

werden sollte. Eine V-förmige Deichsel ist im Allgemeinen stabiler und bedingt, dass auf die Schutzplatte höhere Kräfte wirken.

Literatur

- [1] Fischer, G.; Heyken, R.; Trachtler, A.: Aktive Gespannstabilisierung beim BMW X5. In: Automobiltechnische Zeitschrift (ATZ), Heft 4/2002
- [2] Otte, D.: Relevanz von Anhängerunfällen im Straßenverkehr. Vortrag auf der Tagung „Pkw-Anhänger“ 2006 an der FHTW-Berlin. Veranstaltungs-Nr. E-H030-12-205-6, Haus der Technik e.V. Essen, 2006
- [3] Ruff, D.: Konzept eines Unfallzusatzschutzes beim Pkw-Anhängerzug. Diplomarbeit an der FHTW-Berlin, Juli 2003
- [4] Nerlich, S.: Erhöhung der passiven Sicherheit von Pkw-Anhängern. Diplomarbeit an der FHTW-Berlin, Februar 2005
- [5] Deppe, S.; Schönberger, C.: Konzept zum Schutz vor Deichselneinbringung als Unfallfolge beim Pkw-Zug. Diplomarbeit an der FHTW-Berlin, Mai 2005
- [6] Rodewald, H.-L.: Ladungssicherung in Kraftfahrzeugen. Forschungsbericht aus dem Laborkomplex Fahrzeugtechnik der FHTW-Berlin, Juni 2002
- [7] Rost; Schulga; Komol; Schleinin: Anhängerkupplung und ihre Eigenschaften bei statischer Belastung. Projektarbeit an der FHTW-Berlin, Dezember 2005
- [8] Rodewald, H.-L.; Hähnel, R.: Zusatzvorrichtung für eine Anhängerkupplung. Gebrauchsmuster Nr. 202006003544.3. Deutsches Patent- und Markenamt, München, 2006

- [9] Meier; Pogodzinski; Krause; Krämer; Claus; Borsdorf; Rettig; Schlütter; Prziwarka; Pottin; Kalms; Sandtner: Crashversuch mit Schutzvorrichtung für den BE-Zug. Projektarbeit an der FHTW-Berlin, Februar 2006
- [10] Wicht; Rurainsky; Beckmann; Bertram; Hackmann; Manz; Thomas; Arnold; Niegisch; Taulin; Pinnekamp: Crashversuch BE-Zug. Projektarbeit an der FHTW-Berlin, Februar 2007
- [11] Reichert, S.: Optimierung einer Schutzvorrichtung für einen Pkw-Anhängerzug. Diplomarbeit an der FHTW-Berlin, März 2007



den Laborkomplex Fahrzeugtechnik.

Anschriften:

Prof. Dipl.-Ing. Hanns-Lüdecke Rodewald
 Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin · Fachbereich Ingenieurwissenschaften II
 Treskowallee 8 · 10318 Berlin · rodewald@fhtw-berlin.de · www.fhtw-berlin.de

Dr.-Ing. Jürgen Brauckmann
 TÜV Rheinland Group · Vorstandsbereich Mobilität
 Am Grauen Stein · 51105 Köln · juergen.brauckmann@de.tuv.com · www.tuv.com



glied im TÜV Rheinland den Bereich Mobilität.

Dr.-Ing. Jürgen Brauckmann war seit 1977 in leitenden Positionen bei der Mannesmannröhren-Werke AG und ab 1988 im Babcock-Konzern tätig. Im Jahre 2000 wurde er in der TÜV Rheinland Group zunächst Vorsitzender der Geschäftsführung bei der TÜV Rheinland Kraftfahrt GmbH, seit 2002 verantwortet er als Vorstandsmitglied im TÜV Rheinland den Bereich Mobilität.

Blendung durch Gegenverkehr: Scheinwerfereigenschaften, Sehleistung und Blendgefühl*

J. Locher, S. Schmidt, A. Isenbort, F. Kley, F. Stahl

Zusammenfassung: Nächtliches Fahren geht häufig mit dem Gefühl einher, durch andere Verkehrsteilnehmer geblendet zu werden. Die Stärke der subjektiv erlebten Blendung (discomfort glare) und der Grad der Einschränkung der Sehleistung (disability glare) müssen nicht zwangsläufig übereinstimmen. In zwei Studien wurde die Blendung in Abhängigkeit unterschiedlicher lichttechnischer Parameter untersucht. Werden die gesetzlichen Bedingungen eingehalten (Studie I), dann können Faktoren wie Lichtfarbe, Lichtaustrittsfläche etc. zwar zu einem unterschiedlichen Blendgefühl führen, die Sehleistung ist aber in allen Fällen nahezu identisch. Bei nicht korrekt eingestellten oder manipulierten Scheinwerfern hingegen (Studie II) fällt die Sehleistung der geblendeten Fahrer dramatisch ab. Die Diskussion um Blendung durch Xenon-Systeme kann durch diese Ergebnisse versachlicht werden. Es stellt sich die Frage, auf welche Weise gefährliche Blendung reduziert werden kann.

Glare by oncoming traffic: the influence of different headlamp properties on disability and discomfort glare

Abstract: Nighttime driving may cause glare. However disability glare and discomfort glare often correlate only slightly. In two studies the influence of different light parameters on glare was assessed. If the legal requirements are fulfilled (study I), discomfort glare may differ depending on factors like colour temperature, size of glare source and so on. But the visual performance is nearly identical in all cases. If headlamps are misaligned or upgraded in an illegal way (study II) the visual performance of the glared driver decreases dramatically. In the discussion about GDL (Xenon) headlamps these results may contribute to get back to the facts.

Dokumentation: Locher, J., Schmidt, S., Isenbort, A., Kley, F., Stahl, F.: Blendung durch Gegenverkehr: Scheinwerfereigenschaften, Sehleistung und Blendgefühl. Z. f. Verkehrssicherheit (54) Nr. 1, S. 10

Schlagwörter: Scheinwerfer (1342), Scheinwerfereinstellung (3141), Gegenverkehr (0615), Blendung (1677), Sehvermögen (2066), Messung (6136), Physiologie (2062), Psychologie (2255)

1 Einführung

Sichtbedingungen sind von zentraler Bedeutung für die Verkehrssicherheit. Nächtliches Fahren geht mit einem deutlich erhöhten Unfallrisiko einher. Dabei sind Dunkelheit und Dämmerung insbesondere durch schwerwiegende Unfallfolgen gekennzeichnet. So sterben in Deutschland 42 % aller tödlich Verunglückten bei Nachtunfällen [1], obwohl nur ein geringer Teil der Fahrleistung auf die Dunkelheit entfällt. Natürlich spielen bei Nachtfahrten außer der eingeschränkten Sicht auch andere Faktoren wie Müdigkeit oder Alkohol eine wichtige Rolle. In einer amerikanischen Studie konnten durch ein geschicktes Versuchsdesign diese Einflüsse weitgehend kontrolliert werden [2]. Nach dieser Studie steigt die Wahrscheinlichkeit für Fußgängerunfälle durch den Faktor Dunkelheit unter sonst gleichen Bedingungen um den Faktor 4,14 und die Wahrscheinlichkeit für Unfälle durch Kollision mit Tieren um den Faktor 4,60.

Das Ausleuchten der Straße mit kraftfahrzeugeigenen Scheinwerfern führt zu einem Zielkonflikt: Einerseits sollen möglichst gute Sichtbedingungen für den Fahrer geschaffen werden, andererseits dürfen andere Verkehrsteilnehmer nicht geblendet werden. Unter Abblendlichtbedingungen begrenzen einschlägige gesetzliche Bestimmungen die Blendung. Es stellt sich die Frage,

* Peer-Reviewed Article
 Eingereicht Mai 2007; angenommen 27.11.2007

ob unterschiedliche Scheinwerfer entgegenkommender Fahrzeuge unterschiedlich stark blenden und in wie weit sie gegebenenfalls die Sehleistung anderer Verkehrsteilnehmer mindern.

Die subjektiv empfundene Blendung durch entgegenkommende Fahrzeuge ist ein vieldiskutiertes Phänomen nächtlicher Autofahrten. Insbesondere die Einführung von Xenon-Scheinwerfern Anfang der neunziger Jahre hat zu Unmut und öffentlichen Diskussionen geführt. Moderne Scheinwerfer unterscheiden sich untereinander sehr viel stärker als dies früher der Fall war. Die Höhe des Lichtstroms, das Lichtspektrum und die Größe der Lichtaustrittsflächen sind nur einige der wichtigsten Parameter. Viele Verkehrsteilnehmer fühlen sich offensichtlich von einigen Scheinwerfern stärker geblendet als von anderen. Welche Parameter sind hierfür ursächlich?

Das Problem ist komplexer als es zunächst erscheint. Blendung ist kein homogenes Konstrukt, stattdessen müssen zwei Arten von Blendung unterschieden werden. In zwei Studien wurde der Einfluss unterschiedlicher Scheinwerfereigenschaften auf beide Arten von Blendung untersucht. Zunächst wurden sehr unterschiedliche Systeme getestet, die allesamt die gesetzlichen Zulassungsbedingungen erfüllen (Studie I). Anschließend wurden Scheinwerfer eingesetzt, die falsch eingestellt bzw. durch sog. Tuning-Sets manipuliert worden waren (Studie II). Bevor die Ergebnisse dieser Untersuchungen dargestellt werden können, müssen die relevanten lichttechnische Begriffe und gesetzliche Regelungen erläutert werden.

2 Begriffliche und technische Grundlagen

2.1 Physiologische und psychologische Blendung

Hinter dem Alltagssprachlichen Begriff Blendung verbergen sich zwei unterschiedliche Phänomene. Physiologische Blendung (*disability glare*) bezeichnet die Beeinträchtigung der Sehleistung. Ursache ist die von der Blendquelle verursachte Schleierleuchtdichte im Auge [3]. Diese Beeinträchtigung lässt sich quantifizieren durch die Messung des Kontrasts jeweils mit und ohne Blendquelle. Mit zunehmender Blendung steigt der Schwellenkontrast.

Unter psychologischer Blendung (*discomfort glare*) versteht man das subjektive Blendempfinden. Psychologische Blendung wird in der Lichttechnik zu meist auf der neunstufigen DeBoer-Skala gemessen [3]. Die Skala ist aus methodischer Sicht umstritten: Die Po-

lung ist kontraintuitiv (hohe Ausprägung bedeutet niedrige Blendung), und es fehlen die Beschriftungen von vier Skalenpunkten. Dennoch ist die Skala in der einschlägigen Forschung weit verbreitet.

Es gibt eine Reihe von Hinweisen darauf, dass physiologische und psychologische Blendung unter den Lichtverhältnissen, wie sie bei nächtlichen Autofahrten gemeinhin gegeben sind, nur sehr gering korrelieren [4].

2.2 Lichttechnische Größen

Der Lichtstrom ist ein Maß für die insgesamt von einer Lichtquelle abgegebene Strahlungsleistung im sichtbaren Bereich. Der Lichtstrom wird in Lumen (lm) gemessen [3]. Halogenlampen im Kfz-Scheinwerfer haben zwischen 1.000 und 1.700 lm, eine Xenon-Lampe hat 3.200 lm. Die Beleuchtungsstärke gibt an, wie viel Lichtstrom auf eine bestimmte Fläche auftrifft [3]. Die Einheit ist daher lm/m^2 oder Lux (lx). Die Beleuchtungsstärke ist ein Maß für die auf einer Fläche auftretende Lichtintensität, aber kein Maß für die Hellempfindung. Ein Beispiel mag dies erläutern. Eine Schreibtischfläche wird von einer Deckenlampe so angestrahlt, dass auf der Oberfläche 1.000 lx gemessen werden. Eine weiße Platte wird aber heller erscheinen als eine aus dunklem Holz.

Die mit dem subjektiven Hellempfinden korrespondierende Größe ist die Leuchtdichte (Einheit: cd/m^2) [3]. Für eine beleuchtete Fläche wird dabei der Reflexionsgrad berücksichtigt. Für die Blendung ist insbesondere die Leuchtdichte der Oberfläche von Selbststrahlern von Interesse. Auch hier mag ein Beispiel für das Verständnis förderlich sein. Zwei Lichtquellen mögen sich im Durchmesser ihrer Lichtaustrittsflächen deutlich unterscheiden: die eine hat einen geringen Durchmesser, die andere ist großflächig. Auf einer zehn Meter entfernten Wand mögen diese Lichtquellen jeweils eine homogene Lichtverteilung mit identischer Beleuchtungsstärke erzeugen. Ein Blick einer Person von dieser Wand in Richtung auf die Lichtquellen würde indes zu völlig verschiedenen Helligkeitseindrücken führen. Die kleinere Lichtaustrittsfläche würde als heller empfunden als die große. Die Leuchtdichten der Lichtaustrittsflächen würden diesen Unterschied der Hellempfindung abbilden. Lichtquellen haben unterschiedliche Spektren und unterschiedliche Farbtemperaturen. Eine niedrige Farbtemperatur korrespondiert mit einem rötlichen, eine hohe Farbtemperatur mit einem blau-weißen Farbeindruck. Tageslicht liegt bei 6.500 K (Normlicht D65), Halogenlampen bei 3.200 K, Xenon-Lampen bei 4.500 K und weiße LEDs bei 5.500 K.

Xenon- und LED- Scheinwerfer wirken daher bläulicher als Halogensysteme.

2.3 Gesetzliche Regelungen

Bei der Auslegung von Abblendlicht gilt es einerseits, für den Fahrer gute Sichtbedingungen mit hohen Erkennbarkeitsentfernungen zu schaffen, und andererseits, andere Verkehrsteilnehmer in ihrer Wahrnehmung möglichst wenig zu beeinträchtigen. Die gesetzlichen Bedingungen werden in den ECE-Regelungen R112 (für Halogenscheinwerfer) und R98 (für Gasentladungslampen) definiert [5]. Auf einer Messwand, die 25 m vom Scheinwerfer entfernt steht, sind unterschiedliche Bereiche und Zonen festgelegt, für die im Hinblick auf Beleuchtungsstärke unterschiedliche Minimal- bzw. Maximalwerte gelten. Für die Blendung von besonderer Bedeutung ist der Punkt B50L. Dies ist die Position, in der sich der Kopf des Fahrers eines entgegenkommenden Fahrzeugs in 50 m Entfernung befindet. Hier ist die Blendung besonders unangenehm, denn die Beleuchtungsstärke am Auge des Fahrers ist durch die geringe Entfernung bereits relativ hoch, der Winkel zwischen den entgegenkommenden Scheinwerfern und dem Blick auf die eigene Fahrbahn ist noch relativ klein. Bei noch stärkerer Annäherung werden dann die Scheinwerfer des Entgegenkommenden nur noch peripher wahrgenommen.

Die Beleuchtungsstärke darf im Punkt B50L auf der 25 m-Messwand für einen Scheinwerfer maximal 0,4 lx (ECE-R112) bzw. 0,5 lx (ECE-R98) betragen [5]. In 50 m Abstand ergeben sich damit für zwei Scheinwerfer Maximalwerte von 0,2 bzw. 0,25 lx am Auge des Fahrers (die Beleuchtungsstärke nimmt im Quadrat zur Entfernung ab). Die beim nächtlichen Fahren tatsächlich gemessenen Werte sind höher, da Lichtstrom aus anderen Quellen, z. B. das von der Straße reflektierte Licht der eigenen Scheinwerfer, zusätzlich zum Licht der entgegenkommenden Scheinwerfer ins Auge des Fahrers gelangen kann. Realistisch sind daher Werte von 0,4 bis 0,5 lx.

2.4 Eigenschaften moderner Scheinwerfer

Die überwiegende Anzahl der heute in Kraftfahrzeugen verbauten Scheinwerfer sind Halogensysteme. Das Licht wird dabei über eine glühende Wendel in einem mit Halogen gefüllten Glaskolben erzeugt. Bei Gasentladungslampen, den sog. Xenon-Systemen, wird ein Lichtbogen zwischen zwei Elektroden erzeugt. Wie bereits erwähnt unterscheiden sich beide Lichtquellen in der Höhe des Lichtstroms. Der höhere Lichtstrom des Xenon-Systems wird einerseits genutzt, um das Helligkeitsniveau insgesamt zu erhöhen, andererseits wird besonders

der rechte Fahrbahnrand besser ausgeleuchtet. Für Gasentladungssysteme sind eine Scheinwerferreinigungsanlage und eine automatische Leuchtweitenregulierung (LWR) gesetzlich vorgeschrieben. Die Scheinwerferreinigungsanlage, die sich für den Fahrer zumeist unbemerkt automatisch betätigt, dient dazu, Schmutzpartikel von der Abschluss-scheibe zu entfernen, an denen das austretende Licht streut. Die LWR hat die Aufgabe, bei starker Zuladung im Heck die Scheinwerfer in die gesetzlich vorgeschriebene Position zu bringen. Bei Fahrzeugen mit Halogen-Scheinwerfern ist eine solche Justiermöglichkeit in der Regel manuell gegeben, bei Fahrzeugen mit Xenon-Systemen erfolgt die Anpassung automatisch.

Die Lebensdauer von Halogenlampen beträgt ca. 400 Stunden. Bei jedem Lampenwechsel besteht die Gefahr der Dejustierung, falls sie nicht von einer Fachwerkstatt durchgeführt wird. Xenon-Lampen, deren Lebensdauer ca. 2.000 Stunden beträgt, werden ausschließlich in Fachwerkstätten ausgetauscht.

In Kürze werden die ersten LED-Scheinwerfer in Serienfahrzeugen auf dem Markt erhältlich sein. Dabei wird Licht durch Halbleiterelemente erzeugt. Sehr lange Haltbarkeit der Lichtquelle und weitgehende Freiheiten bei der Auslegung des Designs sind die derzeit wichtigsten Gründe für den neuen Scheinwerfertyp. Der Lichtstrom wird in etwa dem von Gasentladungslampen entsprechen, die Farbtemperatur wird mit ca. 5.500 K höher sein.

Die klassische Scheinwerferbauform ist das Reflexionssystem. Die Lampe ist dabei im Inneren eines Reflektors positioniert [5]. Die Lichtverteilung wird über optische Elemente in der Abschluss-scheibe generiert oder – bei modernen Freiformreflektoren – über die Form des Reflektors selbst. In letzterem Fall findet sich eine klare Abschluss-scheibe ohne optische Funktion (Bild 1 rechts). Viele moderne Scheinwerfer sind Projektionssysteme [5]. Das Licht der Lampe wird mit Hilfe einer Linse auf die Straße projiziert (Bild 1 links). Halogenlampen werden sowohl mit Reflexions- als auch mit Projektionssystemen eingesetzt. Beide Systeme sind prinzipiell auch für Gasentladungslampen geeignet. Aus Designgründen werden in Europa aber nahezu ausschließlich Projektionssysteme für Xenon-Lampen verwendet.

Projektionssysteme haben im Vergleich zu Reflexionssystemen eine kleinere Lichtaustrittsfläche. Bei einem direkten Blick in den Scheinwerfer führt das bei gleichem Lichtstrom zu entsprechend höherer Leuchtdichte: Projektionssysteme erscheinen beim Blick auf die Licht-

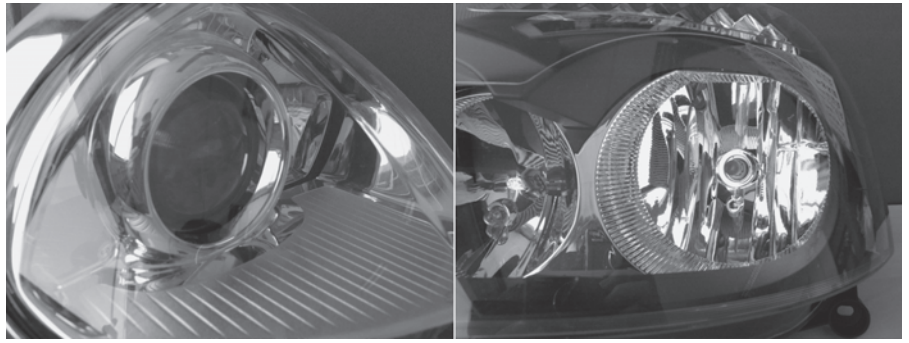


Bild 1: Projektionssystem (links) und Reflexionssystem (rechts)

austrittsfläche heller. Es ist daher recht wahrscheinlich, dass lichttechnische Laien entgegenkommende Fahrzeuge mit Halogen-Projektionssystemen häufig für solche mit Gasentladungssystemen halten. Insbesondere wenn diese Scheinwerfer dejustiert oder verschmutzt sind, führt dies zu deutlicher Blendung durch die vermeintlichen Xenon-Scheinwerfer. Dejustierung oder Verschmutzung kann bei letzteren jedoch praktisch nicht auftreten.

3 Fragestellung

Wie unterscheidet sich die Sehleistung von Fahrern, denen nachts ein Fahrzeug entgegen kommt, in Abhängigkeit der Eigenschaften des entgegenkommenen Scheinwerfers? Blenden Projektionssysteme mehr als Reflexionssysteme? Blenden Xenon-Systeme mehr als Halogensysteme? Wie stellt sich die Situation für die neuen LED-Scheinwerfer dar? In allen genannten Fällen sei davon auszugehen, dass die gesetzlichen Werte eingehalten werden. Was passiert, wenn dies nicht der Fall ist? Wie verschlechtert sich die Sehleistung, wenn ein Scheinwerfer dejustiert ist? Und was passiert, wenn er illegal manipuliert wird, etwa durch das Aufbringen blauer Folie auf die Abschluss-scheibe oder durch einen illegalen Austausch der Halogenlampe durch eine Xenon-Lampe? Alle genannten Fragen wurden in Laboruntersuchungen geklärt. Darüber hinaus wurde die Änderung der Sehleistung mit Blendung im Vergleich zur Situation ohne entgegenkommenen Verkehr quantifiziert. Schließlich wurde für die verschiedenen Situationen neben der physiologischen auch die psychologische Blendung erfasst.

Viele empirische Untersuchungen zum Thema Blendung thematisieren sehr spezielle Aspekte, die hier von untergeordnetem Interesse sind. Im Folgenden sei deshalb nur eine kleine Auswahl genannt. Akashi et al. [6] untersuchten Erkennbarkeitsentfernungen mit und ohne Blendung und stellten Unterschiede fest, die mehr als 20 m betragen. Wiederholt fand sich in Untersuchungen, dass das

Spektrum einer Blendquelle keinen Einfluss auf die physiologische, wohl aber auf die psychologische Blendung hat [7, 8, 9, 10]. Eine ausführliche Diskussion von Untersuchungen zum Einfluss der Größe der Blendquelle findet sich bei Manz [11]. Bullough et al. [12] konnten zeigen, dass weder die spektrale Verteilung noch die Größe der Blendquelle einen Einfluss auf die physiologische Blendung haben, wenn die Beleuchtungsstärke am Auge konstant bleibt. Das Spektrum hatte in dieser Studie bei konstanter Beleuchtungsstärke einen Einfluss auf die psychologische Blendung. Je größer der Blauanteil einer Lichtquelle war, desto stärker blendend wurde sie beurteilt. Völker [13, 14] führte umfangreiche Untersuchungen im Labor und im Feld durch. Er kommt zu dem Ergebnis, dass bei Blendbeleuchtungsstärken am Auge bis 0,5 lx die Größe der Blendquelle – und somit die Leuchtdichte – für die physiologische Blendung eine vernachlässigbare Rolle spielt. Erst bei unzulässig hohen Werten der Beleuchtungsstärke wird die Leuchtdichte relevant. Damit sollten sich für korrekt justierte Projektions- und Reflexionssysteme keine Unterschiede hinsichtlich der physiologischen Blendung ergeben.

4 Studie I: Blendung bei Einhaltung der gesetzlichen Vorschriften

Der Versuch fand im Lichtkanal der Firma Hella KGaA in Lippstadt statt. Der Lichtkanal ist eine 140 m lange Straße innerhalb einer Halle. Durch einschlägige technische Vorrichtungen ist es möglich, eine Vielzahl unterschiedlicher Scheinwerfer exakt zu justieren und zu positionieren und zwischen diesen in kurzer Zeit umzuschalten. Als Blendquellen dienten folgende Scheinwerfer:

- Halogen-Reflexionssystem
- Halogen-Projektionssystem
- Xenon-Projektionssystem
- LED-Scheinwerfer Prototyp I
- LED-Scheinwerfer Prototyp II

Der Versuchsaufbau ist in Bild 2 skizziert. Die Versuchspersonen wurden im Punkt

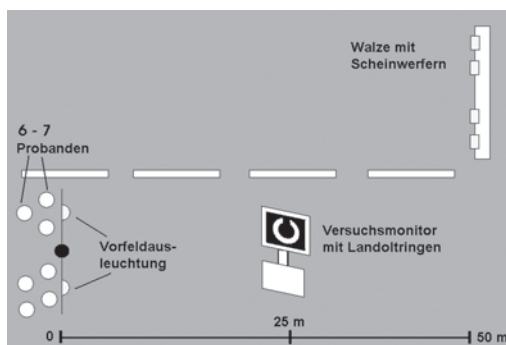


Bild 2: Versuchsaufbau schematisch

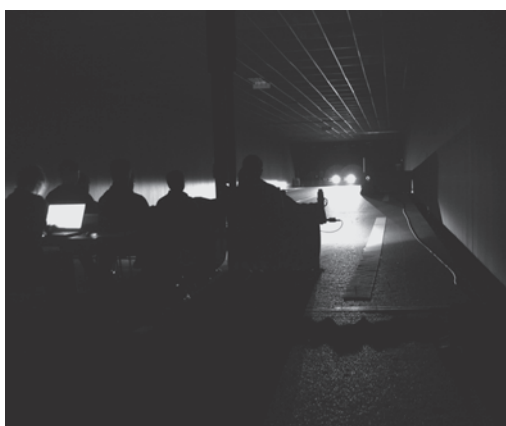


Bild 3: Blick aus Probandenperspektive

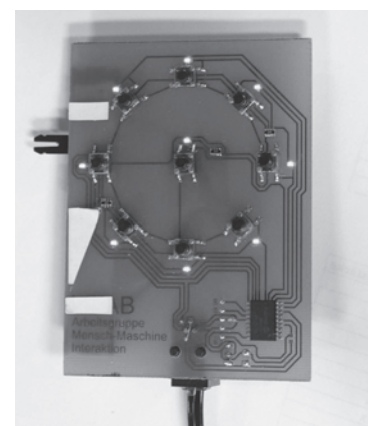


Bild 4: Antwortbrettchen der Probanden

B50L positioniert. Unmittelbar vor den Probanden wurde die Straße durch Halogenscheinwerfer aufgehellt. Die Situation entsprach somit der eines Fahrers im eigenen Fahrzeug, dem in 50 m Entfernung ein Auto entgegenkommt. Die Blendquellen wurden so kalibriert, dass in allen Fällen die Beleuchtungsstärke 0,4 lx am Auge der Probanden (inklusive der Vorfeldaufhellung) betrug. Maximal sieben Probanden konnten gleichzeitig an dem Versuch teilnehmen.

Die Sehleistung für die unterschiedlichen Blendbedingungen wurde über das Kontrastsehen ermittelt. Dazu werden visuelle Reize in unterschiedlichen Kontraststufen (Reiz versus Hintergrund) dargeboten und die Erkennbarkeitsschwellen werden bestimmt. Die numerischen Ergebnisse sind Verhältniszahlen, wobei große Zahlen für niedrige und kleine Zahlen für hohe Sehleistungen stehen. Als Sehzeichen wurden Landoltringe benutzt. Diese werden in der Regel für Sehschärfemessungen eingesetzt, und die Aufgabe der Probanden ist es anzugeben, an welcher von acht möglichen Positionen sich im dargebotenen Ring eine Lücke befindet. Landoltringe für Kontrastmessungen zu nutzen bietet den Vorteil, dass die Erkennbarkeit der Probanden objektiv überprüfbar ist und die Kontrastschwellen dadurch schnell und sicher quantifizierbar sind.

Auf der Probandenfahrbahn wurde in 25 m Entfernung ein Monitor positioniert, auf dem die Landoltringe gezeigt wurden (Bild 3 zeigt den Blick aus der Probandenperspektive). Die Versuchs-

personen hatten Antwortbrettchen mit acht Tastern, die jeweils eine Position der Öffnung des Landoltringes repräsentierten (Bild 4). Für jede Blendquelle mussten vier Versuchsreihen von den Probanden bearbeitet werden.

Neben der physiologischen wurde auch die psychologische Blendung gemessen. Dazu sollten die Probanden nicht in den Scheinwerfer schauen, sondern auf ihre eigene Fahrbahn. Dies wurde dadurch sicher gestellt, dass während der Blendung auf dem Monitor eine Tracking-Aufgabe vorgegeben wurde: es wurden verschiedene Reize dargeboten, und beim Auftauchen eines bestimmten Zeichens musste ein Taster gedrückt werden. Am Antwortbrettchen war seitlich ein Schieber befestigt. Die Probanden sollten die Stärke der Blendempfindung jeweils dadurch quantifizieren, dass sie den Schieber auf eine der Empfindungsstärke entsprechende Position brachten (Bild 4). Die Position des Schiebers wurde elektronisch ausgelesen und anschließend in Werte umgerechnet, die der DeBoer-Skala entsprechen. Die am geringsten und am stärksten blendenden Scheinwerfer wurden zuvor als Ankerreize dargeboten.

Als Probanden wurden 61 fachfremde Personen rekrutiert. Sechs Personen mussten nach einem Visustest wegen unzureichender Sehschärfe ausgeschlossen werden. Es verblieben 55 Probanden, die im Durchschnitt 39 Jahre alt waren.

Die Ergebnisse in Bezug auf die physiologische Blendung zeigt Bild 5. Die absoluten Werte der Schwellenkontraste hängen u. a. auch von der Objektgröße ab und sind von untergeordnetem Interesse. Vielmehr kommt es hier auf die Unterschiede zwischen den einzelnen Scheinwerfern an. Diese Unterschiede sind äußerst gering. Eine Darstellung von Landoltringen auf einem Monitor mit exakt den hier gemessenen Mittelwerten würde zu nahezu nicht sichtbaren Differenzen führen. Die Mittelwertdifferenzen wurden varianzanalytisch überprüft. Wie bei einem Messwiederholungsdesign mit 55 Probanden kaum anders zu erwarten wird das Ergebnis signifikant ($F_{(df=4)} = 9,53$), der Effekt ist mit $\eta^2 = 0,15$ jedoch sehr gering. Bereits an dieser Stelle lässt sich sagen, dass unterschiedliche Scheinwerfer, sofern sie die gesetzlichen Bedingungen erfüllen, sich nicht in nennenswerter Weise in ihrer Wirkung auf die physiologische Blendung, d. h. die echte Sehleistung der Probanden, unterscheiden.

Bild 6 zeigt die Ergebnisse für die psychologische Blendung. Die LED-Scheinwerfer-Prototypen wurden als um eine Stufe auf der DeBoer-Skala stärker blendend wahrgenommen als die übrigen Scheinwerfer. Zwischen den übrigen Systemen zeigt sich kein Unterschied. Die Varianzanalyse zeigt hier einen signifikanten Effekt ($F_{(df=4)} = 28,06$) mit mittlerer Effektstärke ($\eta^2 = 0,34$). Die Tatsache, dass das Xenon-System nicht als

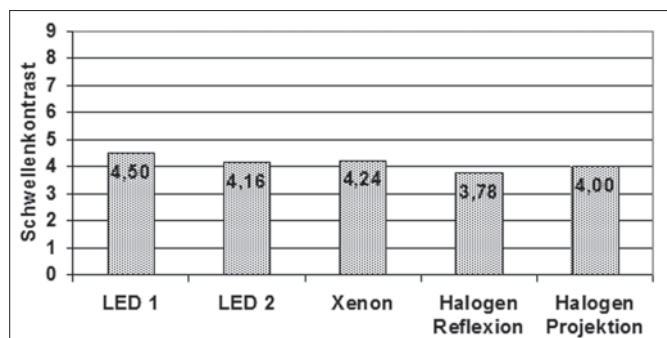


Bild 5: Physiologische Blendung Studie I

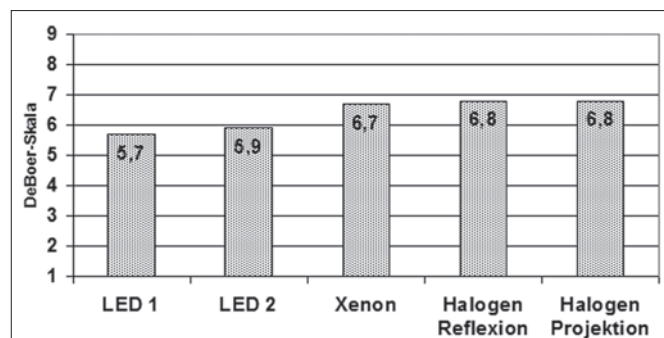


Bild 6: Psychologische Blendung Studie I

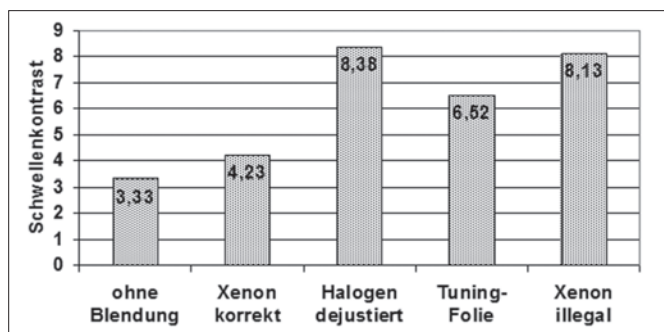


Bild 7: Physiologische Blendung Studie II

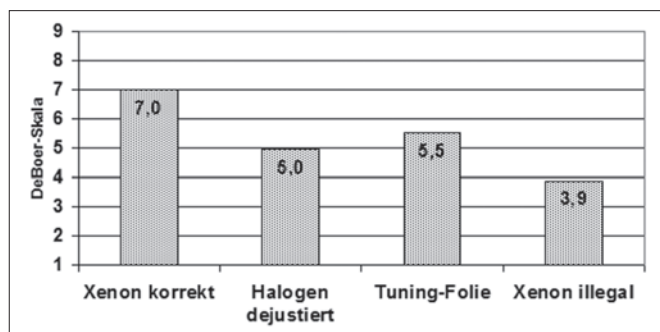


Bild 8: Psychologische Blendung Studie II

stärker blendend wahrgenommen wird als die Halogensysteme, mag überraschend erscheinen. Ein Grund dafür ist, dass die Probanden nicht in die Scheinwerfer hineinschauen konnten, da sie sonst ihrer Tracking-Aufgabe nicht hätten nachkommen können. Sie mussten sich also so verhalten, wie sie es auf der Straße stets tun sollten. Insgesamt wird die Blendung als eher niedrig eingestuft. Die Ergebnisse decken sich sowohl in Bezug auf die psychologische als auch auf die physiologische Blendung mit den bislang in der Literatur in Teilaspekten vorliegenden Ergebnissen [7, 8, 9, 10, 12, 13, 14].

5 Studie II: Blendung dejustierter und manipulierter Scheinwerfer

Die zweite Studie unterschied sich von der vorhergehenden lediglich durch die Art der Blendquellen. Als Referenz wurde das Xenon-Projektionssystem gewählt, das bereits in der ersten Untersuchung Verwendung fand. Zusätzlich wurde hier auch der Schwellenkontrast für den Fall ohne Blendung (jedoch mit eigener Vorfeldaufhellung) ermittelt. Schließlich wurden drei Blendquellen eingesetzt, welche die gesetzlichen Bestimmungen nicht einhalten. Ein Halogen-Projektionssystem wurde in einer Weise dejustiert, dass am Auge des entgegenkommenden Fahrers eine Beleuchtungsstärke von 1,5 lx auftrat. Dies ist ein Wert, der in nächtlichen Feldversuchen als nicht ungewöhnlich ermittelt wurde. Auf die Abschlusscheibe eines zweiten Halogen-Reflexionssystems wurde eine blaue sog. „Tuning-Folie“ geklebt, die im Zubehörhandel erhältlich ist. Zweck dieser Folie ist es, das Licht blau einzufärben und damit eine dem Xenon-Licht ähnliche Anmutung zu schaffen. Der Gebrauch einer solchen Folie ist nicht zulässig. Die Beleuchtungsstärke in B50L stieg mit der Verwendung der Folie von 0,4 lx auf 1,82 lx an. Grund dafür ist der an der Folie aufgebrachte Kleber, der das Licht stark streut.

Als weitere Blendquelle wurde über ein Internet-Auktionshaus ein sog. Xenon-Nachrüst-Set bezogen und eingesetzt.

Dabei handelt es sich um Xenon-Lampen mit Sockeln von Halogenlampen. Dann wurden bei einem Halogen-Reflexionssystem die Lampen entfernt und durch Xenon-Lampen ersetzt. Die zur Zündung notwendigen Vorschaltgeräte und die Verbindungskabel wurden in dem Set mitgeliefert. Um die gesetzlichen Vorgaben für die Lichtverteilung zu erfüllen, sind alle Reflektoren speziell für den eingesetzten Lampentyp genau in ihrer Geometrie berechnet. Ersetzt man diese Lampe durch einen anderen Lampentyp, kommt es zu kaum vorhersehbaren Effekten. Überdies sind für Gasentladungssysteme automatische LWR, Scheinwerferreinigungsanlage etc. gesetzlich vorgeschrieben. Ein solches „Nachrüsten“ ist deshalb gesetzlich nicht zulässig. Die Beleuchtungsstärke in B50L betrug in diesem Fall 1,58 lx. Die Effekte für die Xenon-„Nachrüstung“ und die Tuning-Folie sind stark zufallsbedingt. Eine Kombination mit einem anderen Scheinwerfer könnte jeweils zu anderen Effekten führen, die stärker oder weniger stark sind als in diesen Fall. Somit wurden folgende Situationen realisiert:

- keine Blendung (0,22 lx durch Vorfeldaufhellung)
- Xenon-Projektionssystem, korrekt justiert (0,40 lx)
- Halogen-Reflexionssystem, dejustiert (1,5 lx)
- Halogen-Reflexionssystem, Tuningfolie (1,82 lx)
- Halogen-Reflexionssystem, Xenon-„Nachrüstung“ illegal (1,58 lx)

An der Erhebung nahmen 34 Versuchspersonen teil. Bild 7 zeigt die Ergebnisse für die physiologische Blendung.

Der Schwellenwert für das Xenon-Projektionssystem ist nahezu identisch mit dem Wert aus Studie I. Dies zeigt, dass im Lichtkanal wiederholbare Laborbedingungen hergestellt werden können. Ohne Gegenblender sinkt der Schwellenkontrast von 4,23 auf 3,33. Besonders interessant sind die Ergebnisse für die Blendbedingungen, welche die gesetzlichen Vorschriften nicht erfüllen. Die Schwellenkontraste steigen dramatisch

an, in anderen Worten: Die Sehleistung sinkt erheblich.

Eine andere Darstellungsform mag dies verdeutlichen. Reziproke Kontrastwerte liefern ein Maß für die Empfindlichkeit, das die Sichtbarkeit von Sehzeichen beschreibt. Definiert man den Schwellenkontrast von 3,33 für die Situation ohne Blendung als 100 % Sichtbarkeit, so sinkt diese auf 79 %, falls ein Fahrzeug mit Xenon-System entgegenkommt, sie fällt indes auf ca. 40 % ab, falls ein Fahrzeug mit dejustierten oder manipulierten Scheinwerfern blendet.

Die Ergebnisse für die psychologische Blendung (Bild 8) sind in ihrer absoluten Höhe nur sehr bedingt mit den früheren Ergebnissen zu vergleichen, da hier andere Ankerreize vorlagen, die zu einem neuen internen Referenzsystem führten. Gab es in der ersten Untersuchung insgesamt nur eine Spannweite in der Höhe von einem Skalenpunkt, zeigt sich hier eine Spannweite von mehr als drei Stufen. Eingeschränkte Sehleistung korrespondiert hier hoch mit subjektiv empfundener Blendung.

6 Resümee

Die Untersuchungen zeigen deutlich, dass sich Scheinwerfer, die den gesetzlichen Bedingungen genügen, in Bezug auf die physiologische Blendung nur marginal unterscheiden. Der Grad der Beeinträchtigung der Sehleistung durch entgegenkommenden Verkehr ist nahezu identisch. Dies gilt zumindest für die Bedingung, dass der Fahrer auf seine eigene Fahrbahn schaut und nicht direkt in den entgegenkommenden Scheinwerfer. Das subjektiv empfundene Blendgefühl mag dabei durchaus variieren. Anders stellt sich die Situation dar, wenn die gesetzlichen Bedingungen nicht erfüllt sind. Dies gilt für manipulierte oder dejustierte Scheinwerfer oder für den Fall, dass trotz hecklastiger Beladung die Leuchtweitenregulierung nicht angepasst wird. In den hier untersuchten Fällen ergaben sich drastische Einbrüche in der Sehleistung der geblendeten Fahrer. In diesen Fällen spiegelt sich die eingeschränkte Sehleistung auch deutlich

in der subjektiv empfundenen Blendung wider.

Eine Gefährdung im Verkehrsraum geht somit insbesondere von den Scheinwerfern aus, welche die gesetzlichen Bedingungen nicht erfüllen. Für Xenon-Systeme wird dies nur in den seltensten Fällen zutreffen, weil ein Lampenwechsel nur in der Fachwerkstatt durchgeführt wird, eine automatische Leuchtweitenregulierung eine temporäre Dejustierung verhindert und weil eine automatische Scheinwerferreinigungsanlage Licht streuende Partikel von der Abschlusscheibe entfernt. Für Halogensysteme kann es mehrere Ursachen für starke Blendwirkung geben: Bewusste Manipulation („Tuning“), ein nicht fachgerecht durchgeführter Lampenwechsel und ein Versäumen der Leuchtweitenregulierung bei hecklastiger Beladung mögen die häufigsten sein.

Die Einschränkung der Sehleistung in den hier untersuchten Fällen ist so hoch, dass Handlungsbedarf gegeben ist. Verstärkte Kontrollen könnten kurzfristig hilfreich sein. Wünschenswert wäre eine von der Industrie angebotene low-cost-Lösung für Gasentladungslampen. Einerseits werden von diesen Fahrzeugen die gesetzlichen Bedingungen dauerhaft eingehalten, andererseits wird durch die Adaptation des Fahrers auf ein entsprechend höheres Leuchtdichteniveau der Gegenverkehr subjektiv als weniger blendend wahrgenommen. Der Wunsch nach einem hohen Anteil von Xenon-Licht wird sicher kontrovers beurteilt werden. Die hier referierten Ergebnisse mögen dazu beitragen, die Kontroverse zu versachlichen. Hohe Verkehrssicherheit und die Verhinderung des durch Unfälle ausgelösten menschlichen Leids sollten oberste Priorität haben.

(2005). Blue content of LED headlamps and discomfort glare (UMTRI 2005-2). Ann Arbor, MI: University of Michigan Transportation Research Institute.

- [10] VanDerlofske, J. & Bullough, J. D. (2006). Spectral effects of LED forward lighting: Visibility and glare (SAE paper 2006-01-0102). In: *Automotive Lighting Technology and Human Factors in Driver Vision and Lighting, SP-1993*. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, pp. 11–18.
- [11] Manz, K. (2001). The influence by size of headlamp on discomfort glare. *Progress in Automobile Lighting Sym-*

posium PAL, Darmstadt, Germany: Darmstadt University of Technology, pp. 618–634.

- [12] Bullough, J. D., VanDerlofske, J., Dee, P., Chen, J. & Akashi, Y. (2003). An investigation of headlamp glare: Intensity, spectrum and size. Report No. DOT HS 809 672, National Highway Traffic Safety Administration NHTSA.
- [13] Völker, S. (2005). Brauchen wir Leuchtdichte-Obergrenzen für eine Blendungsreduktion von Kraftfahrzeugscheinwerfern? *Licht*, 5, 520–525.
- [14] Völker, S. (2005). Beleuchtungsstärke contra Leuchtdichte als Maß für Blendung. *Licht*, 7–8, 620–623.

Dr. Jürgen Locher ist Diplom-Psychologe und leitet die Projektgruppe Mensch-Maschine-Interaktion im L-LAB, einem Forschungsinstitut, das von der Universität Paderborn und dem Automobilzulieferer Hella gemeinsam getragen wird. Dort beschäftigt er sich mit der Entwicklung und Optimierung von Methoden arbeitswissenschaftlicher Forschung im Kontext von Fahrzeugbeleuchtung und Fahrzeugführung.

Sabrina Schmidt, Diplom-Psychologin, schrieb ihre Diplomarbeit an der Universität Jena zum Thema disability und discomfort glare. Sie promoviert am Institut für Arbeitswissenschaft an der Universität der Bundeswehr in München zum Thema Fußgängererkennung.

Anja Isenbort, Diplom-Pädagogin, promoviert an der Universität Paderborn über das Thema interdisziplinäre Zusammenarbeit von Human- und Ingenieurwissenschaften. Dazu führte sie gemeinsam mit Ingenieuren eine Reihe von Studien über neuartige lichttechnische Systeme durch.

Franziska Kley, Dipl.-Ing., Augenoptikerin, ist Mitarbeiterin der Hella KGaA. In der Projektgruppe Mensch-Maschine-Interaktion ist sie Expertin für Fragen der Lichttechnik und Physiologie. Inhaltlicher Schwerpunkt ihrer Arbeit sind arbeitswissenschaftliche Fragen im Zusammenhang mit LED-Scheinwerfern.

Fabian Stahl, Dipl.-Ing., studierte Lichttechnik an der TU Ilmenau. Als Laboringenieur des L-LAB arbeitet er aktiv in lichttechnischen Projekten mit und ist verantwortlich für die Messtechnik, Ansteuerungen etc.

Anschrift:

Dr. Jürgen Locher
L-LAB
Salzkottener Straße 1
D-33106 Paderborn
E-mail: Juergen.Locher@l-lab.de

Literatur

- [1] Lerner, M., Albrecht, M. & Evers, C. (2005). Das Unfallgeschehen bei Nacht. *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen*. M 172. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag.
- [2] Sullivan, J. M. & Flannagan, M. J. (2001). Characteristics of Pedestrian Risk in Darkness. Michigan (U.S.A.): UMTRI Report No. 2001–33.
- [3] Baer, R. (Hrsg.) (1996). *Beleuchtungstechnik Grundlagen*. Berlin: Verlag Technik.
- [4] Völker, S. (2005). New Headlamps – More Safety or More Glare? In *ISAL 2005. Proceedings of the 6th International Symposium on Automotive Lighting (222–228)*. München: Herbert Utz Verlag.
- [5] Bosch (2007). *Kraftfahrttechnisches Taschenbuch*. 26. Auflage. Wiesbaden: Vieweg.
- [6] Akashi, Y., Van Derlofske, J.D., Bullough, J. & Cheng, J. (2004). The effect of glare on visual performance under reduced headlamp illumination. *Proceedings PAL 2001*, pp. 9–22.
- [7] Bullough, J. D. & Rea, M. S. (2004). Visual performance under mesopic conditions: Consequences for roadway lighting. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1862. National Research Council, Washington, D.C., pp. 89–94.
- [8] Flannagan, M. J. (1999). Subjective and objective aspects of headlamp glare: Effects of size and spectral power distribution (UMTRI 99-36). Ann Arbor, MI: University of Michigan Transportation Research Institute.
- [9] Sivak, M., Schoettle, B., Minoda, T. & Flannagan, M.

Nach feststehen der oberen Bildgröße füllen!