maskierung zurückzuführen sein.

5 Zusammenfassung & Ausblick

Es wurden verschiedene Strategien zur Reduzierung der Blendbeleuchtungsstärke durch eine partielle Variation des LVKs getestet. Schon durch einfache Maßnahmen war eine Reduzierung um bis zu 70% möglich. Abhängig von der Komplexität der Maskierungsstrategie kann diese sicherlich noch weiter gesteigert werden. Die Verwendung von Molton-

stoff (diffuse Reflexion) und Kunststofffolie (gerichtete Reflexion) erweist sich als zur Nachbildung trockener und nasser Fahrbahnzustände geeignet.

Die partielle Maskierung im Bereich des mathematischen Reflexpunktes hat nur bedingt einen Effekt auf die gemessene Blendbeleuchtungsstärke und bedarf daher weiterer Untersuchungen. Die Wirksamkeit der Ausmaskierung des Reflexpunktes könnte von der Größe des ausmaskierten Bereichs sowie der Begegnungsentfernung abhängen, da das Maximum des Leuchtdichtekoeffizienten nicht mit dem mathematischen Reflexpunkt übereinstimmt [15].

Für künftige Untersuchungen ist es geplant, die Reflexionseigenschaften der Straßendeckschicht bei der Maskierungsstrategie zu berücksichtigen. Ziel dieser Untersuchungen ist es, eine adaptive blendfreie Abblendlichtverteilung zu entwickeln. Diese soll einerseits einen möglichst gleichbleibenden Fahrkomfort gewährleisten und andererseits die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer auf ein Minimum reduzieren.

Die gewonnenen Erkenntnisse fließen zusammen mit parallel laufenden und zukünftigen Untersuchungen in die Weiterentwicklung von CAGE ein.

6 Literaturverzeichnis

[1] „Fachserie 8 Reihe 7 - Verkehr-Verkehrsunfälle," Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2014.

[2] Y. Akashi, P. Dee, J. Chen, J. Van Derlofske und J. Bullough, „Interaction Between Fixed Roadway Lighting and Vehicle Forward Lighting," in *PAL 2003 Symposium*, Darmstadt University of Technology, 2003.

[3] H.-J. Schmidt-Clausen und L. Schwenkschuster, „Einfluß der Helligkeit und des Reflexionsverhaltens von nassen Fahrbahnoberflächen auf die Seh- und Wahrnehmungsbedingungen von Kraftfahrern bei Nacht," Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn, 2001.

[4] R. Neumann, „Advanced Lighting Technology: Vision and Strategy between customer perception, Styling Opportunities and safety features," in *International Conference - V.I.S.I.O.N. 2008*, 2008.

[5] EUREKA PROJECT 1403, „AFS - History & Scientific Backup," in *48th GRE*, 2002.

[6] E.-O. Rosenhahn, *Entwicklung von lichttechnischen Anforderungen an Kraftfahrzeugscheinwerfer für Schlechtwetterbedingungen,* Darmstadt: Darmstädter Dissertationen, 1999.

[7] P. Tucker, „Design for an automobile“. USA Patent US D154192 S, 14. Juni 1949.

[8] R98, „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer mit Gasentladungslichtquellen,“ 15. Juli 2013. [Online]. Available: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=uriserv:OJ.L_.2014.176.01.0064.01.DEU. [Zugriff am 12. 06. 2015].

[9] R123, „Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von adaptiven Frontbeleuchtungssystemen (AFS) für Kraftfahrzeuge,“ 24. 08. 2010. [Online]. Available: http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/static/ECE/r-123-adaptive-frontbeleuchtungs-systeme-afs-pdf.pdf?__blob=publicationFile. [Zugriff am 11. 12. 2014].

[10] J. D. Bullough, N. P. Skinner, Y. Akashi und J. Van Derlofske, „Investigation of Safety-Based Advanced Forward-Lighting Concepts to Reduce Glare,“ National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC, 2008.

[11] Krebs/Böllinger, „Beurteilung und Erfassung von nässezuständen auf Fahrbahnen,“ Institut für Straßenbau und Eisenbahnwesen, Universität Karlsruhe, 1981.

[12] J. Fischer, „Adaptive Schlechtwetterlichtverteilung zur Reduzierung der indirekten Blendung entgegenkommender Verkehrsteilnehmer auf nassen Farhbahnen,“ in *Tagungsband Licht 2014*, Den Haag, 2014.

[13] Kleinert et al., „CAGE - Computer Aided Glare Evaluation of Automotive Headlamps,“ in *ISAL 2013 (International Symposium on Automotive Lighting)*, Darmstadt, 2015.

[14] Commission Internationale de L'Eclairage, „Performance Assessment Method for Vehicle Headlighting Systems,“ CIE Central Bureau;, 2010.

[15] S. Köhler, „Messtechnische Bestimmung von Leuchtdichtekoeffizienten für Fahrbahndeckschichten unter flachen Anstrahlwinkeln,“ 24. Oktober 2011. [Online]. Available: http://opus4.kobv.de/opus4- tuberlin/files/. [Zugriff am 09. 12. 2014].