

Dimmung des Scheinwerferlichts für zukünftige Elektrofahrzeuge

Pascal Janke¹, Aniella Thoma¹, Dr. Jürgen Locher¹, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Dr. h.c. Torsten Bertram²

¹Institut für automobiler Lichttechnik und Mechatronik (L-LAB), Steinstraße 18, 59552 Lippstadt

²TU Dortmund, Lehrstuhl für Regelungssystemtechnik, Otto-Hahn-Str. 8, 44227 Dortmund

Zusammenfassung

Im Zuge der Elektrifizierung von Fahrzeugen ergeben sich neue Anforderungen an das Scheinwerferlicht. Ein effizienter Ressourceneinsatz über ein Energiemanagement, in das auch die Fahrzeugbeleuchtung integriert ist, kann dazu beitragen, dass die Reichweite um einige Kilometer erhöht werden kann. Daraus ergeben sich zahlreiche Fragen: Was muss sich am Licht für zukünftige E-Autos ändern? Werden diese Änderungen akzeptiert? Durch die aktuell verwendete LED-Technologie ergeben sich im Scheinwerfer ganz neue Möglichkeiten für Lichtfunktionen. Das bisherige Ziel der Fahrzeugbeleuchtung ist es, viel Licht für eine gute Ausleuchtung der Verkehrssituation zu erzeugen. Die Möglichkeit der Dimmung einzelner LEDs kann aber in Zukunft auch für energieeffiziente Lichtfunktionen genutzt werden.

Um das Potenzial hinsichtlich einer ressourceneffizienten Ausleuchtung bewerten zu können, wurde im HELLA-Lichtkanal in Lippstadt eine Probandenstudie durchgeführt, die der Frage nachgegangen ist, wie weit das Scheinwerferlicht heruntergedimmt werden kann, bevor es für den Fahrer als zu dunkel wahrgenommen wird. In der Studie wurden zwei verschiedene Szenarien betrachtet: Einerseits eine Fahrt durch eine Ortschaft mit Straßenlaternen am Fahrbahnrand bei aktiviertem Abblendlicht sowie andererseits eine Landstraßenfahrt bei aktiviertem Fernlicht. Zuerst wurde den Probanden jeweils eine Referenzlichtverteilung präsentiert, die dem standardmäßigem Abblend- bzw. Fernlicht des verwendeten Scheinwerfers entspricht. Nachdem das Licht für ca. 5 Sekunden ausgeschaltet war, wurde daraufhin eine gedimmte Lichtverteilung eingeschaltet. Die Probanden sollten den Unterschied zwischen der Referenzlichtverteilung und der gedimmten Lichtverteilung bewerten. Die 9-stufige Bewertungsskala, bei der nur jede zweite Stufe beschriftet war, reichte hierbei von „nicht unterscheidbar“, über „akzeptabel“, „gerade zulässig“ und „nicht vertretbar“ bis hin zu „intolerabel“. Für diese Studie wurde ein Matrix-LED-Scheinwerfer mit 84



einzelnen ansteuerbaren LEDs im Hauptmodul sowie 4 weitere Dimmbare LEDs im Vorfeld-Modul genutzt. Die verwendeten Dimmstufen ergaben sich aus der Ansteuerung des Scheinwerfers, wobei auf eine gleichmäßige Dimmung geachtet wurde, so dass trotz der Veränderung des Lichts keine Inhomogenitäten aufgetreten sind.

Die Auswertung der Studie führt zu dem Ergebnis, dass in beiden Szenarien eine Dimmung des Lichts auf ca. 55% des ursprünglichen Gesamtlichtstroms im Vergleich zur Referenz durchschnittlich noch als „akzeptabel“ bewertet wird. Eine Dimmung des Lichts auf ca. 35% des Referenzlichts wird noch als „gerade zulässig“ bewertet. Grundsätzlich werden bei einer Dimmung der LEDs auf ca. 30% die gesetzlichen Werte sowohl für das Abblend- als auch das Fernlicht gerade noch erreicht. Obwohl die prozentuale Dimmung der LEDs in beiden Szenarien gleichwertig vorgenommen wurde, ergibt sich aus der absoluten Lichtreduktion eine starke Diskrepanz. Das Abblendlicht im ersten Szenario hat einen Referenzlichtstrom im gemessenen Winkelbereich von ca. 1600 lm. Beim Fernlicht im zweiten Szenario liegt der Lichtstrom beider Scheinwerfer zusammen bei ca. 2900 lm. Daher ist die absolute Reduktion des Lichtstroms bei gedimmtem Fernlicht deutlich höher als bei gedimmtem Abblendlicht.

Da die Ergebnisse auf die Durchschnittswerte der Probandenbewertung bezogen sind, ist eine Dimmung auf den „gerade zulässigen“ Wert trotz einer gaußverteilten Bewertung nicht sinnvoll. Hier haben bereits einige Probanden die Lichtverteilung als „nicht vertretbar“ bewertet. Nichtsdestotrotz wird das Einsparpotential in einem möglichen Energiesparmodus für Elektrofahrzeuge deutlich. Bei der im Durchschnitt als „akzeptabel“ bewerteten Lichtverteilung gibt es kaum noch Personen, die schlechter als „gerade zulässig“ bewertet haben. Hierbei ist es bereits möglich, sowohl im Abblend- als auch im Fernlichtfall ca. 45% des Lichtstroms zu sparen. Da die Ergebnisse innerhalb der gesetzlichen Rahmenwerte liegen, kann auf eine Untersuchung zur Sichtbarkeit von Objekten verzichtet werden.

Index Terms: headlamp, e-mobility, energy saving, empirical study

1 Einleitung

1.1 Motivation

Der Trend in der Automobilindustrie geht in Richtung E-Mobilität sowie Nachhaltigkeit. Im Zuge der Elektrifizierung des Autos ergeben sich neue Anforderungen an das Energiemanagement des gesamten Fahrzeugs. Jeder Kilometer mehr an Reichweite ist ein Zugewinn und sichert die Mobilität des Fahrers. Um die maximale Reichweite zu erzielen, müssen alle Komponenten des Fahrzeugs hinsichtlich ihres Energieeinsparpotentials betrachtet werden. Für die Scheinwerfer ergeben sich insbesondere durch die LED-Technologie, welche inzwischen zum Stand der Technik geworden ist, neue Möglichkeiten. Neben den bereits durch die LEDs gefestigten Lichtfunktionen, wie das Stadt-, Autobahn- oder das blendfreie Fernlicht, lässt sich das

Potential der LEDs im Scheinwerfer noch auf eine Eco-Funktion, also einem zuschaltbaren Energiesparmodus für eine erhöhte Reichweite, erweitern. Durch die hohe Lichtausbeute der LEDs lässt sich bereits viel Licht mit wenig Energie erzeugen [1]. Bisher wurde diese Eigenschaft hauptsächlich dafür genutzt, viel Licht auf die Straße zu bringen. Doch mit dem Blick auf den Trend der E-Mobilität ergibt sich ein neues Ziel: Mit der Energieeffizienz der LEDs Energie zu sparen.

Neben dem Ziel „Energie zu sparen“ ist eine weitere Herausforderung die Schonung der Hardware. Unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit ist es sinnvoll, kritische Situationen für die Hardware, vor allem für die LEDs, zu vermeiden. Dadurch soll eine lange Lebensdauer, welche weit über den Anforderungen liegt, gewährleistet werden. Somit lässt sich beispielsweise der Scheinwerfer in einem anderen Fahrzeug weiterverwenden, obwohl das ursprüngliche Fahrzeug nicht mehr fahrtüchtig ist. Mit dem Aktor LED ist es möglich, das Temperaturmanagement zu beeinflussen und somit hohe und für den Scheinwerfer schädliche Temperaturen zu vermeiden.

1.2 Fragestellung

Die Auslegung der Eco-Lichtfunktion darf allerdings nicht die Leistungsfähigkeit der Scheinwerfer und damit die Sicht des Fahrers beeinträchtigen. Um die formulierten Ziele umzusetzen, ergeben sich Fragen, die für die Auslegung neuer Funktionen beantwortet werden müssen:

1. Wie weit kann das Licht bzw. der Lichtstrom reduziert werden, bis es der Fahrer überhaupt bemerkt? und
2. Wie weit kann das Licht bzw. der Lichtstrom reduziert werden, bis es den Fahrer stört und als unzureichend empfunden wird?

Beide Fragen werden vermutlich vor dem Hintergrund der stark subjektiven Helligkeitswahrnehmung von Fahrer zu Fahrer unterschiedlich beantwortet werden. Ebenso spielen bei der Einschätzung und Bewertung die persönlichen Erfahrungen eine wichtige Rolle. Daher sollen die Aspekte in einer Probandenstudie mit einer hinreichend großen Stichprobe untersucht werden.

2 Aufbau und Ablauf der Probandenstudie

2.1 Scheinwerfer(technologie)

Als Grundlage für die Untersuchung wurde ein Matrix-LED-Scheinwerfer genutzt. Explizit ist es ein Scheinwerfer mit 84 einzeln ansteuerbaren LEDs. Die LEDs wurden jeweils mit einem pulsweitenmodulierten (PWM) Signal auf die gewünschte Stufe gedimmt. Hiermit lassen sich unter anderem Lichtfunktionen wie das Abblendlicht und das blendfreie Fernlicht realisieren. Abbildung 1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau dieses Moduls. Zusätzlich zu dem Hauptmodul sind im Scheinwerfer jeweils 4 Vorfeld-LEDs verbaut. Diese leuchten den unmittelbaren Bereich vor dem Fahrzeug aus.

Generell lässt sich sagen, dass es sich hier um einen Scheinwerfer für die Fahrzeugoberklasse handelt und sich die lichttechnischen Werte deshalb deutlich über den gesetzlichen Mindestanforderungen bewegen. Somit wird sichergestellt, dass bei einer leichten Dimmung nicht sofort die gesetzlichen Grenzwerte unterschritten werden.

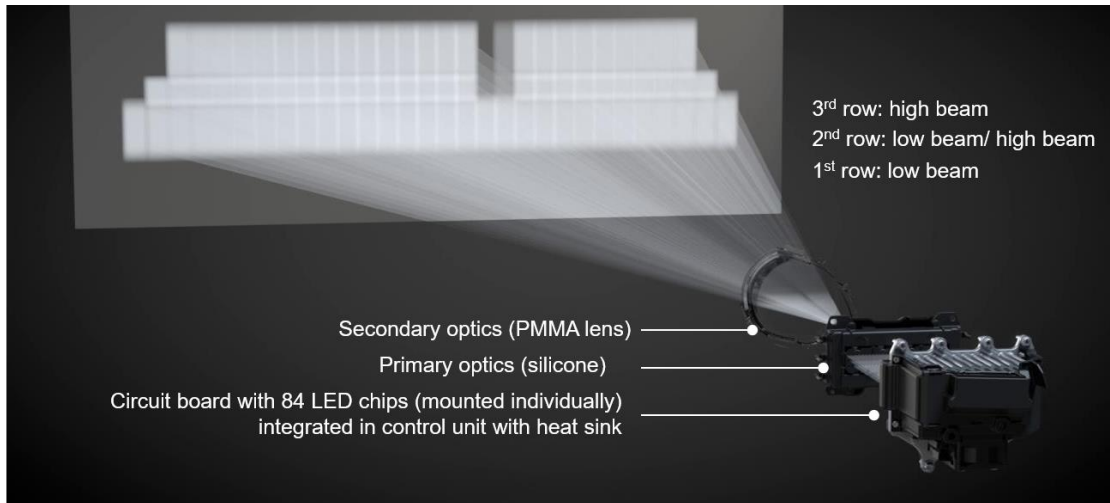


Abbildung 1: Aufbau und exemplarische Ausleuchtung auf einer Wand des im Scheinwerfer verwendeten Hauptmoduls.

Für diese Untersuchung wurde der genannte Scheinwerfer modifiziert. Serienmäßig ist das Licht der Vorfeld-LEDs nicht separat ansteuerbar und wird mit voller Leistung betrieben. Im hier verwendeten Scheinwerfer wurden die LEDs neu kontaktiert, so dass eine Dimmung des Vorfeld-Lichts möglich ist. Dies hat den Zweck, dass keine Inhomogenitäten in den gedimmten Lichtverteilungen entstehen.

Ein weiterer Grund für die Modifikation ist, dass ebenso bei den Vorfeld-LEDs Energie gespart werden könnte. Denn der Energieverbrauch der LEDs ist linear von der Bestromung bzw. des PWM-Signals abhängig [2]. Der Gesamtscheinwerfer hat jedoch neben den Leuchtquellen noch weitere elektrische Verbraucher, wie z.B. den Lüfter, Steuergeräte oder einen Schrittmotor für die dynamische Lichtweitenregulierung (LWR). Daher lässt sich durch Dimmen der LEDs nicht der Gesamtenergieverbrauch linear reduzieren. Da die LEDs aber der Primärverbraucher ist, hat das Dimmen einen großen Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch.

2.2 Szenarien und Fragebogen

Für die Untersuchung einer ressourceneffizienten Ausleuchtung der Straße unter Berücksichtigung der Fahrerakzeptanz ist es nötig, die Rahmenbedingungen klar zu definieren. Insbesondere die Fahrszenarien müssen hierbei dem Probanden verständlich sein. Denn mit „advanced driving beam“ (adb)-Funktionen gibt es bereits für unterschiedliche Fahrsituationen verschiedene Lichtfunktionen, die dem Fahrer eine möglichst gute Ausleuchtung der Straße in der jeweiligen Verkehrssituation ermöglichen. Durch Lichtfunktionen wie Stadt-, Autobahn- oder blendfreies Fernlicht,

die bereits einige Fahrer bzw. Probanden kennen können, ist eine Abgrenzung in der Studie nötig. Daher wurden zwei Szenarien verwendet, die vermeintlich für die meisten Fahrer und Fahrzeuge immer noch die Standardfunktionen sind:

Das erste Szenario, welches in der Studie betrachtet wurde, war eine innerstädtische Fahrsituation. Da es in Städten in der Regel überall Straßenlaternen gibt, wurden diese auch genutzt. Hierfür wurden im HELLA Lichtkanal in Lippstadt, wo die Studie durchgeführt wurde, auf einer 140 m lange Straße im Tunnel, die LED-Straßenlaternen aktiviert. Die Idee hinter dem Szenario ist, dass durch die Umfeldbeleuchtung in der Stadt das eigene Scheinwerferlicht nicht dieselbe Relevanz für die eigene Sicht hat wie außerhalb von Städten [3]. Als Lichtfunktion des Fahrzeugs wurde das Abblendlicht genutzt. Abbildung 2 zeigt beispielhaft die sich den Probanden dargestellte Szene. Zur besseren Vergleichbarkeit der Dimmstufen sind die Teilbilder in Graustufen dargestellt.



Abbildung 2: Graustufen-Darstellung von Leuchtdichte aufnahmen zum ersten Szenario mit Abblendlicht und angeschalteten LED-Laternen. Links: Referenzlichtverteilung. Rechts: auf 51% gedimmte Lichtverteilung.

Das zweite Szenario ist eine Landstraßenfahrt. Hier sollten sich die Probanden vorstellen, sie fahren allein auf einer Landstraße mit aktiviertem Fernlicht.

In der Studie sollten für beide Szenarien die Wirkung unterschiedlicher Dimmstufen untersucht werden. Dazu wurde zunächst eine Referenzlichtverteilung für 5 s gezeigt, welche der serienmäßigen Einstellung dieser Lichtfunktion entsprach. Danach wurde die zu vergleichende Lichtverteilung ebenfalls für 5 s gezeigt. Die zweite Scheinwerferlichtverteilung war entweder gedimmt oder entsprach wieder der Referenzlichtverteilung. Die Aufgabe der Probanden war es nun, die zweite Lichtverteilung mit der Referenzlichtverteilung zu vergleichen und zu bewerten. Hierfür hatten die Probanden einen Fragebogen vorliegen, siehe Abbildung 3. Der Fragebogen war in eine 9-stufige Skala [4] unterteilt und reichte von „nicht unterscheidbar“ bis „intolerabel“. Die Zwischenstufen waren mit „akzeptabel“, „gerade zulässig“ und „nicht vertretbar“ gekennzeichnet. Die Nummerierung entsprach der fortlaufenden Nummer der Lichtverteilung und wurde zur besseren Orientierung des Probanden jeweils ebenso erwähnt.

Die zweite Lichtverteilung war im Vergleich zur Referenz-Lichtverteilung										
Nr.	Nicht unterscheidbar		akzeptabel		Gerade zulässig		Nicht vertretbar		intolerabel	Nr.
1	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	1
2	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	2
3	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	3

Abbildung 3: Fragebogen zur Bewertung der Lichtverteilung im Vergleich zur Referenzlichtverteilung.

Zusätzlich wurde in einem Eingangsfragebogen noch nach dem Alter, dem Geschlecht, der persönlichen Einschätzung zur Erfahrung in der Bewertung von Scheinwerfern, einer Rot-Grün-Schwäche und nach einer Sehhilfe gefragt. Ein Feld für weitere Kommentare war ebenso vorhanden.

2.3 Ablauf

Die Studie wurde aufgrund der Durchführungsökonomie in Gruppen mit 7 bis 9 Probanden ausgerichtet. Die Probanden befanden sich hinter den Scheinwerfern mit Blick auf die Straße. Nach dem Ausfüllen des Eingangsfragebogens wurde eine allgemeine Instruktion gegeben. Den Probanden war es nicht gestattet miteinander zu reden und es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es auf die persönliche Einschätzung ankommt. Danach wurde das erste Szenario vorgestellt. Für jedes Szenario gab es jeweils eine Beispiellichtverteilung.

Der weitere Ablauf, je Szenario, war wie folgt:

- Zeigen der Referenzlichtverteilung für 5 s mit Verweis, dass dies die Referenzlichtverteilung sei,
- Ausschalten der Scheinwerfer für 3 s,
- Zeigen der zu bewertenden Lichtverteilung für 5 s mit Verweis auf die laufende Nummer,
- Ausschalten der Scheinwerfer für 3 s,
- Wiederholung der Schritte für die nächste Lichtverteilung.

Es wurden insgesamt 15 Abblend- bzw. 20 Fernlichtverteilungen gezeigt. Zum Szenariowechsel gab es eine kurze Pause von einer halben Minute, welche für das Ein- bzw. Ausfahren der LED-Laternen benötigt wurde. Danach wurde mit dem zweiten Szenario nach demselben Schema fortgefahren.

Die zu bewertenden Lichtverteilungen wurden nach einer vorher festgelegten Zufallsreihenfolge gezeigt. Nicht gedimmte Lichtverteilungen, also die Referenzlichtverteilung, wurden ebenso gezeigt und sollten bewertet werden. Es gab 2 unterschiedliche Zufallsreihenfolgen. Insgesamt dauerte die Erhebung ca. 35 min pro Gruppe.

3 Ergebnisse

3.1 Stichprobenbeschreibung

Insgesamt haben 68 Probanden in 8 Gruppen teilgenommen. Das Durchschnittsalter war 37 Jahre und erstreckte sich von 19 bis 61 Jahren. 25 der Probanden und somit 36,8% waren Frauen. 43 trugen eine Sehhilfe und 2 gaben eine Rot-Grün-Schwäche an. Die Probanden unterschieden sich in ihrer Vorerfahrung in der Bewertung von Scheinwerfern, 33 hatten keine Erfahrung, 25 wenig und 10 viel Erfahrung.

Keine der zusätzlich erhobenen Daten hatten einen signifikanten Einfluss auf die Ergebnisse. Die Platzwahl des Probanden ebenso nicht. Lediglich die Reihenfolge hatte einen Einfluss. Da jedoch zwei unterschiedliche Reihenfolgen gezeigt wurden, wurde dieser ausgeglichen.

3.2 Auswertung

In der Studie wurde untersucht, wie sich unterschiedliche Dimmstufen von Scheinwerferlichtverteilungen auf die Bewertung der Ausleuchtung vor dem Fahrzeug von Probanden im Vergleich zu einer Referenzlichtverteilung auswirkt. Allgemein lässt sich zu den Ergebnissen sagen, dass die Bewertungen konsistent sind und den Erwartungen entsprechen: Umso höher die Dimmung der Scheinwerfer war, desto schlechter wurde diese Lichtverteilung im Durchschnitt bewertet. Die Abbildungen 4 und 5 zeigen dies sehr deutlich. In den Abbildungen sind die Durchschnittsbewertungen mit deren Standardabweichung über der jeweiligen prozentualen Dimmung der Lichtverteilung für die zwei unterschiedlichen Szenarien dargestellt. Der prozentuale Wert ergibt sich aus dem gemessenen Gesamtlichtstrom der jeweiligen gedimmten Lichtverteilung. Hierbei können geringe Abweichungen zum tatsächlichen Lichtstrom auftreten, da Aufgrund der Vielzahl der nötigen Messungen ein verkleinerter Winkelbereich gemessen wurde. Die ersten beiden Werte zeigen die bewerteten Referenzlichtverteilungen.

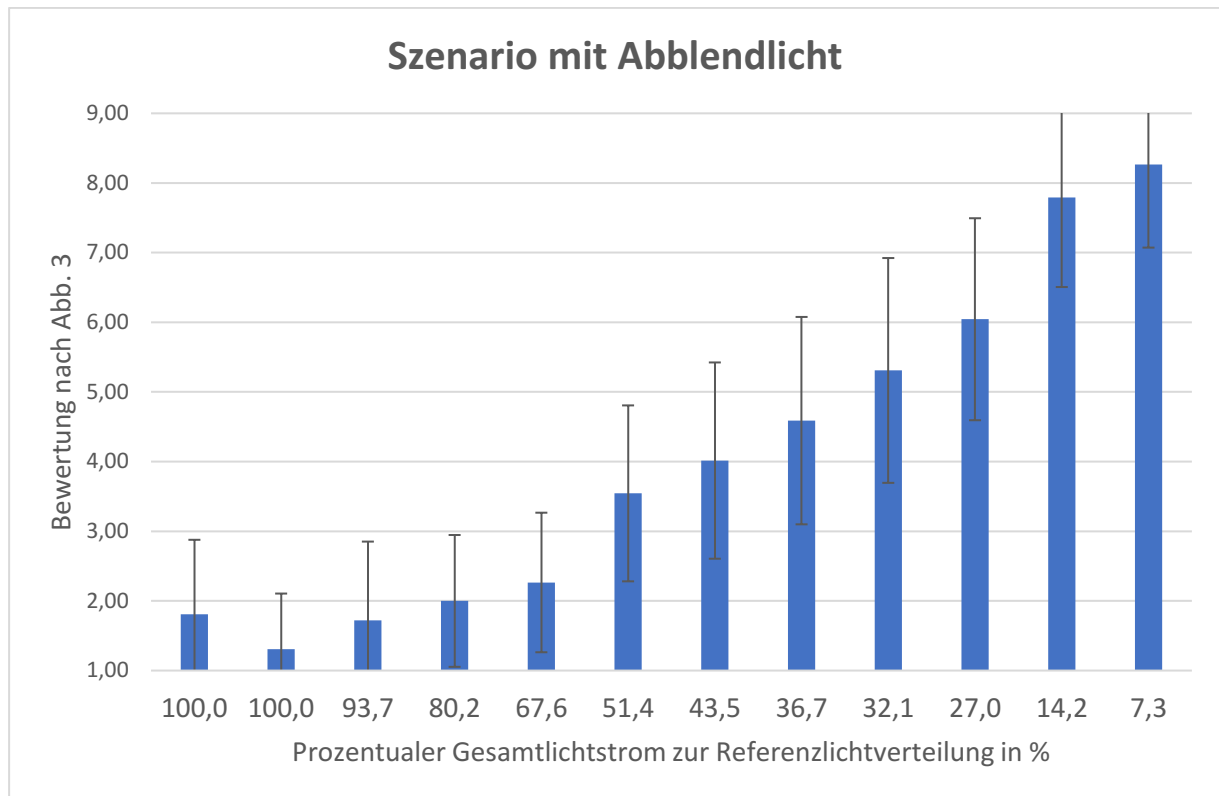


Abbildung 4: Bewertung der gedimmten Abblendlichtverteilungen über dem prozentualen Gesamtlichtstrom, verglichen zur Referenzlichtverteilung. Hier waren die LED-Laternen auf der Straße eingeschaltet, um eine Stadtfahrt zu simulieren.

Beim Szenario mit Abblendlicht entsprechen die 100%, also die Referenzlichtverteilung, einem Gesamtlichtstrom von ca. 1600 lm.

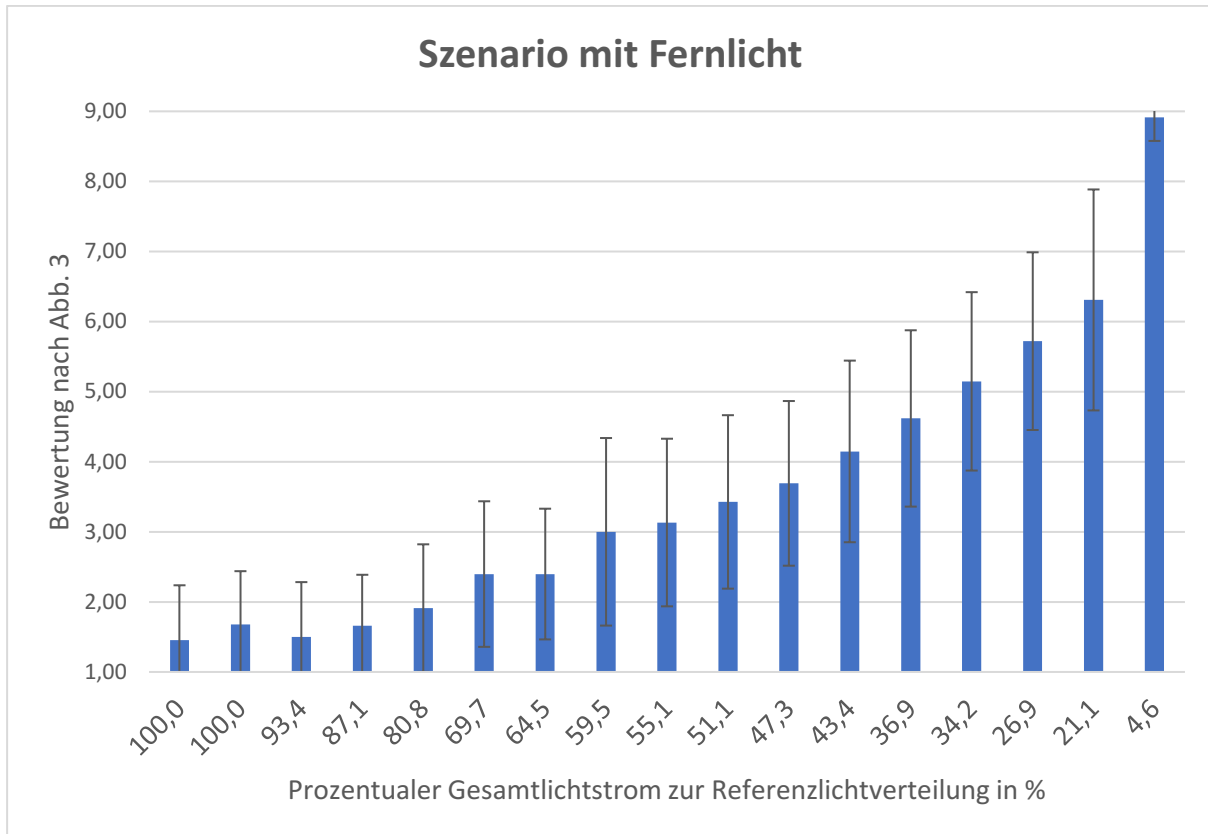


Abbildung 5: Bewertung der gedimmten Fernlichtverteilungen über dem prozentualen Gesamtlichtstrom, verglichen zur Referenzlichtverteilung. Hier wurde eine Landstraßenfahrt simuliert.

Beim Szenario mit Fernlichtverteilung entsprechen die 100% einem Gesamtlichtstrom von ca. 2900 lm.

Bei beiden Bewertungen ist auffällig, dass die nicht gedimmte Stufe, also die zweimal gezeigte Referenzlichtverteilung, nicht immer mit „nicht unterscheidbar“ bewertet wurde. Bereits hier gibt es Schwankungen in der Bewertung. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass alle Bewertungen auf dem Niveau bis zu einer Bewertung von „2“ als nicht wahrnehmbare Veränderung gewertet werden können. Dies beantwortet also bereits die erste Fragestellung, wie weit man das Licht reduzieren kann, ohne dass es der Fahrer bemerkt, nämlich bis zu ca. 80% des ursprünglichen Lichtstroms.

Weiter haben die Bewertungen beider Szenarios gemein, dass es eine hohe Übereinstimmung gibt. Die Muster der Ergebnisse zwischen Abblendlicht und Fernlicht sind nahezu identisch. Viele Dimmstufen werden bei beiden Szenarios gleich bewertet, siehe ca. 80% (Bewertung auf ca. 2), 51% (Bewertung auf ca. 3,3), 32 bzw. 34% (Bewertung auf ca. 5,2) und 27% (Bewertung auf ca. 6) des ursprünglichen Gesamtlichtstroms. Trotz unterschiedlicher Szenarien und Lichtverteilungen, wird dieselbe prozentuale Dimmung gleich bewertet. Dies zeigt, dass die Straßenlaternen

das eigene Abblendlicht sehr gut unterstützen und auf das Niveau einer Fernlichtverteilung heben.

Für die zweite eingangs gestellte Frage, wie weit man das Licht reduzieren kann, bis es den Fahrer stört, muss man sich 2 Bewertungspunkte genauer anschauen:

Durchschnittlich als „akzeptabel“ bewertet

Die von den Probanden durchschnittlich als „akzeptabel“ bewertete Dimmstufe liegt beim Abblendlichtszenario bei 51% und beim Fernlichtszenario bei 55% des Lichtstroms der Referenzlichtverteilung. Abbildung 6 zeigt exemplarisch die Bewertungsverteilung. Grundsätzlich ist eine gute Gaußverteilung in der Bewertung zu sehen. Ähnlich ist dies bei allen Einzelbewertungen wiederzufinden. Explizit in dieser Bewertung ist eindeutig der Schwerpunkt der Bewertung bei der 3, also „akzeptabel“ zu sehen. Nichtsdestotrotz gibt es hier einige Probanden, die mit 5 bis 6 bewertet haben, also „gerade zulässig“. Niemand hat die Lichtverteilung mit „nicht vertretbar“ oder schlechter bewertet. Daher kann vermutet werden, dass bis hierhin gedimmt werden kann, ohne dass es den Fahrer stört.

Das Szenario für das Abblendlicht verhält sich analog zum Fernlicht.

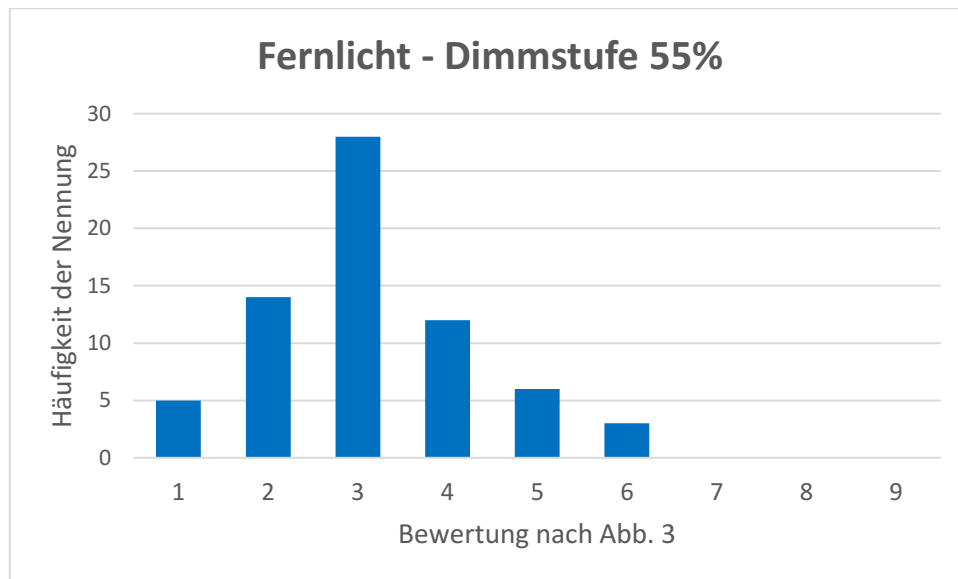


Abbildung 6: Bewertung der Fernlicht-Dimmstufe bei 55% des ursprünglichen Gesamtlichtstroms. Es ist die Häufigkeit der Nennungen über der Bewertung aufgetragen.

Durchschnittlich als „gerade zulässig“ bewertet

Im Durchschnitt wurden als „gerade zulässig“ die Dimmstufe bei 32% für das Abblendlicht- und 34% für das Fernlichtszenario bewertet. Auch diese sind wieder sehr nah beieinander. Abbildung 7 zeigt die Bewertungsverteilung für das Szenario mit aktiviertem Fernlicht. Auch hier ist, ähnlich wie in Abbildung 6, eine gaußverteilte Bewertung zu erkennen. Doch der Graph macht deutlich, dass bereits viele Probanden diese Lichtverteilung als „nicht vertretbar“ ansehen. Daher ist diese Stufe, wenn man

eine breite Masse der Zustimmung abdecken will, nicht mehr für eine mögliche umsetzbare Dimmung in Betracht zu ziehen.

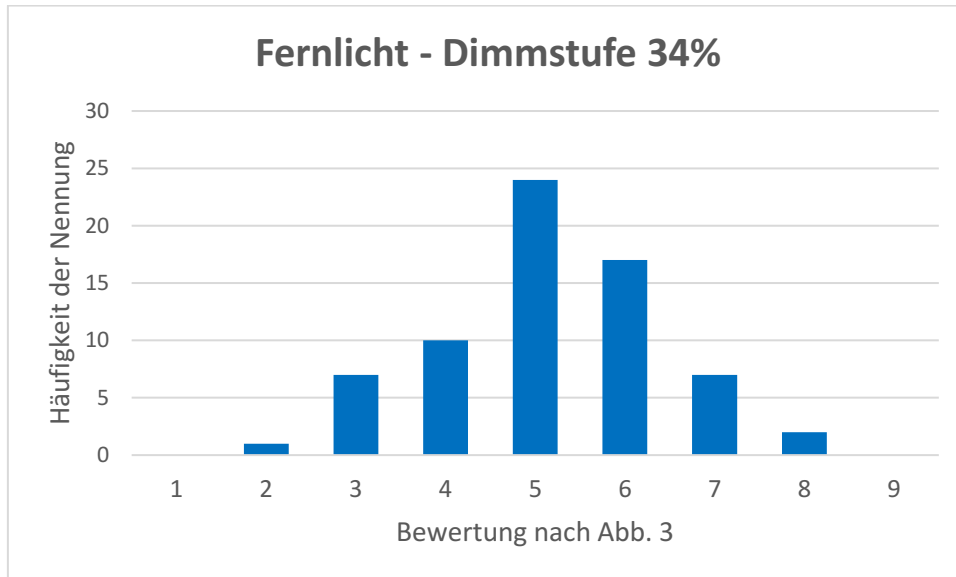


Abbildung 7: Bewertung der Fernlicht-Dimmstufe bei 34% des ursprünglichen Gesamtlichtstroms. Es ist die Häufigkeit der Nennungen über der Bewertung aufgetragen.

Bei dieser Stufe werden sowohl für das Abblend- als auch für das Fernlicht die gesetzlichen Werte gerade eben erreicht. Nach der ECE Regelung 8, werden explizit bei der nächsten Dimmstufe beim Abblendlicht der Messpunkt 50R und beim Fernlichtlicht der E_{max} -Wert von mind. 48 lx in 25m Entfernung nicht mehr erreicht [5].

3.3 Energieeinsparpotential

Durch die Probandenstudie haben sich mehrere sinnvoll umsetzbare Dimmstufen herausgestellt. Die Dimmstufen sind für die beiden Szenarien Abblendlicht und Fernlicht vergleichbar. Hierbei sind besonders die Dimmstufen bei ca. 80% des ursprünglichen Lichtstroms zu erwähnen, bei denen dem Fahrer nicht bzw. kaum auffällt, dass überhaupt etwas geändert wurde. Die nächsten Dimmstufen, die besonders hervorstechen, liegen bei ca. 51 – 55%, je nach Szenario. Hier wird die Lichtverteilung durchschnittlich als „akzeptabel“ bewertet, aber einzeln nicht schlechter als „gerade zulässig“. Die letzte zu betrachtende Dimmstufe liegt bei ca. 32 – 34%, mit einer durchschnittlich als „gerade zulässig“ bewerteten Lichtverteilung. Für diese Stützstellen ergeben sich folgende Stromaufnahmen am gesamten Experimentalsystem, bei jeweils einer Spannungsquelle von 12,5 V:

Bewertung	Ablendlicht			Fernlicht		
	Gesamtlichtstrom	Stromaufnahme		Gesamtlichtstrom	Stromaufnahme	
		absolut	prozentual		absolut	prozentual
(Referenz)	100 %	10,3 A	100 %	100 %	14,8 A	100 %
nicht unterscheidbar	80 %	9,2 A	89,3 %	80 %	12,9 A	87,2 %
akzeptabel	51 %	7,7 A	74,8 %	55 %	10,5 A	70,9 %
gerade zulässig	32 %	6,4 A	62,1 %	34 %	8,5 A	57,4 %

Tabelle 1: Stromaufnahme des gesamten Versuchsaufbaus im Vergleich der jeweiligen Szenarios und der besonderen Dimmstufen.

Aufgrund der weiteren Verbraucher im Scheinwerfer, neben den LEDs selbst, und der Modifizierung der Vorfeld-LEDs, ist der Stromverbrauch nicht gleich anteilig zum Gesamtlichtstrom gesunken. Die Proportionalität ist aber vorhanden.

Tabelle 1 macht deutlich, dass das Einsparpotential vorhanden ist. Bei Fernlicht ist es natürlich noch höher, da die Referenz-Fernlichtverteilung mit höheren Lichtströmen betrieben wird. Somit ist bei gleicher prozentualer Dimmung der Energieverbrauch geringer.

4 Fazit

Die Probandenstudie hatte das Ziel, die Fragen zu beantworten, wie weit man die LEDs im Scheinwerfer herunterdimmen kann, bis es der Fahrer bemerkt und bis es ihn stört. Diese Fragen konnten in dieser Studie beantwortet werden. Das Energieeinsparpotential der LEDs kann sinnvoll genutzt werden, um einen möglichen Energiesparmodus für zukünftige Elektrofahrzeuge zu nutzen. Denn das Licht lässt sich verhältnismäßig stark dimmen, bevor es „kritisch“ für das Empfinden des Fahrers wird. Um ca. 20 % lässt sich der Gesamtlichtstrom beider Scheinwerfer zusammen reduzieren, bevor es der Fahrer merken würde. Hier lässt sich schon bis zu 14 W bei Ablendlicht und 24 W bei Fernlicht an Energie einsparen. Das Licht kann sogar bis zu 50% reduziert werden, ohne dass es den Fahrer stört. Hierbei empfindet eine Mehrheit die Lichtverteilung noch als „akzeptabel“. Das Energieeinsparpotential liegt bei bis zu 32 W bei Ablendlicht und 53 W bei Fernlicht. Möchte man den Energiesparmodus ausreizen und bis an die gesetzlichen Grenzen verschieben, ist dies zwar möglich, aber nicht sinnvoll. Denn hier empfinden eine große Anzahl der Probanden bereits, dass die Lichtverteilung „nicht vertretbar“ ist.

Mit den Ergebnissen dieser Studie soll nun ein Eco-Modus in einen Serienscheinwerfer implementiert werden und die tatsächliche Energieersparnis evaluiert werden. Weiter ist eine dynamische Studie in Planung.

5 Literaturverzeichnis

- [1] M. Schratz, C. Gupta, T. J. Struhs and K. Gray, "A New Way to See the Light: Improving Light Quality with Cost-Effective LED Technology," in IEEE Industry Applications Magazine, vol. 22, no. 4, pp. 55-62, July-Aug. 2016.
- [2] W. A. Rodrigues, L. M. F. Morais, P. F. Donoso-Garcia, P. C. Cortizo and S. I. Seleme, "Comparative analysis of power LEDs dimming methods," IECON 2011 - 37th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Melbourne, VIC, 2011, pp. 2907-2912.
- [3] B. Schlag, I. Petermann, G. Weller, and C. Schulze, „Mehr Licht – mehr Sicht – mehr Sicherheit?“, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, pp. 69-70, 2009
- [4] J.B. de Boer, "Visual perception in road traffic and the field of vision of the motorist", Public Lighting, p. 44, 1967
- [5] UN Economic Commission for Europe: Regelung Nr. 8 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugscheinwerfern mit Halogenglühlampen (H1, H2, H3, HB3, HB4, H7, H8, H9, HIR1, HIR2 und/oder H11) für asymmetrisches Abblendlicht oder für Fernlicht oder für beides, 2010