

Blendungsvermeidung bei nächtlichen Fahrten durch adaptive Steuerung der Heckleuchten an Fahrzeugen

Markus Alexander Peier, M.Sc., Julian Kunkel, M.Sc., Dr.-Ing. Babak Zandi, Anil Erkan, M.Sc., David Hoffmann, M.Sc., Korbinian Kunst, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh

Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung, Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

Kurzfassung

Neue technologische Möglichkeiten, die durch die Einführung von LEDs in Fahrzeugheckleuchten entstehen, haben das Design von Heckleuchten revolutioniert und ermöglichen deutlich kleinere Heckleuchten als früher. Die gesetzlichen Anforderungen berücksichtigen diese Möglichkeiten bislang nur bedingt. Insbesondere zur Einführung der LEDs beklagten viele Autofahrer¹ gegenüber dem ADAC, dass sie sich durch die Heckleuchten mit LED-Technologie des vorausfahrenden Verkehrs geblendet fühlen, obwohl diese normgerecht ausgelegt sind.

Studien mit Probanden zeigen, dass gerade im nächtlichen Straßenverkehr für das Bremslicht geringere Lichtstärken erforderlich sein können als in den ECE-Richtlinien aktuell vorgesehen ist. Dabei gibt es Unterschiede zwischen statischen und dynamischen Untersuchungen. Bei Letzteren kann sich der Schwellwert der optimal empfundenen Lichtstärke erhöhen.

In dieser Arbeit werden vier Studien zur Helligkeits- und Blendbewertung von Heckleuchten analysiert und miteinander verglichen

Index Terms: Adaptive Heckleuchten, Blendung, nächtlicher Straßenverkehr, Kfz-Lichttechnik

¹ Aus Lesbarkeitsgründen wird in dieser Arbeit das generische Maskulin verwendet. Gemeint sind jedoch Personen aller Geschlechter.



1 Motivation

Dienten Heckleuchten früher nur der Vermittlung von Informationen an den nachfolgenden Verkehr ergaben sich durch die Einführung der LED neue Gestaltungsmöglichkeiten im Design. Dadurch wurden Heckleuchten zu einem Designelement, welches die Identifikation einer Fahrzeugmarke auch in nächtlichen Situationen ermöglichen soll. Insbesondere kleinere Geometrien wurden durch die Einführung der LED möglich, was jedoch dazu führte, dass andere Verkehrsteilnehmer unter mesopischen Adaptationsbedingungen vermehrt Blendung wahrnahmen. [1]

Man unterscheidet dabei zwischen physischer und psychologischer Blendung. Physiologische Blendung beschreibt dabei eine messbare durch eine Blendquelle hervorgerufene Minderung der Sehleistung, während psychologische Blendung nur eine empfundene Störung beziehungsweise ein Unbehagen hervorruft [2]. Da bei den in dieser Studie analysierten Studien lediglich die Empfindung der Probanden ausgewertet wurde, kann von hauptsächlich psychologischer Blendung ausgegangen werden.

Bereits 2015 führte der ADAC gemeinsam mit dem LTI am KIT eine Studie durch, um zu überprüfen, ob LEDs tatsächlich zu mehr Blendung führen. Dazu wurde ein Probandentest mit 50 Personen im Alter zwischen 19 und 74 Jahren in einer nachgestellten Ampelszene durchgeführt. Die Tests konnten keinen Zusammenhang zwischen der höheren Blendung und den LEDs feststellen [1]. Es stellt sich daher die Frage, woher der erhöhte Blendeindruck für viele Autofahrer kommt und wie Blendung zukünftig vermieden werden kann.

In den gesetzlichen Richtlinien ist der Lichtstärkebereich für die einzelnen Signalfunktionen wie Bremsleuchte, Fahrtrichtungsanzeiger und Schlussleuchte geregelt. Im Geltungsbereich der ECE wird zwischen zwei Bereichen für statische und dynamische Lichtstärkeanforderungen unterschieden. Die entsprechenden Minima und Maxima sind in Tabelle 1 dargestellt. Während der Minimalwert gleich bleibt, ist der Maximalwert für statische Leuchten (S1, S3, 2a und R1) niedriger als der Maximalwert für dynamische Leuchten (S2, S4, 2b und R2). [2, 3, 4, 5]

Tabelle 1 - Vergleich der verschiedenen Lichtstärkegrenzwerte der ECE-Regelungen für die verschiedenen Rückleuchtenfunktionen. [2, 3, 4, 5]

Signalfunktion	Regelung	Minimale Lichtstärke I_{min} / cd	Maximale Lichtstärke I_{max} / cd	Lichtfarbe
Bremslicht	ECE S1	60	260	rot
	ECE S2	60	730	rot

Oberes Bremslicht	ECE S3	25	110	rot
	ECE S4	25	160	rot
Fahrtrichtungs- anzeiger	ECE 2a	50	500	gelb
	ECE 2b	50	1000	gelb
Hintere Positions-leuchte	ECE R1	4	17	rot
	ECE R2	4	42	rot

In dieser Arbeit werden vier am Fachgebiet Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung durchgeführte Studien ausgewertet und miteinander verglichen. Die Leitfrage hierbei ist, den Schwellwert der Blendung zu ermitteln und zu analysieren, ob diese durch eine dynamische Dimmung der Heckleuchten bei Nacht vermieden werden kann.

2 Bisherige Studien

Am Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung wurden vier unterschiedliche Studien zur Untersuchung der optimal empfundenen Helligkeit von Heckleuchten durchgeführt. Diese können in zwei Kategorien unterteilt werden: Auf der einen Seite eine statische Studie von Schneider [6] auf der anderen Seite dynamische Studien von Ries [7, 8] und Ripperger [9] in denen die Probanden während der Studien im öffentlichen Straßenverkehr fahren.

Hinzu kommt eine statische Studie von Birkenbach [10], welche sich mit der Blendschwelle bei der Betrachtung von Heckleuchten beschäftigt. Diese werden im Nachfolgenden näher beschrieben.

2.1 Studienabläufe

2.1.1 Schneider 2014

In der durch Schneider [6] durchgeführten statischen Untersuchung wurden nach Einbruch der Dunkelheit auf einem Testgelände zwei Fahrzeuge im Abstand von 5 m, 20 m, 50 m und 100 m hintereinander platziert. Hinter dem vorderen Fahrzeug befanden sich zwei Stative auf denen Heckleuchten drei unterschiedliche Heckleuchten-Modelle² abwechselnd montiert wurden (siehe Abbildung 1). Diese wurden so modifiziert, dass sie über eine PWM-Ansteuerung in ihrer Intensität gedimmt werden konnten.

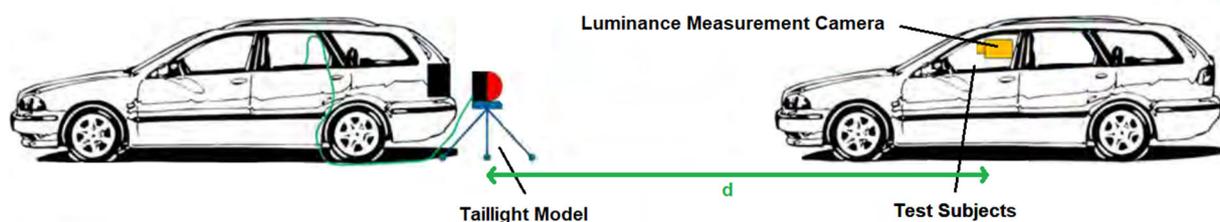


Abbildung 1 – Testaufbau der Studie von P. Schneider [6]

Die Probanden saßen im hinteren Fahrzeug und bekamen die Leuchten bei unterschiedlichen Lichtstärken präsentiert und mussten diese mittels 9-Stufiger Bewertungsskala bewerten.

An der Studie nahmen 22 Versuchspersonen im Alter von 23 bis 77 Jahren teil.

2.1.2 Birkenbach 2016

² Aufgrund der Neutralität wird auf eine Nennung der expliziten Modelle verzichtet.

Die Studie von Birkenbach [8] wurde ebenfalls unter statischen Bedingungen durchgeführt. Auch hier wurden zwei Fahrzeuge hintereinander aufgestellt und die Abstände zwischen den Fahrzeugen zwischen 3 m, 15 m, 65 m und 100 m variiert. Im Gegensatz zu der Studie von Schneider wurde in dieser Studie nicht nach der optimalen Helligkeit der Heckleuchten, sondern nach der subjektiv empfundenen psychologischen Blendung gefragt. Die Probanden bewerteten die gezeigten Lichtreize einer dimmbaren Bremsleuchte mit „blendend“ oder „nicht blendend“. Birkenbach befragte 26 Probanden im Alter zwischen 21 und 64 Jahren.

2.1.3 Ries 2016/2017

In der Studie von Ries [9, 10] wurde die optimale Helligkeit einer Bremsleuchte in einem dynamischen Test untersucht. Neben der Bewertung der Bremsleuchte mussten die Probanden auch die Fahraufgabe übernehmen. Auf einer ausgewählten Landstraße ohne Straßenbeleuchtung und Umgebungsbebauung sowie wenig frequentiertem Verkehr im Umkreis von Darmstadt fuhren die Probanden mit einem Abstand von 35 m mit einer konstanten Geschwindigkeit von 70 km/h dem Testfahrzeug hinterher. Die Einhaltung des vorgeschriebenen Abstandes wurde mittels GPS überprüft. Auch hier wurden unterschiedliche Lichtstärken gezeigt und von den Probanden auf ihren Helligkeitseindruck hin bewertet. An dieser Studie nahmen 10 Probanden im Alter von 22 bis 26 Jahren teil.

2.1.4 Ripperger 2001

Ripperger [7] führte eine dynamische Feldstudie durch. In seiner Studie fuhren zwei Fahrzeuge auf einem 60 km langen Rundkurs mit einer konstant gehaltenen Geschwindigkeit von 50 km/h. Als Strecke dienten unbeleuchtete Straßen außerorts.

Das vordere Fahrzeug wurde mit einem Leuchtenpaar ausgestattet, welches aus zwei 100 cm² großen, quadratischen Kammern mit homogen leuchtender Fläche bestand. Diese wurden zusätzlich durch schwarze Umfeldblenden eingerahmt.

Die Probanden fuhren die Strecke jeweils 4-mal als Fahrer und als Beifahrer. Bei jeder Runde wurden 17 Bremsungen durchgeführt, zu denen sowohl Fahrer als auch Beifahrer mittels Fragebogen zur Helligkeit befragt wurden. Die abgefragten Antwortmöglichkeiten waren hierbei „zu dunkel“, „optimal“ und „zu hell“. Insgesamt nahmen an seiner Studie 10 Personen im Alter zwischen 23 und 29 Jahren teil.

3 Vergleich der Studienergebnisse

Für den Vergleich der Studienergebnisse sind die ermittelten Schwellwerte für das Bremslicht am relevantesten einzustufen, da bei dieser Lichtfunktion Blendung mit einer höheren Wahrscheinlichkeit auftreten kann.

3.1 Studienergebnisse

Die Ergebnisse der Studien sind in Abbildung 2 aufgetragen. Die Ergebnisse der mit Mittelwerten berechneten optimalen Helligkeiten von Schneider [6] (in grün dargestellt) zeigen, dass die optimal empfundene Helligkeit für das Bremslicht im Nahbereich bis 50 m mit zunehmendem Abstand steigt. Ab ca. 50 m erreicht die optimale Helligkeit einen Sättigungsbereich. Bei einem Abstand von 5 m liegen die durch die Probanden angegebenen optimalen Lichtstärken für die verwendeten Bremslichter der Heckleuchten Schneider 1 und Schneider 3 sogar unterhalb des Minimalwertes der ECE-Regelungen.

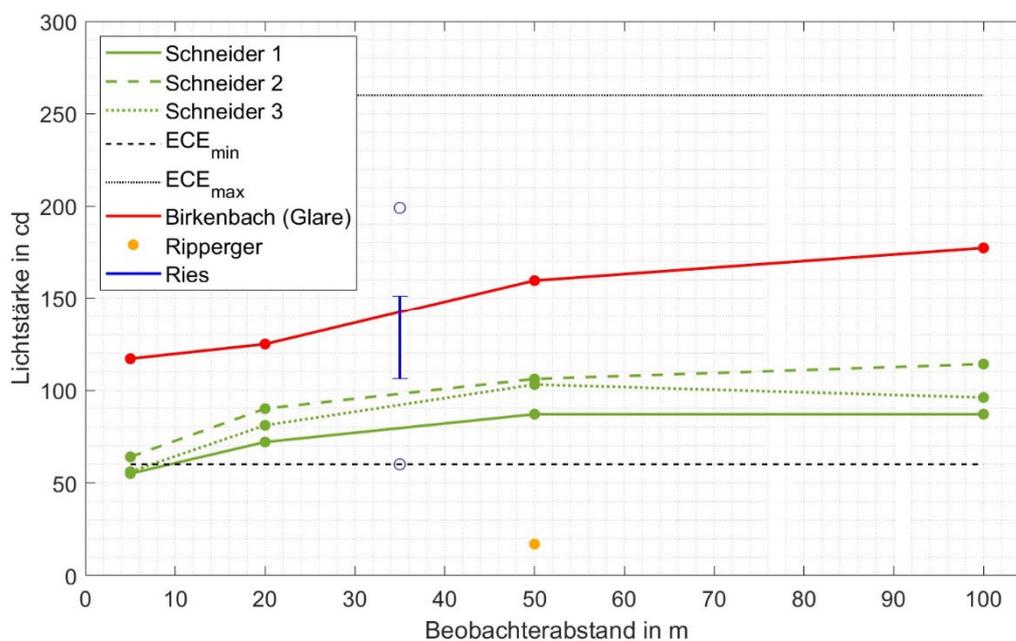


Abbildung 2 – Vergleich der Studienergebnisse von Schneider [6], Birkenbach [8], Ripperger [7] und Ries [9, 10] für die Lichtstärke eines Bremslichtes, aufgetragen über den Beobachterabstand.

Auch die Mittelwerte der von Birkenbach [8] angegebenen Blendschwellen beschreiben mit zunehmender Entfernung einen Anstieg der Blendschwelle. Im Gegensatz zur optimalen Helligkeit zeichnet sich hier jedoch keine Sättigung ab.

In der Studie von Ries wurde ein höherer Bereich für die optimale Lichtstärke als in den statischen Ergebnissen von Schneider angegeben. Bei Ripperger weichen die Ergebnisse von den anderen Studien ab. Hier liegt die optimale Lichtstärke in einer Entfernung von 50m, weit unterhalb der zulässigen minimalen Lichtstärke aus der ECE-Regelung.

4 Diskussion der Ergebnisse

Die Ergebnisse von Birkenbach deuten darauf hin, dass die Blendschwelle mit geringerem Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug abnimmt. Befindet sich das Fahrzeug eines Probanden in einem Abstand von 3 m hinter dem Fahrzeug, wie es in einer Ampelsituation der Fall sein kann, so kann dies unter Berücksichtigung des Mittelwertes zu einer Blendempfindung der untersuchten Population führen. Bei einem Abstand von mehr als 50 m liegt die gleiche Lichtstärke jedoch unterhalb der ermittelten Blendschwelle nach Birkenbach. Die durch die ECE-Regelung zulässige maximale Lichtstärke liegt bei allen Abständen über der von Birkenbach ermittelten Blendschwelle. Dies deutet darauf hin, dass bei ungünstig ausgelegten geometrischen Größen der Lichtfunktionen Blendung möglich ist, obwohl die ECE-Normen eingehalten werden.

Die als optimal empfundenen Lichtstärkewerte nach Schneider weichen vom Maximum noch weiter ab und unterschreiten bei 5 m teilweise sogar die Minimalschwelle. Die Ergebnisse von Ries weichen von den übrigen Studienergebnissen ab. Die höhere Lichtstärke kann dadurch erklärt werden, dass die Probanden in diesem Versuch zusätzlich zur Bewertung auch noch eine Fahraufgabe absolvieren mussten. Dies wiederum kann dafür sorgen, dass sich die Blickverteilung des Fahrers verschiebt, wohingegen sich die Probanden bei den anderen Studien lediglich auf die Heckleuchten des vorausfahrenden Fahrzeugs konzentrieren mussten.

Bei Ripperger wurden im Vergleich zu den anderen Studien keine echten Heckleuchten untersucht. Durch die homogene Leuchtfläche und die dunklen Abgrenzungen scheinen diese Ergebnisse nicht mit den Ergebnissen mit für den Straßenverkehr zugelassenen Heckleuchten vergleichbar zu sein.

5 Fazit

Die in dieser Arbeit vorgestellten Studien deuten darauf hin, dass die Blendschwellen und die als optimal empfundene Bremslichthelligkeit unterhalb der maximal zulässigen Lichtstärke liegen können. Dies bedeutet, dass es im nächtlichen Straßenverkehr mit zugelassenen Heckleuchten unter bestimmten Voraussetzungen zu Blendung kommen kann, insbesondere in innerstädtischen Situationen in denen der Abstand zwischen Fahrer und den Heckleuchten eines vorausfahrenden Fahrzeugs gering ist.

Um die Blendung durch Heckleuchten zu vermeiden kann es sinnvoll sein, die Heckleuchtenfunktionen durch adaptive Steuerung auf die entsprechende Situation anzupassen. So könnte zum Beispiel ein Fahrzeug, welches erkennt, dass es gerade an einer Ampel steht und ein Fahrzeug hinter sich befindet, das Bremslicht dimmen und somit für eine bessere Sichtbarkeit der Umgebung für den nachfolgenden Fahrer sorgen.

Die Ergebnisse von Ries deuten darauf hin, dass mit einer zusätzlichen Fahraufgabe sich die Schwellwerte für die als optimal empfunden Helligkeit erhöhen. Es sind daher weitere dynamische Untersuchungen notwendig, um diese Erkenntnisse zu validieren und zu vertiefen.

Die Unterschiede in den drei Kurven von Schneider sowie die davon abweichenden Ergebnisse von Ripperger deuten auf einen Einfluss der geometrischen Form der Heckleuchte hin. Insbesondere die Größe der leuchtenden Fläche scheint sich auf die Blendschwelle auszuwirken. Daher schlussfolgern wir aus den Ergebnisse, dass die Untersuchung der flächenabhängigen Blendschwellen ein relevantes Forschungsfeld ist für zukünftige Studien.

6 Referenzen

- [1] P. Jahn, D. A. M. Helmer und C. Neumann, „Glaring effects of stop lamps in LED or incandescent bulb technology,“ *Proceedings of the 11th International Symposium on Automotive Lighting (ISAL)*, Nr. 11, p. 698–706, 2015.
- [2] S. Völker, *Blendung durch Kfz-Scheinwerfer im nächtlichen Straßenverkehr*, Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2017.
- [3] Uniform provisions concerning the approval of front and rear position lamps, stop-lamps and end-outline marker lamps for motor vehicles (except motor cycles) and their trailers, Regulation No. 7, Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE), 2012.

- [4] Uniform provisions concerning the approval of direction indicators for power-driven vehicles and their trailers, Regulation No. 6, Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE), 2014.
- [5] Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the installation of lighting and light-signalling devices, Regulation No. 48, Economic Commission for Europe of the United Nations (UNECE), 2014.
- [6] Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS108), National Highway Traffic Safety Administration, 2011.
- [7] P. Schneider, „Investigation of the photometric characteristics of automotive rear lamps as a function of driving distances and ambient brightnesses,“ Master Thesis, Fachgebiet Lichttechnik, TU Darmstadt, Darmstadt, 2014.
- [8] Ries, „Assessment of the brightness of rear lamps in dynamic driving situations,“ Bachelor Thesis, Fachgebiet Lichttechnik, TU Darmstadt, Darmstadt, 2016.
- [9] C. Ries, D. Polin, C. Schiller und T. Q. Khanh, „Evaluation of Rear Lights in Driving Situations,“ *Proceedings of the 12th International Symposium on Automotive Lighting (ISAL)*, Bd. 12, pp. 529-536, 2017.
- [10] J. Ripperger, „Photometric requirements for taillights and stop lamps for automotive vehicles,“ Ph. D. Thesis, Fachgebiet Lichttechnik, TU Darmstadt, Darmstadt, 2001.
- [11] S. Birkenbach, „Study regarding the brightness of taillights,“ Student Research Project, Fachgebiet Lichttechnik, TU Darmstadt, Darmstadt, 2016.
- [12] P. Rabenau, „Lighting and technological aspects for the dimensioning of adaptive OLED taillights in automobiles,“ Ph. D. Thesis, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, TU Darmstadt, Darmstadt, 2019.