

1 Einleitung

Die visuelle Wahrnehmung spielt im Straßenverkehr eine gravierende Rolle. Nach Trotter [Trot78] werden rund 90 % aller Informationen unserem Gehirn über die Augen bereitgestellt. Wenn sich die Sicht verschlechtert, so geht das zur Lasten der Sicherheit. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sich jeder zweite Unfall auf die Defizite der visuellen Wahrnehmung zurückführen lässt [Cohe87].

Besonders nachts, wenn die Sicht beeinträchtigt ist, steigt das Unfallrisiko deutlich an. Zu dieser Tageszeit ereignen sich 47 % aller tödlichen Unfälle [Lang97]. Dabei wird nur knapp ein Viertel der gesamten Fahrleistung nachts erbracht [Schw03]. Besonders für Fußgänger ist die Unfallwahrscheinlichkeit nachts auf unbeleuchteten Landstraßen fast siebenmal höher als tagsüber [Flan03]. Um dem Fahrer eine bessere Sicht zu ermöglichen und so das Unfallrisiko für alle zu senken, ist die Erforschung und Entwicklung besserer Scheinwerfersysteme notwendig.

1.1 Die Rolle von Abblendlicht und Fernlicht

Das Fernlicht ist historisch gesehen das eigentliche Fahrlicht. Das Abblendlicht soll hingegen „nur“ im Falle einer möglichen Blendung anderer eingesetzt werden. Die niedrige Verkehrsdichte in den Anfängen des Automobils ermöglichte eine häufige Verwendung des Fernlichtes, das somit zu Recht als Fahrlicht bezeichnet wurde. Nicht umsonst wird das Fernlicht im englischsprachigen Raum auch „driving beam“ oder „main beam“ genannt. Mit der steigenden Verkehrsdichte nahmen jedoch die Verwendung und so auch die Bedeutung des Abblendlichtes zu.

Das Abblendlicht soll dem Fahrer eine bestmögliche Ausleuchtung gewährleisten und gleichzeitig eine Blendung anderer Verkehrsteilnehmer verhindern. Eine bessere Ausleuchtung kann mit mehr Licht erzielt werden, allerdings wird damit in der Regel auch die Blendung erhöht und stellt somit den zentralen Zielkonflikt in der automobilen Lichttechnik dar [Manz97]. Mehr Licht oberhalb des Abblendlichtes bietet einen erheblichen Mehrnutzen [Völk06]. Bereits eine geringe Erhöhung der Beleuchtungsstärke in diesem Bereich führt bei Abblendlicht zu einem erheblichen Anstieg der Erkennbarkeitsentfernung. Das Fernlicht weist in diesem Bereich deutlich höhere Beleuchtungsstärken und so auch größere Erkennbarkeitsentfernungen auf.

Da mit Fernlicht dem Fahrer eine bessere Sicht als mit Abblendlicht ermöglicht wird, stellt sich somit die Frage, warum stets an adaptiven Abblendlichtsystemen und nicht an adaptiven Fernlichtsystemen gearbeitet wird. Die Ursache dafür ist die seltene Verwendung des Fernlichtes, wodurch die Wichtigkeit des Abblendlichtes anstieg. Daher wurde hauptsächlich das Abblendlicht mit neuen Lichtfunktionen optimiert, anstatt die Fernlichtverwendung zu erhöhen.

Nach einer amerikanischen Studie wird das Fernlicht heutzutage nur in ca. 3 % aller Fälle verwendet, in den restlichen 97 % ist das Abblendlicht mit seiner deutlich geringeren Erkennbarkeitsentfernung eingeschaltet [Meff07]. Für Europa ist dieses Verhältnis mit 95 % Abblendlichtverwendung ähnlich gewichtet [Hamm00]. Die geringe Fernlichtverwendung wird nicht nur alleine durch die gestiegene Verkehrsbelastung, sondern auch durch menschliche Schwächen verursacht. Viele Leute sind zu bequem oder vergessen schlichtweg wieder aufzublenden [Rosl05]. Zudem blenden viele Fahrer früher ab als notwendig und besonders ältere Personen haben Angst, nicht rechtzeitig abblenden zu können.

Als einen ersten Schritt in Richtung adaptive Fernlichtsysteme ist der Fernlichtassistent¹ (FLA) zu sehen, der das Auf- und Abblenden automatisiert. Der Fernlichtassistent soll gerade durch seine Automatisierung die menschlichen Schwächen kompensieren und so die Fernlichtverwendung um einen Faktor von vier erhöhen [Meff07].

1.2 Das blendfreie Fernlicht

Der Fernlichtassistent ist ein erster und sehr wichtiger Schritt. Er hat aber immer noch den Nachteil, dass im Begegnungsprozess die eigene Sicht durch das Abblenden minimiert wird². Um die Sicherheit bei Fahrten in Dunkelheit zu erhöhen, wird ein System benötigt, das folgende Herausforderungen löst:

- die Erhöhung der geringen Fernlichtverwendung,
- die Kompensierung der menschlichen Schwächen,
- die Kompensierung der gestiegenen Verkehrsdichte sowie
- den Zielkonflikt zwischen
 1. der bestmöglichen Sicht für den Fahrer und
 2. keiner Blendung anderer Verkehrsteilnehmer.

Das blendfreie Fernlicht löst diese teils sehr kontroversen Anforderungen. Es ermöglicht dem Fahrer eine optimale Sicht bei Fernlichtniveau. Gleichzeitig vermeidet es die Blendung anderer Verkehrsteilnehmer durch eine automatische selektive Entblendung.

Technisch kann dies mit einem LED-Scheinwerfer umgesetzt werden, dessen Lichtverteilung in verschiedene Sektoren unterteilt ist. Jede LED-Einheit leuchtet hierbei ein anderes Segment aus und ist einzeln ansteuerbar. Über ein Kamerasystem werden andere Verkehrsteilnehmer erkannt und nur die Segmente entblendet, die auch tatsächlich blenden können. Der Rest des Lichtes bleibt dem Fahrer erhalten (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).

¹ Cadillac bot bereits in den 60ern einen Fernlichtassistenten „Autronic Eye“ an. Allerdings brachte dieser einen erheblichen Justageaufwand mit sich. Daher konnte sich der FLA damals nicht durchsetzen.

² Bereits 1970 stellte Rumar gerade diesen Kompromiss zwischen bestmöglicher Ausleuchtung und der Entblendung anderer in Frage [Ruma70]. Er untersuchte später, welchen Einfluss unterschiedliche Intensitäten des Fernlichtes auf die Blendung haben [Ruma01a]. Erstaunlich ist, dass sich bei einer Begegnung zweier Fahrzeuge mit je eingeschaltetem Fernlicht für beide Fahrer im Mittel höhere Erkennbarkeitsentfernungen ergeben.

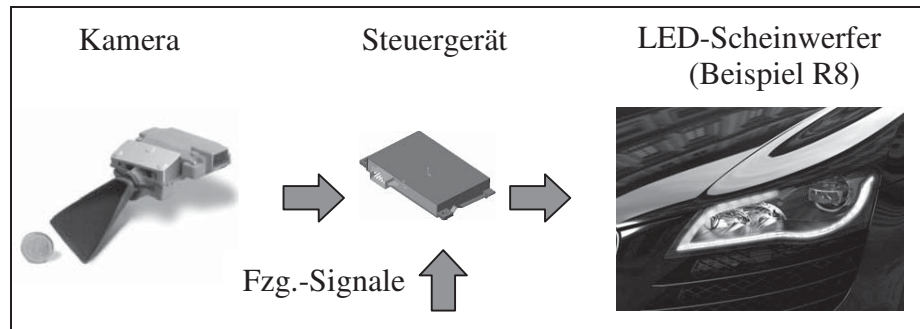


Abbildung 1 Funktionsprinzip eines blendfreien LED-Fernlichtes (Matrix-Beam)

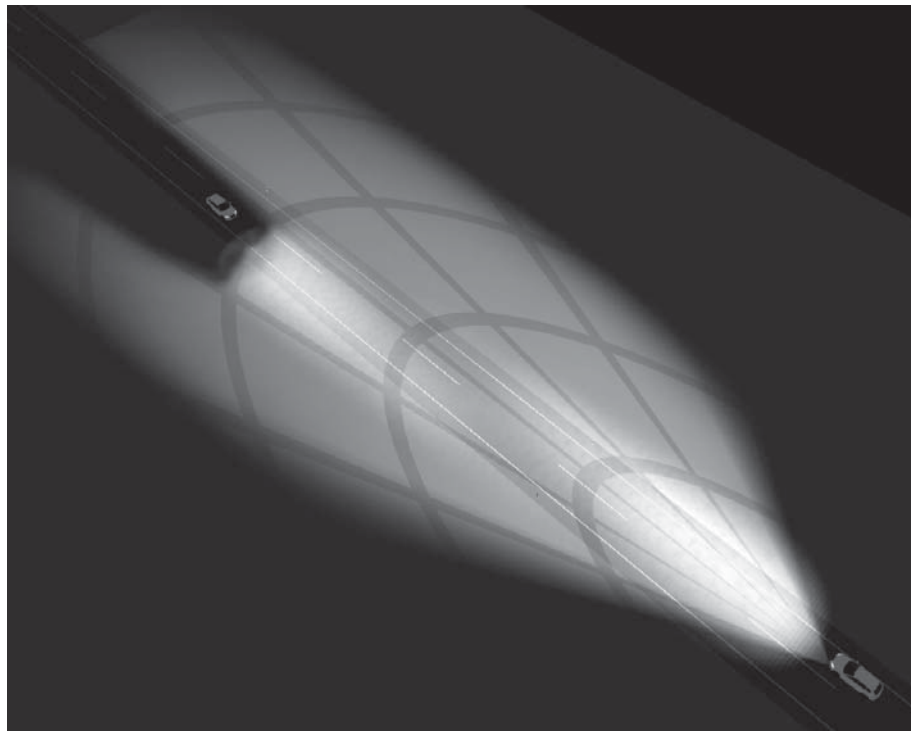


Abbildung 2 Visualisierung des blendfreien LED-Fernlichtes aus der Vogelperspektive

Mit der LED-Technologie gibt es nun eine reelle Chance, das blendfreie Fernlicht ohne Blenden oder ähnliche Licht subtrahierende Methoden sinnvoll umzusetzen. Für die LED als Lichtquelle bietet sich nun mit dem blendfreien LED-Fernlicht (Matrix-Beam) die Möglichkeit, sich von ihrer Rolle als reine Substitutionslichtquelle mit Designvorteilen und sich auch von herkömmlichen Lichtquellen durch eine technisch einzigartige Lösung abzuheben.

2 Aufgabenstellung

2.1 Hintergrund

Das blendfreie LED-Fernlicht, Matrix-Beam, beschreibt ein automobiles Scheinwerfersystem, das in der konsequenten Weiterentwicklung des Fernlichtassistenten seinen Ursprung hat. Seine wesentlichen Bestandteile sind:

- LED-Scheinwerfer,
- Kamerasensorik und
- Ansteuerelektronik.

Die Lichtverteilung des LED-Scheinwerfers ist in Lichtsegmente unterteilt. Jedes Lichtsegment wird von einer oder mehreren LEDs ausgeleuchtet, die wiederum individuell ansteuerbar sind.

Die Kamerasensorik detektiert Verkehrsteilnehmer, die entblendet werden sollen, und leitet die Position dieser Objekte an die Ansteuerelektronik weiter.

Die Ansteuerelektronik vergleicht diese übermittelte Position der erkannten Objekte mit der der Lichtsegmente. Sie schaltet gezielt nur die LEDs aus, in deren Lichtsegmenten sich Objekte befinden und so blenden würden. Die restlichen Lichtsegmente des Fernlichts bleiben dem Fahrer erhalten und erhöhen so dessen Sicht ohne Blendung anderer.

2.2 Ziel dieser Arbeit

Durch Bauraum, Thermomanagement und Designanforderungen ist die Anzahl der LEDs und so auch die der Lichtsegmente eines blendfreien LED-Fernlichtes (Matrix-Beam) begrenzt. Ebenso ist die Wirkung des Systems auf den Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer unbekannt.

Es soll erarbeitet werden, inwiefern sich die Anzahl der Lichtsegmente auf den Nutzungsgrad eines Matrix-Beam-Scheinwerfers auswirkt. Dazu muss zunächst der Nutzungsgrad eines solchen Systems definiert werden. Zudem sollen notwendige Sicherheitsbereiche im Entblendungsbereich quantifiziert werden.

Die Funktion Matrix-Beam wird in einem Versuchsträger umgesetzt. Dies hat zwei Gründe. Zum einen wird damit die Machbarkeit einer solchen Funktion geklärt. Zum anderen wird die Wirkung von Matrix-Beam in psychophysiologischen Probandenstudien untersucht.

2.3 Überblick über die Arbeit

Zunächst wird mittels einer Unfallanalyse auf das Potenzial, bei Nacht unter Tageslichtbedingungen fahren zu können, eingegangen. Diese Potenzialabschätzung dient gleichzeitig als Motivation, blendfreie Fernlichtsysteme zu entwickeln.

Im nächsten Kapitel wird der Stand der Technik aufgezeigt. Darin enthalten sind aktuelle LED-Scheinwerfersysteme, weitere Möglichkeiten, mit denen ein blendfreies Fernlicht umgesetzt werden kann, und eine Betrachtung des aktuellen wissenschaftlichen Standes.

Im fünften Kapitel wird der Gesamtaufbau des Versuchsträgers „Nanolux“ beschrieben. Dieser wurde im Rahmen des gleichnamigen Verbundprojektes des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) mit einem Matrix-Beam-Scheinwerfer ausgestattet. Zudem wird auf Herausforderungen und neue Möglichkeiten eingegangen, die durch die Interaktion zwischen Scheinwerfer und Kamera entstehen.

Die in dem Versuchsträger applizierte Kamera dient zur Erstellung einer Verkehrsraumanalyse (siehe Kapitel 6). Die Verkehrsraumanalyse ergänzt die vorangegangene Verkehrsraummodellierung mit für Deutschland typischen Verkehrs- und Straßengeometriebedingungen um die reale Komponente.

Basierend auf der Verkehrsraummodellierung wird in Kapitel 7 ein Computerprogramm zur Untersuchung des Nutzungsgrades verschiedener Fernlichtunterteilungen entwickelt und angewendet. Verursacht durch die Eigenschaften des Gesamtsystems ist es notwendig, Lichtsegmente nicht nur anhand ihrer Beleuchtungsstärke anzusteuern. Die Lichtsegmente müssen daher um sogenannte Sicherheitsbereiche ergänzt werden, die die Eigenschaften des Gesamtsystems berücksichtigen und so eine sichere Entblendung gewährleisten. Es gibt sowohl statische als auch dynamische Sicherheitsbereiche, deren Größen an dieser Stelle bestimmt werden. Zudem werden die Auswirkungen der statischen Sicherheitsbereiche und die der Berücksichtigung des Parallaxenfehlers auf den Nutzungsgrad aufgezeigt. Abschließend wird die Definition sowie das Bewertungsverfahren zur Erlangung des Nutzungsgrads kritisch betrachtet.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse zweier psychophysiologischer Untersuchungen vorgestellt. In der ersten wird die Auswirkung der höheren Farbtemperatur der LED auf die damit erwartungsgemäß erhöhte psychologische Blendung ermittelt. Mit diesen Ergebnissen werden Aussagen für notwendige Abblenddistanzen bzw. Detektionsentfernungen mit LED-Systemen getroffen. In der zweiten werden tatsächliche Erkennbarkeitsentfernungen in Begegnungssituationen zwischen konventionellen und blendfreien Systemen evaluiert.

Im neunten Kapitel wird auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse eine Abschätzung des Netto-Sicherheitsgewinnes unter Berücksichtigung der Risikokompensation vorgenommen. Im letzten operativen Kapitel wird daraufhin die Arbeit mit der Zusammenfassung sowie mit dem Ausblick abgeschlossen.