

Bewertung von Scheinwerferlichtverteilungen bei Nebel

M. Sc. Peter Schreier, BMW AG, Knorrstraße 147, 80788 München

1 Einführung

Schlechte Witterungsbedingungen wie Nebel, Schnee oder Regen führen häufig zu einem erhöhten Unfallrisiko im Straßenverkehr. Neben einem veränderten Fahrverhalten des Fahrzeugs (z.B. verlängerter Bremsweg, geringere Bodenhaftung) wird häufig auch die Sicht des Fahrzeugführers stark beeinträchtigt (z.B. Verkürzung der Sichtweite bei Nebel). Gerade in Nachtsituationen, die ohnehin die Objekterkennung erschweren, erhöhen diese Witterungsbedingungen somit zusätzlich das Unfallrisiko. [1] Welche besonderen Anforderungen und Herausforderungen sich speziell bei Nebel für Scheinwerfersysteme ergeben werden im Folgenden beschrieben.

Herrscht sowohl Nebel als auch Dunkelheit überlagern sich für den Fahrzeugführer mehrere ungünstige Effekte. Zum Beispiel wird die Sichtweite durch Nebel stark eingeschränkt und somit der Blick auf entfernte Objekte erschwert. Außerdem kann das an Wasserpartikeln in der Luft gestreute Licht gerade bei Dunkelheit weitere störende Effekte wie die Eigenblendung des Fahrzeugführers hervorrufen. Hinzu kommt die fehlende Objektbeleuchtung durch die Sonne. Daher sind die Sichtbedingungen nachts maßgeblich vom eingesetzten Scheinwerfersystem bestimmt und von den vorhandenen Umweltbedingungen beeinflusst. Durch den Einsatz von leistungsstarken Lichtquellen (Gasentladungslampen, Leuchtdioden) und adaptiven Scheinwerfersystemen (Zusatzscheinwerfer, Anpassung des Abblendlichtes) soll die Fahrbahnausleuchtung optimiert und das Unfallrisiko gesenkt werden. Dabei entsteht jedoch ein Zielkonflikt zwischen der Leistung des Scheinwerfers (Lichtstrom, Lichtstärke) und der Blendungsgefahr. Bei Nebelsituationen muss neben der Blendung anderer Verkehrsteilnehmer vor allem auch die Gefahr der Eigenblendung berücksichtigt werden. Diese wird besonders durch Streulicht hervorgerufen, welches vom Scheinwerfersystem erzeugt wird. Im Rahmen dieses Artikels wird Licht als Streulicht bezeichnet, das nicht zur direkten Lichtfunktion beiträgt und in Bereiche ab 10° über dem Horizont emittiert wird (vgl. Abbildung 2, rechts). Da Streulicht bei klaren Sichtverhältnissen auch den positiven Effekt der Beleuchtung von Überkopf-Schildern zur Folge hat, entsteht hier ein weiterer Zielkonflikt. Hervorgerufen wird dieses durch Lichtstreuung an optischen Grenzflächen (Abdeckscheibe) und Mehrfachreflexionen an Abdeckscheiben und Blenden (vgl. Abbildung 1).

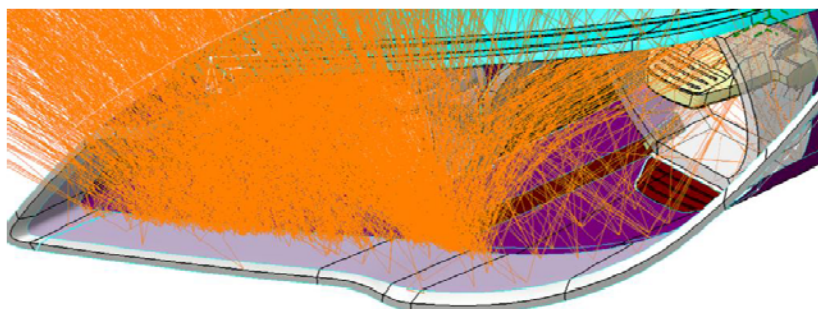


Abbildung 1: Streulicht aufgrund von Reflektionen an der Scheinwerferblende; Simulation des Strahlengangs im Scheinwerfer

Besonders die Form und die Oberflächengestaltung dieser Elemente haben einen starken Einfluss auf die Intensität und die Verteilung der Lichtstärke. Durch die Streuung dieses Lichtes an im Nebel vorhandenen Wasserpartikeln in der Luft entsteht eine Aufhellung des Fahrersichtfeldes. Gleichzeitig trifft weniger Licht auf die Fahrbahnoberfläche. So kann die Kontrastwahrnehmung aufgrund einer höheren Umgebungshelligkeit und schwächerer Kontraste herabgesetzt werden oder der Fahrzeugführer geblendet werden.

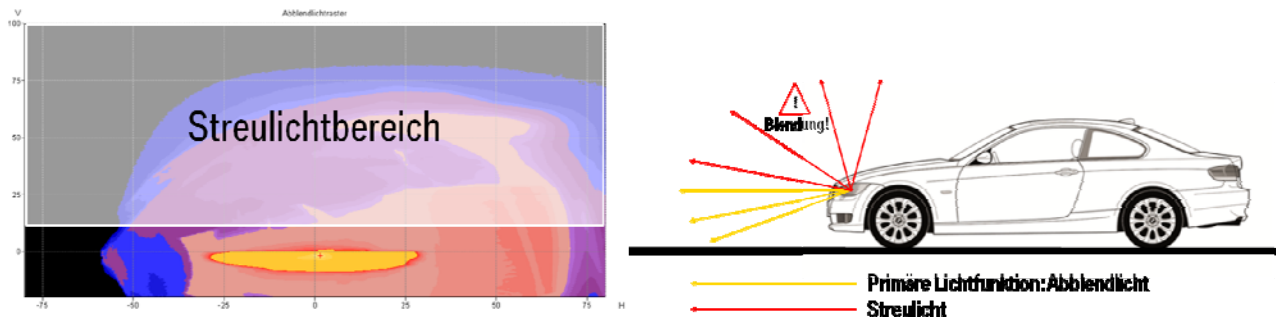


Abbildung 2: Grafische Darstellung einer Rastermessung am Goniofotometer (Abblendlicht inkl. Streulichtbereich) und schematische Darstellung des Streulichtbereichs in der Seitenansicht eines Fahrzeugs.

Abbildung 2 (links) zeigt die Lichtstärkeverteilung eines Abblendlichtes und veranschaulicht den Streulichtbereich. Außerdem wird der Unterschied zwischen primärer Lichtfunktion und Streulicht in der Seitenansicht eines Fahrzeuges skizziert (rechts). Licht in diesem Bereich erhöht besonders die Gefahr der Eigenblendung. Das eingezeichnete Feld liegt in einem horizontalen Winkelbereich von -80° bis $+80^\circ$ und einem vertikalen Winkelbereich von $+10^\circ$ bis $+100^\circ$.

Gesetzliche Vorschriften für den Streulichtbereich ähnlich wie in Abbildung 2 finden sich auch in den Regelungen der European Commission of Europe (ECE) und der Society of Automotive Engineers (SAE) für den europäischen bzw. nordamerikanischen Raum. Die ECE gibt für Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht Maximalwerte oberhalb der Hell-dunkel-Grenze vor. Diese liegen bei 437,5 cd (ECE-R1, ECE-R112). [2] [3] Im Gegensatz dazu liegt der zulässige Höchstwert der SAE (FMVSS 108) bei 125 cd in einem vertikalen Winkelbereich von 10° bis 90° und einem horizontalen Winkelbereich von -90° bis $+90^\circ$. [4] DAMASKY gibt eine Empfehlung für Schlechtwetterlicht, welches unter anderem für Nebel vorgesehen ist. Er fordert im vertikalen Winkelbereich zwischen Hell-Dunkel-Grenze und ca. 20° Werte von ca. 100 cd bis 200 cd. Oberhalb von 20° soll kein Licht ausgestrahlt werden, um die Fremd- und Eigenblendung zu vermeiden. [5]

Zur Verbesserung der Sicht bei Nebel gibt es verschiedene technische Umsetzungsmöglichkeiten. Viele Fahrzeuge sind mit zusätzlichen Nebelscheinwerfern ausgestattet. Diese verbessern vor allem die Vorfeld- und Seitenausleuchtung und können zusätzlich zum Abblendlicht aktiviert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die vorhandene Abblendlichtverteilung anzupassen. Dies kann beispielsweise durch eine Absenkung der Hell-Dunkelgrenze in Kombination mit einer Schwenkbewegung der Abblendlichtmodule nach außen realisiert werden. Hierdurch soll die Seitenausleuchtung verbessert und die Eigenblendung reduziert werden. Bei beiden Varianten besteht jedoch auch die Gefahr, dass der Streulichtanteil aufgrund einer ungünstigen Gestaltung der Scheinwerfer steigt. Für eine zielgerichtete Weiterentwicklung der Scheinwerfersysteme ist es erforderlich, wirkungsvolle, objektive und reproduzierbare Bewertungssysteme zu schaffen. Dabei muss sowohl die Leistung als auch die Blendungsgefahr (Fremd- und Eigenblendung) berücksichtigt werden. Die folgende Methode zur Bewertung von Scheinwerfersystemen bei Nebel soll diese Anforderungen berücksichtigen. Ergänzend

dazu sollen die wesentlichen Auswirkungen von Streulicht in den hier vorgestellten Untersuchungen dargestellt werden.

2 Methode zur Bewertung von Scheinwerfersystemen bei Nebel

Die Anforderungen an Scheinwerfer bei Nebel unterscheiden sich von den Anforderungen, die bei klarer Sicht gestellt werden. Dem CIE Report 188 kann man einheitliche Bewertungsvorschriften für Abblendlicht und Fernlicht entnehmen. [5] Die Bewertung des Abblendlichtes wird bei einer Vielzahl von Automobilherstellern und deren Lieferanten eingesetzt und anerkannt, wohingegen die Bewertung von Fernlicht und die Einbindung von adaptiven Lichtfunktionen derzeit noch diskutiert und weiterentwickelt wird.

Bewertungsmethoden für adaptive Lichtfunktionen, speziell auch für Nebelscheinwerfersysteme, wurden bisher noch nicht implementiert. Welche besonderen Anforderungen an Scheinwerfersysteme bei Nebel gestellt werden und wie diese durch objektive Bewertungskriterien geprüft werden können, wird im folgenden Abschnitt dargelegt.

Die folgenden vier Anforderungen an einen Scheinwerfer fassen die notwendigen Eigenschaften bei Nebel aus funktionaler Sicht zusammen: Eine große Lichtmenge, eine „situationsgerechte“ Ausleuchtung der Fahrbahn, eine geringe Blendung des Gegenverkehrs und eine geringe Eigenblendung (vgl. Abbildung 3). Die Lichtmenge kann als Maß für die Leistung der Scheinwerfer herangezogen werden. Im Bereich direkt vor dem Fahrzeug sollte jedoch nur wenig Licht auf die Fahrbahn treffen, da die Fahrbahn zum einen erst ab einer gewissen Entfernung eingesehen werden kann und zum anderen Reflexionen auf der Fahrbahn indirekt Streulicht erzeugen und damit auch negative Auswirkungen verbunden sind. Da die Ausleuchtung dieses Bereichs keinen direkten Nutzen für den Fahrzeugführer hat, sollte der Lichtstrom dort auch nicht bewertet werden. In einer Untersuchung zum Sichtfeld des Fahrzeugführers wurde die durchschnittliche Entfernung ermittelt, ab der er die Straße einsehen kann. Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Tabelle 1 aufgelistet. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass abhängig von Sitzposition und Körpergröße hohe Toleranzen zu verzeichnen sind. Bei der Beschränkung des Bewertungsbereichs sollte die kürzeste Entfernung herangezogen werden.

Tabelle 1: Einschränkung des Sichtbereichs

FZG-Hersteller	FZG-Modell	Gemessene Entfernung in m
BMW	Z4	6
BMW	1er	5,6
BMW	5er	5,5
BMW	X5	6,7
Mini	One	4,5
VW	Golf 6	4,8
VW	Passat	4,8
VW	Touareg	6
VW	Multivan	4,7
Mercedes	A-Klasse	6,2
Mercedes	C-Klasse	6,3

Die Anforderung an eine situationsgerechte Ausleuchtung der Straße spiegelt die Forderungen nach hoher Reichweite und einer guten Seitenausleuchtung wieder. Die Berechnung der Reichweite erfolgt gemäß dem Vorschlag des CIE Reports 188 für die Reichweite auf geraden Straßen (Zone A; vgl. Abbildung 3). [6] Zur Bewertung der Breite der Ausleuchtung werden die Schnittpunkte der 3 lx Linie in drei Abständen berechnet. Da der Schwerpunkt bei langsamen Geschwindigkeiten und nebligen Umgebungsbedingungen im Nahbereich liegt, werden Entfernungen von 5, 10 und 25 m vor dem Fahrzeug (A, B und C laut Abbildung 3) gewählt. Der Mittelwert aus allen Schnittpunkten ergibt die Bewertungskennzahl für die Breite der Ausleuchtung.

Für die Bewertung der Blendung des Gegenverkehrs werden die Bewertungsgrundlagen aus dem CIE Report 188 übernommen (vgl. [6]). In einer Entfernung von 50m vor dem Scheinwerfer wird in einem definierten Bereich der Lichtstrom berechnet. Durch eine Gewichtung wird dabei die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die Position des Auges berücksichtigt. Grundlage für die Berechnung ist das Produkt aus Lichtstromwert und Gewichtungsfaktor. Die Blendungsbewertung entspricht der Summe des gewichteten Lichtstroms für die vordefinierten Bereiche.

Die Eigenblendung wird vorwiegend durch das vorhandene Streulicht verursacht. Die genaue Bestimmung eines geeigneten Bewertungsfaktors ist Gegenstand aktueller Untersuchungen. Prinzipiell geeignet erscheinen der Lichtstrom und Kennwerte wie Mittel-/Maximalwert und die Verteilung des Streulichtes.

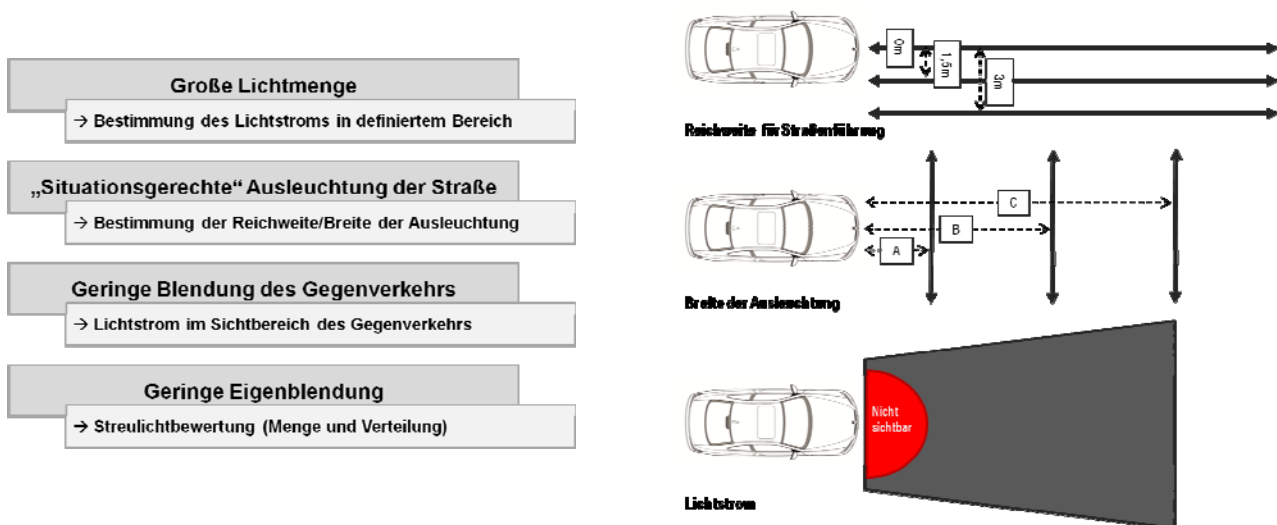


Abbildung 3: Anforderungen an Scheinwerfersysteme bei Nebel und Umsetzung einer Bewertungsmethode

Die Analysen dazu werden im Folgenden dargestellt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Untersuchung von Abblendlichtverteilungen. Dies ist die Ausgangssituation aller Fahrzeugführer (spezielle Nebelscheinwerfersysteme sind meist optional erhältlich, jedoch nicht immer serienmäßig im Fahrzeug integriert). Die gewonnenen Erkenntnisse können jedoch nach Abschluss der Untersuchungen auf andere Systeme übertragen werden.

3 Methode zur Analyse und Bewertung von Streulicht

Im Folgenden werden die Methoden zur Untersuchung von Streulicht näher beschrieben. Dazu zählen die Beschreibung einer Nebelsituation mittels Leuchtdichteaufnahmen, die

messtechnische Analyse von Abblendlichtverteilungen, die Ermittlung von Kennzahlen und die Darstellung von Streulicht zur subjektiven Bewertung im Fahrsimulator.

3.1 Leuchtdichteaufnahmen.

Die orts aufgelöste Erfassung der Leuchtdichte durch eine Kamera vom Typ LMK-Color der Firma Technoteam ermöglicht die Aufnahme einer Szene im Nebel. Dabei werden Aufnahmen aus Fahrerperspektive gemacht. Das Fahrzeug ist mit einem LED-Scheinwerfer ausgestattet und wird zum Zeitpunkt der Aufnahmen nicht bewegt. Aufgenommen werden eine Stadtlichtverteilung, eine Landstraßenlichtverteilung und eine Fernlichtverteilung.

3.2 Messtechnische Analyse von Abblendlichtverteilungen.

Eine Reihe von unterschiedlichen Scheinwerfern wurde am Goniofotometer erfasst. Während der Messung war jeweils die Abblendlichtfunktion in Betrieb. Die Messung erfolgte in einem horizontalen Winkelbereich von -80° bis $+80^\circ$ und einem vertikalen Winkelbereich von -20° bis $+100^\circ$. Das Raster beträgt eine Schrittweite von $0,5^\circ$. In die Messreihe wurden Scheinwerfer mit Halogen-, Xenon- und LED-Technologie mit einbezogen. Außerdem kamen verschiedene Varianten von Abdeckscheiben und Blenden sowie Projektions- und Reflexionssysteme zum Einsatz.

3.3 Ermittlung von Kennzahlen.

Die durchgeführte Messreihe am Goniofotometer bildet die Datenbasis zur Ermittlung von Kennzahlen, die zur Charakterisierung des Streulichts dienen. Im Rahmen dieses Artikels werden Mittelwerte, Maximalwerte und der Lichtstrom der untersuchten Scheinwerfer vorgestellt. Die Kennzahlen wurden in einem horizontalen Winkelbereich von -80° bis $+80^\circ$ und einem vertikalen Winkelbereich von $+10^\circ$ bis $+100^\circ$ ermittelt. Die Ergebnisse dienen als Basis für die Diskussion über hohe oder niedrige Streulichtwerte. Weiterhin können die Ergebnisse zum Vergleich mit Ergebnissen aus Studien zur subjektiven Wahrnehmung herangezogen werden.

3.4 Simulative Darstellung.

Zur Darstellung und subjektiven Bewertung von Streulicht wird eine eigens entwickelte Anwendung für die Simulationssoftware LucidDrive vorgestellt. Die Anwendung ermöglicht den direkten Vergleich verschiedener Lichtverteilungen im Streulichtbereich. Zentraler Bestandteil der Anwendung ist eine teildurchlässige Kuppel mit einem Durchmesser von fünf Metern. Das Fahrzeug ist im Zentrum der Kuppel positioniert. Die Streulichtverteilung wird direkt an der Oberfläche der Kuppel sichtbar und kann sowohl in natürlicher Farbdarstellung als auch in Falschfarbendarstellung betrachtet werden. Außerdem ist die Beurteilung aus verschiedenen Perspektiven möglich. Die Voreinstellung dieser Blickwinkel gewährleistet eine gute Reproduzierbarkeit (vgl. Abbildung 8). Grundvoraussetzung für diese Art der Analyse sind die entsprechenden Lichtverteilungen im ies-Datenformat. Diese unterscheiden sich von üblichen Lichtverteilungen durch den erfassten Winkelbereich. Aus Zeit – und Kostengründen ist der vermessene Bereich üblicherweise wesentlich kleiner als hierfür benötigt. Die Lichtverteilungen können entweder durch Simulation am digitalen Scheinwerfermodell oder durch eine Messung am Goniofotometer erzeugt werden. Zur Gewährleistung der Objektivität und Vergleichbarkeit ist die Einhaltung eines identischen Messbereichs (Minimal-, Maximalwinkel) sowie einer identischen Auflösung (Rastergröße) erforderlich.

4 Untersuchungsergebnisse

Leuchtdichtemessungen am Fahrzeug zeigen die negativen Auswirkungen von Streulicht wie die Aufhellung der Umgebung im Fahrersichtfeld und ein stark reduzierter Kontrast der Objekte auf der Fahrbahn. Die Aufnahmen der Stadtlichtverteilung und der Landstraßenlichtverteilung zeigen die Unterschiede in der Hauptlichtverteilung. Die Stadtlichtverteilung weist geringfügig höhere Streulichtwerte auf, was durch eine höhere Leuchtdichte im Fahrersichtfeld wiedergespiegelt wird. Die Ausrichtung der Scheinwerfer (Schwenk- und Neigebewegung der LED-Module bei Stadtlicht) spiegelt sich in den Aufnahmen in einer breiteren Ausleuchtung der Straße und einem leicht höheren Streulichtanteil beim Stadtlicht wieder. Die Unterschiede im Streulichtbereich waren zum Versuchszeitpunkt subjektiv nicht wahrnehmbar. Weitaus größere Unterschiede sind beim Vergleich von Stadt- und Fernlicht zu verzeichnen. Abbildung 4 zeigt links die Stadtlichtverteilung und rechts die Fernlichtverteilung. Helle, weiße Streifen, die zur Bildmitte hin verlaufen, verdeutlichen die Problematik, dass hohe Lichtstärken bei Nebel nicht zwingend zu einer Sichtverbesserung führen, sondern auch einen negativen Effekt haben können. Die Überlagerung der Fernlichtverteilung mit der Abblendlichtverteilung führt zu stark verminderten Kontrasten beim Blick auf die Fahrbahnoberfläche. Aufgrund von stark orts- und zeitabhängigen, wechselnden Bedingungen war ein direkter, reproduzierbarer Vergleich verschiedener Scheinwerfer nicht möglich.

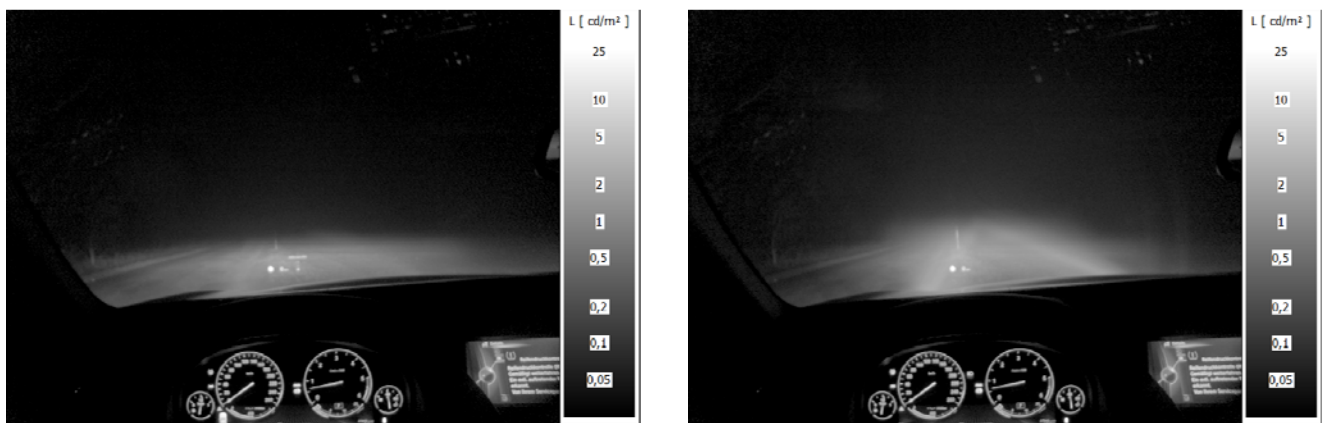


Abbildung 4: Leuchtdichteaufnahmen aus Fahrerperspektive mit Stadtlichtverteilung (links) und Fernlichtverteilung (rechts)

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Analyse von Abblendlichtverteilungen in einem erweiterten Winkelbereich (inkl. Streulichtbereich) dargestellt. Abbildung 5 zeigt die Messergebnisse eines Halogen-Scheinwerfers und eines LED-Scheinwerfers mit Reflexionssystem und eines Xenon-Scheinwerfers mit Projektionssystem. Alle drei Scheinwerfer unterscheiden sich neben der verwendeten Lichtquelle auch in der Form der Abdeckscheibe und in der Gestaltung der Zierblenden im Inneren des Scheinwerfergehäuses. Deutlich zu erkennen ist, dass in der Verteilung große Unterschiede zu verzeichnen sind. Dies spiegeln auch weitere Messungen, die hier nicht abgebildet sind, wieder. Der Scheinwerfer LED 03 hat seine Maxima in einem vertikalen Winkelbereich von 70°-100°. Die Scheinwerfer Halogen 01 und Xenon01 hingegen weisen in diesem Bereich nur sehr geringe Werte auf und haben ihre Maximalwerte im Bereich von 10° bis 50°, wobei der Schwerpunkt bei Xenon 01 zentral liegt und bei Halogen 01 im Bereich von H=30°-70°.

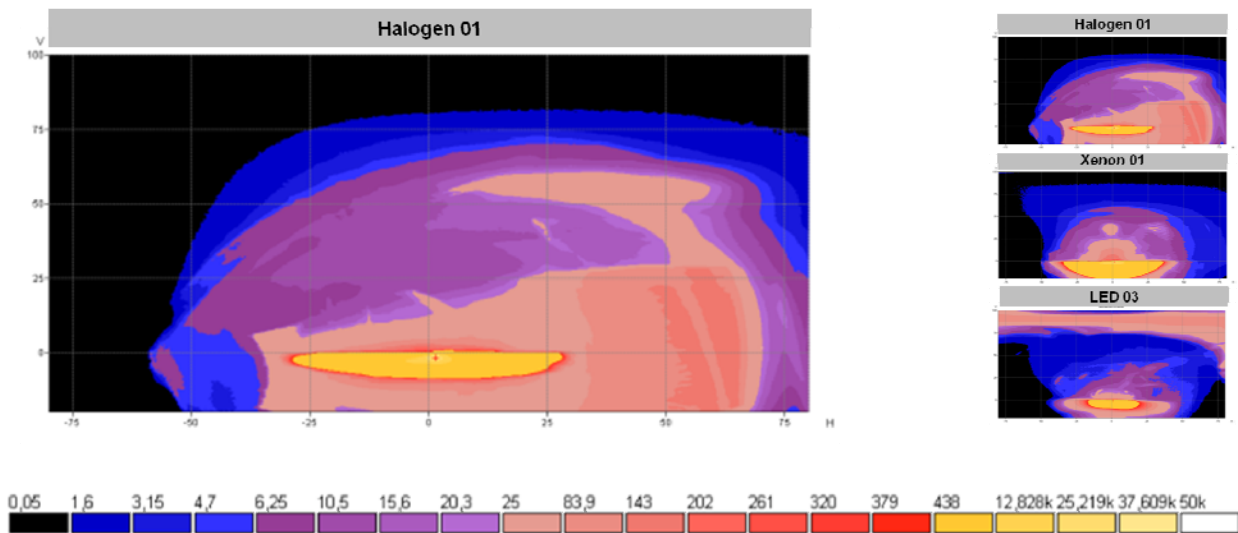


Abbildung 5: Streulichttraster eines Halogen-, Xenon- und LED Scheinwerfers

Auf Basis dieser Analyse werden Kennzahlen in einem definierten Winkelbereich ermittelt. In den nachfolgenden Diagrammen werden die Mittel- und Maximalwerte sowie der Lichtstrom dargestellt. Die Darstellung erfolgt in Prozent. Bezugswert ist jeweils der Maximalwert des Scheinwerfers LED 01. Die Werte beziehen sich jeweils auf den gesamten Streulichtbereich. Die Maximalwerte, Mittelwerte und der Lichtstrom weisen insgesamt große Unterschiede auf und folgen keinem erkennbaren Verlauf. Hohe Maximalwerte sind sowohl bei LED-, Halogen- als auch bei Xenonscheinwerfern zu verzeichnen. Die größten Maximalwerte weisen in absteigender Reihenfolge die Scheinwerfer LED 01, Halogen 02, Halogen 03 und Xenon 01 auf. Die Mittelwerte sind insgesamt deutlich niedriger als die Maximalwerte. Hohe Werte weisen die Scheinwerfer LED 01 – 03 und Halogen 02 auf. Xenon 03 hat den niedrigsten Mittelwert im Streulichtbereich. Das gesetzliche Maximum im Bereich über der Hell-Dunkelgrenze (nach ECE-Regelung R1, R112) wird von allen untersuchten Scheinwerfern eingehalten (vgl. Abbildung 6).

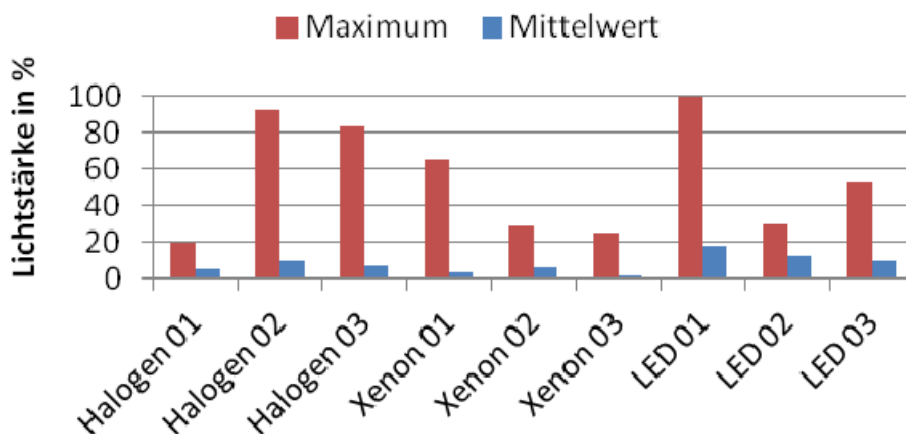


Abbildung 6: Maximalwerte und Mittelwerte im Streulichtbereich

Den höchsten Lichtstrom weist ebenfalls der Scheinwerfer LED 01 auf. Darauf folgen mit mehr als 40% weniger Lichtstrom im Streulichtbereich die Scheinwerfer Halogen 02, LED 02 und Halogen 03. Den niedrigsten Wert weist wiederum der Scheinwerfer Xenon 03 auf (vgl. Abbildung 7).

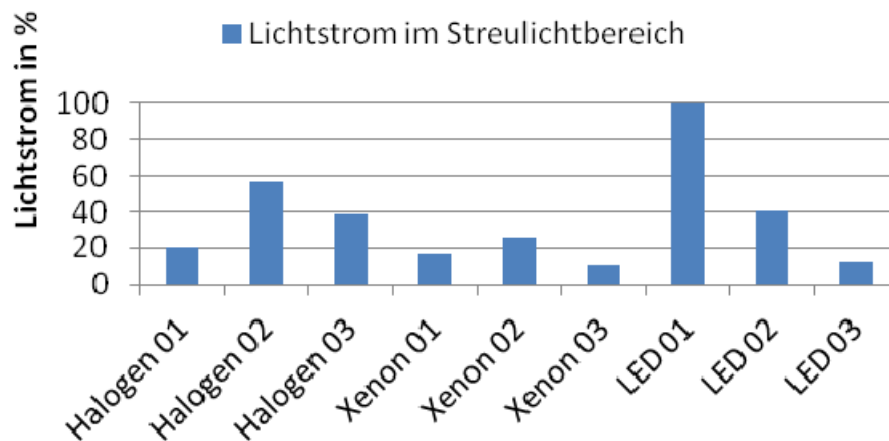


Abbildung 7: Lichtstrom im Streulichtbereich

Zum direkten Vergleich verschiedener Streulichtverteilungen eignet sich die Bewertung an der Streulichtkuppel im BMW Nachtfahrer Simulator. Abbildung 8 zeigt die Streulichtkuppel aus zwei Perspektiven (Beobachter- und Vogelperspektive) und die zugehörigen Lichtstärkeverteilungen aus Messungen am Goniofotometer. Die unterschiedlichen Streulichtverteilungen werden bei der Gegenüberstellung eines Xenonscheinwerfers (links im Bild) und eines LED-Scheinwerfers (rechts im Bild) deutlich. Der LED Scheinwerfer weist einen deutlich höheren, gleichmäßigen Streulichtanteil auf. Der Xenonscheinwerfer hat einen niedrigeren Anteil und eine wesentlich ungleichmäßigere Verteilung mit einigen kleinen Bereichen, in denen die Intensität sehr hoch ist. Durch die dreidimensionale Darstellung wird dem Beobachter ein anschaulicher Eindruck der Streulichtverteilung angezeigt. Eine Beurteilung aus Fahrerperspektive ist mit der Anwendung nicht möglich.

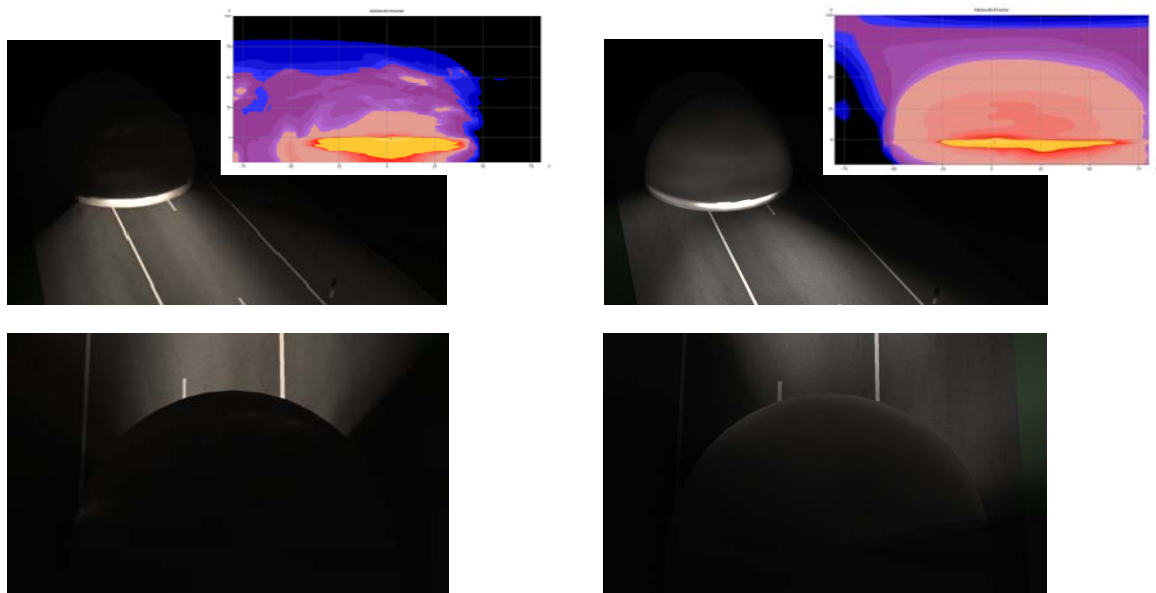


Abbildung 8: Streulichtbewertung im Fahrersimulator in der Streulichtkuppel (links: Xenonscheinwerfer; rechts: LED-Scheinwerfer)

Auch die Anzeige von diskreten Werten auf der Kuppel durch Linien gleicher Beleuchtungsstärke (Isoluxlinien) ist möglich. Festgelegte Grenzwerte können so eindeutig angezeigt werden. Die Randbedingungen in der Simulation sind vollständig reproduzierbar und ermöglichen den direkten Vergleich verschiedener Scheinwerfer oder die Auswirkungen von Zusatzscheinwerfern. So können beispielsweise verschiedene Entwicklungsstände verglichen und der Einfluss von Designänderungen untersucht

werden. Die Darstellung ist dabei speziell auf den BMW Nachtfahrssimulator abgestimmt, der eine hohe Dynamik aufweist und eine Darstellung im Maßstab 1:1 ermöglicht.

5 Diskussion

Die objektive Bewertung der Leistung eines Scheinwerfersystems ist unter Berücksichtigung der speziellen Anforderungen bei Nebel möglich. Die Anwendung und Weiterentwicklung bekannter Bewertungskriterien bildet die Basis für eine sinnvolle Bewertungsmethode. Diese wurde ausführlich beschrieben. Die objektive Bewertung der Eigenblendung stellt die größte Herausforderung dar, da bisher exakte Angaben oder groß angelegte Studien zum subjektiven Störeffinden nicht vorliegen. Dies war Anlass zu den hier beschriebenen Untersuchungen.

Die Leuchtdichteaufnahmen dokumentieren die subjektiv wahrgenommenen negativen Einflüsse des Streulichtes. Mit der Lichtstreuung an Wasserpartikeln ist eine Umgebungsaufhellung und eine Reduktion des auf der Fahrbahn auftreffenden Lichtstroms verbunden. Damit geht eine Minderung des Kontrastes einher und eine ungünstige Adaptation des Auges an ein helleres Umfeld. Dies wird am deutlichsten beim Vergleich der Aufnahme der Abblendlichtverteilung mit der Fernlichtverteilung. Ein direkter messtechnischer Vergleich verschiedener Scheinwerfer ist jedoch unter realen Bedingungen nicht möglich gewesen, so dass die Aufnahmen nur für einen konkreten Zustand gelten und keine Allgemeingültigkeit besitzen. Je nach Dichte des Nebels entstehen unterschiedliche Leuchtdichten im Fahrersichtfeld.

Durch die Analyse der Abblendlichtverteilungen konnte der aktuelle Stand der Technik ermittelt werden und eine breite Datenbasis geschaffen werden, die zum Vergleich mit Scheinwerfern herangezogen werden kann, die sich noch in der Entwicklung befinden. Die Diskussion über hohe oder niedrige Werte bei Neuentwicklungen kann dank dieser Daten mit objektiven Messwerten verglichen und auf diese Weise diskutiert werden. Ein Maßstab zum direkten Vergleich wurde damit geschaffen.

Die vorgestellten Kennwerte Maximalwert/Mittelwert ermöglichen eine Einordnung der untersuchten Scheinwerfer. Sie sind einfach zu ermitteln und leicht nachvollziehbar. Da diese Kennwerte jedoch keine Aussage bezüglich der Verteilung zulassen und auch die dadurch entstehende Rangordnung (Scheinwerfer mit hohen/niedrigen Mittel-/Maximalwerten) bisher nicht in Zusammenhang mit der subjektiven Wahrnehmung steht, sind weitere Untersuchungen zur subjektiven Wahrnehmung erforderlich. Zur Überprüfung der gesetzlichen Vorgaben und als Anhaltswerte für zukünftige Entwicklungen scheinen Sie jedoch grundsätzlich geeignet. Die Regularien der ECE fordern im Bereich über der Hell-Dunkelgrenze Werte, die niedriger als 437,5cd sind. [2] Diese werden bei allen im Rahmen dieser Untersuchung vermessenen Scheinwerfern eingehalten. Die Forderung von DAMASKY nach einer Eliminierung des Streulichtes oberhalb eines vertikalen Winkels von 20° wird jedoch von allen Scheinwerfern gebrochen. Welche Grenze sinnvoll ist, kann an dieser Stelle noch nicht beantwortet werden, ist jedoch Gegenstand zukünftiger Versuche.

Der Lichtstrom ist ein Maß für die Effizienz eines Scheinwerfers. Bezieht man den Lichtstrom im Streulichtbereich auf den Gesamtlichtstrom wird klar, wie hoch der Anteil des Lichtes ist, der nicht auf die Straße fällt und somit hauptsächlich störende Effekte bei Nebel verursacht. Außerdem ist er ein Maß für die Energie-Effizienz eines Scheinwerfers. Auch der Lichtstrom liefert keine Angaben zur Verteilung und ist somit als eigenständige Gütekennzahl nicht aussagekräftig.

Die subjektive Bewertung des Streulichtes kann über die Anwendung in LucidDrive erfolgen. Die dafür entwickelte und implementierte Anwendung ermöglicht einen

schnellen, direkten Vergleich verschiedener Scheinwerfer und liefert so eine schnelle und anschauliche Möglichkeit, die Streulichtverteilung eines Scheinwerfers im Laufe des Entwicklungsprozesses zu analysieren.

Die zentrale Frage nach einem Grenzwert im Streulichtbereich ist Gegenstand nachfolgender Untersuchungen und soll ergänzend zu den hier vorgestellten Ergebnissen und der Anwendung im Simulator eine eindeutige und effektive Bewertungsmethode schaffen.

6 Quellen

- [1] Hermann Winner, Stephan Hakuli, Gabriele Wolf (Hrsg.), Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme Für Aktive Sicherheit und Komfort, Springer, 2011
- [2] ECE R1: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht, die mit Glühlampen der Kategorien R2 und/oder HS1 ausgerüstet
- [3] ECE R112: Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht, die mit Glühlampen und/oder LED-Modulen ausgerüstet sind
- [4] USA/Federal, FMVSS 108, Lighting: Installation of lighting equipment
- [5] Damasky, Lichttechnische Entwicklung von Anforderungen an Kraftfahrzeug-Scheinwerfer, Darmstädter Dissertation, 1995
- [6] CIE Report 188 of the TC 4-45, Performance Assessment Method for Vehicle Headlighting Systems, 2010