

Vergleich von konventionellen H7-Halogenglühlampen und zugelassenen Retrofit-LEDs anhand eines Kfz-Scheinwerfers

Anil Erkan, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet Lichttechnik, Hochschulstraße 4a,
64289 Darmstadt

Abstract

LED-Leuchtmittel, die durch ihre Bauform in die Fassungen von konventionellen Leuchtmitteln eingesetzt werden können und somit den Umstieg auf die moderne Lichtquellentechnologie erleichtern, werden Retrofit-LEDs genannt. Im Haushalt erfolgt dieser erleichterte Umstieg auf LEDs bereits seit einigen Jahren. Solch ein Umstieg wäre durch vorhandene Retrofit LEDs auch im Automobilbereich möglich. Aufgrund des hohen Anteils von Fahrzeugen mit Halogen-Scheinwerfern (ca. 56 %) wäre ein Umstieg auf die effizientere LED-Technologie vor allem von energetischem Vorteil.

Mittlerweile gibt es in Deutschland Retrofit-LEDs, die für vereinzelte Fahrzeugmodelle zugelassen sind und mit einer Bauartgenehmigung verwendet werden können. Inwieweit diese zugelassenen Leuchtmittel die konventionellen Halogenglühlampen in den Scheinwerfern ersetzen können, wird in dieser Untersuchung betrachtet. Hierzu werden Lichtstärkeverteilungskurven des gleichen Scheinwerfers mit konventionellen H7-Halogenglühlampen und zugelassenen Retrofit-LEDs aufgenommen und verglichen. Die Auswirkungen der verschiedenen Leuchtmittel auf die Lichtverteilung auf der Fahrbahn wird simulativ über die Berechnung der Fahrbahnbeleuchtungsstärke untersucht.

Index Terms: Kfz-Lichttechnik, Retrofit-LEDs, Messtechnik

1 Einleitung

Kraftfahrzeug-Frontbeleuchtungssysteme haben die Aufgabe dem Fahrzeugführer im nächtlichen Straßenverkehr eine zum sicheren Führen des Fahrzeugs geeignete Beleuchtungssituation zur Verfügung zu stellen. Dabei soll durch die Fahrbahnausleuchtung die Wahrnehmung über das visuelle System des Fahrzeugführers, welches die Hauptinformationsquelle im Straßenverkehr darstellt, bestmöglich unterstützt werden [3]. Die grundlegenden Lichtfunktionen, die dabei zum Einsatz kommen sind das Abblendlicht und das Fernlicht. Dabei ist das Abblendlicht, welches genutzt wird, um eine hohe Sichtweite bei gleichzeitig minimaler Blendung



des Gegenverkehrs und vorausfahrender Fahrzeuge zu erreichen, die meistgenutzte Lichtfunktion [8].

Neben dem Sicherheitsaspekt spielt die Nutzung von energieeffizienten Systemen eine immer wichtigere Rolle bei der Konzeptionierung von Kraftfahrzeugscheinwerfern. So werden bei Neufahrzeugen die konventionellen Halogenglühlampen durch energieeffizientere LED-Leuchtmittel ersetzt. Dennoch stellen Halogenglühlampen mit etwa 56 % den größten Ausstattungsanteil bei Bestandsfahrzeugen in Deutschland [2]. Würden alle Fahrzeuge, die mit Halogenglühlampen ausgestattet sind, auf LED-Leuchtmittel umgerüstet werden, so könnte man in Deutschland nach Erkan et al. eine Emissionsreduktion von etwa 250.000 t CO₂ pro Jahr erreichen [5].

Ein Umstieg von Halogenglühlampen auf LED-Leuchtmittel könnte im Falle der Abblendlichtfunktion über sogenannte Retrofit-LEDs erfolgen, da diese LED-Leuchtmittel in die Fassungen herkömmlicher Glühlampen eingesetzt werden können. Die Verwendung dieser Leuchtmittel könnte zusätzlich zur Energieeinsparung auch einen Sicherheitsgewinn durch eine Sichtweitzunahme mit sich bringen, da die Retrofit-LEDs bei gleicher elektrischer Spannung höhere Lichtströme erzeugen können. Bisher war die Verwendung dieser bereits erhältlichen Leuchtmittel aufgrund gesetzlicher Regelungen, wie die ECE-Regelung R37, untersagt. Laut der ECE-Regelung R37 darf der Glühfaden das einzige Element der Glühlampe sein, das Licht emittiert, wenn eine elektrische Spannung angelegt wird [6, 9]. Außerdem zeigt eine Untersuchung der Technischen Universität Darmstadt, dass neben der Zulassungsproblematik auch die lichttechnischen Eigenschaften der Retrofit-LEDs nicht zu der erwarteten Sichtweitenverbesserung führt. Zusätzlich steigt durch den hohen geometrischen Einfluss des Reflektors im Scheinwerfer das Blendungspotenzial für den Gegenverkehr. [4]

Durch die stetige Weiterentwicklung auf dem Gebiet der Retrofit-LEDs für Frontscheinwerfer, gibt es auch Retrofit-LEDs, die für einige spezifische Scheinwerfer eine Allgemeine Bauartgenehmigung (ABG) erhalten haben. Inwieweit diese als Ersatz für die herkömmlichen H7-Halogenglühlampen im Abblendlicht geeignet sind, wird durch Lichtstärkeverteilungskurven-(LVK-)Messungen und Simulationen der Fahrbahnbeleuchtungsstärke überprüft.

2 Methodik

Der Vergleich der zugelassenen Retrofit-LEDs mit den konventionellen Halogenglühlampen erfolgt anhand eines Kfz-Frontscheinwerfers, für den die Retrofit-LEDs die Allgemeine Bauartgenehmigung aufweisen. Hierfür werden sowohl messtechnische als auch simulative Methoden angewendet. Der verwendete Scheinwerfer ist als Freiflächen-Reflexionssystem aufgebaut, wie es in Abbildung 1 schematisch dargestellt ist. Dabei wird jede Reflektorfläche für einen Bereich der Lichtstärkeverteilung optimiert.

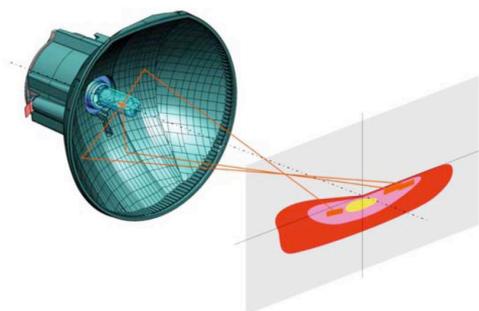


Abbildung 1: Schematischer Aufbau eines Freiflächen-Reflexionssystems, bei dem jede Reflektorfläche für einen Bereich der Lichtstärkeverteilung zuständig ist [7]

Dies führt dazu, dass die geometrische Lage der leuchtenden Fläche innerhalb des Reflexionssystems von essenzieller Bedeutung ist. Wird die Lage der leuchtenden Fläche innerhalb des Reflektors verändert, verändert sich die resultierende Lichtverteilung deutlich. In Abbildung 2 wird dieses Verhalten mittels eines Paraboloid-Reflektors verdeutlicht.

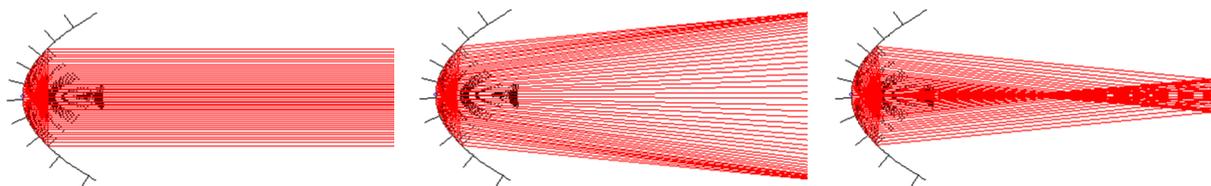


Abbildung 2: Einfluss der Lichtquellenposition auf den Strahlengang eines Paraboloid-Reflektors, durch die Verschiebung der Lichtquelle auf der optischen Achse des Paraboloid-Reflektors verändert sich der Strahlengang

2.1 Messung der Scheinwerferlichtverteilungen

Die Messung der Lichtstärkeverteilungskurven wird mithilfe eines Kfz-Goniophotometers durchgeführt. Hierzu wird die Montage und Ausrichtung des Scheinwerfers mit eingesetzter H7-Halogenglühlampe durchgeführt. Die Messung wird mit der nach ECE-Regelung R37 geforderten Prüfspannung von 13,2 V durchgeführt [9]. Vor jeder Messung werden die im Scheinwerfer eingesetzten Leuchtmittel bei angelegter Prüfspannung eine Stunde lang stabilisiert. Der Messbereich erstreckt sich von -60° bis $+60^\circ$ horizontal und von -25° bis $+25^\circ$ vertikal. Die Auflösung bei allen Messungen beträgt sowohl horizontal als auch vertikal $0,1^\circ$.

Beim Wechsel des Leuchtmittels von der H7-Halogenglühlampe auf die Retrofit-LED ist zu beachten, dass ein zusätzlicher Adapter notwendig ist, um die Retrofit-LED in dem verwendeten Scheinwerfer einbauen zu können. Des Weiteren fällt auf, dass die Retrofit-LED für das Gehäuse des Scheinwerfers etwa 9 mm zu lang ist (siehe Abbildung 3). Das Anbringen der Scheinwerferabdeckung, welche für einen Schutz gegen Feuchtigkeit und Staub sorgt, ist daher nur durch Druck auf das Leuchtmittel möglich.

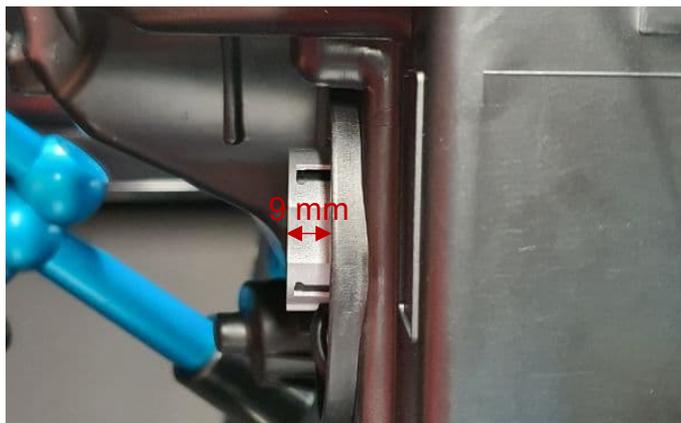


Abbildung 3: Das Leuchtmittel ist etwa 9 mm zu lang für das Scheinwerfergehäuse, dadurch kann die Anbringung der Gehäuseabdeckung nur durch Druck auf das Leuchtmittel erfolgen

Inwieweit das Anbringen der Gehäuseabdeckung und der damit auf das Leuchtmittel wirkende Druck einen Einfluss auf die resultierende Lichtstärkeverteilung hat wird untersucht, indem die Messung für die Retrofit-LED, sowohl mit als auch ohne Gehäuseabdeckung durchgeführt wird.

2.2 Simulation der Fahrbahnbeleuchtungsstärke

Um die Retrofit-LED mit der H7-Halogenglühlampe für den Einsatz im realen Straßenverkehr vergleichen zu können, wird im Rahmen dieser Untersuchung die Fahrbahnbeleuchtungsstärke anhand der gemessenen Lichtstärkeverteilungen simuliert. Da für die Messungen lediglich der linke Scheinwerfer zur Verfügung steht, wird dessen gemessene Lichtstärkeverteilung sowohl für den linken als auch für den rechten Scheinwerfer verwendet. Anschließend wird über das photometrische Entfernungsgesetz (Gleichung 1) die Beleuchtungsstärke auf der Fahrbahn berechnet und für die beiden Scheinwerfer addiert. Hierzu wird ein horizontaler Scheinwerferabstand von 1334 mm und eine Anbauhöhe der Scheinwerfer von 705 mm verwendet, welche die Anbaupositionen der Scheinwerfer im realen Fahrzeug widerspiegeln.

$$E = \frac{I}{d^2} \cdot \cos(\epsilon) \quad (1)$$

3 Vergleich der Scheinwerferlichtverteilungen

Die gemessenen Scheinwerferlichtverteilungen werden im ersten Schritt qualitativ miteinander verglichen. Hierzu werden die gemessenen Lichtstärkeverteilungen jeweils auf ihren maximalen Lichtstärkewert normiert. In Abbildung 4 sind die relativen Lichtstärkeverteilungen für die drei Konfigurationen (H7-Halogenglühlampe, Retrofit-

LED ohne Gehäuseabdeckung, Retrofit-LED mit Gehäuseabdeckung) dargestellt.

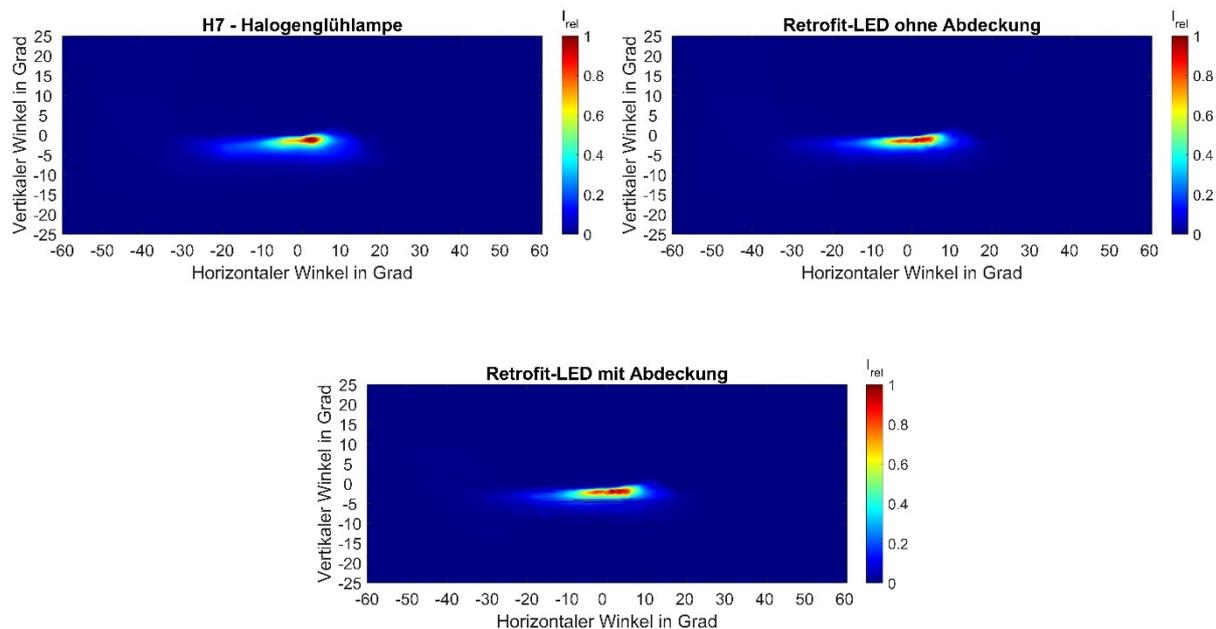


Abbildung 4: Relative Lichtstärkeverteilungskurven des verwendeten Freiflächen-Reflexionsscheinwerfers in den drei Konfigurationen: H7-Halogenglühlampe (oben-links), Retrofit-LED ohne Gehäuseabdeckung (oben-rechts) und Retrofit-LED mit Gehäuseabdeckung

Bei der ersten Betrachtung der drei Lichtstärkeverteilungskurven ist allgemein eine sehr ähnliche Form der Lichtstärkeverteilung zu erkennen. Dennoch gibt es einige Unterschiede zwischen den Lichtstärkeverteilungskurven. So ist bei der Verwendung der H7-Halogenglühlampe ein deutlicher „Hot Spot“ bei etwa $+5^\circ$ horizontal zu sehen. Bei der Verwendung der Retrofit-LED verschwindet dieser „Hot Spot“, sodass der Bereich hoher Lichtstärken in deutlich breiterer Form vorhanden ist. Ein weiterer Unterschied ist, dass der Anstieg der Hell-Dunkel-Grenze, der charakteristisch für das asymmetrische Abblendlicht ist bei den Retrofit-LEDs geringer ist als bei der H7-Halogenglühlampe.

Der Einfluss der Gehäuseabdeckung wird bei näherer Betrachtung der Lichtstärkeverteilungskurve sichtbar. So ist in Abbildung 5 zu sehen, dass die Lichtstärke teilweise auf 0 cd absinkt. Dies liegt daran, dass die Retrofit-LED bei angebrachter Gehäuseabdeckung kurzzeitig ausgefallen ist. Da dies bei der Verwendung der Retrofit-LED ohne Gehäuseabdeckung nicht passiert, liegt die Vermutung nahe, dass aufgrund der Hitzeentwicklung im Gehäuse die LED für kurze Zeit abgeschaltet wird.

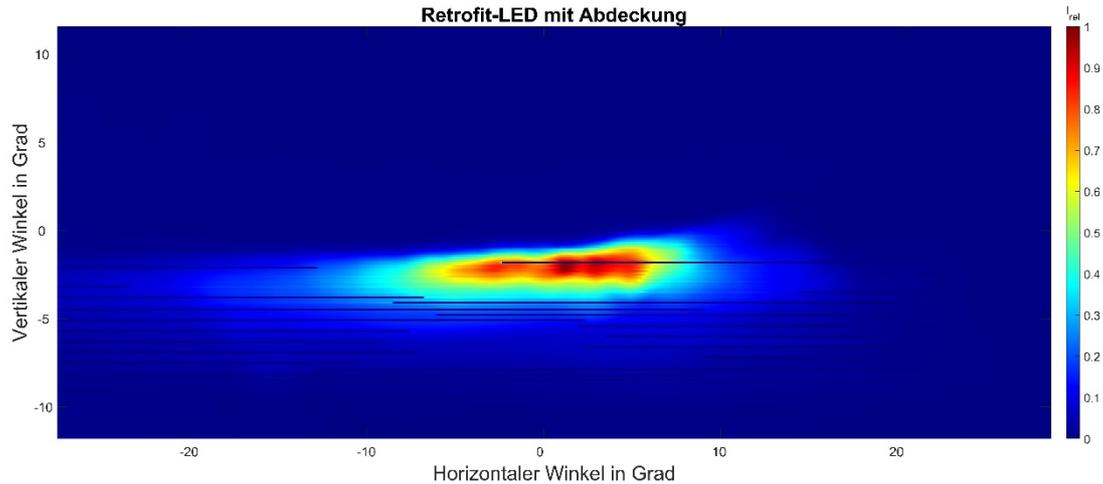


Abbildung 5: Lichtstärkeverteilungskurve der Retrofit-LED bei angebrachter Gehäuseabdeckung, durch den kurzzeitigen Ausfall der Retrofit-LED entstehen Artefakte in der Lichtstärkeverteilungskurve

Für den quantitativen Vergleich der Lichtstärkeverteilungen wird die Differenz der beiden Retrofit-LED Konfigurationen zur H7-Halogenglühlampe berechnet. In Abbildung 6 sind die resultierenden Differenzverteilungen zu sehen. Allgemein ist festzustellen, dass beide Retrofit-LED Konfigurationen insgesamt deutlich höhere Lichtstärken erreichen als die H7-Halogenglühlampe. Dabei kann die maximale Lichtstärke etwa um den Faktor 3 erhöht werden.

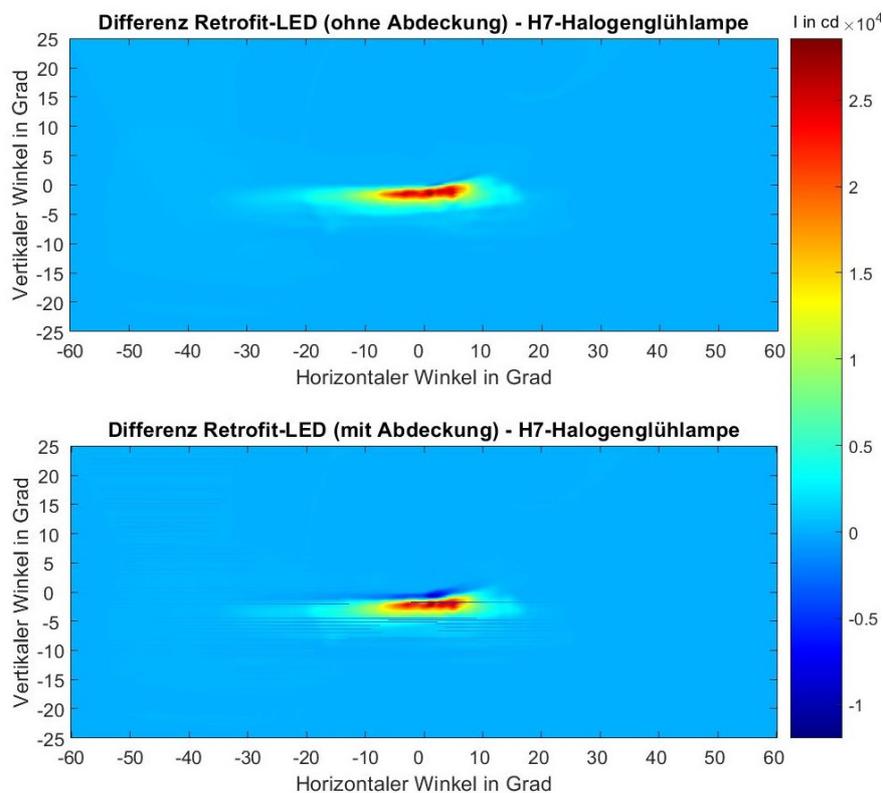


Abbildung 6: Differenzverteilungen der zwei Retrofit-LED Konfigurationen zur H7-Halogenglühlampen, negative Differenzen (in dunkelblau) geben Bereich an, in denen die Lichtstärke bei Verwendung der H7-Halogenglühlampen höher ist als bei der Verwendung der Retrofit-LED

Bei der Betrachtung der Differenzverteilungen sind zwei Besonderheiten zu beobachten. Zum einen wird der flachere Anstieg der Hell-Dunkel-Grenze bei der Verwendung der Retrofit-LED durch die negative Differenz in diesem Bereich bestätigt. Zum anderen wird der Einfluss der Abdeckung deutlich, da sich die gesamte Lichtverteilung bei angebrachter Gehäuseabdeckung horizontal nach rechts und vertikal nach unten verschiebt. Durch diese Verschiebung würde die Leuchtweite des Scheinwerfers im realen Straßenverkehr sinken. Um diese Auswirkungen abzuschätzen, wird im nächsten Schritt die Fahrbahnbeleuchtungsstärke simuliert.

4 Vergleich der Fahrbahnbeleuchtungsstärken

Zunächst wird die Fahrbahnbeleuchtungsstärke des Freiflächen-Reflexionssystems mit H7-Halogenglühlampen betrachtet (siehe Abbildung 7). Dabei entspricht die Lichtverteilung des Scheinwerferpaares einer typischen asymmetrischen Abblendlichtverteilung mit einer erhöhten Leuchtweite auf der eigenen Fahrbahn und einer reduzierten Leuchtweite auf der Gegenfahrspur, um Blendung zu minimieren. Die maximale Beleuchtungsstärke im Fahrzeugvorfeld beträgt dabei etwa 80 lx.

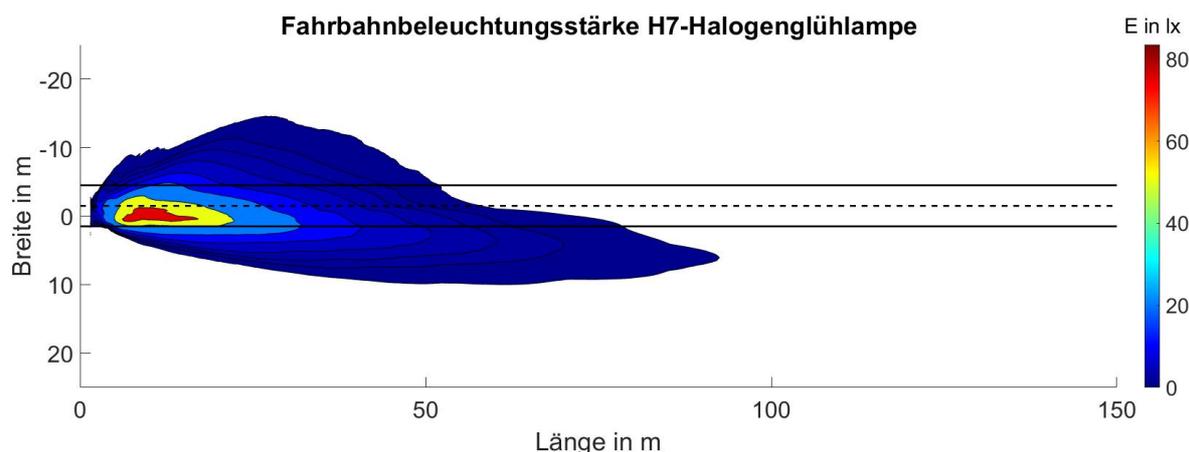


Abbildung 7: Simulierte Fahrbahnbeleuchtungsstärke bei Verwendung der H7-Halogenglühlampe

Wird die Retrofit-LED ohne Gehäuseabdeckung verwendet, so erhöht sich die maximale Beleuchtungsstärke im Fahrzeugvorfeld auf etwa 240 lx. Die in Abbildung 8 dargestellte Lichtverteilung ähnelt dabei auch einer typischen Abblendlichtverteilung. Auffällig ist jedoch, dass der asymmetrische Teil der Lichtverteilung eher den Bereich neben der Fahrspur ausleuchtet als die Fahrspur selbst. Eine mögliche Ursache hierfür stellt der flachere Anstieg der Hell-Dunkel-Grenze dar.

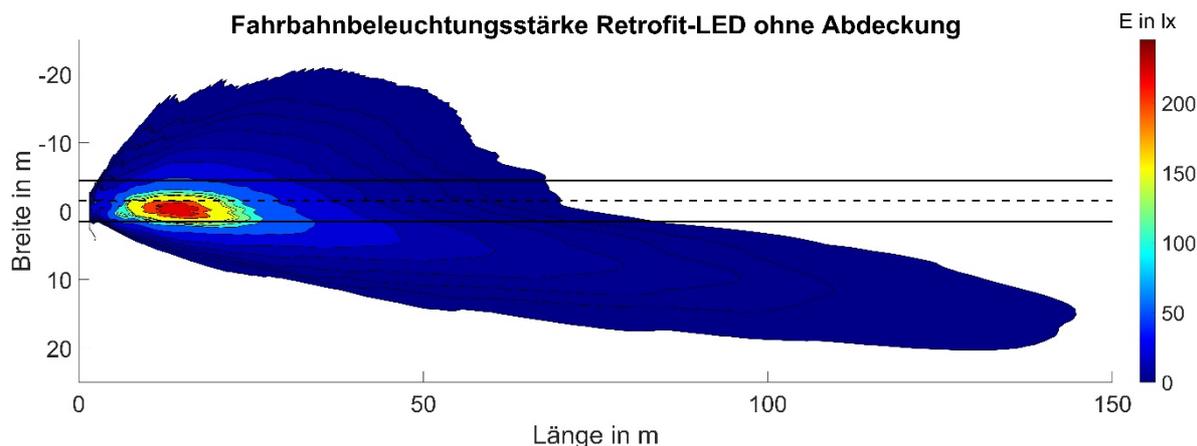


Abbildung 8: Simulierte Fahrbahnbeleuchtungsstärke bei Verwendung der Retrofit-LED ohne Gehäuseabdeckung

Bei Verwendung der Retrofit-LED mit angebrachter Gehäuseabdeckung wird der Einfluss der Gehäuseabdeckung deutlich (siehe Abbildung 9). So führt die durch die Gehäuseabdeckung hervorgerufene Verschiebung der Lichtstärkeverteilung dazu, dass die Beleuchtungsstärke im Fahrzeugvorfeld auf etwa 350 lx ansteigt und gleichzeitig die Leuchtweite auf der eigenen Fahrspur deutlich sinkt und erneut eher der Bereich neben der Fahrbahn ausgeleuchtet wird.

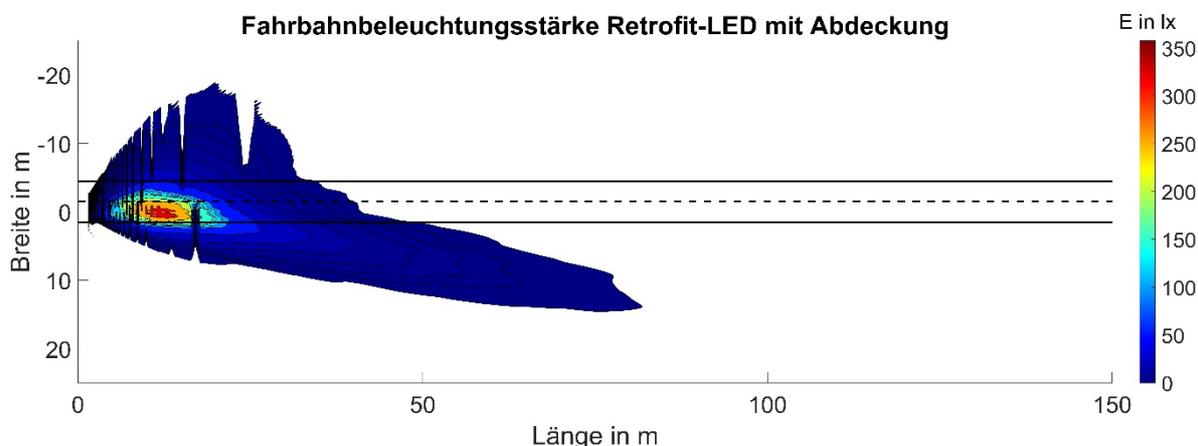


Abbildung 9: Simulierte Fahrbahnbeleuchtungsstärke bei Verwendung der Retrofit-LED mit Gehäuseabdeckung

Eine weitere Besonderheit ist, dass die kurzzeitigen Ausfälle der Retrofit-LED in dieser Konfiguration zu einer unvollständigen Lichtverteilung auf der Fahrbahn führen. Hier ist jedoch zu beachten, dass diese kurzzeitigen Ausfälle lediglich in der Simulation zu unvollständigen Fahrbahnlichtverteilungen führen. In der Realität wären die Folgen dieser kurzzeitigen Ausfälle deutlich gravierender, da sie zu einer Fahrt ohne Abblendlicht und somit zu einer Fahrt in völliger Dunkelheit und hohem Sicherheitsrisiko führen würden.

Für einen objektiven Vergleich werden für alle drei Konfigurationen die effektiven Reichweiten in der Zone A nach dem „Performance Assessment Method for Vehicle

Headlighting Systems“ berechnet [1]. Hierfür werden die Schnittpunkte der 1, 3 und 5 lx Isoluxlinien mit den drei Bewertungslinien bei 0, 1,5 und 3 m (siehe Abbildung 10) bestimmt und anschließend der Mittelwert berechnet.

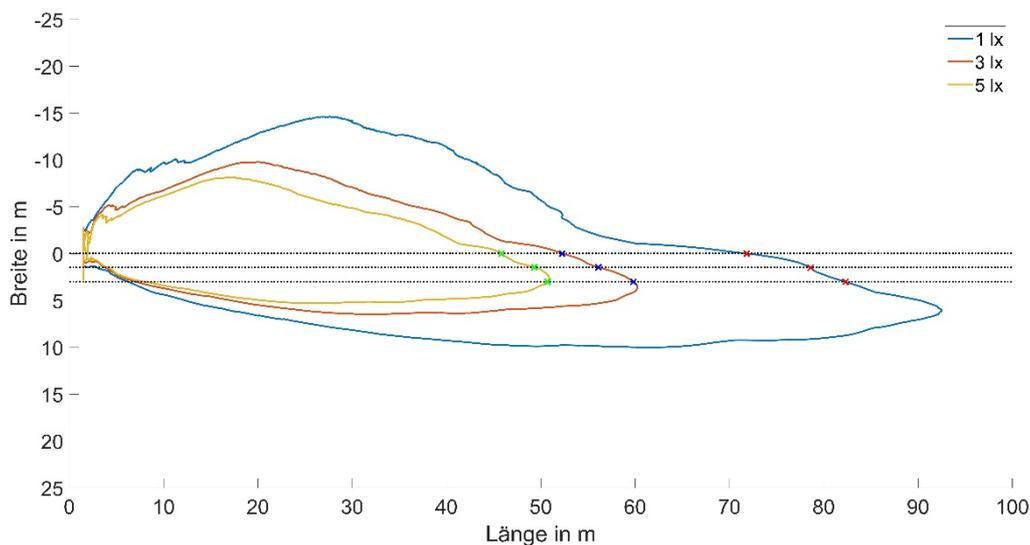


Abbildung 10: Bewertungs- und Isoluxlinien für die Bestimmung der effektiven Reichweite in Zone A nach [1]

Die berechneten effektiven Reichweiten, welche Tabelle 1 zu entnehmen sind, zeigen, dass durch die Verwendung der Retrofit-LED ohne Gehäuseabdeckung ein Reichweitengewinn von etwa 11 m erreicht werden kann. Wird jedoch die Gehäuseabdeckung angebracht, so ist mit einem Reichweitenverlust von etwa 18,5 m im Vergleich zur H7-Halogenglühlampe zu rechnen.

Tabelle 1: Effektive Reichweiten der betrachteten Konfigurationen

Konfiguration	Effektive Reichweite in Zone A
H7-Halogenglühlampe	60,75 m
Retrofit-LED ohne Gehäuseabdeckung	71,63 m
Retrofit-LED mit Gehäuseabdeckung	42,26 m

5 Fazit

Die durchgeführte Untersuchung zeigt, dass die ersten Retrofit-LEDs mit Allgemeiner Bauartgenehmigung einen deutlichen Fortschritt im Bereich der Kfz-Retrofit-LEDs bedeuten. So ist durch die Verwendung von Retrofit-LEDs eine Erhöhung der maximalen Scheinwerferlichtstärke um den Faktor 3 und eine effektive Reichweitenerhöhung um etwa 11 m möglich. Andererseits besteht aufgrund bestehender geometrischer Probleme vor allem beim Einbau noch

Verbesserungspotenzial, da die Retrofit-LED bei angebrachter Gehäuseabdeckung einen Reichweitenverlust von etwa 18,5 m und kurzzeitige Ausfälle mit sich bringt.

Somit ist die allgemeine Entwicklung der Kfz-Retrofit-LEDs als positiv zu bewerten, aber es besteht ein sicherheitsrelevanter Handlungsbedarf, um die Kfz-Retrofit-LEDs in Zukunft flächendeckend anwenden zu können und somit einen erheblichen Beitrag zur Energieeinsparung im Abblendlicht beizutragen.

6 Literaturverzeichnis

- [1] Commission Internationale de l'Éclairage (CIE): "Technical Report CIE 188:2010: Performance Assessment Method for Vehicle Headlighting Systems", 2010.
- [2] Deutsche Automobil Treuhand GmbH (DAT): "DAT-Report 2019", Ostfildern, 2019.
- [3] Diem, Carsten: "Blickverhalten von Kraftfahrern im dynamischen Straßenverkehr", Dissertation, Utz Verlag, München, 2005.
- [4] Erkan, Anil; Kobbert, Jonas; Kosmas, Kyriakos; Khanh, Tran Quoc: "Lichttechnische Eignungsprüfung von Retrofit-LEDs als Ersatz für Halogenglühlampen in Kfz-Scheinwerfern", In: Lux junior 2019: 14. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs, 06. – 08. September 2019, Dörnfeld/Ilm: Tagungsband. Unter Mitarbeit von Thüringer Universitäts- Und Landesbibliothek Jena, 2019.
- [5] Erkan, Anil; Kosmas, Kyriakos; Kobbert, Jonas; Khanh, Tran Quoc: "Analyse der CO₂-Emissionen von Lichtfunktionen". In: *ATZ Automobiltech Z* 122 (2), S. 28–33. DOI: 10.1007/s35148-019-0180-2, 2020.
- [6] Frankfurter Allgemeine Zeitung GmbH: Autoscheinwerfer: Das LED-Verbot. <http://www.faz.net/aktuell/technik-motor/motor/autoscheinwerfer-das-led-verbot-fuer-h7-gluehlampen-14430617.html>, Online, abgerufen am: 07.05.2021.
- [7] Khanh, Tran Quoc: „Optische Technologien im Kfz-Bereich - Folien zur Vorlesung“, Darmstadt, 2015.
- [8] Kobbert, Jonas; Khanh, Tran Quoc: "Objective Assessment of the Safety Contribution of Today's Automotive Headlamps", In: *ATZ Worldw* 122 (6), S. 66–71. DOI: 10.1007/s38311-020-0235-8, 2020.
- [9] United Nations Economic Commission for Europe: Regulation No. 37. Uniform provisions concerning the approval of filament lamps for use in approved lamp units of power-driven vehicles and of their trailers. Revision 8. In: Official Journal of the European Union, 2015.