

Untersuchung des Einflusses der Vorfeld- und Seitenausleuchtung automobiler Scheinwerfer auf die Erkennbarkeitsentfernung von Sehobjekten

Autoren: Christian Jebas, Karsten Klinger, Uli Lemmer

1 Einleitung

Die persönliche Mobilität besitzt einen größeren Stellenwert als je zuvor. Der Bestand an Kraftfahrzeugen in Deutschland wächst wie Abbildung 1 dargestellt zunehmend [Kraftfahrtbundesamt]. Eine hohe Sicherheit der Verkehrsteilnehmer trotz steigender Verkehrsdichte sollte oberste Priorität besitzen. Neben den passiven Sicherheitssystemen ist es notwendig, die aktive Sicherheit der Fahrzeuge zu verbessern. Besondere Aufmerksamkeit gilt hier der Verringerung des bislang noch verhältnismäßig hohen Anteils der Unfallzahlen bei Nacht.

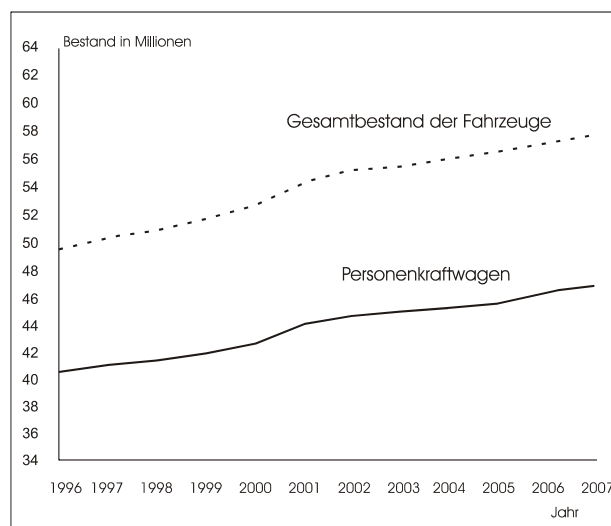


Abbildung 1: Bestand an Kraftfahrzeugen in Deutschland;

Datenquelle: Kraftfahrtbundesamt

Aktuellen Studien zufolge ereignen sich etwa 40 % aller Verkehrsunfälle während einer Nachtfahrt, obwohl der Anteil dieser Fahrten lediglich 20 % der Gesamtfahrleistung entspricht [Weid06]. Somit erhöht sich das Gefahrenpotential, nachts in einen

Verkehrsunfall verwickelt zu werden, im Vergleich zur Tagfahrt annähernd um den Faktor drei.

Die Verkehrssicherheit bei Nacht wird wesentlich durch die Scheinwerfer eines Fahrzeuges bestimmt. Sie dienen primär der Ausleuchtung des Verkehrsraumes für den Fahrer. Sekundär erzeugen sie ein charakteristisches Signalbild des Fahrzeuges zur eindeutigen Identifikation durch andere Verkehrsteilnehmer.

In Hinsicht auf die Ausleuchtung des Verkehrsraumes ist die Frage nach der optimalen Verteilung des zur Verfügung stehenden Lichtstromes von hoher Wichtigkeit. Diese wird maßgeblich durch umfeld- bzw. fahrzeug- und personenspezifische Faktoren bestimmt. Umfeldspezifische Faktoren sind Witterungseinflüsse, Straßengeometrien oder auch die Lage anderer Verkehrsteilnehmer. Als fahrzeugspezifische Faktoren gehen die Fahrzeuggeometrie und die Fahrdynamik in die Betrachtung ein. Personenspezifische Faktoren betreffen in erster Linie sinnesphysiologische Parameter, wie beispielsweise die spektrale Hellempfindlichkeit des visuellen Systems.

Aktuelle Scheinwerferkonzepte berücksichtigen bereits einige dieser genannten Faktoren. Als klassisches Beispiel dient die Abblendlichtverteilung mit der bekannten Hell-Dunkel Grenze. Ihre Form resultiert aus der Lage der entgegenkommenden Verkehrsteilnehmer und berücksichtigt folglich einen umfeldspezifischen Faktor. So ist die Reichweite des Abblendlichtes auf der Gegenfahrbahn im Vergleich zur eigenen Fahrbahnseite kürzer, um die Blendung zu verringern. Ein anderer Parameter des Umfeldes, die Witterungsbedingungen, ist die Basis für die Form der Nebellichtverteilung. Hier sorgt eine breite, flache Verteilung des Lichtstromes für eine bessere seitliche Orientierung bei Nebel, ohne eine Blendung des Fahrzeugführers durch das Streulicht der eigenen Scheinwerfer zu verursachen.

Ziel der Entwicklung ist das Konzept einer Lichtverteilung, welche alle der aufgeführten Parameter berücksichtigt. Es wird schnell deutlich, dass aufgrund vieler ständig wechselnder Faktoren das Scheinwerfersystem in der Lage sein muss, die Lichtverteilung zu modulieren. Zukünftige Modelle sollten daher je nach Witterung, Straßengeometrie oder Geschwindigkeit eine angepasste Lichtverteilung zur Verfügung stellen.

Als wichtige Eingangsgröße zeitgemäßer Lichtverteilungen wird in diesem Expose ein Teil der Funktion des visuellen Systems betrachtet. In einer Studie des Lichttechnischen Institutes in Karlsruhe wurde der Einfluss unterschiedlich heller Vorfeld- und Seitenausleuchtungen auf die Erkennbarkeitsentfernung von Objekten im Straßenverkehr

untersucht. Ziel dieser Untersuchung ist die Ableitung von Zielgrößen für die Ausleuchtung des Bereiches direkt vor und seitlich des Fahrzeuges auf der Basis der Eigenschaften des Adaptationsprozesses des Auges. Im Folgenden werden Grundlagen der Physiologie, die Durchführung und die Ergebnisse dieser Studie dargestellt.

2 Adaptation und Streulichttheorie

Der Adaptationsprozess ist ein wichtiger Bestandteil der Funktion des visuellen Systems. Er gewährleistet die Anpassung an wechselnde Umfeldleuchtdichten. Man kann vier Einzelprozesse nennen, die der Adaptation dienen und unterschiedlich starke Auswirkungen haben. Als wohl bekanntester Prozess ist die Änderung des Pupillendurchmessers zu nennen. Weniger bekannt ist der Übergang vom Zapfen- auf das Stäbchensehen, die Empfindlichkeitsänderung der Zapfen und Stäbchen, sowie der Zusammenschluss mehrerer Stäbchen zu einem Empfindungselement. Die stärkste Wirkung geht von der Empfindlichkeitsanpassung der Zapfen und Stäbchen aus. Diese wird durch eine Änderung des Verhältnisses von Reduktion und Regeneration des Sehstoffes (Rodopsin) erreicht.

Der Adaptationszustand richtet sich nach der vorliegenden Umfeldleuchtdichte. Ist diese homogen, kommt es zu einer optimalen Anpassung des visuellen Systems. In der Regel weist die Umfeldleuchtdichte jedoch lokale Unterschiede auf, woraus eine negative Beeinflussung des Adaptationsniveaus resultieren kann. Befindet sich beispielsweise eine Lichtquelle im Gesichtsfeld, kann durch das im Augeninneren erzeugte Streulicht der Störlichtquelle ein Schleier auf der Netzhaut erzeugt werden (Abbildung 2). Das Auge adaptiert in diesem Fall auf ein höheres Leuchtdichteniveau, obwohl die Umfeldleuchtdichte geringer ist. Man spricht von der so genannten Schleierleuchtdichte, welche die Sehfunktion beeinträchtigen kann. Liegt eine messbare Beeinträchtigung der Sehleistung vor, spricht man von physiologischer Blendung, ist die Blendung dagegen subjektiv und die Beeinträchtigung der Sehleistung nicht messbar, liegt eine psychologische Blendung vor.

Die Erzeugung von Streulicht im Augeninneren ist auf Streuzentren zurückzuführen, die sich in unterschiedlicher Anzahl in den brechenden Medien des Auges befinden. Streuzentren sind beispielsweise Einschlüsse oder auch durchsichtige Stellen anderer Brechzahl, die das Licht diffus ablenken und zu der beschriebenen Schleierleuchtdichte führen. Aufgrund dessen wird diese Theorie als Streulichttheorie bezeichnet.

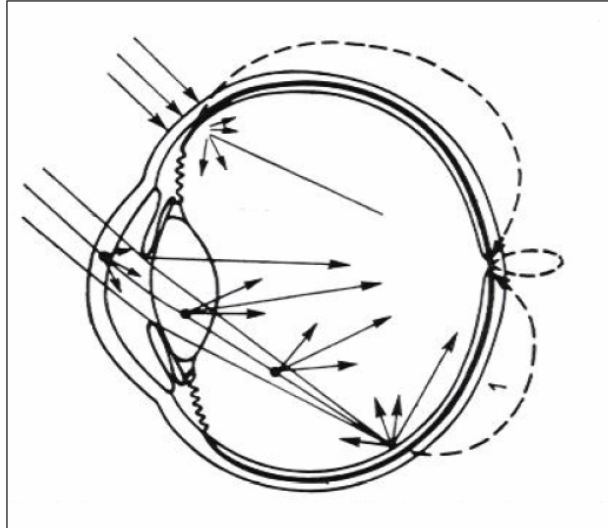


Abbildung 2: Entstehung von Streulicht im Augapfel [Man06]

Im Zusammenhang mit der Lichtverteilung eines automobilen Scheinwerfers stellt sich die Frage, ob besonders hell ausgeleuchtete Bereiche vor dem Fahrzeug aufgrund des potentiell geänderten Adaptationsniveaus eine messbare Beeinträchtigung der Sehfunktion im Straßenverkehr verursachen. Möglicherweise führt eine physiologische Blendung zu einer herabgesetzten Erkennbarkeit entfernter Objekte, wie beispielsweise Fußgänger. Neben einem messbaren Einfluss könnte sich ferner eine psychologische, d.h. eine subjektive Blendung, nachteilig auf die Verkehrssicherheit auswirken.

Dem fotometrischen Entfernungsgesetz zufolge sinkt die Beleuchtungsstärke mit dem Quadrat des Abstandes einer Lichtquelle zu seinem Empfänger. Bedingt durch den geringen Abstand zum Fahrzeug können die Beleuchtungsstärke und somit auch die wahrgenommene Leuchtdichte der Vorfeld- bzw. Seitenausleuchtung besonders hohe Werte annehmen. Die beschriebene Fragestellung ist daher insbesondere auf diese Bereiche anzuwenden.

3 Durchgeführte Untersuchung

In dynamischen Untersuchungen wurde der Einfluss der Intensität der Vorfeld- und Seitenausleuchtung auf die Erkennbarkeitsentfernung von Sehzeichen im realen Straßenverkehr untersucht.

Zu diesem Zweck wurde am Lichttechnischen Institut in Karlsruhe eigens ein spezieller Forschungsscheinwerfer, bestehend aus 128 High-Power LEDs, entwickelt. Die spezielle

Konstruktion des Scheinwerfers ermöglicht eine Ausrichtung der Dioden zur gezielten Ausleuchtung definierter Bereiche der Fahrbahn. Durch eine pulsweitenmodulierte Ansteuerung kann der Lichtstrom der einzelnen LEDs und somit auch die Beleuchtungsstärke der einzelnen Fahrbahnbereiche variiert werden.

Insgesamt zehn Probanden absolvierten jeweils vier Fahrten auf einer mit Sehzeichen präparierten Teststrecke. Als Referenz wurden zunächst die Erkennbarkeitsentfernungen mit einer der traditionellen Abblendlichtverteilung ähnlichen Grundlichtverteilung aufgenommen. Die ermittelten Daten wurden mit den Erkennbarkeitsentfernungen verglichen, die mit einem zusätzlich beleuchteten Vorfeld, einem zusätzlich beleuchteten Seitenbereich und einer Kombination der beiden Lichtverteilungen eruiert wurden. Dabei wurde die Intensität der Vorfeldausleuchtung um den Faktor zwei, die Intensität der Seitenausleuchtung um den Faktor vier erhöht.

Als Sehzeichen dienten quadratische, graue Tafeln, welche am Fahrbahnrand in zwei verschiedenen Anbauhöhen aufgestellt wurden, um hohe und niedrige Gefahrenobjekte zu simulieren.

Neben der Ermittlung der Erkennbarkeitsentfernung wurde eine subjektive Einschätzung der Probanden mithilfe von Fragebögen aufgenommen

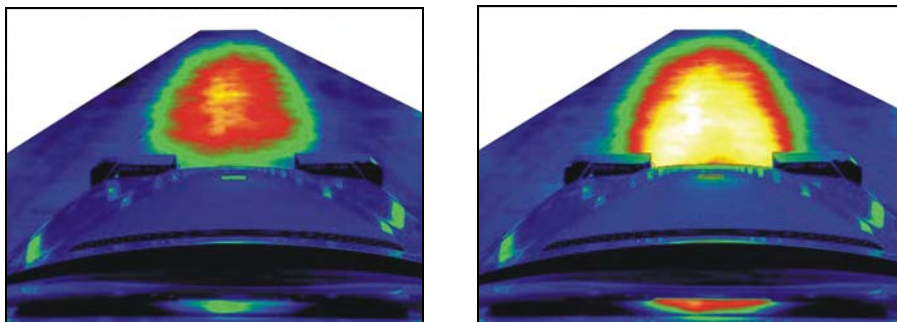


Abbildung 3: Grundlichtverteilung ohne (links) und mit (rechts) zusätzlicher Vorfeldausleuchtung

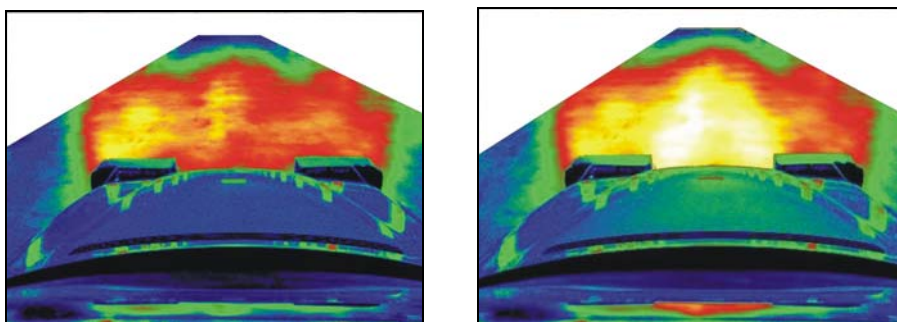


Abbildung 4: Grundlichtverteilung mit zusätzlicher Seitenausleuchtung (links) und mit zusätzlicher Vorfeld- und Seitenausleuchtung (rechts)

4 Ergebnisse

Die Annahme, eine besonders helle Ausleuchtung im Vorfeld- und Seitenbereich automobiler Scheinwerfer führt aufgrund des geänderten Adaptationszustandes zu einer Verringerung der Erkennbarkeitsentfernung von Sehobjekten, konnte widerlegt werden. Eine vermutete Beeinträchtigung der Verkehrssicherheit bei einer Erhöhung der Leuchtdichte in den genannten Zonen wurde nicht nachgewiesen.

Dennoch besteht eine Abhängigkeit der Erkennbarkeitsentfernung von der Intensität der Vorfeld- und Seitenausleuchtung. Die Erhöhung der Leuchtdichte um den Faktor 2 im Bereich des Vorfeldes führte zu einer Erhöhung der Erkennbarkeitsentfernung um bis zu 14 %. Bei einer Erhöhung der Leuchtdichte im Seitenbereich um den Faktor 4 konnte ebenfalls eine Erhöhung der Erkennbarkeitsentfernung um bis zu 10 % nachgewiesen werden.

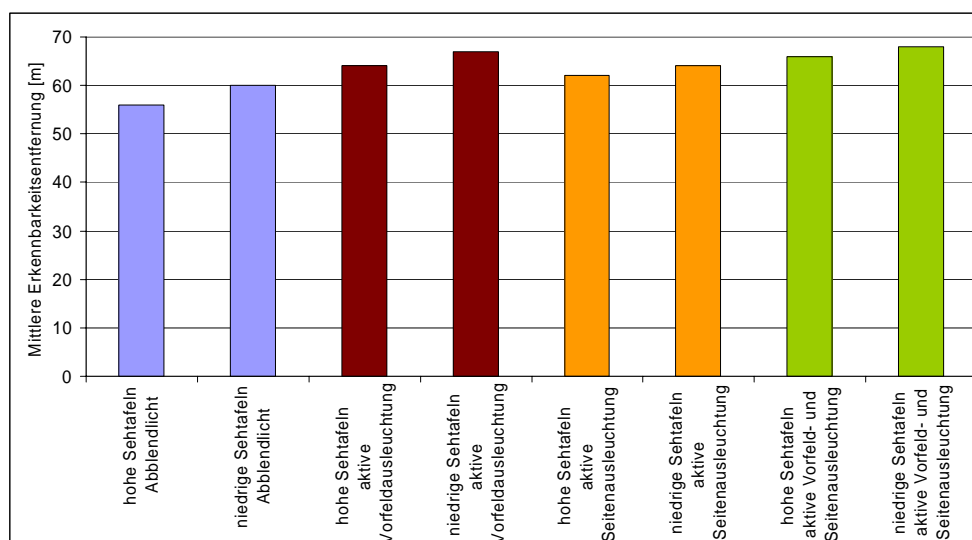


Abbildung 5: Im Versuch ermittelte Erkennbarkeitsentfernungen in Abhängigkeit der verwendeten Lichtverteilung

Der Anstieg der Erkennbarkeitsentfernung ist auf die höhere Leuchtdichte der Sehzeichen bei Zuschaltung der Vorfeld- bzw. Seitenausleuchtung zurückzuführen. Der damit verbundene gesteigerte Kontrast der Tafeln zum Umfeld ermöglichte eine entsprechend frühere Erkennung. Der Einfluss des beschriebenen Kontrastanstieges auf die untersuchte Erkennbarkeitsentfernung ist demnach größer, als der Einfluss des geänderten Adaptationsniveaus. Ergänzend zu dieser Studie gilt es zu prüfen, ob die Erhöhung der Leuchtdichte auf den Sehzeichen durch das von der Fahrbahn reflektierte Licht der Vorfeld- und Seitenausleuchtung verursacht wurde oder durch vom Scheinwerfer

emittiertes Streulicht. Eine bereits in Planung befindliche Untersuchung wird diese Fragestellung klären.

In Hinblick auf die subjektive Einschätzung der Testpersonen durch Fragebögen können folgende Aussagen getroffen werden. Die Testpersonen konnten Unterschiede in den getesteten Lichtverteilungen deutlich wahrnehmen und halten eine Anpassung an gegebene Verkehrssituationen für sinnvoll. Das Sicherheitsgefühl der Personen hängt von der entsprechenden Lichtverteilung in einer bestimmten Situation ab. Auf geraden Streckenabschnitten wurde eine Lichtverteilung mit einer hellen Vorfeldbeleuchtung bevorzugt. Das weitere Zuschalten der Seitenausleuchtung hatte in diesem Fall keinen wesentlichen Einfluss auf die Probanden. Auf kurvigen Streckenabschnitten wird eine Lichtverteilung mit heller Seitenausleuchtung bevorzugt. Das Zuschalten der Vorfeldbeleuchtung zeigt hier kaum Auswirkungen auf das Empfinden. Eine Lichtverteilung ohne Vorfeld- und Seitenausleuchtung wird generell als zu dunkel eingeschätzt.

5 Fazit

Die durchgeführte Untersuchung konnte potentielle Nachteile einer hellen Vorfeld- und Seitenausleuchtung für den Fahrzeugführer widerlegen. Die Ergebnisse stellen eine weitere wichtige Grundlage für die Entwicklung neuer Scheinwerferkonzepte dar.

Weiterführend zu dieser Studie ist es ferner notwendig, den Einfluss der untersuchten Lichtverteilungen auf andere Verkehrsteilnehmer zu untersuchen.

6 Literatur

- [Jeb06] JEBAS, CHRISTIAN: Untersuchung des Einflusses der Vorfeld- und Seitenausleuchtung auf die Erkennbarkeitsentfernung von Sehobjekten, Diplomarbeit, Fachhochschule Jena, 2006
- [Man06] MANZ, KARL: Licht und Displaytechnik, Die Blendung, Präsentation zur Vorlesung, 2006
- [Wei06] WEIDENHAMMER, PETER: Klare Sicht selbst im Gegenlicht, VDI Nachrichten, S. 09, 04/2000