

Blendungsbewertung von Kfz-Scheinwerfern – Was wird messtechnisch erfasst und was nicht?

B. Kleinert
IAV GmbH, Rockwellstr. 3, 38518 Gifhorn
benedikt.kleinert@iav.de

Coautoren: C. Schierz (TU Ilmenau), M. Seer (IAV), M. Marutzky (IAV), S. Bogdanow (IAV)

Einleitung

Die Situation, sich durch ein entgegenkommendes Fahrzeug geblendet zu fühlen, ist allgemein bekannt. Unter der Annahme, dass die Scheinwerfer des entgegenkommenden Fahrzeuges richtig eingestellt sind, stellt sich die Frage, ob für eine gesetzeskonforme Abnahme der Scheinwerfer messtechnisch auch die tatsächliche Blendung erfasst wird, welche am Auge des entgegenkommenden Fahrers resultiert? Sowohl durchgeführte Untersuchungen am Lichttechnischen Institut des KITs [1], als auch bei IAV zeigen, dass dies nicht der Fall ist.

Folglich wird das Hauptaugenmerk in diesem Beitrag auf die gängige Blendungsbewertung von Kfz-Scheinwerfern in der automobilen Lichttechnik gelegt. Zum einen wird gezeigt, welche Parameter und Blendungsarten Berücksichtigung finden, zum anderen aber auch, welche vernachlässigt, bzw. unberücksichtigt bleiben. Ebenfalls wird die resultierende Blendbeleuchtungsstärke $E_{BL} / (lx)$ näher betrachtet, welche das Blendpotential beeinflusst. Ferner wird auf eine durchgeführte Umfrage zum Thema Blendung in einer nächtlichen Situation bei regennasser Fahrbahn eingegangen.

Abschließend wird ein kurzer Ausblick auf weitere, geplante Untersuchungen gegeben und aufgezeigt, welche Maßnahmen sinnvoll wären, um Blendung, speziell intelligenter und dynamischer Scheinwerfersysteme aussagekräftiger zu bewerten.

Blendungsbewertung in der automobilen Lichttechnik

Bewertung nach ECE

Grundlage einer gesetzeskonformen Abnahme von, mit Glühlampen und/oder LED-Modulen ausgestatteten, Kfz-Scheinwerfern ist die ECE Regelung R112. In dieser Regelung ist ein Messschirm mit relevanten Zonen und Punkten zur Bewertung der Beleuchtungsstärkeverteilung hinterlegt. Abbildung 1 zeigt diesen.

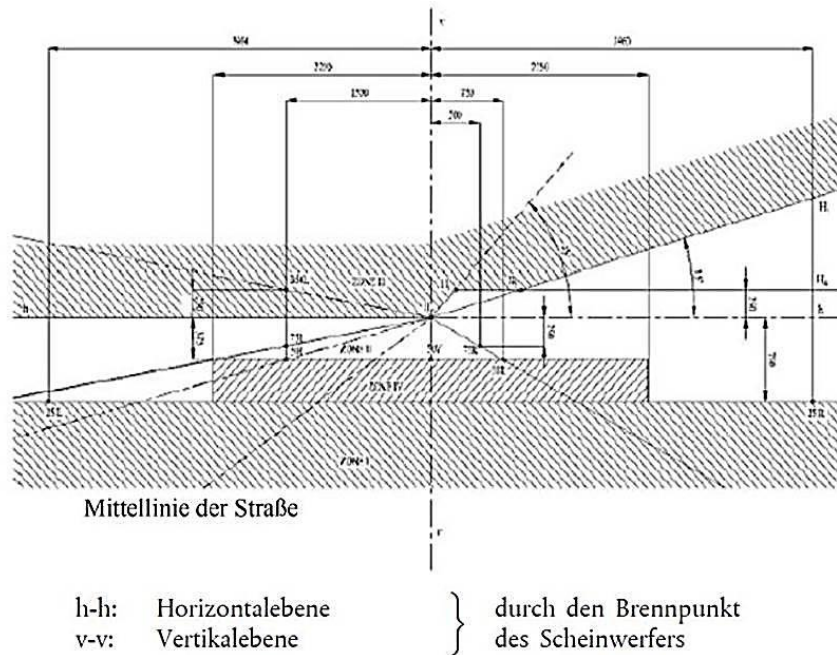


Abbildung 1: Messschirm zur Bewertung von Scheinwerfern für Rechtsverkehr mit Angabe der Punkte und Zonen für eine gesetzeskonforme Abnahme nach ECE. Der Schnittpunkt der h-h Linie und der v-v Linie entsprechen dem Brennpunkt des Scheinwerfers. [2]

Ein solcher Messschirm kommt ebenfalls bei Kfz-Scheinwerfern mit anderen Leuchtmitteln zum Einsatz. Hierbei variieren lediglich die hinterlegten, erforderlichen und maximal zulässigen Werte für die Beleuchtungsstärke. Grundgedanke des Verfahrens ist das photometrische Entfernungsgesetz (1) und die zu berücksichtigende photometrische Grenzentfernung.

$$E = \left(\frac{I}{r^2} \right) * \cos(\varepsilon) \quad (1)$$

mit

E = Beleuchtungsstärke / (lx)

I = Lichtstärke / (cd)

r = Abstand / (m)

ε = Einfallswinkel / (°)

Der in Abbildung 1 dargestellte Messschirm findet bereits in frühen Entwicklungsphasen automobiler Scheinwerfer Anwendung. Bei der optischen Simulation ist es das Ziel, das fertigungstechnisch realisierbare System so auszulegen, dass die erzeugte Lichtverteilung, respektive Beleuchtungsstärkeverteilung die Gesetzesanforderungen nach ECE erfüllt. Hierfür ist in Simulationsprogrammen, wie z.B. LucidShape, ein sogenannter test-table mit den relevanten Werten der Beleuchtungsstärke hinterlegt.

Liegt jedoch die fertige Komponente als Prototyp vor und gilt es, die im Entwicklungsprozess generierte Lichtverteilung messtechnisch hinsichtlich der gesetzlichen Anforderungen zu verifizieren, erfolgt dies bei akkreditierten Instituten auf einem Fernfeld-Gonio-Photometer. Dies ist das anerkannte Verfahren zur finalen Abnahme des Scheinwerfers.

Bei diesem Verfahren wird der Kfz-Scheinwerfer in einer konstanten Messentfernung r von 25 Metern zum Photosensor positioniert und kontinuierlich um die, jeweils senkrecht zur optischen Achse stehenden, Achsen φ und ϑ rotiert. Für jede Position i (φ, ϑ) wird hier die Beleuchtungsstärke E / (lx) aufgezeichnet. In Form einer .ies Datei kann die resultierende Beleuchtungsstärkeverteilung gleichermaßen wie die Simulation mit dem test-table der Simulationssoftware validiert werden.

Speziell die Blendung in Form der vorhandenen Beleuchtungsstärke E / (lx) wird nach ECE über den Punkt B50L und die Zone III bewertet (siehe Abbildung 1). Der Punkt B50L stellt hierbei die Position eines entgegenkommenden Fahrerauges und die Zone III den gesamten Bereich oberhalb der Hell-Dunkel-Grenze (im Folgenden mit HDG abgekürzt) dar.

Die Bewertung erfolgt hierbei statisch. Aufgrund der Kenntnis der geometrischen Bedingungen (Entfernung und der daraus resultierender Blendwinkel Θ) ist diese Art der Bewertung geeignet, um die vorhandene Blendung physiologisch, beispielsweise über die verursachte Schleierleuchtdichte (1), zu bewerten. Der Kontrast von Objekten im Verkehrsumfeld wird durch die Schleierleuchtdichte gemindert und damit die Erkennbarkeits-entfernung reduziert.

$$L_{s\ddot{a}q} = K * \frac{E_B}{\Theta^2} \quad (1)$$

mit

$L_{s\ddot{a}q}$ = äquivalente Schleierleuchtdichte / (cd/m²)

K = Altersfaktor / ()

E_B = Blendbeleuchtungsstärke am Auge / (lx)

Θ = Winkel zwischen der Blickrichtung und der Blendquelle

Eine Bewertung der psychologischen Blendung ist hiermit jedoch nicht möglich, bzw. wurde dies bei der Festlegung größtenteils nicht berücksichtigt, worauf auch Manz [4] hinweist. Bei dem beschriebenen Verfahren bleibt unter anderem der Einfluss der Scheinwerfergröße komplett unberücksichtigt. Untersuchungen von Alferdinck [5] belegen unter anderem, dass die Größe der leuchtenden Fläche allerdings signifikant ist und bei fovealer Betrachtung folgende Abhängigkeit (2) besitzt.

$$E / E_0 = (D / D_0)^{0,48} \quad (2)$$

Des Weiteren liefert die gesetzesmäßige Bewertung keinerlei Informationen über die Leuchtdichte des jeweiligen Scheinwerfersystems, welche u.a. von der Größe der leuchtenden Fläche, von dem eingesetzten Leuchtmittel, dem Systemaufbau und der Betrachtungsrichtung abhängig ist.

Neben diesen Einflussgrößen werden jedoch weitere relevante Größen, welche sich direkt auf die messbare Beleuchtungsstärke auswirken, vernachlässigt. Sowohl bei der Simulation, als auch bei der Messung am Fernfeld-Gonio-Photometer bleiben die indirekt, über den Sekundärstrahler - hier die jeweils vorhandene Straßendeckschicht

– reflektierten Strahlen und der Zustand des Sekundärstrahlers unberücksichtigt. Untersuchungen des KITs (siehe Kapitel Bisherige Forschungsarbeiten) und von IAV (siehe Kapitel Durchgeführte Blendungsuntersuchungen) werden den Einfluss der in der Realität vorhandenen und witterungsabhängigen Umgebung näher untersuchen. Zuletzt wird auch die Einbauposition in Fahrzeuglage nicht beachtet. Unabhängig von der Anbauhöhe wird der Punkt B50L zur Abnahme gemäß ECE stets auf den Brennpunkt des Scheinwerfers referenziert.

Bewertung nach TC4-45

Das aus der GTB NCAP taskforce entstandene technische Komitee 4-45 der CIE hatte es sich zur Aufgabe gemacht, eine standardisierte Methode zur Bewertung von Scheinwerfersystemen zu entwickeln und gleichzeitig zu validieren [6]. Als Bewertungsmethode wurde ein dreistufiges Vorgehen vorgeschlagen. Dieses enthält unter anderem die Bewertung der Blendung. Diese wird nachfolgend auszugsweise angeführt, um zu zeigen, welche Vorteile dieses Verfahren im Vergleich zu dem gesetzmäßig anerkannten Verfahren nach ECE bietet und welche Einflussgrößen auch hier unberücksichtigt bleiben. Grundsätzliches Ziel ist es hierbei, Verfahren einzusetzen, welche wiederholbare Ergebnisse liefern und wiederum mit dem subjektiven Eindruck korrelieren [6].

In Untersuchungen wurde erarbeitet, dass verschiedene Scheinwerfer unter statischen Bedingungen ein vergleichbares Blendpotential aufweisen. Dies verhält sich in einer dynamischen Situation, wie es auch in der Realität der Fall ist, jedoch anders. Die in Abbildung 2 gegenübergestellten Schnitte durch die Beleuchtungsstärkeverteilung zweier Scheinwerfer in einer Höhe von 940mm über der Fahrbahn veranschaulichen dies.

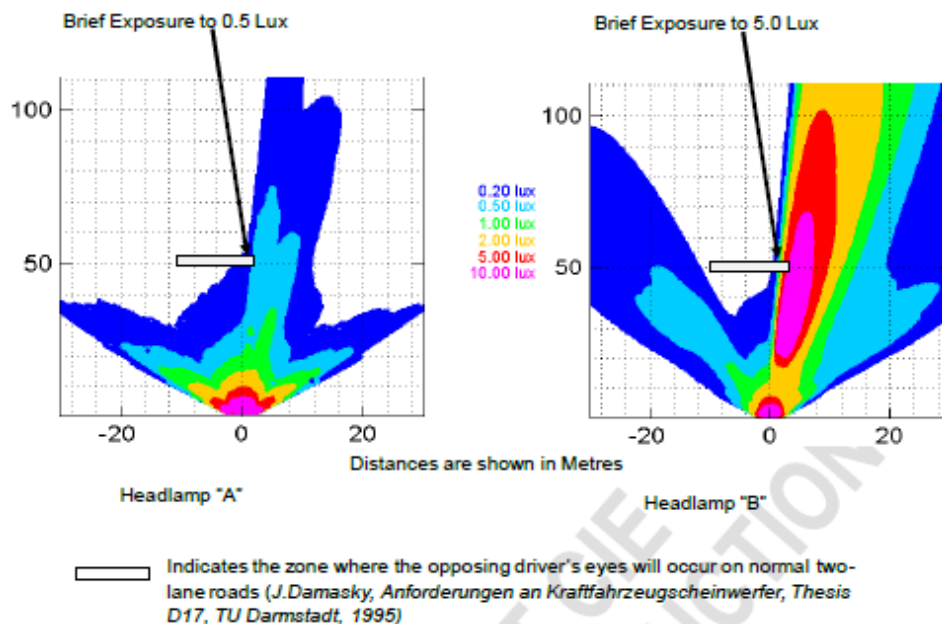


Abbildung 2: Gegenüberstellung des Blendpotentials zweier Scheinwerfersysteme, durch zugehörige Schnitte durch die Beleuchtungsstärkeverteilung in einer Höhe von 940mm über der Fahrbahn. Zusätzliche Angabe des Blendfensters (weißes Rechteck) nach Damasky [6]

Zusätzlich wird dem, in Abbildung 2 dargestellten Blendfenster nach Damasky, eine Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Auftreten eines entgegenkommenden Fahrerauges überlagert und damit gewichtet. Wie in Abbildung 3 dargestellt, wird das Blendfenster zur Fahrzeug-Längsachse referenziert.

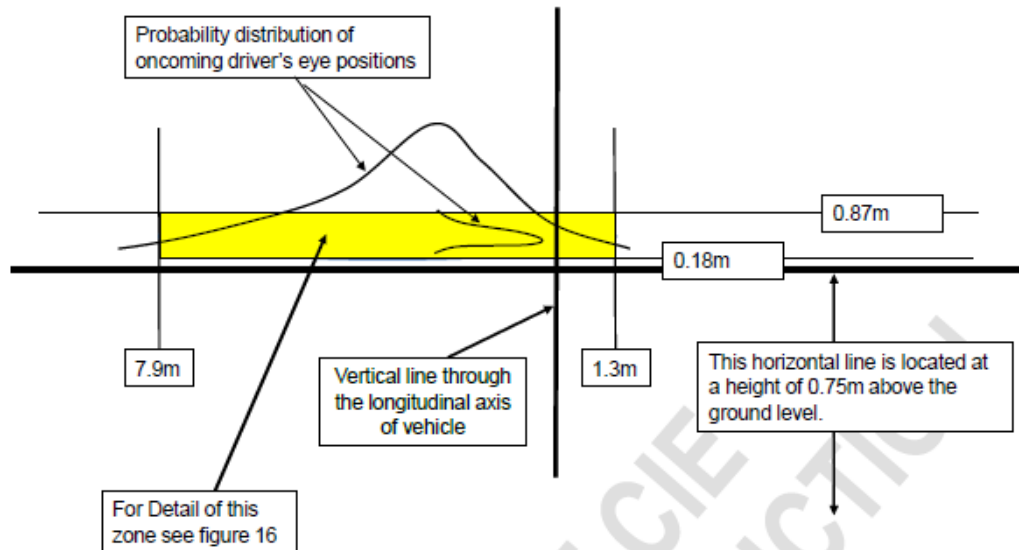


Abbildung 3: Lokation der Blendzone nach Damasky, referenziert auf die Fahrzeug-Längsachse inklusive der Wahrscheinlichkeitsverteilung eines entgegenkommenden Fahrerauges. [6]

Verglichen mit der Blendungsbewertung nach ECE ist diese Bewertung aussagekräftiger. Durch die Referenzierung des Blendfensters auf die Fahrzeug-Längsmittelachse und nicht auf den Brennpunkt des Scheinwerfers fließt ebenfalls die Anbauhöhe in die Bewertung mit ein. Zudem ist, durch die erzeugten Schnitte durch die Beleuchtungsstärkeverteilung, eine mehr oder weniger dynamische Bewertung der resultierenden Blendung möglich. Jeder Begegnungsentfernung ist somit sowohl die vorhandene Blendbeleuchtungsstärke, als auch der zugehörige Blendwinkel zuordenbar.

Dennoch wird auch hier der Einfluss der Reflexionen über die Straßendeckschicht nicht berücksichtigt. Somit fließt der indirekte Blendanteil, welcher Abhängig von der Lichtverteilung des Scheinwerfersystems ist, nicht mit in die Bewertung des Systems ein. Aus diesem Grund wurde sich überlegt, wie dies wiederholbar innerhalb einer Referenzumgebung möglich ist. Dies wird nachfolgend beschrieben.

Bewertung bei IAV

Unter Einsatz der Leuchtdichtemesskamera LMK 98-4 Color der Firma TechnoTeam und basierend auf der von Schwanengel [3] als Bilderverarbeitung-Messplatz beschriebenen Messtechnik bewertet IAV die resultierende Blendung innerhalb der Licht- und Fahrerassistenz-Halle in Form einer indirekten Messung. Das Bewertungsmodell bezieht sich hierbei auf das ECE- und das TC4-45-Verfahren. Vorteil der Referenzumgebung ist das Einbeziehen der Umgebung als weiteren Einflussparameter auf die resultierende Blendung, welche anschließend mit einer realen Situation abgleichbar ist. Somit wird neben dem indirekten Anteil auch das

Verhältnis beider Blendungsarten berücksichtigt [7]. Diese Messungen werden ebenfalls innerhalb eines Testkreislaufes simulativ verifiziert.

Zu berücksichtigende Blendungsarten

Prinzipiell gibt es mehrere Blendungsarten, welche bei der Bewertung eines Kfz-Scheinwerfers berücksichtigt werden müssen. Anbei werden einige Arten genannt, welche die resultierende Blendung in Realsituationen beeinflussen.

Direkte Blendung

Die Art der direkten Blendung ist gegeben, wenn das Licht einer Blendquelle direkt in das Auge des Betrachters, bzw. in das Auge des entgegenkommenden Verkehrsteilnehmers fällt. Ist ein Scheinwerfer falsch eingestellt, beispielsweise durch fehlende Nachregelung der Leuchtweitenregulierung bei Beladung des Fahrzeuges im Heckbereich, so wird dieser Anteil erhöht.

Indirekte Blendung

Diese Art der Blendung wird durch einen Sekundärstrahler erzeugt. Aus diesem Grund ist es nicht der Scheinwerfer (Primärstrahler) alleine, welcher maßgeblich die Blendung beeinflusst. Innerhalb einer Verkehrsumgebung ist es die Straßendeckschicht, welche einen solchen Sekundärstrahler darstellt. Dessen Reflexionseigenschaften sind zusätzlich von den Witterungsbedingungen abhängig.

Adaptations-/Transientblendung

Eine Transientblendung tritt beispielsweise bei einem Passiervorgang im Straßenverkehr auf. Beschrieben wird eine solche Blendung als kontinuierliche Steigerung der Leuchtdichte im gesamten Gesichtsfeld, wobei speziell die Dauer ausschlaggebend ist. In einer solchen Situation ist das Auge an andere Leuchtdichten adaptiert, weswegen kurzzeitig die Unterschiedsempfindlichkeit und damit das Erkennen kontrastarmer Hindernisse herabgesetzt ist.

Alleine die zuvor genannten, im Straßenverkehr vorhandenen, Blendungsarten zeigen, wie komplex sich eine aussagekräftige Beurteilung der tatsächlichen Blendsituation gestaltet.

In Bezug auf das gesetzmäßig zulässige Verfahren zur Bewertung von Kfz-Scheinwerfern ist hier nochmals zu erwähnen, dass nur die direkte Blendung beurteilt wird. Aus diesem Grund ist es das Ziel der nachfolgenden Kapitel, aufzuzeigen, inwiefern es relevant ist, hierbei auch weitere Arten und Einflussfaktoren mit einzubeziehen. Generell wäre eine Maßzahl oder Modell, welche Blendung unter Berücksichtigung aller relevanten Einflussgrößen bewertet, wünschenswert, wie auch von Völker [8] angemerkt.

Bisherige Forschungsarbeiten

Forschungsarbeiten zu dem Thema Blendung sind zahlreich. Verschiedene Untersuchungen zur Bewertung der Reflexblendung sind beispielsweise in den 1990er Jahren bereits von Damasky [9] und Rosenhahn [10] und Anfang des 21. Jahrhunderts von von Hoffmann [11] durchgeführt worden. Hier wurde jeweils untersucht, welchen Einfluss eine regennasse Fahrbahn auf die resultierende Blendung nimmt. Die hier erarbeiteten Erkenntnisse dienen unter anderem als Ausgangspunkt für die bei IAV durchgeführten Untersuchungen.

Ebenfalls von großer Relevanz sind die Untersuchungen von Köhler [12], welche die Leuchtdichtekoeffizienten speziell für flache Anstrahlwinkel durch Kfz-Scheinwerfer messtechnisch bestimmte. Generell wird in der Literatur darauf hingewiesen, dass eine regennasse Fahrbahn die Vorwärtsreflexion erhöht. Dies wiederum erhöht die resultierende Blendbeleuchtungsstärke und reduziert die vorhandene Adaptationsleuchtdichte für den Fahrer.

Speziell ist es die Arbeit von Matschke [1], welche am Lichttechnischen Institut des KIT angefertigt wurde. Im Rahmen der dynamischen Studie wurden sowohl Scheinwerfer mit Halogen-, als auch mit Gasentladungslampen im nächtlichen Straßenverkehr auf deren Blendpotential (erzeugte Blendbeleuchtungsstärke am Fahrerauge eines entgegenkommenden Verkehrsteilnehmers) untersucht. Hier wurden, unabhängig von der Scheinwerferart, höhere Blendbeleuchtungsstärken als nach ECE zulässig, gemessen. Im Gegensatz zu einer trockenen Fahrbahnoberfläche zeigte sich bei einer nassen, dass sich in Abhängigkeit der Scheinwerferart signifikante Unterschiede hinsichtlich der resultierenden Blendbeleuchtungsstärke ergeben.

Um diesen Effekt wiederholbar für diverse Scheinwerfersysteme und deren Entwicklungsstände aufzuzeigen, entwickelt IAV einen Testkreislauf mit entsprechenden Bewertungsverfahren. Mittels dieses Testkreislaufes sollen Scheinwerfer somit ab Entwicklungsbeginn bis zur Serienreife bewertet und Abweichungen aufgezeigt werden können. Das nachfolgende Kapitel enthält erste Ergebnisse aus Voruntersuchungen. Ziel einer zusätzlich durchgeführten Umfrage ist es, zu prüfen, ob die messbaren Einflussparameter mit der subjektiven Wahrnehmung korrelieren, was ebenfalls Ziel der TC4-45 ist.

Durchgeführte Blendungsuntersuchungen

Eine rein objektive Bewertung der Blendsituation ist nicht ausreichend. Die Komplexität der Blendsituation ist daher sowohl physiologisch, als auch psychologisch zu bewerten. Abbildung 4 zeigt den hier verfolgten Ansatz zur Blendungsbewertung.

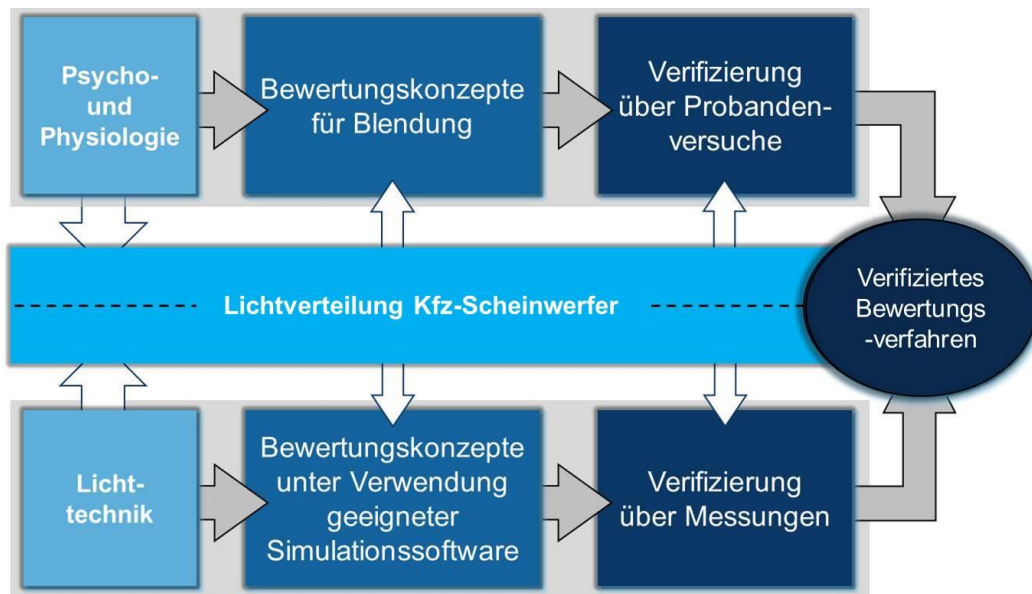


Abbildung 4: Vorgehensweise bei der Erarbeitung eines Testkreislaufes zur Blendungsbewertung von Kfz-Scheinwerfer-Lichtverteilungen

Aus diesem Grund wurde anfänglich eine Umfrage zur Bewertung einer Referenzszene hinsichtlich der resultierenden Blendung im nächtlichen Straßenverkehr bei regennasser Fahrbahn durch das Scheinwerferlicht eines entgegenkommenden Fahrzeuges, abgehalten. Primäres Ziel der Umfrage ist es, eine Aussage über die relevanten Bereiche der Lichtverteilung zu treffen, welche die psychologische Blendung beeinflussen und ob diese mit den physiologisch relevanten korrespondieren.

Als Probandenkollektiv dienten sowohl eine Versuchs-, als auch eine Kontrollgruppe. Hintergrund der Gruppierung ist es, die Signifikanz der Konditionierung zu ermitteln. Die Kontrollgruppe erhielt einleitend eine Informationsveranstaltung, in welcher sie auf die Thematik der indirekten Blendung hingewiesen wurden.

Neben allgemeinen Fragen hinsichtlich der Zufriedenheit der Vorfeldausleuchtung durch das eigene Scheinwerfersystem, wurden zusätzlich Fragen zu diskretisierten Zonen gestellt, inwiefern diese als blendend empfunden werden. Als Bewertungsmittel wurde eine invertierte de Boer Skala eingesetzt.

Zum Zeitpunkt der Einreichung des Beitrags lagen die Umfrageergebnisse noch nicht vor. Diese werden auf der Veranstaltung vorgestellt.

Im Anschluss an die Umfrage werden die Erkenntnisse simulativ und messtechnisch abgeprüft. Eine erforderliche Simulationsumgebung, basierend auf den geometrischen Bedingungen nach Damasky [9], welche ebenfalls bei dem TC4-45 Bewertungsverfahren [6] herangezogen werden, wurde hierzu bereits angelegt. Weitere messtechnische Untersuchungen sind in der IAV eigenen Licht- und Fahrerassistenz-Halle und auf der Applikationsstrecke geplant.

Erste Ergebnisse aus Voruntersuchungen ergaben, dass aufgrund geänderter Reflexionseigenschaften der Fahrbanoberfläche (vergleichbar mit einer regennassen Fahrbahn) die Blendbeleuchtungsstärke, verursacht durch einen Halogenscheinwerfer, am Punkt B50L um einen Faktor > 10 ansteigt. Gleichzeitig

wird die Adaptationsleuchtdichte im Fahrbahnbereich bis 25m vor dem Fahrzeug, um einen Faktor $> 2,5$ reduziert. Folglich verstärken beide Effekte die resultierende Blendung. Die verminderte Adaptationsleuchtdichte erhöht die Blendempfindlichkeit, wohingegen aufgrund der höheren Vorwärtsreflexion eine höhere Blendbeleuchtungsstärke am Punkt B50L resultiert.

Fazit und Ausblick

Der Beitrag zeigt, dass die aktuelle Bewertung lichttechnischer Komponenten im Automobilbereich nicht die tatsächlich resultierende Blendung erfasst. Die angeführten Literaturquellen in Verbindung mit den Ergebnissen aus durchgeführten Voruntersuchungen verdeutlichen, dass ein Scheinwerfer ein wesentlich höheres Blendpotential aufweisen kann, als durch die gesetzeskonforme Abnahme ermittelt wird. Speziell geänderte Umfeldbedingungen erhöhen das Blendpotential. Hierzu hat Rosenhahn [10] bereits Mindestanforderungen für einen Regenscheinwerfer aufgestellt.

Basierend auf diesen Anforderungen und dem TC4-45 Bewertungsverfahren [6] werden in Anlehnung an Abbildung 4 sowohl simulativ, als auch messtechnisch weitere Untersuchungen durchgeführt. Diese sollen sich unter anderem zur Bewertung intelligenter und dynamischer Scheinwerfersysteme eignen, um auch deren Blendpotential aufgrund variabler Lichtverteilungen aufzuzeigen. Der geplante Testkreislauf soll eine Verifizierung verschiedener Bauteilstufen während des Entwicklungsprozesses ermöglichen.

Literaturquellen

- [1] **Matschke, J.** ; *Nächtliche Blendungssituationen auf der Landstraße*; KIT, Bachelorarbeit 2010
- [2] **ECE R112**; *Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und/oder Fernlicht, die mit Glühlampen und/oder LED-Modulen ausgerüstet sind*; Anhang 3, Abbildung A
- [3] **Schwanengel, Chr.**; *Gegenüberstellung von Messtechniken zur Messung von Lichtstärkeverteilungen und Lichtstärkeverteilungsausschnitten*; TechnoTeam, 2010, Ilmenau
- [4] **Manz, K.**; *Der Einfluss der Größe eines Scheinwerfers auf die psychologische Blendung*; (unveröffentlichtes Manuskript) 2000
- [5] **Alferdinck, J.W.A.M.**; *Discomfort glare of car headlamps: evaluation of the effects of luminous intensity, size, colour, and configuration*; TNO-report TM-99-C007, TNO Institute for Perception, Soesterberg 1999
- [6] **TC4 -45**; *Performance assessment method for vehicle headlighting systems*, 2009
- [7] **Kleinert, B.** et al.; *The glare ratio – an evaluation under repeatable conditions for different dry and wet road surfaces*; ISAL 2013, Darmstadt
- [8] **Völker, S.**; *Blendung - Ein Rückblick über 100 Jahre Forschung*; Tagungsbeitrag LICHT 2012, Berlin

- [9] **Damasky, J.;** *Lichttechnische Entwicklung von Anforderungen an Kraftfahrzeug-Scheinwerfer*; Dissertation 1995, Darmstadt
- [10] **Rosenhahn, E.-O.;** *Entwicklung von lichttechnischen Anforderungen an Kraftfahrzeugscheinwerfer für Schlechtwetterbedingungen*; Dissertation 1999, Darmstadt
- [11] **Von Hoffmann, A.;** *Lichttechnische Anforderungen an adaptive Kraftfahrzeugscheinwerfer für trockene und nasse Fahrbahnoberflächen*, Dissertation 2003, Ilmenau
- [12] **Köhler, S.;** *Messtechnische Bestimmung von Leuchtdichtekoeffizienten für Fahrbahndeckschichten unter flachen Anstrahlwinkeln*; Dissertation 2011, Berlin