

Fußgängererkennbarkeit mit Halogen, Xenon und LED: „der Streulichteffekt“ Teil 2

Von Annika Kortmann und Tim Hoger*

Die Erkennbarkeit eines Fußgängers ist für einen Pkw-Fahrer nicht nur mit der Lichtstärke und der „Reichweite“ seines Scheinwerfers verknüpft. Von Bedeutung ist auch das „Streulicht“ des Scheinwerfers. Lassen sich Fußgänger mit höherpreisigen Xenon- und LED-Scheinwerfern früher erkennen, als dies mit kostengünstigen Halogenscheinwerfern der Fall ist? Ist es möglich, durch den Austausch der Leuchtmittel in Halogenscheinwerfern eine wesentliche Verbesserung zu erreichen?

Zur Klärung dieser Fragen wurden lichttechnische Untersuchungen mit einem Fahrzeugtyp (Audi A4) in der Halogen-, Xenon- und LED-Ausstattung durchgeführt und beim Halogenscheinwerfer verschiedene Leuchtmittel verwendet, worauf bereits im 1. Teil der Veröffentlichung eingegangen wurde. Der vorliegende zweite Teil beschäftigt sich mit der Frage, ob Xenon- oder LED-Systeme bei der Fußgängererkennbarkeit einem Halogenscheinwerfer überlegen sind. Die gewonnenen Ergebnisse zeigen die Grenzen der neuen Scheinwerfersysteme auf und die Notwendigkeit einer adaptiven Lichtregulierung.

1 Aufbau und Funktionsweise eines Xenon- und LED-Scheinwerfers

Der Aufbau und die Funktionsweise eines Xenon-Scheinwerfers ähneln denen eines Halogenscheinwerfers. Als Leuchtmittel werden keine Glühlampen eingesetzt, sondern Xenon-Brenner. **BILD 1** zeigt eine Gegenüberstellung der beiden Leuchtmittel.

Bei der Halogen-Glühlampe (**BILD 1.1**) wird ein elektrischer Strom durch einen dünnen, gewundenen Wolframdraht (Glühwendel) geleitet, sodass dieser sich erhitzt und zu glühen beginnt. Der Halogenzusatz im Glaskolben verhindert, dass sich Wolfram auf dem Glaskolben niederschlägt und diesen schwärzt. Beim Xenon-Brenner (**BILD 1.2**) ist der Glaskolben unter anderem mit Xenon gefüllt, sodass im Betrieb zwischen zwei Wolfram-Elektroden ein konzentrischer Lichtbogen brennen kann. Durch diese Form der Lichterzeugung können deutlich höhere Lichtströme gegenüber einer Halogenglühlampe gewährleistet werden (H7 = max. 1500 lm, bei D2S-Xenon $\approx$ 3200 lm) [2]. Durch die höhere Farbtemperatur mit Spektrallinien im ultravioletten Bereich wirkt das emittier-

te Licht bläulich weiß. Die Unterteilung der Brenner erfolgt in die Kategorien DxR und DxS, wobei x einer Zahl zwischen 1 und 4 zugeordnet ist und spezifiziert, ob der Brenner ein integriertes Zündteil besitzt oder quecksilberfrei ist. DxR-Brenner werden in Reflektor-Systemen ähnlich einem Halogenscheinwerfer eingesetzt und sind, wie die in Bild 1.1 abgebildete Halogenglühlampe,

am Kopf mit einem lichtundurchlässigen Aufdruck auf dem Glaskolben versehen, um die vorgeschriebene Lichtverteilung gewährleisten zu können.

Brenner mit der Spezifikation DxS werden in Projektionssystemen betrieben, wie dies schematisch in der Seiten- und Draufsicht in **BILD 2** dargestellt ist. Projektionsscheinwerfer bestehen im Wesentlichen aus einem Ellipsoidreflektor (DE = dreiachsiger Ellipsoid), einer Blende und einer Linse. Die Funktionsweise lässt sich mit einem Diaprojektor vergleichen, wodurch sich der Name Projektionsscheinwerfer ableiten lässt. Durch den Ellipsoidreflektor wird das Licht des Xenon-Brenners in einem zweiten Brennpunkt gebündelt, siehe hierzu **BILD 2.1** in der Seitenansicht und **BILD 2.2** in der Draufsicht. Vor dem Brennpunkt befindet sich eine Blende, die einen Teil des Lichts abschattet und so die Hell-Dunkel-Grenze (HDG)¹ erzeugt. Die nach dem Brennpunkt befindliche Linse projiziert die Lichtverteilung auf die Straße. Durch diesen Aufbau wird das Streulicht gegenüber Freiflächenschein-

BILD 1:
Halogen-Glühlampe
(1) und Xenon-
Brenner (2) im
Vergleich

FIGURE 1:
Comparison between
a halogen bulb (1)
and a xenon bulb (2)



werfern mit Reflexionssystemen (unter anderem Halogenscheinwerfer) deutlich verringert und die HDG wird schärfer definiert. Da ein zu geringer Streulichtanteil verhindert, dass Straßenschilder angemessen erkannt werden können, werden die DE-Scheinwerfer meistens als Nebelscheinwerfer eingesetzt.

Ein ausreichender, aber dosierter Streulichtanteil und eine verbesserte Beleuchtung der Straßenränder für den Einsatz von Xenon-Brennern als Leuchtmittel wird durch Super-DE-Scheinwerfer realisiert, siehe **BILD 2.3** und **BILD 2.4**. Die Fläche des Ellipsoidreflektors wird durch die Freiformtechnik zusätzlich verändert, sodass möglichst viel Licht auf die Linse fällt. Die Lichtausbeute gegenüber einem DE-Scheinwerfer wird von etwa 36 % auf 52 % erhöht, wodurch unter anderem größere Scheinwerferreichweiten bei gegebener HDG erzielt werden können [3].

Ein Nachteil der Xenon-Technologie ist, dass lediglich eine Leuchtquelle zur

Verfügung steht und adaptives Licht nur durch Blenden oder Geometrieveränderungen erreicht werden kann. Durch den Einsatz mehrerer Leuchtwendeln – wie dies beispielsweise in H4-Konzepten in einem Glaskolben oder bei H7-Scheinwerfern in mehreren Glaskolben erfolgte, lassen sich unterschiedliche Ausleuchtungen durch elektronisches Umschalten erreichen. Bei Glühlampen wurden lediglich zwei Leuchtwendeln eingesetzt, eine für den Abblendbereich und eine für das Fernlicht.

Durch den Einsatz mehrerer Leuchtquellen können „beliebige“ Lichtprofile geschaltet werden, ohne dass Blenden oder Linsen bewegt werden müssen. Ein solches System wird in den Matrix-LED-Scheinwerfern realisiert. Während bei Halogen- und Xenon-Brennern thermische Anregung für die Lichtentstehung sorgt, werden bei Leuchtdioden direkte Halbleiterübergänge von Elektronen zur Lichterzeugung genutzt. Die emittierte Wellenlänge ist direkt abhängig von der Energielücke zwischen Leitungs- und Valenzband des Halbleiters. Durch Kombination von verschiedenen Materialien sind heutzutage weiße und sogar bläuliche LED (light-emitting diode) hoher Leistung am Markt verfügbar. Um aus blau-

en oder UV-LED weißes Licht zu erzeugen, wird ein fotolumineszierender Farbstoff eingesetzt.

Ein LED-Scheinwerfer besteht zu meist aus einem LED-Grundlicht und mehreren Reflektoren, die mit weiteren LEDs beleuchtet werden können. **BILD 3** zeigt den Aufbau des Audi A4 B9 LED-Scheinwerfers (1) aus der Untersuchung zur Fußgängererkennbarkeit und einen LED-Scheinwerfer mit vergleichbarem Aufbau (2) [1]. In **BILD 4** sind die fünf Reflektoren des Vergleichsscheinwerfers mit jeweilig fünf LED im Detail gezeigt. Insgesamt können so 25 LED individuell regelbar zum Einsatz kommen. In der weiteren Entwicklung sind LED-Systeme mit noch deutlich mehr LED, die eine noch exaktere Steuerung ermöglichen. Für solche Systeme wird es möglich sein, nahezu beliebige Lichtprofile auf die Straße zu „zeichnen“ und dabei auch Hindernisse beziehungsweise Objekte anzublitz/-blinker, um die Wahrnehmbarkeit zu erhöhen.

2 Versuchsaufbau und -durchführung

Aufbau und Durchführung der Versuchsreihe wurden ausführlich im ersten Teil der Veröffentlichung [2] beschrieben.

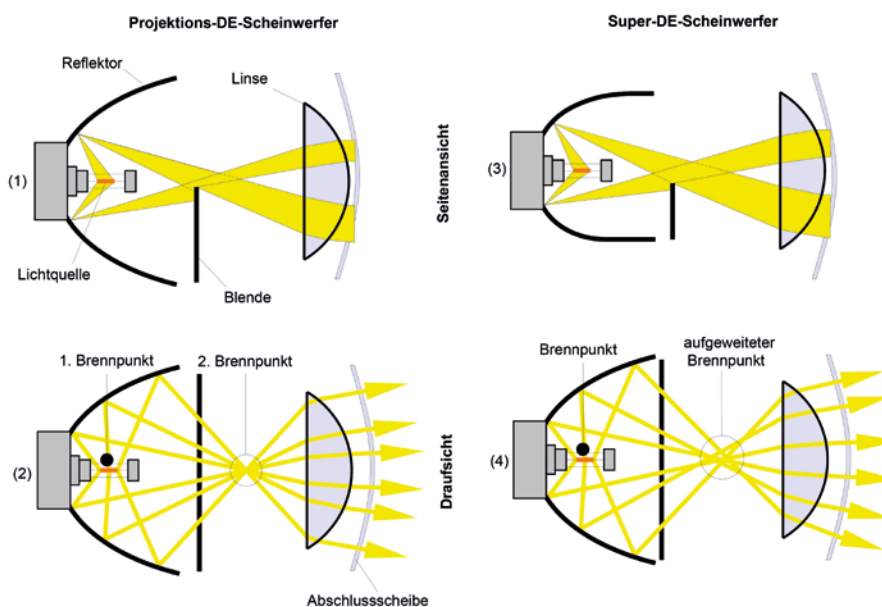


BILD 2: Aufbau und Funktionsweise von Projektions-DE- (1, 2) und Super-DE-Scheinwerfer (3, 4) [4]
FIGURE 2: Structure and function of a projector ellipsoid headlight (1,2) and a super ellipsoid headlight (3, 4) [4]



BILD 3: Aufbau des Audi A4 B9 LED-Scheinwerfers (1) und eines vergleichbaren LED-Scheinwerfers (2)

FIGURE 3: Structure of the Audi A4 B9 LED headlight (1) and a comparable LED headlight (2)

Kurz zusammengefasst: Zur Beurteilung der Fußgängererkennbarkeit wurden lichttechnische Untersuchungen (LTU) durchgeführt, bei denen sich ein Fußgänger unter 90° zur Fahrzeuglängs-



BILD 4: Reflektoren mit jeweils 5 einzeln ansteuer- und dimmbaren LED des Vergleichsscheinwerfers

FIGURE 4: Reflectors from the comparison headlight with 5 LEDs that can be individually activated and dimmed

achse, von links und rechts kommend, mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h näherte. Die Geschwindigkeit des Pkw wurde mit konstant 50 km/h angenommen und die Kollision mittig an der Fronthaube berücksichtigt. Um die Positionen zwischen Fußgänger und Pkw mit verschiedenen Fahrzeugen möglichst genau reproduzieren zu können, wurde nur der Fußgänger auf das Fahrzeug zubewegt. Zusätzlich zu den Sichtfotos aus dem Pkw wurde bei jeder Messreihe die Beleuchtungsstärke auf dem Boden in 10-m-Abständen in Verlängerung der Fahrzeuglängsachse bis zu einer Entfernung von 100 m bestimmt und ein Hochfoto aus rund 5 m Höhe des Scheinwerferprofils gefertigt.

In jeder Messreihe wurden Sichtfotos aus dem Pkw auf den Fußgänger für die zeitlichen Abstände zwischen 5 und 1 s vor der Kollision mit einer kalibrierten Digitalkamera für je eine Fußgängerannäherung von rechts und links aufgenommen. **BILD 5** und **BILD 6** zeigen die Sichtaufnahmen aus den Audi A4-Fahrzeugen mit einem Standard-H7-,

Xenon- und LED-Scheinwerfersystem im Zeitraum zwischen 4 und 1 s vor der Kollision bei einer Fußgängerannäherung von rechts (Bild 5) und von links (Bild 6). Der Sichteindruck 5 s vor der Kollision wurde bewusst weggelassen, da der Fußgänger aufgrund der Entfernung zum Pkw nicht mehr erkennbar war.

3 Auswertung: Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfer im Vergleich

3.1 Verlauf der Beleuchtungsstärke

BILD 7 zeigt die Beleuchtungsstärke der Standard-H7, Xenon- und LED-Scheinwerfer, die logarithmisch gegen die Entfernung zur Fahrzeugfront aufgetragen wurde.

Für den Halogenscheinwerfer des Audi (rote Kreise) ergibt sich, wie in Teil 1 beschrieben, nach dem logarithmischen Auftragen ein annähernd linearer Abfall der Beleuchtungsstärke auf der Fahrzeuglängsachse. In einer Entfernung von 100 m ist die Beleuchtungsstärke von anfänglich rund 100 lx

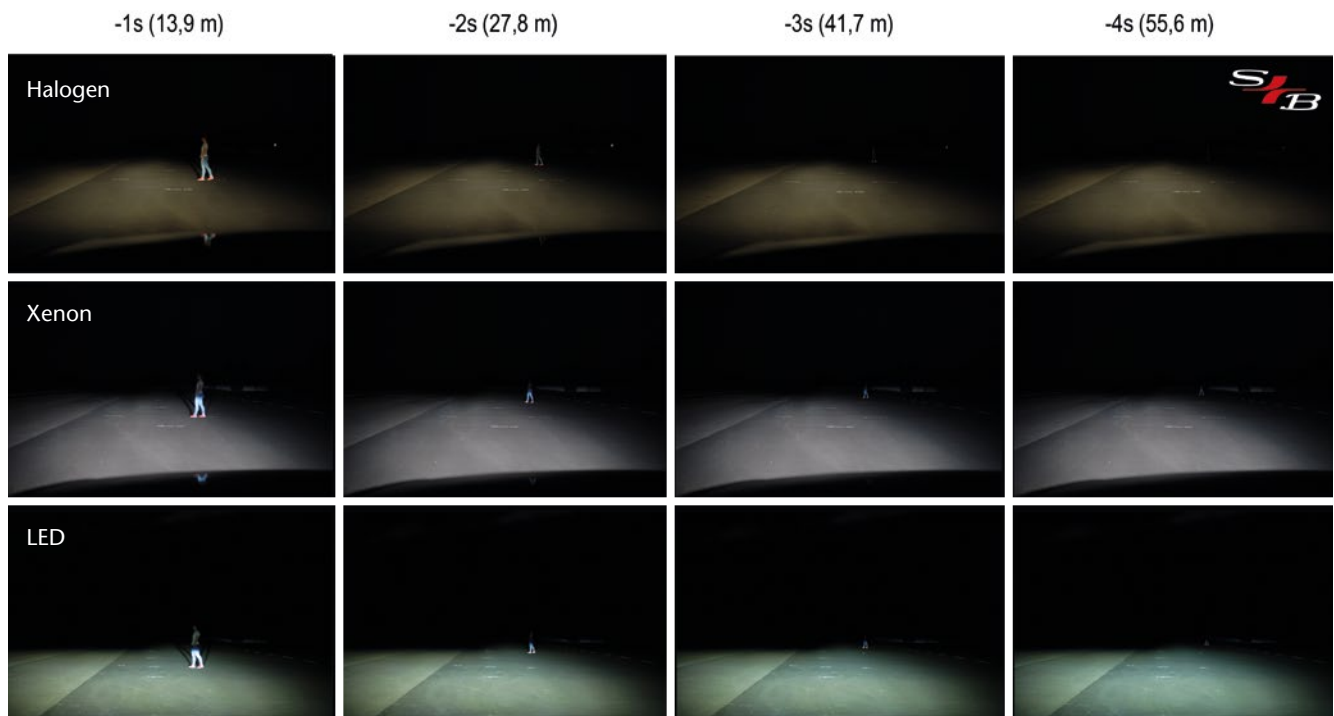


BILD 5: Sichtaufnahmen aus dem Audi mit Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfern bei Fußgängerannäherung von rechts zwischen 4 und 1 s vor der Kollision

FIGURE 5: Views from the Audi with halogen, xenon and LED headlights as a pedestrian approaches on the right between 4 seconds and 1 second before the collision



BILD 6: Sichtaufnahmen aus dem Audi mit Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfern bei Fußgängerannäherung von links zwischen 4 und 1 s vor der Kollision

FIGURE 6: Views from the Audi with halogen, xenon and LED headlights as a pedestrian approaches on the left between 4 seconds and 1 second before the collision

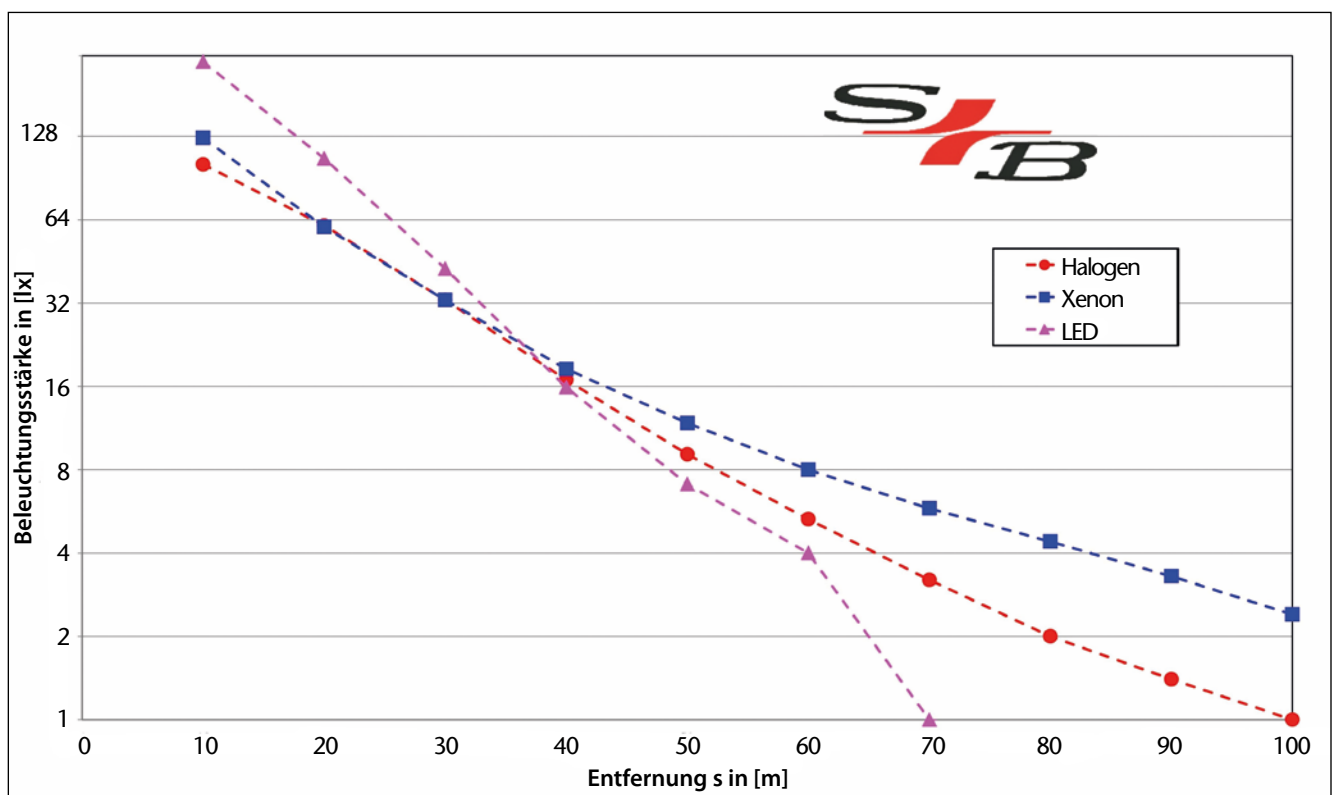


BILD 7: Verlauf der Beleuchtungsstärke mit Halogen, Xenon und LED

FIGURE 7: Distribution of the power of the halogen, xenon and LED lights

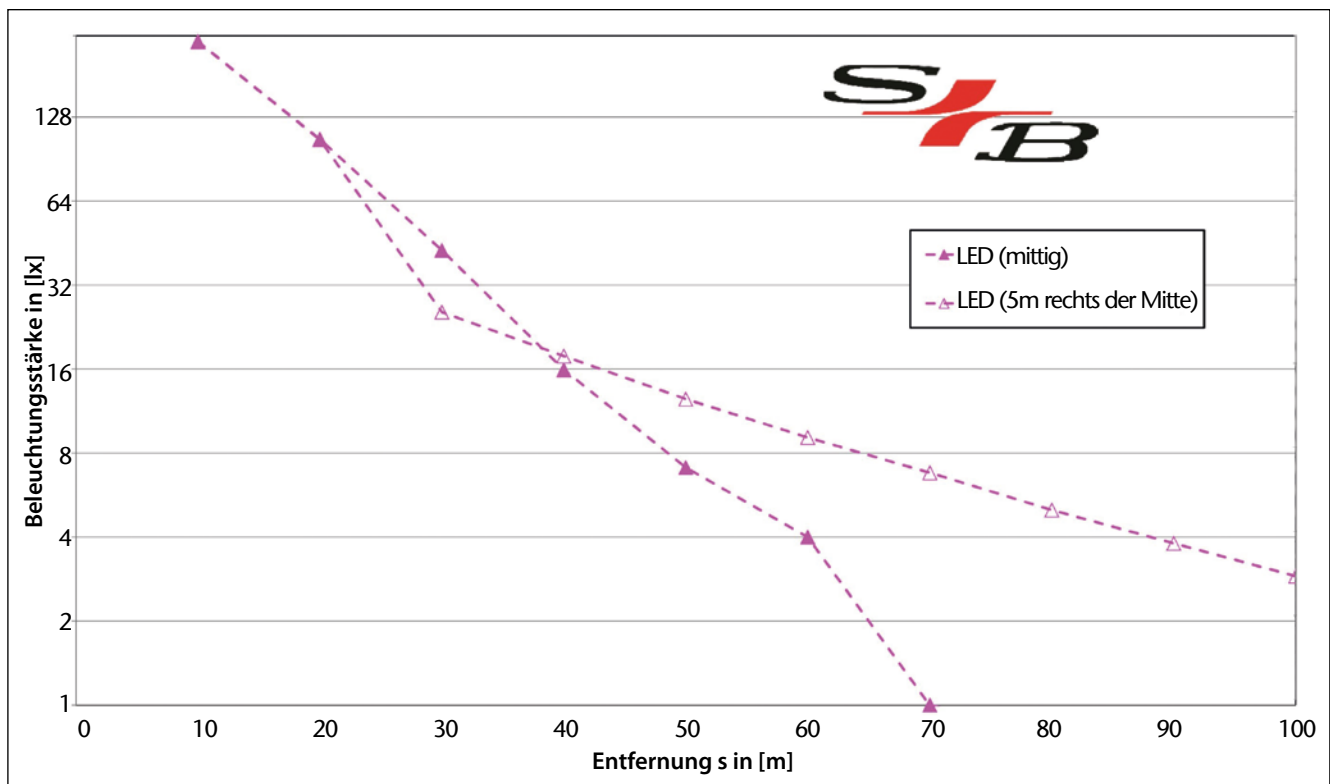


BILD 8: Verlauf der Beleuchtungsstärke bei LED mittig und 5 m rechts der Mitte

FIGURE 8: Distribution of the power of the LED in the centre and 5 m to the right of the centre

auf 1 lx abgefallen. Bis zu einer Entfernung von etwa 40 m ist der Abfall der Beleuchtungsstärke der Xenonscheinwerfer (blaue Quadrate) dem der Halogenscheinwerfer ähnlich, danach ist ein weniger starker Abfall der Beleuchtungsstärke des Xenonscheinwerfers zu erkennen, sodass in 100 m Entfernung immer noch eine Beleuchtungsstärke von rund 2,5 lx vorliegt.

Der LED-Scheinwerfer (violette Dreiecke) weist im Nahbereich bis 30 m eine höhere Beleuchtungsstärke gegenüber dem Halogen- und auch Xenonscheinwerfer auf. Von einer anfänglichen Beleuchtungsstärke von rund 238 lx nimmt diese in etwa linear auf 16 lx in einer Entfernung von 40 m zum Fahrzeug ab. Nach 60 m fällt die Beleuchtungsstärke stark ab, sodass in einer Entfernung von 70 m nur noch ein Wert von unter 1 lx gemessen werden kann.

Der frühzeitige deutliche Abfall der Beleuchtungsstärke mittig zwischen den Scheinwerfern beim LED-Scheinwerfer ähnelt dem Verlauf der Beleuchtungsstärke des im 1. Teil des Artikels

untersuchten 1er-BMW. Der abweichende Beleuchtungsstärkeverlauf wird beim BMW durch eine andere Scheinwerferkonzeption erreicht, bei der eine deutlich nach rechts asymmetrische Leuchtdichtevertelung (Lichtprofil) vorliegt. Zur Überprüfung wurde für den LED-Scheinwerfer zusätzlich die Beleuchtungsstärke in einem Abstand von 5 m zur Verlängerung der Fahrzeuglängsachse auf der rechten Scheinwerferseite gemessen. In BILD 8 sind die beiden Messungen zum LED-Scheinwerfer in einem Diagramm dargestellt. Es wird deutlich, dass in einem Abstand 5 m rechts der Mitte (offene Dreiecke) ab einer Entfernung von 40 m eine höhere Beleuchtungsstärke vorliegt. Der Abfall der Beleuchtungsstärke verläuft auch hier bis zu einer Entfernung von 100 m in etwa linear, sodass in 100 m Entfernung noch eine Beleuchtungsstärke von rund 3 lx gemessen werden konnte. Der Verlauf der Beleuchtungsstärke beim LED-Scheinwerfer auf der Verlängerung der Fahrzeuglängsachse und 5 m rechts

daneben weist darauf hin, dass auch beim LED-Scheinwerfer ein deutlich nach rechts gerichtetes asymmetrisches Lichtprofil vorhanden ist.

3.2 Leuchtmittelabhängige Lichtprofile

Auch von den Lichtprofilen der Xenon- und LED-Scheinwerfer wurden im Rahmen der lichttechnischen Untersuchung Hochfotos in Fahrtrichtung aus einer Höhe von rund 5 m aufgenommen. BILD 9 zeigt die Scheinwerferprofile der Audi-Fahrzeuge mit einem Standard-Halogen- (1), Xenon- (2) und LED-Scheinwerfersystem (3) als logarithmisches Falschfarbenbild. Zur besseren Vergleichbarkeit wurden die Fahrzeuglängsachse und Markierungslinien in 20 und 40 m Entfernung zur Fahrzeugfront in die Hochfotos eingetragen. Die einzelnen Profile unterscheiden sich sowohl in der Leuchtdichte als auch in der Form.

Wie im ersten Teil des Artikels [1] bereits gezeigt wurde, fällt das Lichtprofil des Audi-Halogenscheinwerfers

mit Standardleuchtmittel in **BILD 9.1** in etwa symmetrisch aus. Es liegt auch noch in größeren Entfernungen zum Pkw auf der Fahrzeuglängsachse eine messbare Beleuchtungsstärke vor, wie dies zuvor aus Bild 7 deutlich wurde. Das Lichtprofil des Xenonscheinwerfers in **BILD 9.2** zeigt immer noch eine tendenziell symmetrische, aber deutlich verbreiterte Fahrbahnausleuchtung. Da der bereitgestellte Lichtstrom durch einen Xenonscheinwerfer etwa doppelt so groß sein kann wie beim Halogenscheinwerfer, kann auch eine größere Fläche ausgeleuchtet werden. Auf der Fahrzeuglängsachse in einer Entfernung von 100 m zur Fahrzeugfront ist die Beleuchtungsstärke des Xenon-Scheinwerfersystems um den Faktor 2,5 gegenüber einem Halogen-Scheinwerfersystem erhöht. Die Ausdehnung des Profils des Xenonscheinwerfers in der Breite wird besonders im Bereich der in den Hochfotos enthaltenen gestrichelten Fahrbahnmarkierung deutlich. Dort ist noch eine geringe Leuchtdichte (dunkelblaue Fläche) messbar, wo hingegen die Leuchtdichte bei dem Halogenscheinwerfer mehrere Meter von der Begrenzungsmarkierung nicht mehr messbar ist (schwarze Fläche). Auch wird aus Bild 9.2 deutlich, dass mit einem Xenonscheinwerfer der rechts oben im Bild befindliche Zaun

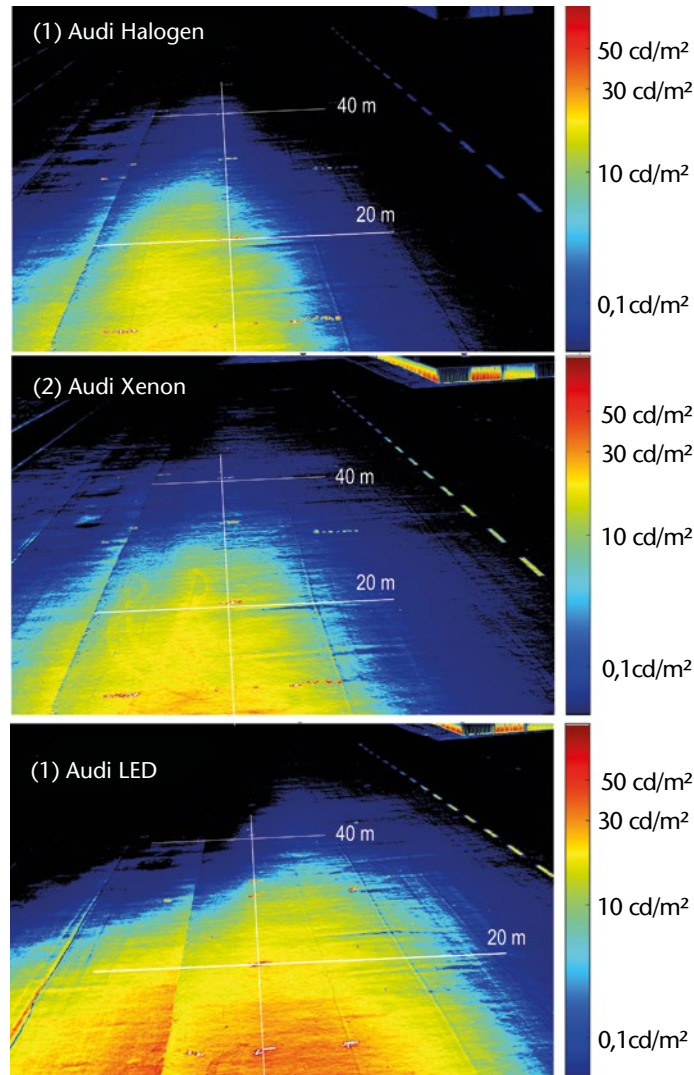


BILD 9:
Log. Falschfarben-
bilder der Profile
der Halogen- (1),
Xenon- (2) und LED-
Scheinwerfer (3)
FIGURE 9:
False colour images
of the halogen
(1), xenon (2) and
LED (3) headlight
profiles

Unfallforschung Schadensanalyse Fahrzeugtechnik

**Fundierte Wissen
von Experten für Experten**

**Für Abonnenten
kostenloser
Download von
2D DXF-Daten**

Ihre Vorteile:

- 11 Ausgaben
- Exklusive Prämie Ihrer Wahl
- Digitales Heftarchiv
seit 1/2006
- Technische Datenblätter

www.VKUonline.de/abo

VKU
ist eine Marke von:
Springer Automotive Media

noch teilweise beleuchtet und Licht reflektiert wird, was sich anhand der hohen Leuchtdichte in diesem Bereich (rote und gelbe Fläche) erkennen lässt.

Im Gegensatz zum Halogen- und Xenon-Scheinwerfersystem zeigt der Audi mit LED-Licht (BILD 9.3) eine „klassische“ asymmetrische Lichtverteilung, bei der die Fahrbahn rechts weiter ausgeleuchtet wird als links. Zusätzlich wird die Fahrbahn im Nahbereich noch breiter und „stärker“ ausgeleuchtet als bei einem Xenon-Scheinwerfersystem und ist auf der linken Scheinwerferseite in einer Entfernung von 40 m fast senkrecht zur Fahrzeugachse abrupt begrenzt. Es liegt ein sehr definiertes Lichtprofil im Sinne einer scharf begrenzten HDG der beleuchteten Fahrbahnfläche vor. Besonders im linken Bildbereich ist auffällig, dass außerhalb des eigentlichen Lichtkegels keine Reflexion des Lichts an zum Beispiel den linksseitigen Fahrbahnmarkierungen stattfindet, wie es unter Verwendung von Halogen- und Xenon-Leuchtmitteln der Fall ist. Die starke Begrenzung des Lichtprofils auf der linken Fahrzeugseite spiegelt sich auch im Verlauf der Beleuchtungsstärke wieder, wie bereits in Bild 8 gezeigt wurde.

3.3 Erkennbarkeitsentfernung

Die Lichtbilder zur Fußgängerannäherung wurden entsprechend der Vorgehensweise des ersten Teils der Veröffentlichung am PC ausgewertet, wie dies exemplarisch das BILD 10 für die Messreihe des LED-Scheinwerfers zeigt. Ausgewertet wurde der Bereich des Oberkörpers (1 O) und der Beine (2 O) gegen den Hintergrund (1 H/2 H) unter Berücksichtigung der Umgebungsleuchtdichte L_U . Die Umgebungsleuchtdichte wurde bei den Auswertungen der Lichtbilder immer im gleichen Bereich bestimmt, sodass für die Umgebungsleuchtdichte Werte von $0,26 \text{ cd/m}^2$ (Halogen), $0,38 \text{ cd/m}^2$ (Xenon) und $0,70 \text{ cd/m}^2$ (LED) berücksichtigt wurden.

Den Sichteindruck aus dem Audi auf den Fußgänger zeigen BILD 11 und BILD 12 in einer grafischen Zusammenstellung nach Leuchtmittel, Fußgängerentfernung und Annäherungsrichtung gruppiert. Wo durch einen Halogenscheinwerfer der Fußgänger noch als Ganzes erkannt werden kann, werden durch einen Xenonscheinwerfer größtenteils nur die Beine sichtbar, und beim LED-Scheinwerfer ist selbst der beleuchtete Anteil der Beine teilweise so gering,

dass das beleuchtete Objekt nicht mehr als Fußgänger erkannt werden kann, da der Zusammenhang zur restlichen Silhouette des Fußgängers fehlt.

Die Auswertung der Fußgängererkennbarkeitsentfernung erfolgte für das Audi A4 Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfersystem jeweils für eine Annäherung des Fußgängers von rechts und links. Die Ergebnisse sind in TABELLE 1 tabellarisch (links $\triangle$ grün, rechts $\triangle$ blau) und in BILD 13 in Diagrammform zusätzlich in Abhängigkeit der Oberkörper (offene Balken-) und Beinerkennbarkeit (ausgefüllte Balken) dargestellt. Wie durch Schmedding und Becke [5] zusammenfassend beschrieben wurde, liegt eine Fußgängererkennbarkeit dann vor, wenn entweder der Oberkörper oder die Beine bei der entsprechenden Entfernung erkannt werden können.

Mit dem Halogenscheinwerfer zeigt sich eine Erkennbarkeitsgrenze eines von rechts kommenden Fußgängers von 44 m. Ein von links kommender Fußgänger kann in einer Entfernung von etwa 42 m erkannt werden, entsprechend des zuvor schon beschriebenen annähernd symmetrischen Lichtprofils. Mit den Xenonscheinwerfern

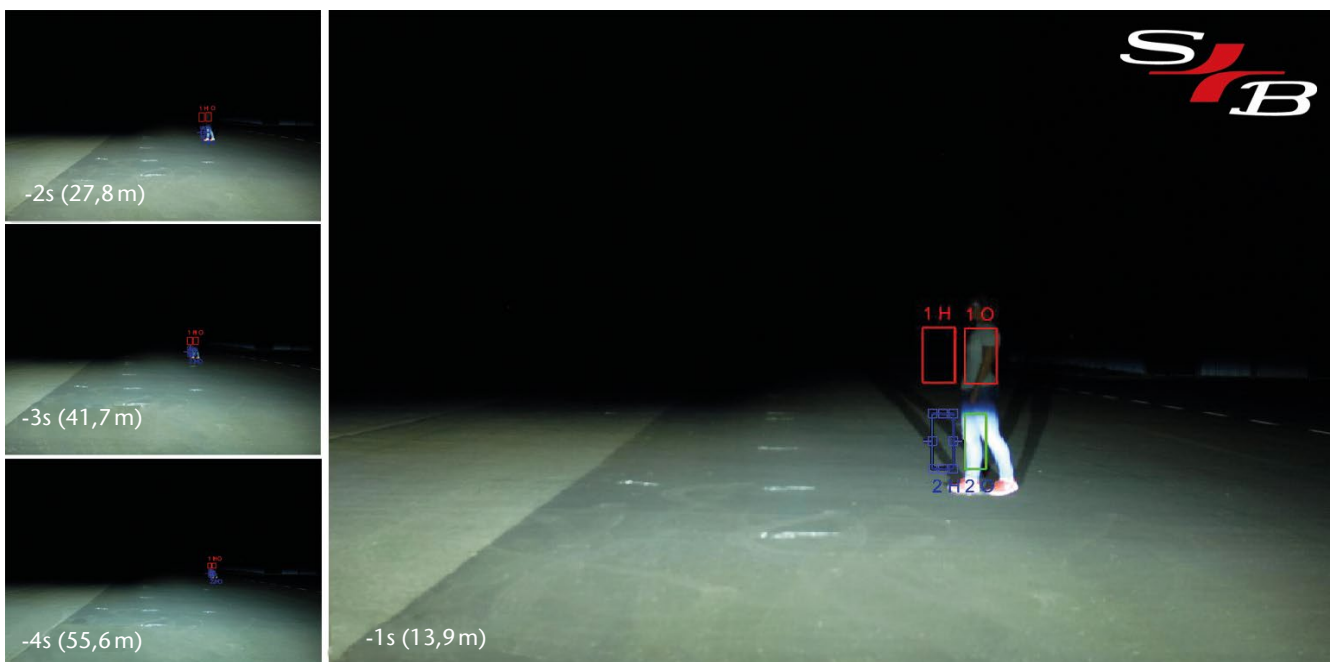


BILD 10: Auswertung der Sichtfotos (LED) am PC

FIGURE 10: Evaluation of the photo (LED) on the PC

können die Beine eines von rechts kommenden Fußgängers bereits in einer Entfernung von 70 m erkannt werden, ein von links kommender Fußgänger dagegen erst in einer Entfernung von 38 m. Bei diesem Vergleich zwischen

Halogen und Xenon zeigt sich bereits, dass ein von rechts kommender Fußgänger mit Xenonscheinwerfern deutlich eher erkannt werden kann. Es liegt ein Erkennbarkeitsunterschied von 21 m, entsprechend einer Zeitdauer von

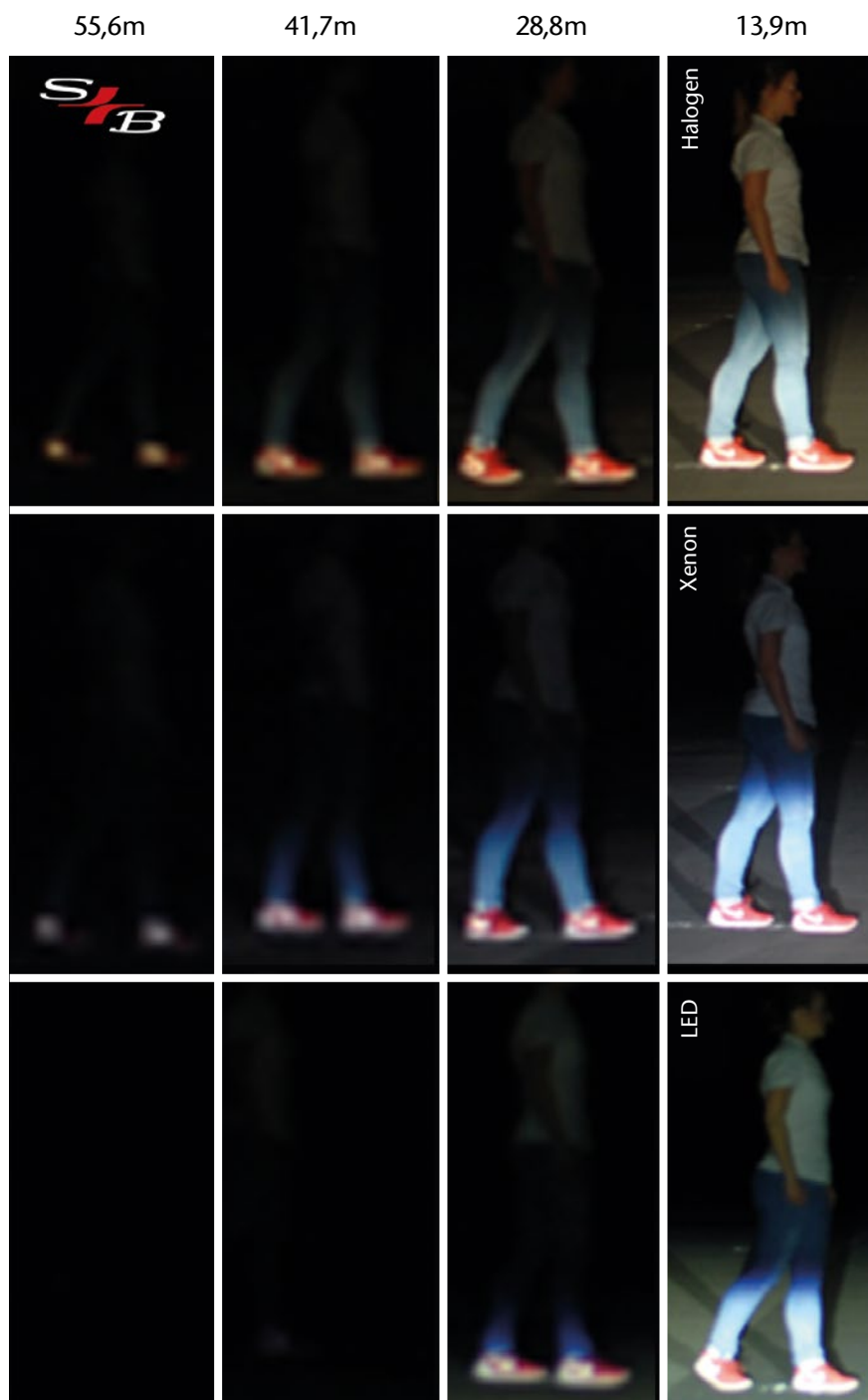


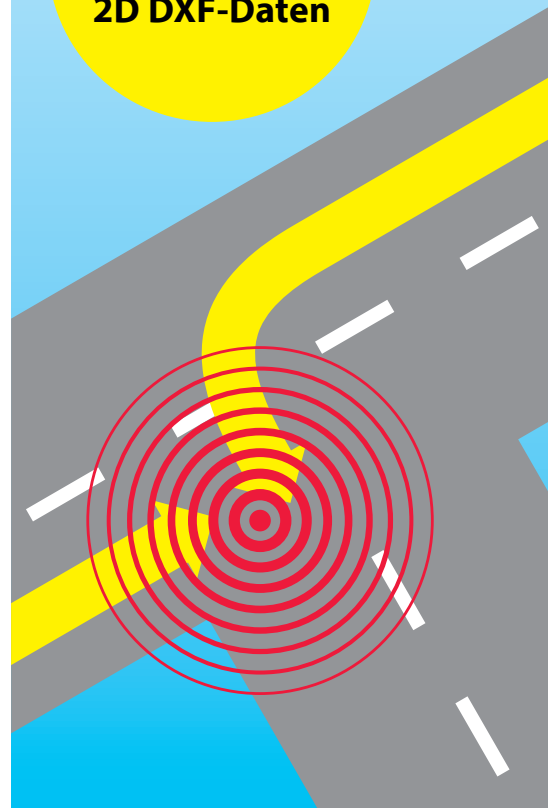
BILD 11: Sichtaufnahmen aus dem Audi mit Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfern bei Fußgängerannäherung von links zwischen 4 und 1 s vor der Kollision

FIGURE 11: Views from the Audi with halogen, xenon and LED headlights as a pedestrian approaches on the left between 4 seconds and 1 second before the collision

Schuld und Sühne

**Präzise Unfallanalysen
von Experten für Experten**

**Für Abonnenten
kostenloser
Download von
2D DXF-Daten**



Ihre Vorteile:

- 11 Ausgaben
- Exklusive Prämie Ihrer Wahl
- Digitales Heftarchiv seit 1/2006
- Technische Datenblätter

www.VKUonline.de/abo

VKU

Ist eine Marke von:
Springer Automotive Media



BILD 12: Sichtaufnahmen aus dem Audi mit Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfern bei Fußgängerannäherung von rechts zwischen 4 und 1 s vor der Kollision

FIGURE 12: Views from the Audi with halogen, xenon and LED headlights as a pedestrian approaches on the right between 4 seconds and 1 second before the collision

1,5 s (Geschwindigkeit des Pkw von 50 km/h) vor. Ein von links kommender Fußgänger ist mit Halogenscheinwerfern geringfügig (4 m) früher, also annähernd gleich gut erkennbar.

Die scharfe Begrenzung der HDG, wie diese sich dem logarithmischen Falschfarbenbild des Lichtprofils entnehmen lässt, zeigt Auswirkungen auf die Fußgängererkennbarkeit mit einem LED-Scheinwerfersystem. Ein von rechts kommender Fußgänger kann im Beinbereich in einer Entfernung von 56 m erkannt werden. Die Erkennbarkeit liegt damit in etwa mittig zwischen der Erkennbarkeitsentfernung von Halogen (44 m) und Xenon (70 m). Linksseitig ist der Fußgänger erst in einer Entfernung von 27 m für den Autofahrer erkennbar, was einen zeitlichen Abstand von 2 s zum Fußgänger entspricht. Verglichen mit den anderen Leuchtmitteln lässt sich eine deutlich (11 m [Xenon], 15 m [Halogen]) spätere Erkennbarkeit des Fußgängers trotz neuer Scheinwerfertechnik aufzeigen.

Vergleicht man die Fußgängererkennbarkeit des Audi A4-LED-Scheinwerfersystems mit den Halogenscheinwerfern des 1er-BMW mit Standardleuchtmittel aus Teil 1 der Veröffentlichung, so folgt das Diagramm in [BILD 14](#), dass der Fußgänger sowohl von rechts als auch von links mit den Halogenscheinwerfern des BMW früher bzw. annähernd gleich gut erkannt werden kann. Bei beiden Annäherungsrichtungen ist für die Erkennbarkeitsgrenze durch die Halogenscheinwerfer die Oberkörpererkennbarkeit ausschlaggebend (offene Balken), wohingegen mit LED-Scheinwerfern maßgeblich die Beine des Fußgängers (gefüllte Balken) zur Erkennbarkeit beitragen. In [BILD 15](#) sind die entsprechenden Sichteindrücke aus dem Audi und dem

TABELLE 1: Erkennbarkeitsentfernungen in Abhängigkeit vom Leuchtmittel (Audi)

TABLE 1: Detection distances depending on the bulbs (Audi)

	Erkennbarkeitsentfernung [m]					
	Audi (Halogen)		Audi (Xenon)		Audi (LED)	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts
Oberkörper	34	44	28	33	27	26
Beine	42	43	38	70	25	56

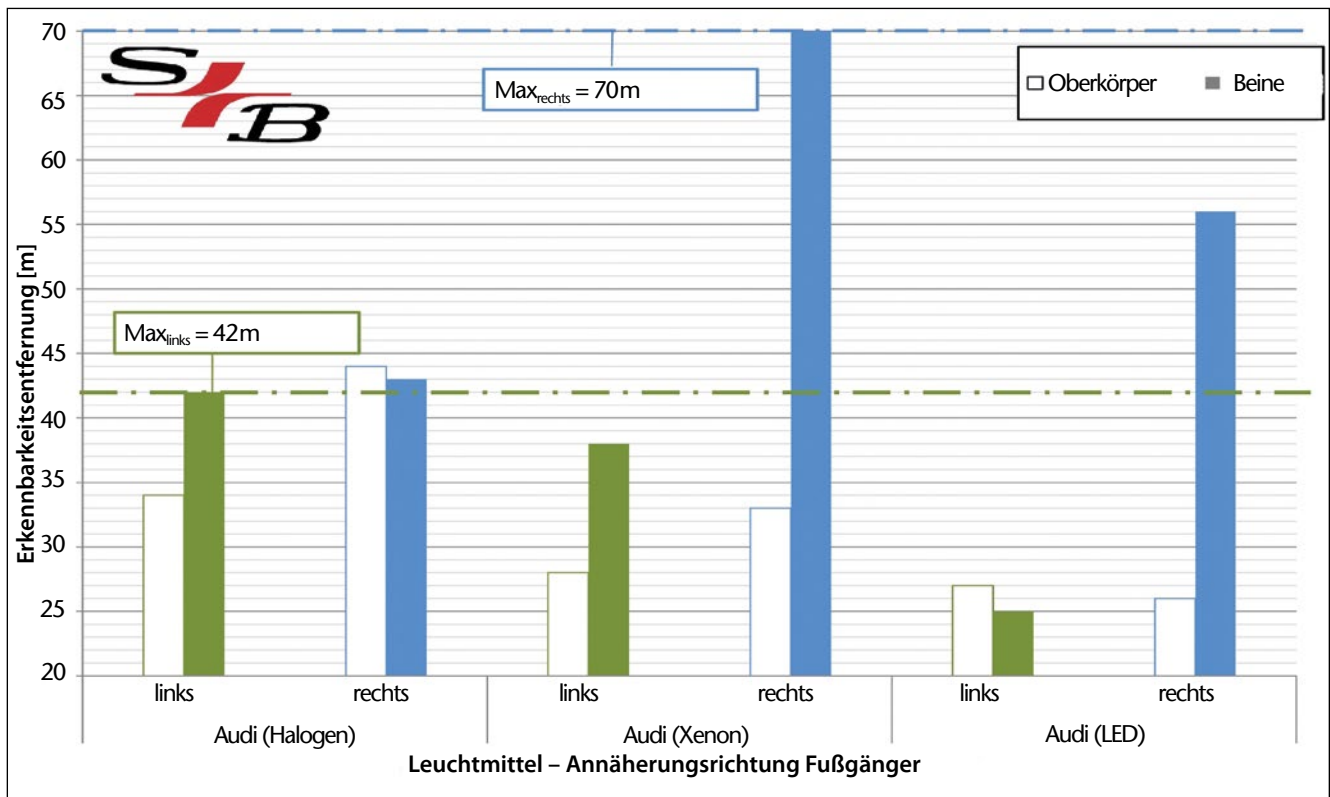


BILD 13: Fußgängererkennbarkeit in Abhängigkeit vom Leuchtmittel (Audi)

FIGURE 13: Pedestrian detection depending on the bulbs (Audi)

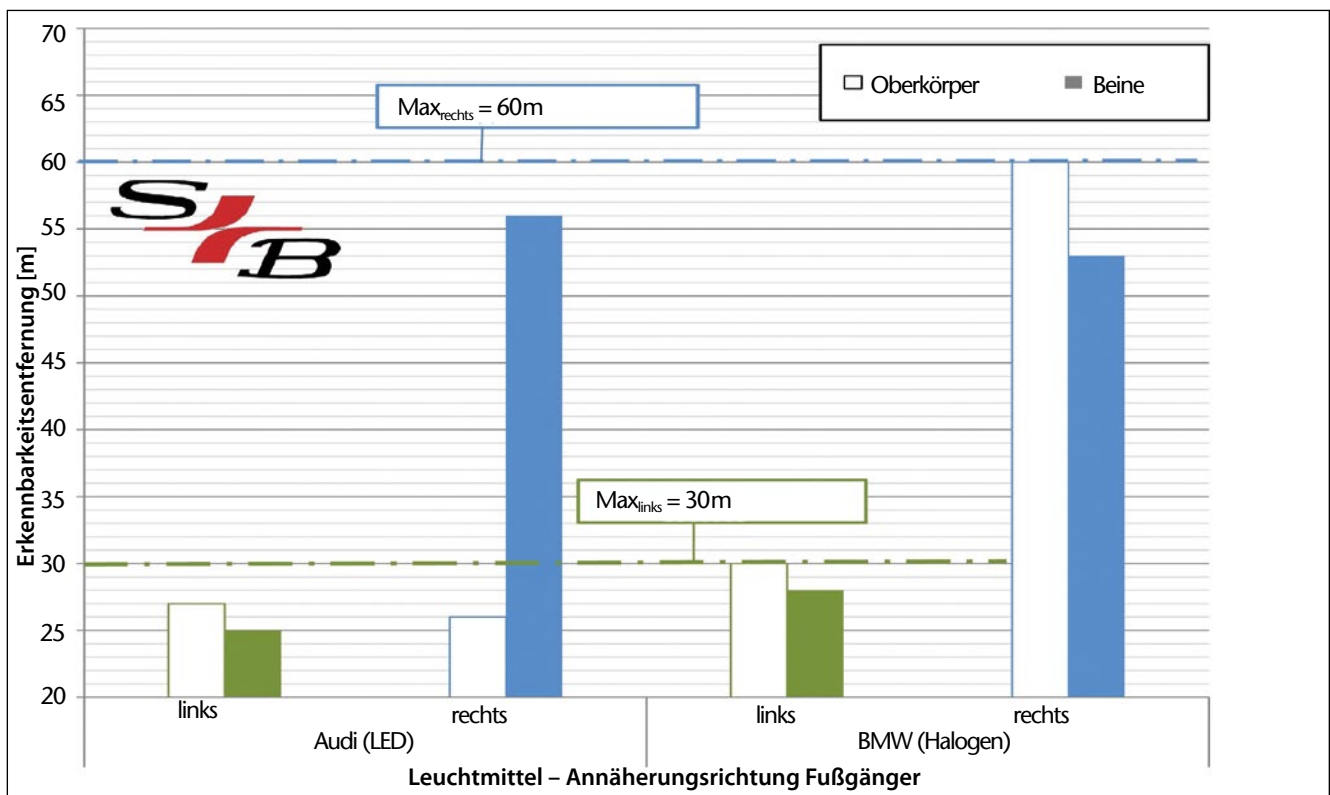


BILD 14: Fußgängererkennbarkeit LED (Audi) vs. Halogen (BMW)

FIGURE 14: Pedestrian detection with LED (Audi) vs. halogen (BMW)

BMW bei den Erkennbarkeitsgrenzen bei Annäherung des Fußgängers von links (27,8 m) und rechts (55,6 m) gegenübergestellt, woraus der Streulichteffekt bei Halogenscheinwerfern deutlich wird. Die Fußgängererkenntbarkeit mit den Halogenscheinwerfern ist durch den Streulichtanteil bestimmt. In beiden Erkennbarkeitsentfernungen ist die Silhouette des Fußgängers fast vollständig zu erkennen. Im Falle der LED-Scheinwerfer ist eine Erkennbarkeit nur durch die direkte Beleuchtung der Fußgängerbeine möglich. Der restliche Körper oberhalb des direkt beleuchteten Bereichs ist aufgrund der scharfen HDG und des sehr geringen Streulichtanteils nicht sichtbar.

Das Beispiel zeigt, dass der Oberkörper oder die Beine in Abhängigkeit vom Scheinwerfersystem und der Kleidung unterschiedlich gut erkannt werden können. Daher wurde das Diagramm nach Bild 14, in der die Erkennbarkeitsgrenzen für Halogen, Xenon und LED eingetragen wurden, in zwei Diagramme zur Erkennbarkeitsgrenze der Beine (BILD 16) und des Oberkörpers (BILD 17) des Fußgängers unterteilt. Die maximale Erkennbarkeit eines von rechts kommenden Fußgängers liegt in einer Entfernung von 70 m vor und wird von einem Xenonscheinwerfer erreicht. Ein von links kommender Fußgänger ist erstmalig durch einen Halogenscheinwerfer in einer Entfernung von 42 m erkennbar. Die Erkennbarkeit der Beine des Fußgängers wird dabei durch die direkte Beleuchtung erreicht. Die Ergebnisse legen nahe, dass der Abfall der HDG beim linken Scheinwerfer von Xenon- und LED-Systemen gegenüber Halogensystemen stärker ausfallen muss, um die Blendung des Gegenverkehrs gering zu halten.

Durch die Abnahme des emittierten Streulichts von Halogen- zu LED-Scheinwerfersystemen und der schärferen Ausbildung der HDG kann der Oberkörper eines Fußgängers und die Silhouette durch die neuen Scheinwerfersysteme immer schlechter erkannt werden. Der Oberkörper eines von rechts kommenden Fußgängers kann mit Halogenscheinwerfern in einer Entfernung von 44 m erkannt werden.

Durch einen LED-Scheinwerfer ist dies erst ab einer Entfernung von 26 m zum Fußgänger möglich. Gleiches gilt für eine Fußgängerannäherung von links, bei der der Oberkörper des Fußgängers mit Halogenscheinwerfern in 34 m Entfernung im Gegensatz zum LED-Scheinwerfer in 27 m erkannt werden kann. Die Erkennbarkeit des Oberkörpers mit einem Xenon-Scheinwerfer liegt dabei etwa mittig zwischen der Erkennbarkeitsgrenze von Halogen und LED.

Dass es sich bei Xenon- und LED-Scheinwerfern nicht nur um ein Problem der Überblendung des Nahbereichs oder dem Adaptionsverhalten

des Auges handelt, zeigt BILD 18 in einer Gegenüberstellung der Sichteindrücke auf den Fußgänger in einer Entfernung 30 m zum Fahrzeug. Am Computer wurden die Absolutwerte der Leuchtdichten auf dem Oberkörper für jede Beleuchtungsart ermittelt und in die Bildzusammenstellung eingetragen. Von Halogen ($0,07 \text{ cd/m}^2$) über Xenon ($0,04 \text{ cd/m}^2$) bis zu LED ($0,02 \text{ cd/m}^2$) nimmt die Leuchtdichte stetig ab, der Oberkörper wird demnach weniger stark angeleuchtet. Aufgrund des unterschiedlichen Streulichtanteils ist ein klarer Trend zu erkennen. Je hochentwickelter das Scheinwerfersystem, des-

BILD 15:
Sichteindruck aus 27,8 und 55,6 m Entfernung mit LED (Audi) und Halogen (BMW)

FIGURE 15:
View from a distance of 27.8 and 55.6 m with LED (Audi) and halogen (BMW)



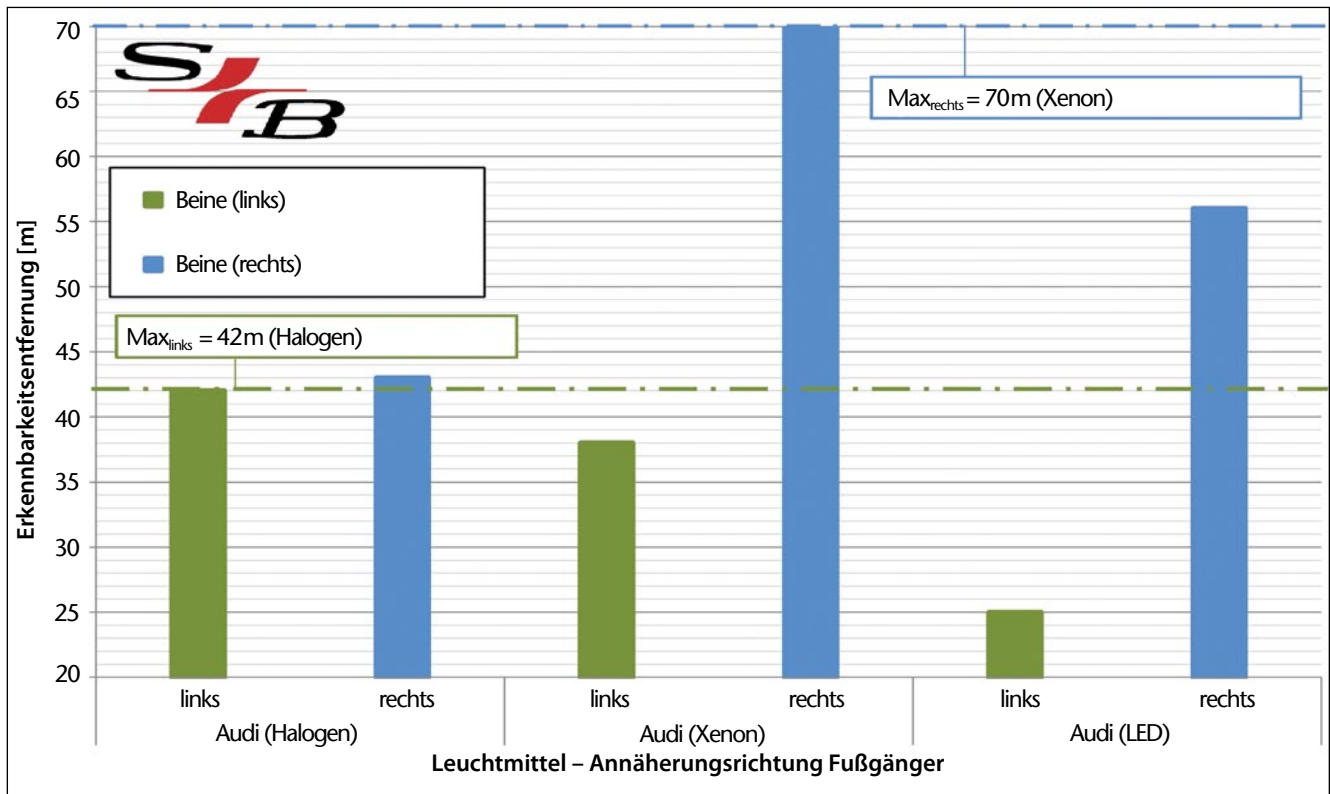


BILD 16: Erstmalige Erkennbarkeit der Beine mit Halogen, Xenon und LED (Audi)

FIGURE 16: Initial detection of the legs with halogen, xenon and LED (Audi)

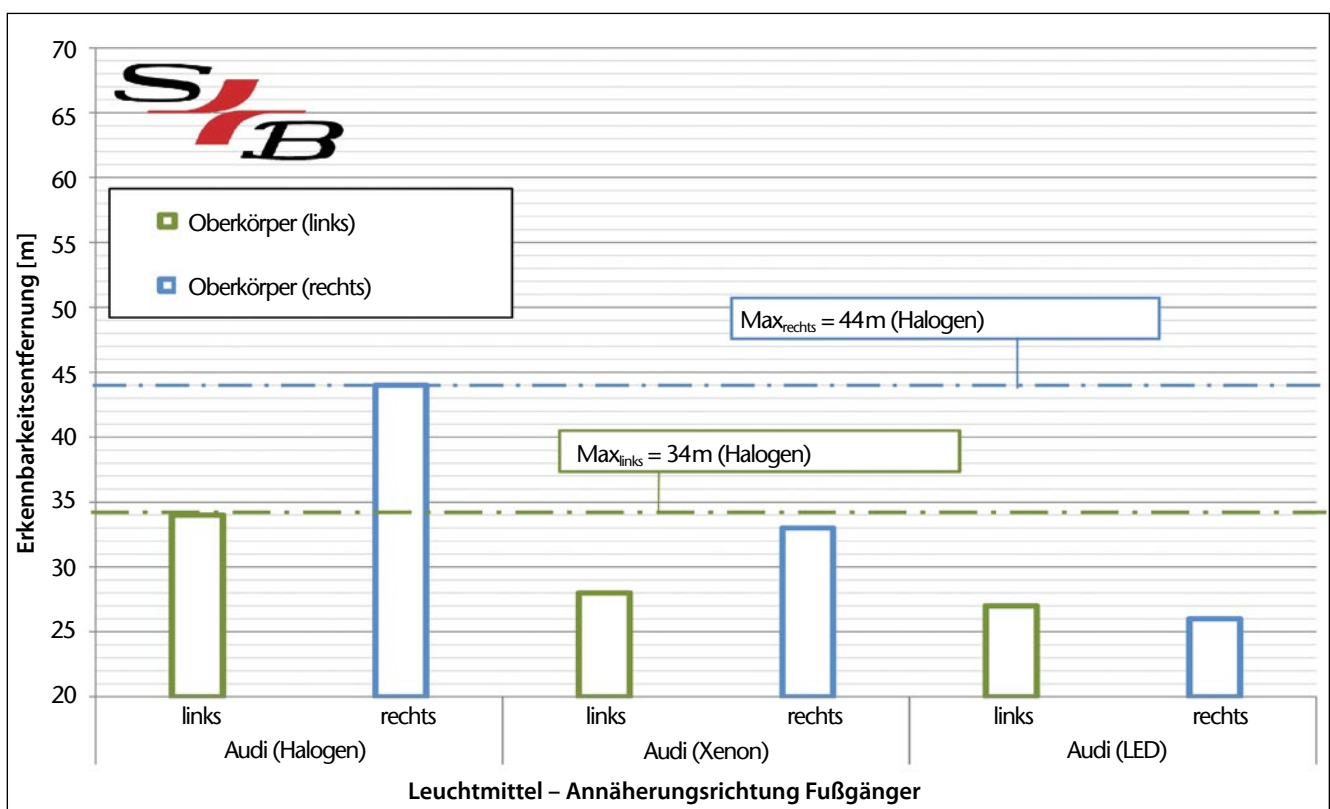


BILD 17: Erstmalige Erkennbarkeit des Oberkörpers mit Halogen, Xenon und LED (Audi)

FIGURE 17: Initial detection of the upper body with halogen, xenon and LED (Audi)

to weniger spielt die Erkennbarkeit des Oberkörpers bei der frühestmöglichen Fußgängererkennbarkeit eine Rolle.

3.4 Neigung der Hell-Dunkel-Grenze

Aus den Sichtfotos auf den Fußgänger gemäß Bild 11 und 12 kann der Bereich bestimmt werden, der direkt durch die Scheinwerfer beleuchtet wird, sodass entsprechend der Skizzen in den BILD 19 und BILD 20 die Neigung der HDG, bezogen auf den linken und rechten Scheinwerfer, in eine maßstäbliche Zeichnung übertragen werden kann. Die Oberkante der direkt beleuchteten Fläche wurde mit waagerechten Strichen in die Skizze des Fußgängers eingetragen, der daraus resultierende Verlauf der HDG ist mit einer entsprechend gestrichelten Linie dargestellt. Aus den Vergrößerungen der maßstäblichen Modelle des Fußgängers bei der Betrachtung

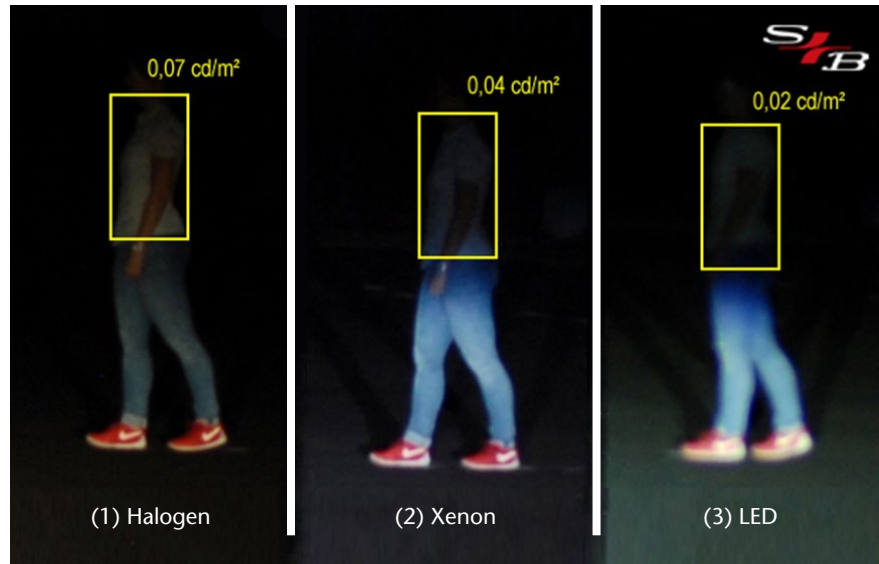


BILD 18: Leuchtdichte im Bereich des Oberkörpers in 30 m Entfernung bei Halogen (1), Xenon (2) und LED (3)

FIGURE 18: Brightness in the upper body area at a distance of 30 m with halogen (1), xenon (2) and LED (3)

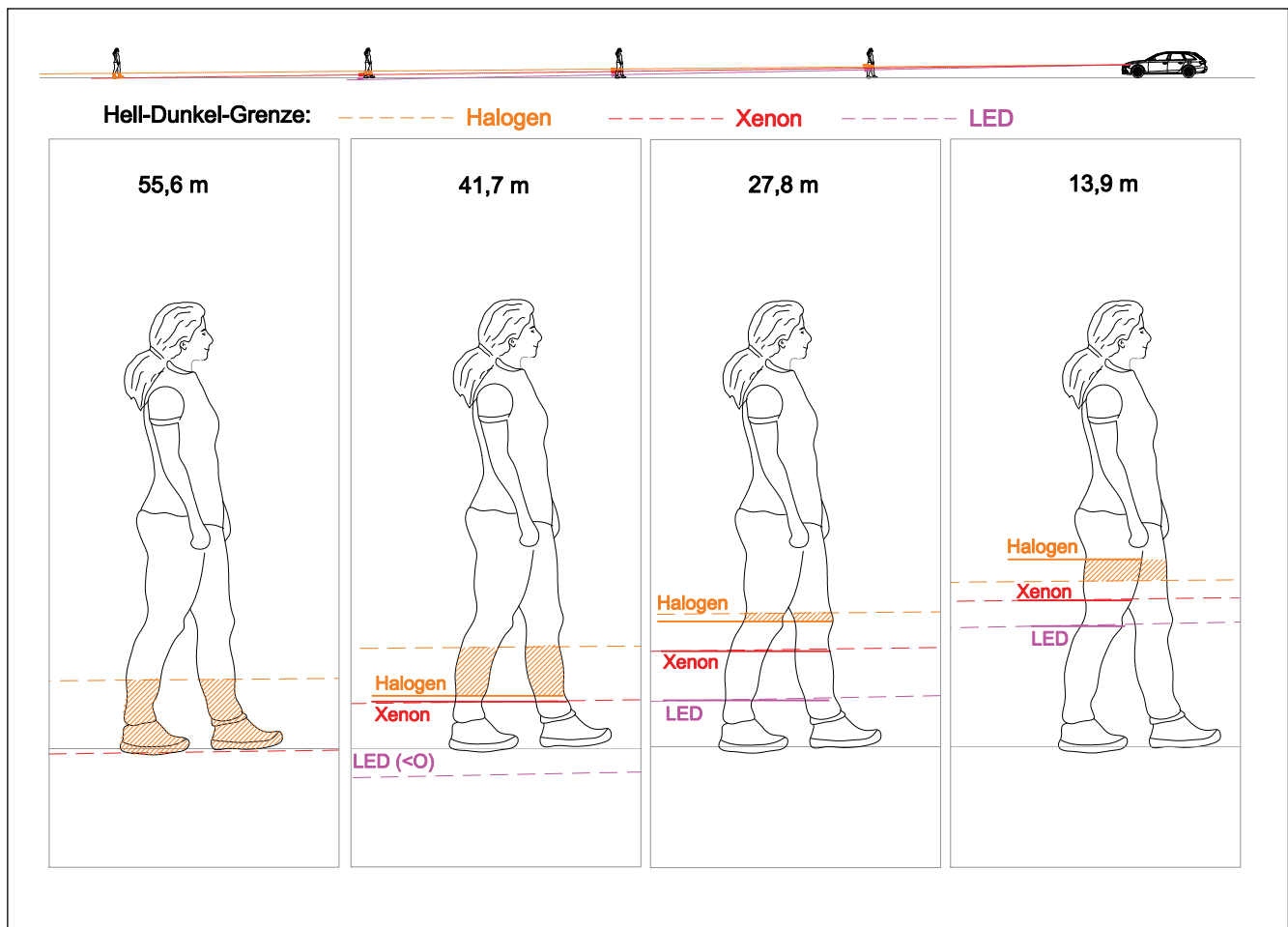


BILD 19: HDG des linken Scheinwerfers bei Halogen, Xenon und LED in einem Winkel von 5,8° zur Fahrzeuglängsachse

FIGURE 19: Cut-off of the left headlight with halogen, xenon and LED at an angle of 5.8° to the car's longitudinal axis

des linken Scheinwerfers geht hervor, dass die HDG des Xenon- und LED-Scheinwerfers aus der Verbindung der Oberkanten der direkt beleuchteten Fläche des Fußgängers gebildet werden kann. Es lässt sich nachvollziehen, dass ein von links kommender Fußgänger in einer Entfernung von etwa 42 m für den Autofahrer unter Nutzung von LED-Scheinwerfern nicht sichtbar ist, da die HDG bereits einige Meter zuvor einen Schnittpunkt mit der Fahrbahn aufweist und so die maximale Reichweite der linken Scheinwerferausleuchtung definiert.

Bei Halogenscheinwerfern wird zunächst in einer Entfernung von 13,9 m eine größere Fläche am Fußgänger beleuchtet, als diese durch die direkte Beleuchtung, also die HDG vorliegen kann. In einer Entfernung von 27,8 m entspricht die direkte Beleuchtung in

etwa der Lage der HDG und in 41,7 m Entfernung wird nur noch weniger Fläche vom Fußgänger beleuchtet, als es die HDG möglich machen würde. Der Unterschied der beleuchteten Fläche, die in der Zeichnung in Bild 19 schraffiert dargestellt wurde, lässt sich auf den großen Streulichtanteil des Halogenscheinwerferlichts zurückführen. In geringer Entfernung wird daher eine größere Fläche des Fußgängers durch zusätzliches Streulicht beleuchtet, dass oberhalb der HDG den Fußgänger erreicht und ausleuchtet. In größeren Entfernungen von 41,7 m reicht der Lichtstrom des Halogenscheinwerfers nicht mehr aus, um die durch die HDG vorgegebene Fläche noch zu beleuchten. Der tatsächlich beleuchtete Bereich am Fußgänger ist also geringer als dies durch den Verlauf der HDG möglich wäre.

Bild 20 zeigt den Verlauf der HDG für die einzelnen rechten Scheinwerfer der Halogen-, Xenon- und LED-Ausstattung. Eine Blendung des Gegenverkehrs nach rechts wird nicht betrachtet. Die HDG für den Xenonscheinwerfer, verläuft annähernd waagerecht. Für den Halogenscheinwerfer lässt sich keine klare HDG aus den Sichtfotos ablesen. Der Fußgänger wird über den ganzen Körper in etwa gleichmäßig beleuchtet, wobei die Intensität der Beleuchtung mit steigender Entfernung abnimmt. In der Zeichnung wurde dieser Effekt durch eine Abnahme der Dichte der Schraffur kenntlich gemacht.

4 Einfluss der Bekleidung

Die Auswertung zur Fußgängererkennbarkeit bei unterschiedlichen Scheinwerfersystemen zeigt, dass der Streu-

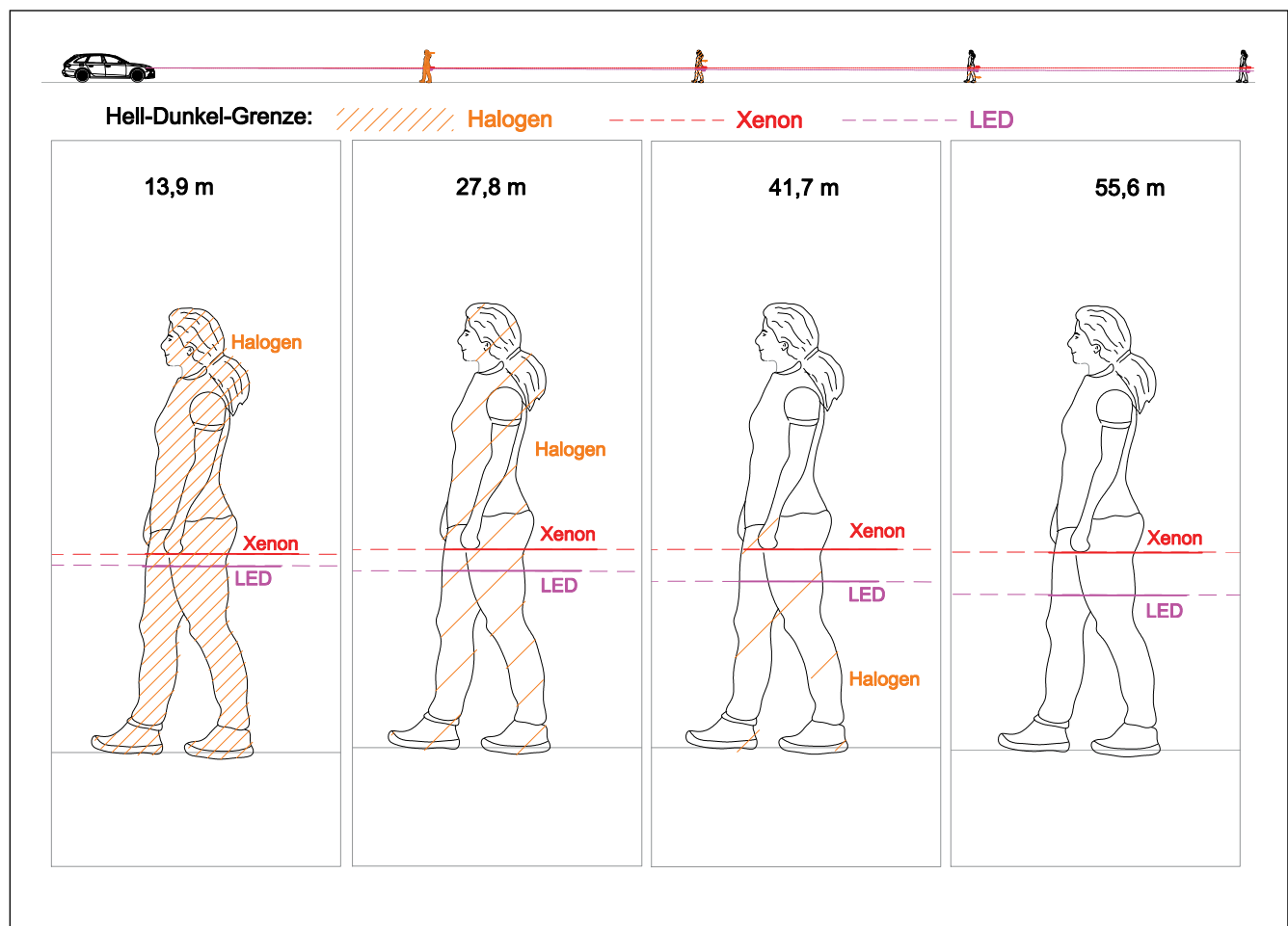


BILD 20: HDG des rechten Scheinwerfers bei Halogen, Xenon und LED in einem Winkel von 5,8° zur Fahrzeuglängsachse

FIGURE 20: Cut-off of the right headlight with halogen, xenon and LED at an angle of 5.8° to the car's longitudinal axis

lichtanteil der Scheinwerfer immer weiter verringert wurde. Dies führt zu einer schärfer definierten HDG und letztendlich zur Ausblendung des Oberkörpers bei der Fußgängererkennbarkeit (Bild 17), da die Erkennbarkeit nur noch über die direkte Beleuchtung der Beine des Fußgängers bestimmt wird.

Im Falle eines Halogenscheinwerfers können bessere Erkennbarkeiten des Fußgängers durch die Wahl einer hellen Oberkörperbekleidung erreicht werden, da die helle Oberkörperbekleidung aufgrund des emittierten Streulichts noch vor den direkt beleuchteten Beinen erkannt werden kann, siehe Bild 13. Bei Xenon- und LED-Scheinwerfern ist dies nur noch sehr eingeschränkt bzw. gar nicht mehr möglich, wie die Sichtfotos aus dem Fahrzeug auf den Fußgänger in Bild 11 und Bild 12 zeigen.

Ob die starke Reduzierung des Streulichts bei hochpreisigen Scheinwerfersystemen selbst reflektierende Kleidung am Oberkörper als zusätzliche Hilfe zur Fußgängererkennbarkeit „unbrauchbar“ macht, wurde mit einer mit LED-Licht ausgestatteten Mercedes E-Klasse T-Modell (Baureihe S212) untersucht, siehe **BILD 21**. Die dazu verwendete Warnjacke mit Reflektoren zeigt das **BILD 22**.

Bei der Versuchsdurchführung wurde das Licht des LED-Scheinwerfers im Abblendmodus betrieben und die Sicht aus dem Fahrzeug auf den Fußgänger in 10 m Abständen bis zu einer Entfernung von 120 m zur Fahrzeugfront entlang der Längsachsen der Scheinwerfer aufgenommen. In **BILD 23** sind die Sichteindrücke aus dem Fahrzeug für die Abstände von 10 bis 60 m und 110 beziehungsweise 120 m entlang der Achse des linken Scheinwerfers dargestellt. Es wird deutlich, dass der Fußgänger trotz des geringen Streulichtanteils des LED-Scheinwerfersystems durch die Warnweste auch in einer Entfernung von 120 m für den Autofahrer deutlich sichtbar ist.

Der Gebrauch von reflektierender Kleidung zur besseren Fußgängererkennbarkeit ist gerade unter Berücksichtigung der neuartigen Scheinwer-



BILD 21: Versuchsfahrzeug Mercedes S212 mit LED-Scheinwerfer

FIGURE 21: Mercedes S212 test car with LED headlights



BILD 22:
Warnjacke mit
Reflektoren

FIGURE 22:
High visibility
jacket with
reflectors

fersysteme umso sinnvoller geworden. Wie auch beim Audi A4-LED-Scheinwerfer wird beim Mercedes der Fußgänger durch die scharfe HDG in einer Entfernung von 40 m zum Fahrzeug nicht mehr direkt beleuchtet und wäre ohne Warnkleidung nicht mehr zu erkennen.

5 Adaptive Lichtsysteme

Die bisherige Auswertung der lichttechnischen Untersuchung zur Fußgängererkennbarkeit hat unter anderem gezeigt, dass es keine universelle Form des Lichtprofils eines Scheinwerfers gibt, bei dem Fußgänger immer gut erkannt werden können. Die Güte des Lichtprofils kann nur spezifisch beurteilt werden, wenn die Fahrzeug- und Bewegungsgeschwindigkeit des Fußgängers und die Kleidung bekannt sind. Bei geringen Pkw-Geschwindigkeiten kann durch einen größeren Öffnungswinkel des Lichtkegels (breites Lichtprofil) der Fußgänger frühzeitig erkannt werden. Bei hohen Annäherungsgeschwindigkeiten des Pkw wird ein schmales, weitreichendes Lichtprofil benötigt, da die gleiche Fußgänger-

geschwindigkeit jetzt relativ zur Pkw-Geschwindigkeit kleiner wird. Wird das Lichtprofil ausschließlich auf ein „Fahren auf Sicht“ optimiert, wäre ein Lichtprofil nur auf der vorausliegenden Spur des Pkw erforderlich, da nur statische Hindernisse erkannt werden müssen. Da sich die Geschwindigkeit des Pkw ständig ändert, stellt das Abblendlicht nur einen Kompromiss aus den vorherigen Überlegungen zur optimalen Lichtverteilung dar.

Verschiedene Hersteller haben aus diesem Grund adaptive Lichtsysteme entwickelt, bei denen unter anderem die Form des Lichtprofils der Fahrzeuggeschwindigkeit angepasst wird. Realisiert wird das Ganze beispielsweise durch einen Projektionsscheinwerfer, bei dem sich zwischen Leuchtmittel und Linse eine rotierende Walze befindet [1]. Voraussetzung ist ein Leuchtmittel, das hohe Lichtströme liefern kann, sodass sich nur Xenon- und LED-Scheinwerfer für ein derartiges adaptives Lichtsystem eignen.

Die scharfe Abgrenzung der HDG insbesondere beim LED-Scheinwerfersystem, die dazu führt, dass ein von links kommender Fußgänger nur bis

zu einer Entfernung von 27 m erkannt werden kann und der Oberkörper als Mittel bei der Fußgängererkennbarkeit ausgeblendet wird, ist durch ein geschwindigkeitsabhängiges Lichtprofil nicht behoben. Hersteller entwickeln hierzu einen Scheinwerfermodus, bei dem das Fernlicht dauerhaft eingeschaltet bleibt, die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer jedoch vermieden wird. Durch eine Frontkamera am Fahrzeug werden weitere Verkehrsteilnehmer erkannt und das Fernlicht in diesem Bereich automatisch ausgeblendet. Der ausgeblendete Bereich kann sich dabei dynamisch mit den Verkehrsteilnehmern bewegen.

Die Ausblendung von Verkehrsteilnehmern erfolgt beim Matrix-LED-Scheinwerfer über mehrere Reflektoren, die jeweils durch eine LED-Chip-Reihe beleuchtet werden können. So kann jeder Reflektor unabhängig voneinander beleuchtet und das Licht an dieser Stelle ebenfalls gedimmt werden. Bei einem Xenon-Scheinwerfersystem wird die Ausblendung durch mehrere Blenden erzeugt, die sich mechanisch im Scheinwerfer gegeneinander verschieben lassen.

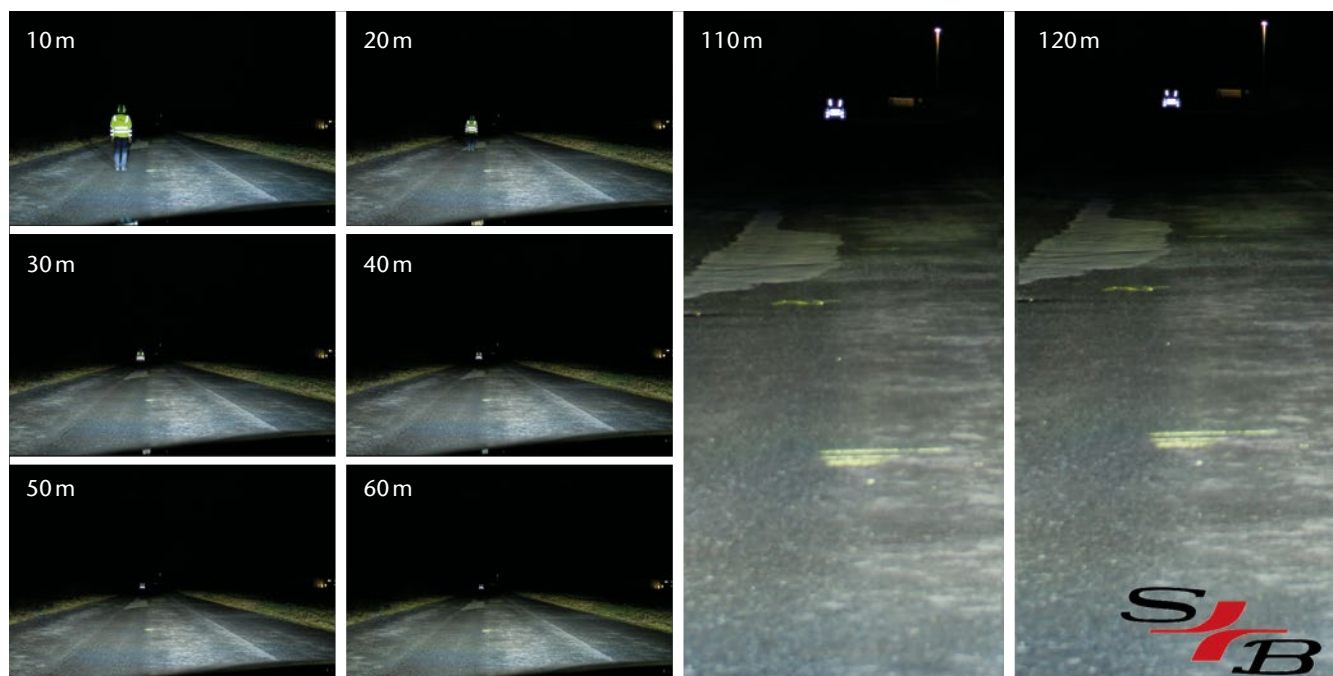


BILD 23: Sichteindruck aus dem Mercedes auf den Fußgänger – LED-Scheinwerfer im Abblendmodus betrieben

FIGURE 23: View of the pedestrian from the Mercedes with LED headlights on dipped beam

6 Führen Xenon- und LED-Scheinwerfersysteme zu einer besseren Fußgängererkennbarkeit?

Der Streulichteffekt ist ein wesentlicher Bestandteil der Fußgängererkennbarkeit mit Halogenscheinwerfern, sodass durch helle Oberkörperbekleidung die Fußgängererkennbarkeit verbessert werden kann. Durch die scharfe Abgrenzung der HDG, speziell beim LED-Scheinwerfersystem, wird die Blendung zusätzlich reduziert. Als unerwünschter Nebeneffekt wird dadurch die Fußgängererkennbarkeit eines von links kommenden Fußgängers drastisch verschlechtert, sodass dieser bereits ab einer Entfernung von 27 m nicht mehr vom Pkw-Fahrer erkannt werden kann. Der LED-Scheinwerfer sorgt in diesem Fall also nicht für eine bessere, sondern sogar teilweise für eine schlechtere Fußgängererkennbarkeit als der

Halogenscheinwerfer. Die Vorteile der neuen Scheinwerfersysteme können nur dann genutzt werden, wenn diese über ein adaptives Lichtsystem verfügen, was zum einen das Lichtprofil an die Fahrtgeschwindigkeit anpasst und zum anderen ein blendfreies Fernlicht möglich macht. Nur so wäre gewährleistet, dass Fußgänger bereits in Entfernungen erkannt werden können, die einem Pkw-Fahrer genug Zeit zur Reaktion oder dem Anpassen seiner Fahrweise ermöglichen.

Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass beispielsweise das blendfreie Fernlicht, das die Fußgängererkennbarkeit eines Xenon- oder LED-Scheinwerfersystems überlegen macht, im Allgemeinen erst außerorts oder auf nur gering bebautem beziehungsweise nicht zusätzlich beleuchtetem Gebiet betrieben werden kann. Vorher wird durch das Fahrzeug ein Aufblen-

den in den Fernlichtmodus verhindert, da gemäß StVO § 17 gilt: „Auf Straßen mit durchgehender, ausreichender Beleuchtung darf auch nicht mit Fernlicht gefahren werden“ [6]. In der Regel werden die Xenon- und LED-Scheinwerfer innerorts demnach im Abblendmodus betrieben, was einem statischen Fahrlicht und damit der zuvor untersuchten Fußgängererkennbarkeit entspricht. In diesem Fall liegt eine vergleichbare oder teilweise bessere Fußgängererkennbarkeit von Halogen gegenüber den technologisch neueren Scheinwerfersystemen vor.

Durch das Statistische Bundesamt wurde für das Jahr 2013 eine Statistik zum Zusammenstoß zwischen Fahrzeugen und Fußgängern erhoben [7]. Von den insgesamt 28.805 Unfällen ereigneten sich 95 % (27.426) Unfälle innerorts und 5 % (1379) außerorts. Der überwiegende Anteil der Fußgängerunfälle ereignet sich somit innerorts, bei dem eine vergleichbare oder schlechtere Fußgängererkennbarkeit mit den technologisch neuen Scheinwerfern vorliegt.

Die Untersuchung der Xenon- und LED-Scheinwerfersysteme zeigt, dass zur Beurteilung der Erkennbarkeitsentfernung eines Fußgängers nicht nur die Bewegungsgeschwindigkeiten der Unfallbeteiligten von Interesse sind, sondern auch die zum Unfallzeitpunkt aktiven Lichtassistenten. Weiterhin werden LTU erforderlich sein, da nicht vereinfacht davon ausgegangen werden kann, dass Fußgänger durch die neuen Lichtsysteme sichtbar sind. Es wird für die Zukunft vielmehr notwendig sein, mit Diagnosegeräten oder Ähnlichem in die Fahrzeugelektronik einzugreifen, um die dynamische Lichtveränderung bei der Fahrzeugannäherung an den Unfallort auch im statischen Fall bei einer LTU nachstellen zu können.

7 Zusammenfassung

Im zweiten Teil des Beitrags wurde die Fußgängererkennbarkeit in Abhängigkeit eines Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfersystems im gleichen Fahrzeugmodell eines Audi A4 untersucht und einander gegenübergestellt.



Je technologisch „hochwertiger“ das Scheinwerfersystem ist, desto breiter wird die beleuchtete Fläche im Nahbereich. Während Xenon- und insbesondere Halogenscheinwerfer im Audi A4 B8 über ein eher symmetrisches Scheinwerferprofil verfügen, ist die Ausrichtung des LED-Scheinwerferprofils deutlich asymmetrisch nach rechts gerichtet, sodass in einer Entfernung von 70 m zur Fahrzeugfront eine Beleuchtungsstärke von weniger als 1 lx auf der Fahrzeughängsachse gemessen werden konnte. Durch den hohen Lichtstrom, die die Xenon- und LED-Scheinwerfer liefern können, ist trotz großem Öffnungswinkel des Lichtkegels eine große „Reichweite“ möglich.

Von rechts kommende Fußgänger können mit Xenon-Scheinwerfern bereits in einer Entfernung von 70 m erkannt werden. Bei LED und Halogen liegen die Erkennbarkeitsgrenzen bei 56 beziehungsweise 44 m. Zur Vermeidung der Blendung des Gegenverkehrs ist die Fußgängererkenntbarkeit auf der linken Fahrzeugseite bei Xenon- und insbesondere LED-Scheinwerfern deutlich eingeschränkt. Können von links kommende Fußgänger mit Halogen bereits in einer Entfernung von 42 m erkannt werden, so zeigen sich für Xenon und LED geringere Erkennbarkeitsentfernungen (38 beziehungsweise 27 m). Aus der Gegenüberstellung der Sichteindrücke aus dem Fahrzeug auf den Fußgänger und der Aufteilung der Erkennbarkeitsgrenze nach Oberkörper und Beinen wird deutlich, dass der

Streulichtanteil der Scheinwerfer von Halogen über Xenon bis zu LED immer weiter verringert wurde. Dies führt zu einer schärfer definierten HDG und letztendlich zur Ausblendung des Oberkörpers bei der Fußgängererkenntbarkeit, da die Erkennbarkeit hauptsächlich über die direkte Beleuchtung der Beine des Fußgängers bestimmt wird. Reflektierende Kleidung und Straßenschilder lassen sich aber nach wie vor selbst mit den streulichtarmen LED-Scheinwerfern problemlos in größerer Entfernung erkennen.

Der Streulichteffekt trägt nur bei Halogenscheinwerfern signifikant zur Fußgängererkenntbarkeit bei, sodass die Fußgängererkenntbarkeit bei Xenon- und LED-Scheinwerfersystemen durch adaptive Lichtsysteme verbessert werden muss. Durch ein geschwindigkeitsabhängiges Lichtprofil und das blendfreie Fernlicht ist es mit diesen Scheinwerfern möglich, Fußgänger auch auf der linken Fahrzeugseite in größerer Entfernung erkennen zu können, sodass hier eine klare Überlegenheit zum herkömmlichen Halogenscheinwerfer vorliegt. Allerdings sollte berücksichtigt werden, dass blendfreies Fernlicht in der Regel innerorts nicht zum Einsatz kommt, Fußgängerunfälle hauptsächlich innerorts passieren und die Fußgängererkenntbarkeit dann mit neuen Scheinwerfersystemen gegenüber Halogenscheinwerfern keinen Vorteil bietet.

Die Untersuchung der neuen Scheinwerfersysteme mit Xenon und LED

zeigt, dass aus technischer Sicht somit adaptive Systeme erforderlich sind, um innerorts eine bessere Fußgängererkenntbarkeit zu gewährleisten. Durch die Lichtassistenten wird es in Zukunft notwendig sein, in die Fahrzeugelektronik einzugreifen, um die dynamische Lichtveränderung bei der Fahrzeugannäherung im Rahmen einer LTU nachstellen zu können.

Literaturhinweise

- [1] <http://www.hella.com>.
- [2] A. Kortmann, T. Hoyer, Fußgängererkenntbarkeit mit Halogen, Xenon und LED: „der Streulichteffekt“ (Teil 1), VKU 1/2017.
- [3] www.wikipedia.org
- [4] Licht für die Sicht – Scheinwerfertechnik und Glühlampenwechsel, Fahrzeug + Karosserie 8/2016.
- [5] K. Schmedding, M. Becke, Das SBU-Diagramm und die Bestimmung von Erkennbarkeitsentfernungen mit Hilfe des SI-Diagramms, VKU 28 (1990).
- [6] StVO § 17 (2).
- [7] Statistisches Bundesamt, Verkehrsunfälle 2013, 7/2014.

Pedestrian detection with halogen, xenon and LED headlights: "the light scatter effect" (part 2)

Drivers' ability to detect pedestrians depends not only on the power and range of their headlights. Another important factor is the "light scatter". Can pedestrians be detected more quickly with more expensive xenon and LED headlights than they can with low-cost halogen headlamps? Is it possible to bring about a significant improvement by changing the bulbs in halogen headlights?

With the aim of answering these questions, light tests were carried out using an Audi A4 with halogen, xenon and LED lights and with a variety of bulbs in the halogen headlights. These tests were covered in the first part of the article. This second part concerns the question of whether pedestrians are easier to detect with xenon or LED systems than with halogen headlights. The results clearly demonstrate the limits of new headlight designs and the need for adaptive lighting systems.

***Autoren**

*Dipl.-Phys. Annika Kortmann ist Sachverständige für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro S+B in Münster.
Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. Tim Hoyer ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro S+B in Münster.* ::