

Laboruntersuchung zur psychologischen Blendung durch eine LED-Lichtquelle bei verschiedenen Leuchtdichteniveaus

Elisabeth Kemmler, M.Sc.¹, Markus Peier, M.Sc.¹, Prof. Dr.-Ing. habil. Tran Quoc Khanh¹, Dr.-Ing. Andreas Walkling²

¹ Technische Universität Darmstadt, Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung, Hochschulstraße 4a, 64289 Darmstadt

² Bundesanstalt für Straßenwesen, Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach

Abstract

Blendung durch Fahrzeugscheinwerfer im Straßenverkehr ist eine Thematik, die immer wieder in der Kfz-Lichttechnik diskutiert wird. Derzeit steht vor allem die Blendung durch moderne LED-Scheinwerfer im Fokus. Aktuelle Umfragen zeigen, dass zahlreiche Verkehrsteilnehmer von entgegenkommenden Fahrzeugen mit LED-Scheinwerfern sowohl physiologisch als auch psychologisch geblendet werden. Insofern ist es die Aufgabe der heutigen Blendungsforschung Lösungsansätze zur Reduzierung von Blendung durch LED-Scheinwerferlicht zu finden. Während es zur physiologischen Blendung bereits zahlreiche wissenschaftliche Untersuchungen gibt, die dazu beitragen können, ist die psychologische Blendung weitaus weniger erforscht. Daher wurde im Rahmen einer Probandenstudie die psychologische Blendung durch LED-Licht bei verschiedenen Leuchtdichteniveaus im Labor an der Technischen Universität Darmstadt in einem Forschungsprojekt mit der BAST untersucht.

Im Rahmen der Studie haben 21 Testpersonen 13 verschiedene Leuchtdichteniveaus bis zu 17.000 cd/m² bei einer Hintergrundleuchtdichte von 0,35 cd/m² auf der 9-stufigen De Boer-Skala hinsichtlich der subjektiv empfundenen psychologischen Blendung bewertet. Die Bewertung erfolgte für mehrere Wiederholungen und unterschiedliche Größen der leuchtenden Fläche. Die Ergebnisse zeigen, dass die psychologische Blendung bei einer Leuchtdichte im Bereich von 1.900 cd/m² und 3.720 cd/m² – abhängig von der Größe der Blendlichtquelle – für 50 % der Befragten gerade noch akzeptabel ist, was einem De Boer-Wert von 5 entspricht. Dieses Erkenntnis liefert einen Ausgangspunkt für weitere Untersuchungen zu psychologischer Blendung.

Index Terms: Psychologische Blendung, LED, Leuchtdichte

© 2024 by the authors. – Licensee Technische Universität Ilmenau, Deutschland.



This is an **Open Access** article distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution ShareAlike-4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).
(<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

1 Einleitung

Das Thema Blendung im Straßenverkehr wird immer wieder in der Kfz-Lichttechnik diskutiert. Noch vor einigen Jahrzehnten wurde kontrovers über Blendung durch Xenon-Scheinwerfer debattiert. Heutzutage ist vor allem Blendung durch moderne LED-Scheinwerfer ein Streitthema. Verbraucherverbände wie der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC) verzeichnen einen deutlichen Anstieg von Beschwerden in Bezug auf Blendung. Um zu erfassen, in welchem Umfang Autofahrerinnen und Autofahrer von Blendung durch Lichtquellen an Fahrzeugen betroffen sind und zu welchen Einschränkungen es für sie beim Autofahren kommt, ließ der ADAC Ende des Jahres 2023 eine Umfrage [1] von einem Marktforschungsinstitut durchführen. Insgesamt nahmen 1.089 Personen mit gültiger Fahrerlaubnis an der Umfrage teil. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- 67 % der befragten Personen empfinden die erlebte Blendung als untragbar oder störend.
- 60 % aller Teilnehmer haben Probleme, Objekte im Umfeld der blendenden Lichtquelle wahrzunehmen.
- 49 % der Befragten kneifen die Augen zu, wenn sie der Blendung ausgesetzt sind, oder schließen sie sogar kurz.
- 27 % der Umfrageteilnehmer fühlen sich fast immer oder regelmäßig geblendet.
- 27 % der Befragten gaben an, ein Bild der Lichtquelle auch nach dem Passieren für eine begrenzte Zeit weiterhin zu sehen (Nachbild), oder sogar Schmerzen zu empfinden.

Anhand dieser Ergebnisse wird klar, dass Blendung nach wie vor ein aktuelles und großes Problem darstellt und dass die Blendungsforschung auch heute noch ihre Daseinsberechtigung hat. An der Technischen Universität Darmstadt (TU Darmstadt) wird derzeit in einem Forschungsprojekt mit der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) an Blendung durch LED-Beleuchtung geforscht. Der Fokus liegt dabei insbesondere auf der psychologischen Blendung.

Im Rahmen dieser Arbeit wird eine Laborstudie vorgestellt, in der die psychologische Blendung durch eine LED-Lichtquelle bei verschiedenen Leuchtdichteniveaus und unterschiedlichen Blendlichtquellengrößen untersucht wurde. Vor diesem Hintergrund werden in Kapitel 2 zuerst die erforderlichen Grundlagen zum Thema Blendung behandelt. Als Nächstes werden in Kapitel 3 der Versuchsaufbau und der Versuchsablauf der Probandenstudie vorgestellt. Das darauffolgende Kapitel 4 umfasst die Beschreibung der Studienergebnisse. Diese werden anschließend in Kapitel 5 diskutiert. Abschließend erfolgt in Kapitel 6 eine kurze Zusammenfassung.

2 Grundlagen

Allgemein wird unter Blendung jede zeitliche und örtliche Störung des Adaptionszustandes verstanden [2]. Nach der offiziellen Definition der Internationalen Beleuchtungskommission (Commission Internationale de l'Éclairage, Abk. CIE) [3] ist Blendung ein Sehzustand bei dem es zu einem Unwohlsein oder einer Verringerung der Fähigkeit kommt, Details oder Objekte zu erkennen, was durch eine ungeeignete Verteilung oder einen ungeeigneten Bereich der Leuchtdichte oder durch extreme Kontraste verursacht wird. Insofern lässt sich Blendung hinsichtlich ihrer Wirkung in die psychologische Blendung und in die physiologische Blendung einteilen [4]. Die physiologische Blendung beschreibt dabei die Blendung, die das Sehen von Gegenständen beeinträchtigt, ohne notwendigerweise ein Unwohlsein zu verursachen [3]. Die psychologische Blendung ist dagegen die Art von Blendung, die ein Unwohlsein hervorruft, ohne notwendigerweise das Sehen von Gegenständen zu beeinträchtigen [3]. Folglich handelt es sich bei der psychologischen Blendung um einen subjektiven Wahrnehmungseindruck, der nur schwer messbar ist. Zur Messbarkeit und Vergleichbarkeit der psychologischen Blendung entwickelte De Boer 1967 [5] eine 9-stufige Bewertungsskala (Vgl. Abb. 2-1). Auf der De Boer-Skala sind den ungeraden Skalenwerten semantische Differentiale zugeordnet; geradzahlige Skalenwerte sind entsprechende Zwischenstufen:

- Eine De Boer-Bewertung von 1 entspricht einer unerträglichen Blendung.
- Eine De Boer-Bewertung von 3 entspricht einer störenden Blendung.
- Eine De Boer-Bewertung von 5 entspricht einer gerade zulässigen Blendung.
- Eine De Boer-Bewertung von 7 entspricht einer akzeptablen Blendung.
- Eine De Boer-Bewertung von 9 entspricht einer (gerade) merklichen Blendung.

1:	Unbearable
2:	—
3:	Disturbing
4:	—
5:	Just acceptable
6:	—
7:	Satisfactory
8:	—
9:	Just noticeable

Abb. 2-1: Die 9-stufige De Boer-Skala zur Bewertung psychologischer Blendung [6]

3 Methodik

3.1 Studienaufbau

Zur Untersuchung der psychologischen Blendung durch eine LED-Blendlichtquelle bei verschiedenen Leuchtdichteniveaus und unterschiedlich großen blendungswirksamen Flächen wurde eine Laborstudie an der TU Darmstadt konzipiert und durchgeführt. Der Versuchsaufbau ist in Abb. 3-1 dargestellt.

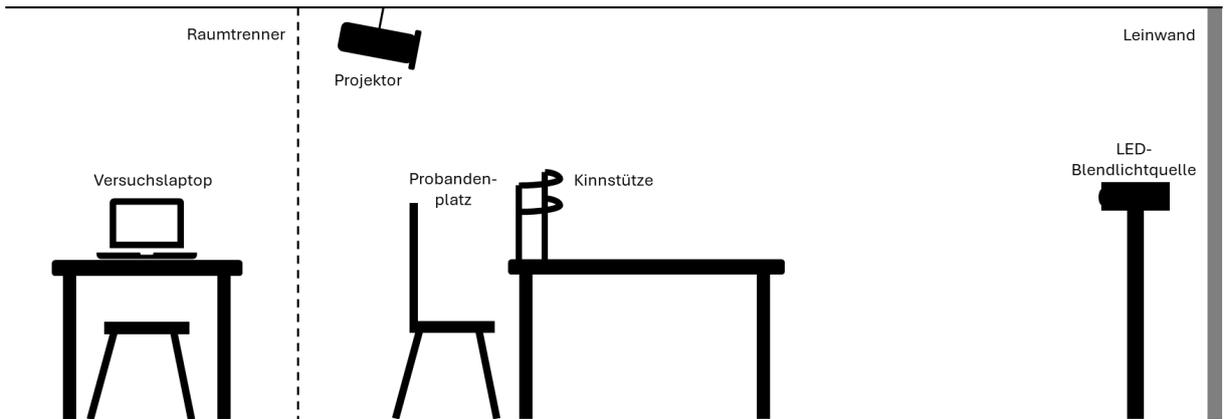


Abb. 3-1: Versuchsaufbau der Laborstudie zur psychologischen Blendung an der TU Darmstadt

Als Blendlichtquelle wurde in der Studie eine LED-Lichtquelle verwendet, die sowohl über den Strom als auch über die Pulsweitenmodulation (PWM) gedimmt wird. Die Blendlichtquelle wurde mittig vor einer Leinwand positioniert, die durch einen Projektor homogen beleuchtet wird. In einem Abstand von 2 m zur Leuchte wurde ein höhenverstellbarer Stuhl aufgestellt, auf dem die Probanden während des Versuchs saßen. Davor stand ein Tisch mit einer Kinnstütze auf der die Probanden ihren Kopf während des Versuchs abstützen sollten. Damit wurde sichergestellt, dass die Blickrichtung während des Versuchs relativ konstant bleibt. In einem abgetrennten Vorraum hielt sich die Versuchsleitung auf. Von dort aus steuerte sie den Projektor und die LED-Blendlichtquelle über einen Laptop an. Außerdem wurden mit dem Laptop die Blendungsbewertungen der Probanden erfasst. Sowohl der Laborraum als auch der Vorraum haben schwarz gestrichene Wände und Fußböden. Darüber hinaus sind keine Fenster vorhanden. Dadurch sind praktisch keine äußeren Lichteinflüsse oder unerwünschte Reflexionen vorhanden.

3.2 Studienablauf

Die Probandenstudie lief folgendermaßen ab: Nach ihrer Ankunft am Fachgebiet für Adaptive Lichttechnische Systeme und Visuelle Verarbeitung (ALSVV) an der TU Darmstadt wurden die Probanden in den Versuchsraum geführt. Dort sollten sie auf dem für sie vorgesehenen Stuhl Platz nehmen und dessen Höhe so einstellen, dass

sie direkt in die Blendlichtquelle schauen können und ihren Kopf dabei bequem auf der Kinnstütze abstützen können. Die Blendlichtquelle war zu diesem Zeitpunkt ausgeschaltet. Anschließend wurden sie gebeten die Leinwand hinter der Blendlichtquelle zu betrachten, die durch den Projektor homogen beleuchtet wurde. Die mittlere Hintergrundleuchtdichte betrug $0,35 \text{ cd/m}^2$. Während einer 10-minütigen Adaptationszeit wurde den Versuchspersonen die Aufgabenstellung erläutert. Diese war, direkt in die Blendlichtquelle zu schauen und den 3 Sekunden lang angezeigten Blendreiz auf der 9-stufigen De Boer-Skala zu bewerten. Die Teilnehmer wurden sensibilisiert darauf zu achten, dass ein hohes Maß an Blendung mit einem kleinen De Boer-Wert verbunden ist. Zur Eingewöhnung wurden zwei Testrunden durchgeführt. Anschließend erfolgte der eigentliche Versuch in drei Runden. In den drei Testrunden mussten die Probanden 13 randomisierte Helligkeitsstufen mit jeweils 3 Wiederholungen auf der De Boer-Skala bewerten. Auch hier wurde jeder Blendreiz drei Sekunden lang präsentiert. Für die anschließende Bewertung, während die Leuchte ausgeschaltet war, gab es kein Zeitlimit. Die 13 Helligkeitsstufen entsprachen Blendleuchtdichten in Höhe von $98,4 / 284 / 326 / 554 / 664 / 930 / 1.909 / 3.720 / 5.210 / 7.230 / 9.150 / 13.400$ und 16.790 cd/m^2 . Die drei Testrunden unterschieden sich dahingehend, dass die Größe der blendenden Fläche variiert wurde. In Runde 1 wurde eine Blende mit einem Kreisausschnitt, dessen Durchmesser 3 cm beträgt, vor der Lichtquelle befestigt. In Runde 2 wurde der Durchmesser auf 1,75 cm verringert und in Runde 3 betrug er nur noch 1 cm. Nachdem die Testpersonen alle Bewertungsrunden abgeschlossen haben, wurden die Probanden über das Ziel der Studie aufgeklärt. Abschließend wurden die Testpersonen durch die Versuchsleitung verabschiedet.

4 Ergebnisse

4.1 Probandenstruktur

Insgesamt nahmen 21 Personen an der Probandenstudie teil. Von den 21 Testpersonen waren 18 männlich und 3 weiblich. Das Alter der Probanden lag zwischen 19 und 61 Jahren ($M = 30,81$ Jahre, $SD = 11,06$ Jahre). 8 Testpersonen trugen eine Brille oder Kontaktlinsen. Die anderen 13 Personen benötigten keine Sehhilfe.

4.2 Blendungsbewertungen

Die Blendungsbewertungen der Studienteilnehmer sind in Abb. 4-1 dargestellt. Die blauen Boxplots stellen die Blendungsbewertungen für Blende 1 mit einem Kreisdurchmesser von 3 cm dar. Die Blendungsbewertungen für Blende 2 mit einem Kreisdurchmesser von 1,75 cm sind darunter in grün dargestellt. Ganz unten sind die Blendungsbewertungen der jeweiligen Helligkeitsstufen für die Blende 3 mit einem Kreisdurchmesser von 1 cm in gelben Boxplots abgebildet. Für jede Helligkeitsstufen-

Blenden-Kombination wurde außerdem die durchschnittliche Blendungsbewertung berechnet und als rotes „X“ visualisiert. Außerdem wurde in jedem Subplot eine rote Linie für den Grenzwert von De Boer = 5 eingezeichnet, um die Schwelle der gerade noch zulässige Blendung zu visualisieren. Anhand dieser Grenzlinie lässt sich ablesen, dass die psychologische Blendung für 50 % der Versuchsteilnehmer nicht mehr zulässig ist, wenn

- Blende 1 verwendet wird und die Blendleuchtdichte 1.909 cd/m^2 beträgt.
- Blende 2 verwendet wird und die Blendleuchtdichte zwischen 1.909 cd/m^2 und 3.720 cd/m^2 liegt.
- Blende 3 verwendet wird und die Blendleuchtdichte 3.720 cd/m^2 beträgt.

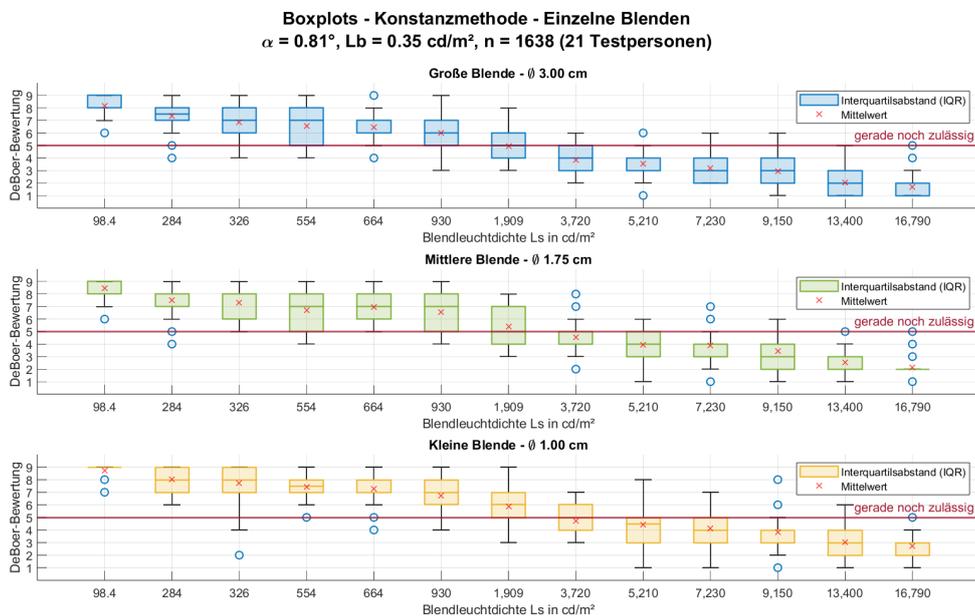


Abb. 4-1: Blendungsbewertungen der Versuchspersonen auf der De Boer-Skala

5 Diskussion

Aus den Ergebnissen lässt sich Folgendes ableiten: Zum einen kann ein Zusammenhang zwischen der Leuchtdichte der LED-Blendlichtquelle und der Blendungsempfindung nachgewiesen werden. Je höher die Leuchtdichte der LED-Blendlichtquelle ist, desto stärker ist die wahrgenommene psychologische Blendung. Zum anderen kann festgestellt werden, dass die Größe der blendenden Fläche einen Einfluss auf die Blendungsbewertung hat. Je größer die blendene Fläche der LED-Blendlichtquelle ist, die bei gleicher Leuchtdichte im Sichtfeld erscheint, desto stärker ist die psychologische Blendung. Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse werden in Zukunft weitere Blendungsuntersuchungen durchgeführt. Dies ist erforderlich, da die

vorliegende Blendungsstudie nur ein bestimmtest Testszenario abdeckt, das Thema Blendung aber sehr komplex ist. Beschränkungen der vorgestellten Studie sind zum Beispiel, dass vorwiegend Personen aus dem universitären Bereich an der Studie teilgenommen haben und auch nur eine Hintergrundleuchtdichte untersucht wurde. Für den Vergleich wäre es aber interessant in Erfahrung zu bringen, wie sich die empfindende psychologische Blendung durch LED-Licht bei verschiedenen Hintergrundleuchtdichten (und damit verschiedenen Adaptationszuständen) verändert. Außerdem müssen weitere Leuchtdichtebereiche betrachtet werden. In der Laborstudie wurden lediglich Leuchtdichten bis knapp 17.000 cd/m^2 betrachtet. Im alltäglichen Leben treten jedoch wesentlich höhere Leuchtdichten auf. Beispielsweise erzeugen moderene LED-Scheinwerfer Leuchtdichten im Bereich von 250.000 cd/m^2 oder sogar noch höher. Des weiteren ist zu berücksichtigen, dass sich die Testpersonen in Laborstudien nicht vollkommen natürlich verhalten. Infolgedessen fallen die Blendungsbewertungen von Laborstudien zu einem bestimmten Grad anders aus als die Blendungsbewertungen in einem realen bzw. alltäglichen Szenario.

6 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund, dass die Zahl der Beschwerden über Blendung durch LED-Licht im Straßenverkehr in den letzten Jahren gestiegen ist, wurde an der TU Darmstadt eine Laborstudie zu psychologischer Blendung durchgeführt. Im Rahmen der Laborstudie haben 21 Versuchspersonen die psychologische Blendung durch eine LED-Blendlichtquelle bei 13 verschiedenen Leuchtdichteniveaus und 3 verschiedenen Blendengrößen auf der 9-stufigen De Boer-Skala bewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass in Abhängigkeit der Größe der blendenden Fläche, die Blendung für 50 % der Versuchsteilnehmer bei einer Leuchtdichte zwischen 1.909 und 3.720 cd/m^2 nicht mehr zulässig ist. Je größer die Blendfläche war, desto niedriger lag die Blendschwelle für die Leuchtdichte. In Zukunft sind jedoch weitere Blendungsuntersuchungen erforderlich, um genauere Aussagen über psychologische Blendung durch LED-Licht treffen zu können, die verschiedene Einflussfaktoren berücksichtigen.

Literatur

- [1] ADAC e.V., Hg., "Verbraucherumfrage Blendung im Straßenverkehr", München, 2024.
- [2] S. Völker, *Blendung durch Kfz-Scheinwerfer im nächtlichen Straßenverkehr: Ein Review bis 2006 - Beschreibung, Maßzahlen, Bewertungsmethoden*. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin, 2017.
- [3] *CIE S 017/E:2020 ILV: International Lighting Vocabulary, 2nd Edition*, CIE.
- [4] H. Schober, *Das Sehen*, 4. Aufl. Leipzig: Fachbuchverlag, 1970.
- [5] J. B. De Boer, *Public Lighting*. London: Cleaver-Hume, 1967.
- [6] J. Sammarco, A. Mayton, T. Lutz und S. Gallagher, "Discomfort Glare Comparison For Various LED Cap Lamps" in *2010 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Houston, TX, USA, 2010, S. 1–7, doi: 10.1109/IAS.2010.5615978.