

Konzepte für eine selbstjustierende Scheinwerfertechnologie

Dr. Sören Schäfer – HELLA KGaA Hueck & Co, L-LAB, Rixbecker Straße 75, 59552 Lippstadt

Schlagworte: Scheinwerfereinstellung, Justage, Kalibriermarken, Sicherheit, Kamera, Sensorfusion, Hell-Dunkel-Grenze, adaptive Systeme

1 Zusammenfassung

Beobachtet man die Entwicklung von Scheinwerfersystemen in den letzten Jahren, kann eine fortwährende Steigerung des technologischen Fortschritts, der Funktionalität und auch der Komplexität festgestellt werden. Es vollzieht sich derzeit ein Wandel von statischen zu dynamisch-adaptiven Systemen. Während sich Lichtverteilungen unseren Bedürfnissen bei der nächtlichen Fahrt immer mehr anpassen, wird derzeit jedoch an einer manuellen Scheinwerfereinstellung mit mechanischen Elementen festgehalten. Ausgehend von einzelnen Studien und Grundlagen, scheint es jedoch gesichert, dass der Scheinwerfer während des Betriebes unterschiedlichen Umgebungseinflüssen ausgesetzt ist, welche eine Auswirkung auf die vorgeschriebene Solllage des Systems haben. Die Auswirkungen von beispielsweise Materialsetzeffekten, mechanischen Belastungen und dergleichen spiegeln sich in einer Dejustage der Scheinwerfer und damit der erzeugten Lichtverteilung wider – bei zu hoch eingestellten Scheinwerfern Blendung, bei zu niedrig justierten Systemen eine signifikante Abnahme der Ausleuchtungs- und damit Sichtweite.

Im Jahr 2012 gab es eine erste gesetzliche Änderung hinsichtlich der Überprüfung der Scheinwerfereinstellung im Verlauf der Hauptuntersuchung, wobei ein Scheinwerfereinstellgerät vorgeschrieben ist [StVZO, 2012]. Dennoch ist es fraglich, wie stark die gesetzliche Verpflichtung derzeit, vor allem qualitativ, umgesetzt wird. Die freiwillige Überprüfung der Scheinwerferlage durch den Nutzer selbst und dementsprechend eine ggf. durchzuführende Neujustage, ist weiterhin möglich. Im Verlauf des Spitzenclusterprojektes „aktorbasierte Systeme für eine selbstjustierende intelligente Scheinwerfertechnologie (ASSIST)“ wird ein System entwickelt und realisiert, das zum einen mechanische Einstellelemente am Scheinwerfer überflüssig macht und

durch eine Sensor-Aktor-Kopplung selbstständig eine Scheinwerferjustage¹ durchführen kann. Dementsprechend ist eine optimale Performance des Scheinwerfersystems zu jeder Zeit gegeben und subjektive, unregelmäßige Justageprozesse entfallen.

¹ Der Einstell- und Regelprozess des Scheinwerfers wird hier als Justage und nicht als Kalibrierung verstanden. Die Kalibrierung umfasst die einmalige oder wenn nötig intervallbasierte Überprüfung des Gesamtsystems Sensor, Aktuatorik, Lichtsystem zur Feststellung von Unsicherheiten anhand einer eindeutig festgelegten Referenzsituation.

2 Einleitung

Die Kraftfahrzeugbeleuchtung ist in ihrer Historie oftmals den technischen Entwicklungen der Leuchtmittel und den Veränderungen der Gesetzgebung gefolgt. Neben dem Einzug neuer Lichtquellen wie LED oder künftig auch Halbleiter-LASER, ist auch ein Wandel von statischen Systemen zu „ortsaufgelösten“, dynamischen Systemen zu erkennen (Projektions-, Reflexions-, Schwenk-, Matrixsystem). Ziel dieser Entwicklungen ist es, die Sicherheit und den Komfort beim nächtlichen Fahren zu erhöhen. Durch die Ausstattung von Scheinwerfern mit zusätzlichen adaptiven Funktionen wie der automatischen Leuchtweitenregulierung, dem dynamischen Kurvenlicht und AFS-Funktionen sind eine Vielzahl elektro-mechanischer Aktoren hinzugekommen, welche oftmals ebenfalls in der Lage sind, eine horizontale und vertikale Verstellung für spezielle Lichtfunktionen zu bewirken. Hinsichtlich der gesetzlich vorgeschriebenen Grundeinstellung von Scheinwerfern im Allgemeinen ist dieser dynamische Ansatz bisher zu vermissen. Trotz der vollzogenen Entwicklungsschritte, in deren Rahmen die heutigen hochfunktionalen und komplexen Scheinwerfersysteme stehen, sind diese noch immer mit mechanischen Elementen früherer Scheinwerfergenerationen ausgestattet.

Weiterhin unterliegt die Entwicklung und spätere Zulassungserteilung von Scheinwerfern einer genauen Normung und diversen gesetzlichen Vorschriften, um die Verkehrssicherheit in ausreichendem Maße zu gewährleisten. Über Zusatzfunktionalitäten wie adaptive Systeme mit speziellen, an die Verkehrssituation angepassten Lichtverteilungen (z.B. AFS) wird darüber hinaus ein Mehrwert in den Bereichen Sicherheit und Komfort erzielt. Für die Abblendlichtverteilung von Halogen- und Xenonsystemen sind beispielsweise Empfehlungen der ECE (Economic Commission for Europe) R 112 & R 98 richtungweisend. Für AFS-Funktionen sei auf die ECE R 123 verwiesen.

Auch für den Einbau von Scheinwerfersystemen in das Fahrzeug existieren Regelungen, die jedoch von einem Status Quo für die komplette Nutzungsdauer der Fahrzeuge ab Werk ausgehen. Es ist zwingend die ECE R 48 zu nennen, welche die Leuchtweitenregulierung bezüglich des Anbaus für Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen beschreibt. Dieser rein theoretische Ansatz führt in der Realität der Fahrzeugnutzung allerdings zu komplexen Auswirkungen einer Scheinwerferdejustage, verbunden mit erheblichen Sicherheitsrisiken und Verlusten in der Leistungsfähigkeit eigentlich ausgereifter Systeme. Während am „Bandende“ eines Fahrzeugproduktionsprozesses die Einbaulage des Scheinwerfersystems zuweilen kamerabasiert geprüft und ggf. über mechanische Einstellelemente korrigiert wird, gibt es nach

Auslieferung keinerlei gesetzliche Bestimmungen zur Prüfung oder gar Justage der Scheinwerfer in vertikaler oder horizontaler Ausrichtung. Selbst bei der verpflichtenden TÜV-Hauptuntersuchung werden bestenfalls die Hauptlichtfunktionen der fahrzeugeigenen Beleuchtungseinrichtung geprüft, nicht jedoch die Justage der Scheinwerfer in vertikaler und horizontaler Ausrichtung.

Die derzeit existierenden Vorgaben zur vertikalen Scheinwerfereinstellung auf Pkw bezogen, lassen sich der ECE R 48 wie folgt entnehmen:

- Für Scheinwerfer mit einer Anbauhöhe von weniger als 0,8 m ist eine Grundeinstellung zwischen -1,0 % und -1,5 % sicherzustellen. Die Grenzwerte betragen im Minimum -0,5 % und -2,5 % [Abbildung 1]. Eine Neigung von 1,0 % entspricht auf einer 10 m Einstellwand 0,5°. Eine Einstellwand mit Messpunkten und schematischer Abblendlichtverteilung ist Abbildung 2 zu entnehmen.
- Die „abwärts gerichtete Ausgangsneigung der Hell-Dunkel-Grenze des Abblendlichtbündels, die im unbeladenen Zustand mit einer Person auf dem Fahrersitz einzustellen ist, ist vom Hersteller mit einer Genauigkeit von 0,1% festzulegen. [...]“.

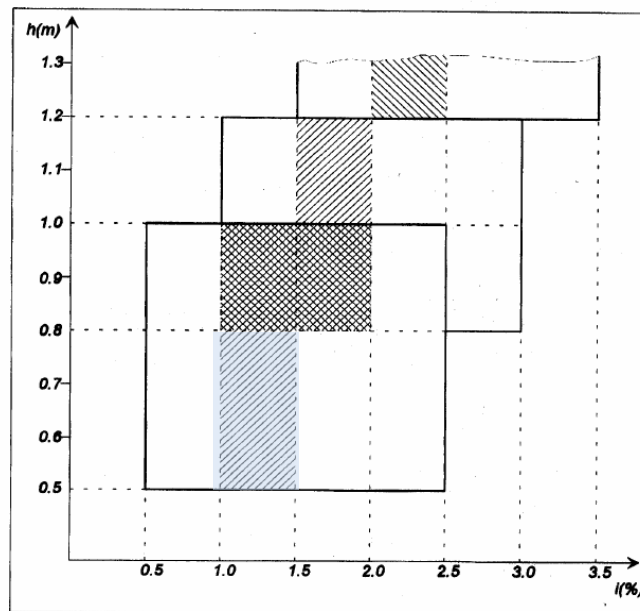


Abbildung 1: Darstellung der Grenzwerte und Werte der Grundeinstellung (schraffiert) für die Neigung von Scheinwerfern in Abhängigkeit verschiedener Anbauhöhen (eingefärbt: relevanter Bereich der Grundeinstellung für Standard-Pkw) [ECE R 48]

Für den Bereich der horizontalen Ausrichtung ist derzeit nur folgende Formulierung für die adaptive Frontbeleuchtung zu finden:

- „Bei jeder Leuchteneinheit muss gegebenenfalls der Knick der Hell-Dunkel-Grenze, wenn sie auf einen Messschirm projiziert wird, auf der Vertikalen durch die Bezugsachse der betreffenden Leuchteneinheit liegen. Eine Toleranz von $0,5^\circ$ ist auf der Seite, die der Seite der Verkehrsrichtung entspricht, zulässig.“

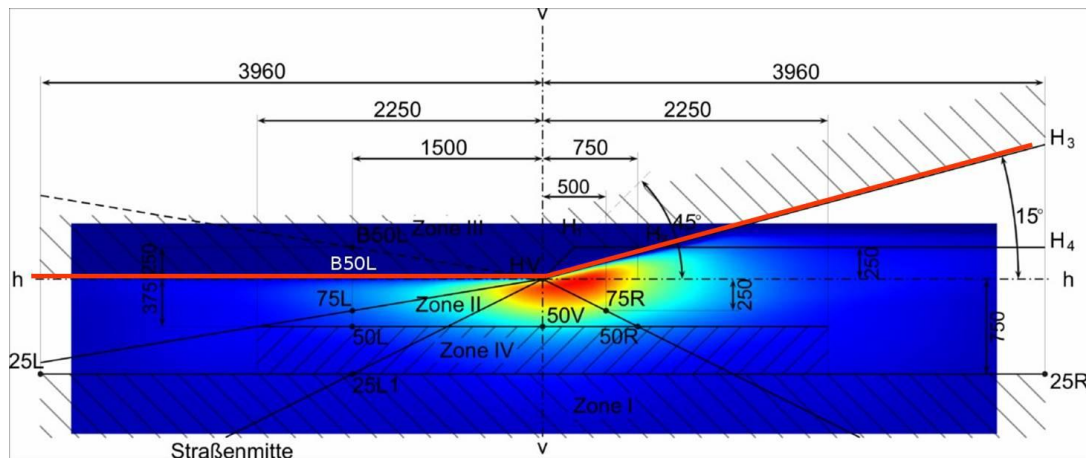


Abbildung 2: Gesetzliche Bestimmungen einer Abblendlichtverteilung (Falschfarbendarstellung) der Beleuchtungsstärkeverteilung nach ECE R 8 auf dem 25 m Messschirm (weiß: Messpunkt B50L; h: horizontal; v: vertikal; rote Linie: Verlauf der HDG bei Solllage)

Aus den geschilderten Sachverhalten ergibt sich zunächst die Fragestellung, wenn doch bereits adaptive Systeme wie die Leuchtweitenregulierung und die adaptive Hell-Dunkel-Grenze (aHDG) vorliegen und bereits zumindest eine vertikale Dynamik in der Hell-Dunkel-Grenzen-Verlagerung (HDG) aufweisen, warum somit eine mechanische, oder wie in dieser Forschungsarbeit zu entwickelnde, automatische Scheinwerfereinstellung notwendig ist.

Oft liegt in diesem Zusammenhang eine Fehlinterpretation der Möglichkeiten oder auch der Zielauslegung adaptiver Systeme zu Grunde. Zwei Punkte sind diesbezüglich entscheidend. Zum einen kennt ein adaptives System bisher nicht den Offset des Scheinwerfersystems nicht, sondern reagiert nur auf die, für die spezielle Funktion hinterlegten, nicht intelligenten Regeln. Zum anderen sind auch die Aktoren und mechanisch-konstruktiven Dimensionen derzeit existenter Systeme auf die funktionspezifischen Maximalwerte ausgelegt. Eine Dejustage des Scheinwerfersystems bedingt somit zugleich eine Einschränkung der Funktionsdynamik.

Zukünftige Scheinwerfersysteme werden sich neben einfach adaptiven Systemen zunehmend durch individualisierte Lichtverteilungen, je nach Umwelt- und Nutzeranforderungen, auszeichnen. Mittels des „Matrix-Beam“-Prinzips werden einzelne, in einer Matrix angeordnete, lichtzeugende Einheiten so angesteuert, dass diese variabel einzelne Raumwinkel im Fahrzeugvorfeld ausleuchten. Somit können, in Abhängigkeit von der Systemdimensionierung, individuelle und variable Lichtverteilungen erzeugt werden. Dies kann unabhängig von einer implementierten Mechanik erfolgen. Das vorgestellte Konzept folgt der Zielsetzung, dem Fahrer in jeder Situation eine „bestmögliche Ausleuchtung der Fahrbahn zur Verfügung zu stellen“ [TROTZAUER 2012].

Gerade bei „statischen“ LED-Matrix-Systemen mit einer sehr begrenzten vertikalen Auflösung von beispielsweise drei Zeilen besteht eine Divergenz zwischen der geforderten genauen und zuverlässigen Lichteinstellung, welche für die Funktionserfüllung und Akzeptanz grundlegend ist, und den bisher nicht vorhandenen automatischen Scheinwerferjustageprozessen. Verdeutlichend lässt sich anhand des genannten Beispiels folgende exemplarische Situation darstellen. Ein Fahrzeug ist mit einem dreizeiligen Matrix-Beam-System ausgestattet und fährt mit der Funktionalität des blendfreien Fernlichts. Bei Begegnungssituationen, oder bei vorausfahrendem Verkehr, werden die betreffenden Verkehrsteilnehmer durch die Sensorik detektiert. Anschließend wird entsprechend der Koordinatenzuordnung des Sensorsystems auf die im Fahrzeug hinterlegten Wertetabellen zurückgegriffen und ggf. entfernungsabhängig einzelne Segmente aus der Lichtverteilung ausgeschaltet. Zuerst wird das Oberste, dann das Mittlere und beim Passiervorgang das Unterste deaktiviert. Die anderen Verkehrsteilnehmer sollen so nicht geblendet werden, obwohl die Performance des eigenen Systems die des Fernlichts erreicht. Das System kennt jedoch weder die potentielle Dejustage des Scheinwerfersystems, noch kann darauf aktiv reagiert werden. In einem solchen Fall wird entsprechend der hinterlegten Werte für einzelne Winkel das Licht ausgeblendet, jedoch bei zu hoch abstrahlenden Scheinwerfern der vorausfahrende und entgegenkommende Fahrzeugführer geblendet. Nicht nur, dass dies einen Sicherheitsverlust im Straßenverkehr bedeutet, eine sonst innovative Lichtfunktion würde auch in der Akzeptanz der Nutzer sinken. Nach mehrmaliger Lichthupe durch den Gegenverkehr ist zu vermuten, dass ein Großteil der Nutzer die Funktion blendfreies Fernlicht deaktiviert.

3 Erweiterte Problemlage

3.1 Scheinwerferlage

Wie bereits in der Einleitung angedeutet, werden derzeit neue Scheinwerfersysteme entwickelt, welche die Sichtbedingungen für den Fahrer optimieren sollen, ohne dabei andere Verkehrsteilnehmer zu blenden. Neben technologischen Merkmalen wie Ausfallwahrscheinlichkeit, Lichtstrom, Leistung, etc. sind zunehmend auch die Merkmale Lichtqualität, Ausleuchtung, Erkennbarkeitsleistung und damit auch Blendung (physiologische und psychologische) zu untersuchen und zu charakterisieren.



Abbildung 3: Darstellung der Ausleuchtung und des HDG-Verlaufs bei Abblendlicht (links: korrekt eingestellt; rechts: zu hoch eingestellt) [HELLA]

Insbesondere die Punkte Blendung und Erkennbarkeitsentfernung sind für den Fahrzeugführer hinsichtlich objektiver und subjektiver Sicherheitskriterien von eminenter Bedeutung. Schließlich kann ein fahrzeugeigenes Scheinwerfersystem nicht optimal sein, solange dadurch andere Straßenverkehrsteilnehmer gestört, geblendet oder nicht erkannt werden und daraus Verkehrsunfälle resultieren können. Dies trifft sowohl für die Vorfeldbeleuchtung als auch für die periphere Ausleuchtung der Straße zu. Denn insbesondere bei Unfällen mit Wildbeteiligung oder nicht ausreichend reflektierenden Radfahrern bzw. Fußgängern steigt das Unfallrisiko, wenn periphere Bereiche unzureichend beleuchtet werden. Um diesem Umstand entgegenzuwirken, finden gerade AFS-Systeme und leistungsstärkere Lichtsysteme neuer Generationen immer mehr Zuspruch. Sind diese jedoch nicht richtig justiert, kann es schnell zum Verlust ihrer Vorteile kommen und im Extremfall eine Blendung anderer Verkehrsteilnehmer mit Unfallfolgen hervorrufen.

Am Beispiel des Abblendlichts sind nachfolgend die am häufigsten vorkommenden Effekte dargestellt. Laut Gesetzgebung sind die Scheinwerfer mit einem Sollwert von 1% Neigung zu justieren, um einerseits Blendung zu vermeiden, andererseits jedoch eine ausreichende Ausleuchtungsweite zu gewährleisten. Zusätzlich existieren noch diverse Richtwerte, welche eine Scheinwerferlichtverteilung charakterisieren. Für die Blendung ist der Wert im Punkt B50L von Bedeutung, der die Beleuchtungsstärke am Auge des Fahrers eines entgegenkommenden Fahrzeugs in 50 m Entfernung symbolisiert – ein Wert zur Einschätzung von Blendung. Dies bedeutet im Fall einer Dejustage des Scheinwerfers entweder bei zu hoch eingestellten Systemen eine Anhebung der Beleuchtungsstärke in B50L und damit einer potentiellen Blendung, oder invers eine Reduktion der Ausleuchtungsweite und verspäteten Objektdetektion (Abbildung 4).

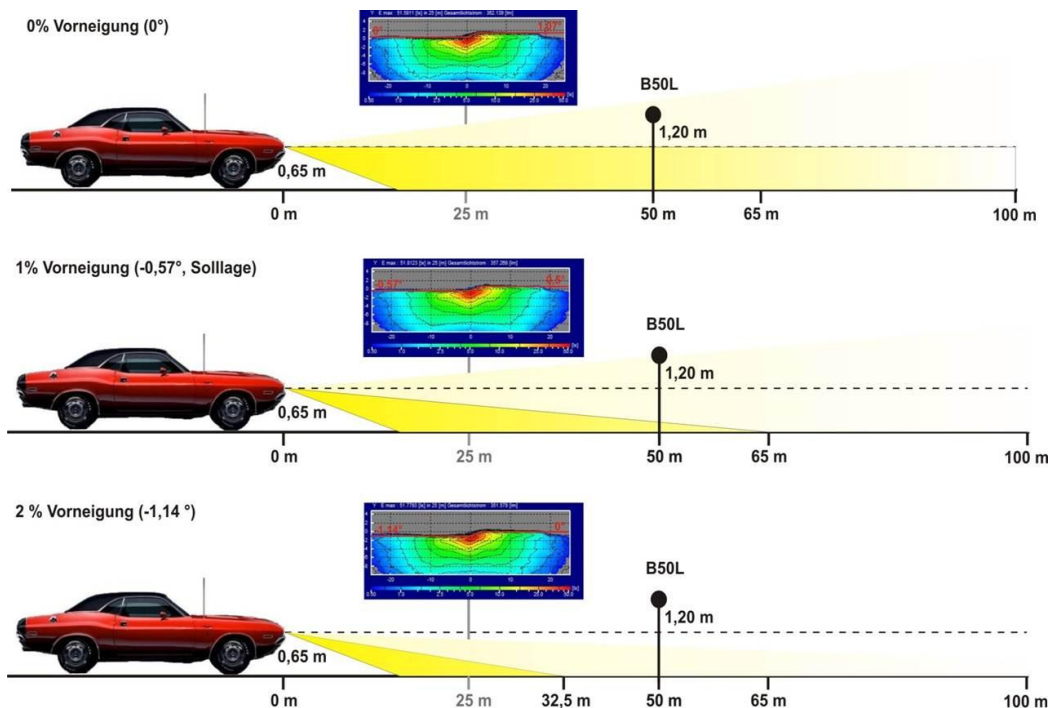


Abbildung 4: Auswirkungen der Dejustage von Scheinwerfern um $\pm 1\%$ und exemplarische Simulation der Beleuchtungsstärkeverteilung und HDG-Verlagerung in 25 m (oben: Blendung; unten Reduktion der Ausleuchtungsweite; hell: Streulicht; dunkel: Licht unterhalb der HDG)

3.2 Scheinwerfereinstellprozess

Nachdem der Scheinwerfer nach der Produktion auf die Anforderungen eingestellt wurde, besteht keine gesetzliche Regelung welche eine erneute Justageüberprüfung vorsieht, oder bei freiwilliger Prüfung eine verbindliche Anleitung der Regelungsprozedur darstellt. Bei Überprüfungen der HDG-Einstellung wird vor allem die vertikale Position, also die Neigung geprüft.

Dies erfolgt in Werkstätten oder auch durch den Fahrer äußerst subjektiv und anhand einer projizierten HDG in sog. Scheinwerfereinstellgeräten (vgl. Abbildung 5) oder anhand einer bestimmten Entfernung zu einer Projektionswand (z.B. 10 m entfernte Garagenwand). Dabei wird die Neigung der HDG überprüft und mittels der Einstellelemente (zumeist Einstellschrauben am Scheinwerfergehäuse) die Lage der HDG auf dem „Messschirm“ variiert. Dies genauer betrachtend, lassen sich erhebliche Defizite identifizieren, in deren Folge die o.g. Auswirkungen stehen. Beispielsweise unterliegt eine solche Einstellprozedur diversen Umgebungseinflüssen, welche nicht standardisiert betrachtet werden und keinem Ausgleich unterliegen. Anzuführen sind vor allem Einflüsse wie Reifendruck, Beladung, Federhystereseverhalten sowie der Wartungsuntergrund und die Wartungsausrichtung.

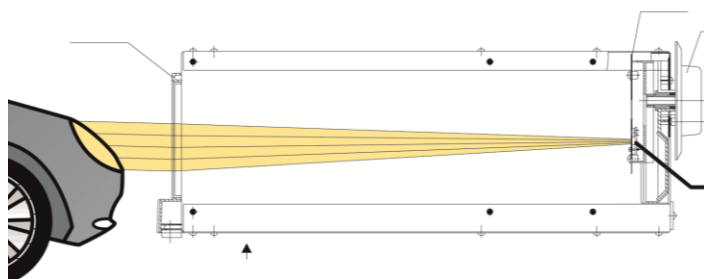


Abbildung 5: Darstellung einer typischen Einstellsituation in der Werkstatt (links) und einer schematischen Darstellung des Strahlenverlaufs zur HDG-Projektion (rechts) [HELLA]

3.3 Aktuelle Situation

Die aktuelle Situation von falsch eingestellten Scheinwerfern und deren Auswirkungen lässt sich in Deutschland nur schwer im Kontext beschreiben. Schließlich werden nach Unfällen oder auch bei negativer Beeinflussung der Fahraufgabe kaum Rückmeldungen über deren Ursachen gesammelt. Daten über die Scheinwerfereinstellung können dem jährlich durchgeführten „LICHT-Test“ entnommen werden. Bereits 2008 sprach die den LICHT-Test durchführende Vereinigung der Verkehrswacht und Kfz-Betriebe von einer gestiegenen Mängelquote von 0,6 % im Vergleich zum Vorjahr. Die ermittelten 36 % entsprächen dabei einer Hochrechnung von 15 Mio. Pkw. Bereits 2009 stieg die Mängelquote wieder an, auf 37,1 %. Darunter ließen sich rund vier Millionen „Blender“ (10,2 %) identifizieren. Darüber hinaus zeigen auch die Angaben zu „einäugigen“ Fahren (15,4 %) und gar nicht richtig funktionierenden Scheinwerfersystemen (7,9 %) ein deutliches Bild [LICHT 2009].

Erweitern lässt sich dies auf den Bereich der Nutzfahrzeuge. Ebenfalls im Jahr 2009 stellte der Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe (ZDK) eine Studie vor, welche besagt, dass über 40 % der Nutzfahrzeuge Mängel an den Beleuchtungsanlagen aufweisen. Demzufolge sei jedes fünfte Nutzfahrzeug „einäugig“ unterwegs und 12 % der Scheinwerfer seien zu hoch eingestellt. Beide Untersuchungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst und bestätigen den Trend.

	In Ordnung	Nicht in Ordnung Gesamt	Nicht in Ordnung 1 Scheinwerfer	Nicht in Ordnung beide Scheinwerfer	Zu hoch eingestellte Scheinwerfer
Pkw	64,33 %	35,67 %	14,23 %	7,09 %	11,27%
Nutzfahrzeuge	61,01 %	38,99 %	15,83 %	10,34 %	14,37 %

Tabelle 1: Übersicht über Lichtmängel nach Fahrklassen mit Ausnahme der Mängel der rückwärtigen Beleuchtung (Stand: November 2010) [ZDK, LICHT]

Auf Basis der vorliegenden Ergebnisse fand im Jahr 2011 eine Stichprobenerhebung der HELLA KGaA in Kooperation mit einem Kfz-Meisterbetrieb in Lippstadt statt. Mithilfe des Scheinwerfer-Einstellgeräts SEG IV DLX wurden über einen Zeitraum von zwei Wochen alle zur Reparatur angenommenen Fahrzeuge einem Scheinwerfertest unterzogen. Hierbei wurden bei über 70 % der getesteten Fahrzeuge Mängelerscheinungen festgestellt. Bei 24 getesteten Pkw unterschiedlicher Fabrikate konnte nur ein Fahrzeug ohne Mängel gefunden werden. Bei 20 der Fahrzeuge wurden Mängel festgestellt, die während einer TÜV-Prüfung nicht kritisiert worden wären. Die Mängelliste ergab zusammengefasst: 21 % defekte Scheinwerfer und im gleichen Rahmen defekte oder falsch eingebaute Lichtquellen, ca. 21 % zu hoch eingestellte und 54 % zu niedrig eingestellte Scheinwerfer [vgl. IGEL].

Trotz des bisher fehlenden belegbaren Kontexts soll auf die aktuelle Unfallsituation hingewiesen werden. Im Jahr 2008 ereignete sich jeder vierte Verkehrsunfall mit Personenschaden bei Dunkelheit. Im Jahr 2010 fanden insgesamt ca. 300.000 Unfälle mit Personenschaden (Verunglückte: 374.818 Personen) in Deutschland statt. 25,01 % entfielen dabei auf Fahrten bei Nacht und Dämmerung. Jeder vierte Personenschaden endete entweder mit leichten oder schweren Verletzungen und ca. 35 % mit Todesfolge (vgl. Tabelle 2) [STATISTISCHES BUNDESAMT 2011].

Verteilung der Nachtunfälle	getötet	schwerverletzt	leichtverletzt
Innerorts	29,50 %	54,44 %	64,27 %
Außerorts	56,86 %	36,75 %	27,12 %
Autobahn	13,64 %	8,80 %	8,62 %

Tabelle 2: Prozentuale Werte von Unfällen mit Personenschaden in Abhängigkeit der Ortslage und Schwere der Verletzung (Nacht; 2010) [Statistisches Bundesamt 2011]

Die dargestellte Lage verschärft sich bei der Hinzunahme der Unfälle mit Wild, welche einen geschätzten jährlichen Schaden der Deutschen Versicherungswirtschaft von ca. 500 Mio. € verursachen. Im Jahr 2009 kam es nach deren Angaben zu ca. 274.000 Wildunfällen, welche über die Teil- und Vollkaskoversicherung abgewickelt wurden. Nach einer Zählung aus dem Vorjahr kamen hierbei ca. 220.000 Tiere zu Tode. [VOSS 2007; DESTATIS 2006; MOTORZEITUNG 2011]

Sollte eine Ursache dieser hohen Zahlen bei falsch eingestellten Scheinwerfern liegen, so muss es das Ziel der Automobilhersteller und -zulieferer sein, Systeme zu entwickeln und auf den Markt zu bringen, welche eine Fehleinstellung nachhaltig vermeiden. Zudem muss in den verantwortlichen Gremien Normungsarbeit zur Verbesserung der Prüfung, Prüfungsdurchführung und -zyklen geleistet werden.

Die Ergebnisse aus verschiedenen internationalen Studien bestätigen die hohe Relevanz der nötigen Forschungs- und Entwicklungsarbeit:

„[...] suggest that vertical aim is a major contributor to all headlamp performance, and that improvements in aim maintenance might provide substantial improvements in headlighting. [...] that effect headlamp performance - vertical misaim had the largest effect.“ [FLANNAGAN 2011].

Weiterhin kann aus der genannten Studie die Aussage extrahiert werden, dass selbst bei vorgeschriebenen Justagezyklen, wie dies in einigen untersuchten US-Bundesstaaten der Fall ist, die Standardabweichung einer Dejustage, im Vergleich zu den anderen Staaten vergleichbar hoch ist. Leider wird keine Angabe über die untersuchten Bundesstaaten und damit zu den Zyklen gemacht. Trotzdem lässt diese Angabe interessante Schlussfolgerungen über die Sinnhaftigkeit der in Deutschland eingeführten gesetzlichen Regelung zur Überprüfung der Scheinwerfereinstellung im Zeitintervall von allen zwei Jahren zu.

3.4 Entwicklungssituation

Es liegen bereits seit den 90iger Jahren Skizzen und Ideen für eine automatische Scheinwerferjustage vor [vgl. LIETAR 1991; KUMRA 1995]. An der gestiegenen Anzahl der Veröffentlichungen und Patente sowie den gesteigerten Möglichkeiten in der Scheinwerferproduktion lässt sich nicht nur ein Interessenzuwachs an der Thematik einer adaptiven, intelligenten automatischen Scheinwerfereinstellung ablesen, sondern auch, dass der Sicherheitsaspekt in Verbindung mit der Entwicklung der Lichtquellentechnologie in den Fokus der Gesellschaft rückt. In Zukunft wird auch weiterhin versucht werden, den Lichtstrom eines Scheinwerfers zu erhöhen, oder zumindest gleichbleibend zu einer HID-Performance zu generieren. Eine Orientierung an aktuellen Designvorstellungen fordert jedoch gleichfalls die Verkleinerung der Lichtaustrittsfläche und somit zwangsläufig eine Erhöhung der Leuchtdichte, welche die am besten korrelierende Größe mit der Helligkeit ist und nach Untersuchungen auch einen Indikator für die Blendung darstellt [RAPHAEL 2004]. In Verbindung mit neuen Lichtfunktionen und mitunter sehr scharfen HDGs, ist das Vorhaben zu einer serienmäßigen Implementierung einer mechatronischen Scheinwerferjustageeinrichtung zu forcieren.

Trotz der beschriebenen und bekannten Sachverhalte ist bisher kein System der angesprochenen Funktionalität umgesetzt. Wenn überhaupt, wird immernoch eine äußerst aufwändige und unzureichende Justage in der Werkstatt vorgenommen, wobei oftmals eine zu niedrige Einstellung gewählt wird, um keine Blendung hervorzurufen, wobei die Ausleuchtungsweite reduziert wird [vgl. IGEL].

Im Gegensatz zu Umsetzungsvorhaben lässt sich bezüglich der Entwicklungs- und Patentsituation eine sehr umfangreiches Bild aufzeigen. Die bisher wichtigsten Ansätze lassen sich in vier Cluster hinsichtlich der schwerpunktmäßigen Betrachtung der Aktuatorik, der Bildererkennung und Datenverarbeitung, der allgemeinen Beschreibung von Justagemarken und Umsetzungsansätze sowie der Betrachtung des Gesamtsystems, zusammenfassen.

Als Patente, welche sich mit der Aktorik befassen und somit Ansatzpunkte für eine Regelungsstrategie oder auch die Position, Anbindung und Art der motorischen Ansteuerung beschreiben sind zwei Arbeiten zu nennen [SMITH ET AL. 2003; BRÜGGER ET AL. 2005]. Erste beschreibt einen Ansatz der vertikalen und horizontalen Aktorik unter Einbeziehung von Fahrzeugsystemdaten, um eine anschließende, nicht genannte, Justage durchführen zu können.

Der Fokus liegt auf prinzipiellen Sequenzdiagrammen zur Beschreibung der Justageinitiierung und einzelnen exemplarischen Winkelangaben für die Justage in Abhängigkeit von Sensordaten. Einen Weg der Ansteuerung der Aktorik im Scheinwerfer beschreibt das zweite Patent. Erstmals wird von einem Ersatz der manuell-mechanischen Grundeinstellungselemente in Verbindung mit einer fernsteuerbaren Aktorik gesprochen. Eine vertikale Feinjustage soll weiterhin mit der etablierten Methode der LWR-Motorennutzung erfolgen. Für die beschriebene Funktionalität soll jedoch der gesamte Scheinwerfer bewegt werden, wobei das Fahrzeug sich in einem statischen Zustand befindet.

Hinsichtlich des Clusters Bilderkennung und Datenverarbeitung ist eine Trennung von Infrarotkameras und Kameras, die sensitiv im visuellen Spektrum sind, zu ziehen. Für die Verwendung von NIR-Kameras spricht, dass eventuell dargestellte Justagemarken vom Fahrer nicht gesehen werden und insbesondere bei Temperaturstrahlern gut detektierbar sind. Bei Albou et. al. besteht die Besonderheit darin, dass die Kamera im Scheinwerfer verbaut ist und mit der Vorrichtung eines „Licht-Linien-Generators“ gekoppelt ist, um eine eindeutige Justagemarkenerkennung neben der HDG zu erhalten. Einen ähnlichen Weg beschreiben Berlitz et al. beim Rückgriff auf schon im Scheinwerfer vorhandene Aktoren, um die horizontale und vertikale Justage umzusetzen. Es werden spezielle Justagemarken auf die Fahrbahn projiziert. Die Bildverarbeitung im visuellen Spektrum betreffend, ist vor allem ein Patent interessant. In diesem wird auf Merkmale der Straßengeometrie zurückgegriffen. Neben Schnittpunkten mit Fahrbahnbegrenzungen werden insbesondere Leuchtdichteänderungen an Reflektoren von Leitpfosten genannt, wobei anschließend ein Abgleich auf eine Referenz erfolgt. Für die Ermittlung der Entfernung, welche von grundsätzlicher Bedeutung für die Berechnung von Justagewerten ist, werden allerdings nur einzelne allgemeine Angaben gemacht, ohne diese zu unterlegen [vgl. Foltin 2011].

Der Punkt Justagemarken ist gesondert zu betrachten. Diesbezüglich gibt es viele Ansätze, wie eine solche auszugestalten ist, um eine eindeutige Lageinformation im Koordinatensystem zu haben. Erst durch eine einwandfreie Identifikation sollte eine Justage gestartet werden und eine Berechnung der Korrekturwerte bei festgestellter Dejustage des Scheinwerfers starten. Im vierten Cluster wird die folgende Auswahl nochmals konkretisiert. Die Gruppe der allgemeinen Beschreibung von Justagemarken geht allein auf diese ein. Es wird fast nie eine Abschätzung auf Realisierbarkeit im Gesamtsystem getroffen, wodurch der innovativ-theoretische Charakter hervorgehoben wird. Alle drei ausgewählten Patente gehen wiederum

von einer Bildverarbeitung mittels Kamerasensorik aus. Im ersten Fall werden verschiedene Justagemarken und deren Verwendbarkeit für eine Scheinwerferjustage diskutiert. Neben dem Abgleich von Lichtmustern wird speziell auf die Nutzung retroreflektierender Anteile der Fahrspur eingegangen. Auch werden Möglichkeiten der Nutzung eines projizierten Fluchtpunkts, verschiedene Lichtverteilungen und eine Projektionsflächennutzung (senkrecht zur Fahrzeuglängsachse, z.B. Mauer, Einstellwand) beschrieben [vgl. MEHR ET AL. 2008]. Ergänzung finden diese Aufzählungen durch die Nutzung von Lichtverteilungssegmenten, wie sie bei additiven Scheinwerfersystemen vorkommen, einer senkrechten Projektionsfläche mit Referenzlichtquellen, der Verfügbarkeit eines Scheinwerfereinstellgerätes und der Verwendung von LASER-Marken, um diese mit einem Spiegelaufbau als Einstellreferenz nutzen zu können [vgl. TANER ET AL. 2011]. Eine erste Neuerung bedeutet die Nutzung einer Normgeometrie bei vorausfahrenden Fahrzeugen, wodurch eine Verfügbarkeit von Justagesituationen enorm gesteigert wird. Diese Normgeometrie wird durch ein Nummernschild eindeutig beschrieben, wodurch Daten für, zumindest eine vertikale, Justage berechenbar wären. Bei diesem Verfahren wird eine oder werden mehrere vertikale HDG-Kanten an die äußere Begrenzung der Normgeometrie angelegt. Leider wird keine Aussage über eine Berechnung oder Feststellung von Entfernungsdaten getroffen [vgl. WILLEKE 2011].

Einen gesamtsystematischen und realitätsnahen Überblick geben die Patente und Veröffentlichungen, welche sich in der Schnittmenge Justagemarken – Aktorik – Sensorik befinden. Hier sind insbesondere zwei Patente der HELLA KGaA Hueck & Co. zu nennen, welche sich getrennt mit der horizontalen und vertikalen Justage beschäftigen. Für eine vertikale Einstellung wird auf ein kamerabasiertes Sensorsystem (bei weiteren Ausführungen auch auf RADAR, LIDAR) zurückgegriffen. Justagesituationen ergeben sich entweder über eine Projektion an eine Wand vor dem Fahrzeug, oder bezogen auf ein Absenken der HDG auf die Fahrbahn. Die Entfernungsdetektion wird dabei über ein Stereokamerasystem gewährleistet. Anschließend wird auf eine intern gespeicherte Korrekturwerttabelle zurückgegriffen [vgl. STAFFEN 2009]. Äquivalent stellt sich das zweite Patent dar, welches die Funktionalität der vertikalen Hell-Dunkel-Grenze nutzt, um eine horizontale Einstellung zu realisieren. Mittels des dargestellten Verfahrens wird mit der vorhandenen Scheinwerferaktuatorik ein lichtloser Kanal erstellt, wobei sich die herausgebildeten Kanalanten um das Fahrzeug legen. Anschließend erfolgt ein Abgleich der Ist-Daten mit dem Sollzustand. Erstmals wird erwähnt, dass es nicht ausreicht, eine globale Korrekturwerttabelle zu nutzen, sondern es einer Fahrzeug- und Ausführungsspezifischen Charakterisierung bedarf [vgl.

HOFFMANN 2008]. Ein drittes Patent der genannten Firma stellt schon ein sehr genaues System dar. Bezeichnend ist die Beschreibung einer Trennung von der nunmehr elektromotorisch ausgeführten Grundjustageeinstellung (keine manuell-mechanischen Einstellelemente) und der bestehenden lichtverteilungserzeugenden Aktorik. Somit erfolgt eine gesamtscheinwerferbezogene Kopplung beider Funktionsanteile zwischen elektromotorischen Grundeinstellungselementen und Stellern im Scheinwerfer. Die Sensorik bildet wiederum eine Kamera, wobei für die eigentliche Zustandsbeschreibung des Fahrzeugs und des Fahrzeugumfelds von einer Sensorfusion ausgegangen wird. Die HDG und deren Kombination beider Scheinwerfer bildet/en die Justagemarke/n [vgl. GÖDECKER 2009]. In das umfassendste und detailreichste Patent der Daimler AG (2011) gehen zwei Patente ein. Während Moisel et al. (2010) stark auf erste Bildverarbeitungs- und damit Justagemöglichkeiten (HDG, vHDG, Differenzbilderzeugung etc.) eingehen, manifestiert sich bei Thom und Kollegen (2010) der Gedanke einer Nutzung von Multifunktionskameras oder NIR-Systemen, welche einen Wechsel zwischen einzelnen Lichtfunktionen als Justagemerkmale nutzen. Hierbei wird eine mikrozeitliche Validierung verwendet, die sequenzbasiert über einzelne Kamerabilder arbeitet. Es wird eine ebene Fahrbahn angenommen und die Entfernungsbestimmung erfolgt über eine scheinwerferexterne Sensorik. Die genannten Ansätze fließen in ein Folgepatent (2011) ein, in welchem Eggers et al. eine pixelbasierte Detektion der HDG oder der Lichtverteilungen beschreiben. Insbesondere wird auf Bildverarbeitungsverfahren eingegangen, die im Schwerpunkt eine Differenzbilderzeugung zwischen Autobahnlicht und Landstraßenlicht sowie die Korrelationseigenschaft von HDGs bei deren Absenkung beschreiben. Erste Justagesequenzen werden beschrieben und auf Kameraparameter (bspw. Px/m Zuordnung) abgebildet. Der Vorteil einer zweidimensionalen pixelbasierten Auswertestruktur der Kamerabilder wird explizit herausgestellt. Im selben Jahr wurden die Ergebnisse erweitert und von Thom et al. auf dem International Symposium for Automotive Lighting (ISAL) auf das Feld der Matrix-Systeme übertragen. Durch die Nutzung einer 24x4 Matrix (96 LEDs) und einem aus einem Standardmodul erzeugten Vorfeld, ergibt sich ein detektierbarer Übergang. Diese projizierte Hell-Dunkel-Grenze lässt sich über eine NIR-Kamerasensorik extrahieren und bildet die Justagemarke als Horizontalinie aus. Ergänzung findet diese Zusammenstellung der Entwicklungssituation durch die Betrachtung durch Trotzauer (2012). Beschrieben wird auch hier die Nutzung eines Matrix-Beam-Systems zur Projektion von Justagemarken. Hierbei wird eine speziell geformte Marke direkt vor das Fahrzeug dargestellt. Durch die unterschiedlichen Winkelsituationen der Kamera und des Fahrers ist diese für letzteren nicht zu sehen. Eine Kalibrierung kann somit kontinuierlich, bei Voraussetzung immer idealer Umgebungsparameter, erfolgen.

4 Zielsetzung

Ziel des Spitzenclusterprojekts ASSIST ist die Entwicklung eines innovativen Scheinwerferkonzepts, welches sich an einer gesamtsystematischen Ausrichtung orientieren soll. Neben einzelnen Justageszenarien sowie Sensorkonzepten sollen zunehmend auch neue konstruktive Ansätze erforscht und erprobt werden. Dies ermöglicht es, nicht nur die gesteigerte Funktionalität einer Selbstjustage der Grundeinstellung zu gewährleisten, sondern gleichfalls eine „LED-orientierte“ Scheinwerferentwicklung zu forcieren. Dies soll sich beispielsweise durch eine weitere Verkleinerung des Bauraumes, der Gewichtsreduktion und der Stabilitätserhöhung auszeichnen. Weiterhin wird neuen konstruktiven Maßnahmen der Materialgedanke zur Seite gestellt. Neue oder aufgabenangepasste Materialien sollen im Scheinwerfer Verwendung finden, um einzelne Veränderungen zu stützen, aber auch beispielsweise die thermische Anbindung zu verbessern. Die Hauptziele lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Entwicklung eines ECE-zulassungsfähigen Systems
- Unterstützung bisheriger adaptiver Scheinwerferfunktionen
- Nutzung der LED als Lichtquelle der Zukunft
- Beschränkung der primären Sensorik auf einen bildverarbeitenden Ansatz (Kamera) und damit keine Implementierung zusätzlicher Sensoren für die Detektion der Justagemarke/-situation
- Abkehr von manuell-mechanischen Einstellelementen
- Minimierung der Dejustage über mechatronische Elemente
- Einstellgenauigkeit des Systems für die vertikale Justage $\leq 0,1^\circ$ und für die horizontale Justage $\leq 0,5^\circ$
- Nutzung der Scheinwerferlichtverteilungen als Justagemarken
- Justage im statischen und semistatischen Umfeld
- echtzeitfähige Justage
- Einsatz neuer, ggf. biobasierter Materialien

5 Systemvarianten

5.1 Allgemeines

An die Entwicklung eines aktorbasierten Systems für eine selbstjustierende intelligente Scheinwerfertechnologie sind einige grundlegende Anforderungen zu stellen. Trotzauer stellt diesbezüglich zunächst drei auf, die nachfolgend in Bezug auf ihre Relevanz kommentiert werden:

Der Justagevorgang²...

- *muss bei Dunkelheit jederzeit, unabhängig von anderen Lichtfunktionen durchführbar sein*

Dies ist nur insofern als relevant anzusehen, dass die Justagemarke oder auch das Sensorsystem nicht leistungsfähig genug sind, um mittels entsprechender Parameter eine eindeutige Detektion durchführen zu können. Auch die Forderung nach einer jederzeit durchführbaren Justage ist zurückzuweisen, da eine signifikante Veränderung der Scheinwerferlage erst ab bestimmten Zeitintervallen auftritt. Insofern können auch zyklenbasierte Scheinwerferjustagen ausreichen.

- *darf weder den Fahrer, noch andere Verkehrsteilnehmer von ihrer eigentlichen Fahraufgabe ablenken oder irritieren*

Dem kann uneingeschränkt zugestimmt werden. Es ist jedoch zu prüfen, inwiefern eine Scheinwerfernachregelung im Fahrbetrieb, bei einer detektierten Dejustage auf den Fahrer wirkt.

- *muss, zur Minimierung der Toleranzen, denselben Sensor wie die Lichtfunktion MatrixBeam nutzen*

Damit eine potenzielle Fehlerminimierung effizient geregelt werden kann, ist dieser Ansatz zu stützen. Weiterhin sollte das Sensorsystem über einen Selbstkalibrierungsmechanismus verfügen, um einen validen Rückgriff auf die implementierten Solldaten einer Justage zu gewährleisten. Hierbei sollte der Sensor identisch mit jenen zur Steuerung der Lichtfunktionen sein, die für eine Justage herangezogen werden.

² Trotzauer spricht von einem Kalibriervorgang. In dieser Veröffentlichung gilt die Annahme aus Fußnote 1.

Weiterhin ist mit aufzugreifen:

- in das System sollte eine Systemüberwachung implementiert sein, um bei einer Fehlfunktion entweder eine Notfallfunktion zu unterstützen, oder dem Fahrzeugführer eine Rückmeldung zu geben,
- das System sollte in jedem Fall eine Rückmeldung und eine Interaktionsschnittstelle mit dem Nutzer bereitstellen.

Darüber hinaus ist eine Fahrzeugübertragbarkeit hinsichtlich einer Systemmodularisierbarkeit zu forcieren, es ist zu prüfen wann und wie oft eine Justage nötig ist und in weiteren Entwicklungsschritten sollte ein kognitives System zum Einsatz kommen, um adaptiv auf Umweltfaktoren und fahrzeugindividuelle Veränderungen angepasst reagieren zu können.

5.2 Justageszenarien & Justagemarken

In einem ersten Schritt gilt es, die Möglichkeiten des Systems, der Notwendigkeiten der Justage und den potentiell vorkommenden Justageszenarien mit den Entwicklungswünschen in Einklang zu bringen. Diesbezüglich wurde auf die Methode der quervergleichenden Experteninterviews zurückgegriffen. Dabei handelt es sich um eine qualitative Methode, bei welcher Fachexperten (acht Personen, alle männlich) verschiedener Disziplinen zu einzelnen Items und deren Merkmalsausprägungen befragt werden. Diese Interviews werden anschließend ausgewertet und inhaltlich verglichen. Die sich daraus ergebenden Antworten werden miteinander verglichen, abstrahiert und zur Systembeschreibung herangezogen. In einem zweiten Schritt wurden diese gesammelten und unterlegten Merkmalsausprägungen wiederum an alle Experten verteilt, um eine skalenbasierte Bewertung vorzunehmen. Anhand festgelegter Kriterien erfolgt nun eine Bewertung der einzelnen Itemmerkmale und die Zusammenstellung von Variantenboxen. Bezüglich der Justageszenarien (Use Cases) wurde folgende Zusammenstellung eruiert:

Statisch

- Die Justage erfolgt im Stand, anhand nutzbarer Projektionsflächen im Vorfeld des Fahrzeugs.
 - Wand (senkrecht)
 - Straße (windschief)
 - Entfernung kooperativer Bedingungen - beliebige Wand, ggf. mit Strukturierung

Semistatisch (im Stand, während des Vorgangs der Fahrzeugnutzung im Verkehr)

- Die Justage erfolgt im Stand, jedoch nicht nur bei Fahrzeuginbetriebnahme und -abstellen, sondern auch während einzelnen Situationen während der Fahrt, wenn das Fahrzeug steht. Dies kann zum Beispiel an einer Ampel ohne vorausfahrenden Verkehr, Parkplatzsituation, stehend mit im Vorfeld haltendem Verkehr, etc. sein.

Use Cases

- kooperative Umgebung
 - Gerade Wand, unstrukturiert, kein Winkelversatz, Werkstattumgebung
 - Statisch, Straße direkt vor dem Fahrzeug, waagerecht, kein Fremdeinfluss
- nicht kooperative Umgebung
 - Gerade Wand, strukturiert, Fahrzeugschiefstellung, Entfernung ist unbekannt (Garage, Tiefgarage, Hauswand)
 - Statisch, Straße direkt vor dem Fahrzeug, Parkplatz, Ampelsituation, Störgrößen, schlechte Straße, zeitkritisch, Projektion HDG direkt vor eigenen Fahrzeug
 - Statisch, Straße direkt vor dem Fahrzeug, Parkplatz, Ampelsituation, Störgrößen, schlechte Straße, zeitkritisch, Projektion HDG Struktur (vHDG) an Kanten vorausfahrendes Fahrzeug und Nutzung für Justage, Entblendung des vorausstehenden Fahrzeugs
 - Stehender Verkehr, komplexe Oberflächen, Normgeometrie, HDG auf Heckseite von voraushaltenden Fahrzeugen, Identifikation HDG

Als Justagemarken kommen je nach Systemauslegung eine Vielzahl von Möglichkeiten in Betracht. Angefangen mit projizierten Grids und Strukturen, über projizierte LASER-Marken auf die Innenfläche der Scheinwerferabschlussscheibe, über Marken im nicht visuellen Bereich, projizierte geometrische Verteilungen auf eine Fläche im Fahrzeugvorfeld etc.

Für ein einfaches und modifizierbares System können aber auch die schon vorhandenen Lichtverteilungen genutzt werden. Mit der Verbreitung adaptiver Lichtfunktionen wie der adaptiven Hell-Dunkel-Grenze oder der vertikalen Hell-Dunkel-Grenze, ergeben sich über die eindeutig geometrisch bestimmbare Abblendlichtverteilung (Landstraßenlicht) zusätzliche Möglichkeiten spezielle Justagesituationen zu unterstützen. Für additive Systeme, also Scheinwerfer, welche die Lichtverteilung aus einzelnen Modulen und deren spezifische Ausstrahlung additiv im Fahrzeugvorfeld zusammensetzen, sind zusätzlich die Möglichkeiten der Prüfung und Einstellung der Module zueinander gegeben. Dazu können einzelne Lichtverteilungen beispielsweise über Differenzbild- oder Korrelationsverfahren mit einer Lichtstärkeverteilungskurve aus der Scheinwerferentwicklung, welche die Referenz bildet, abgeglichen werden. Durch eine gesteuerte Schaltung über der Flimmerverschmelzungsfrequenz des Auges kann dies zusätzlich nicht wahrnehmbar geschehen, also auch ohne negative Einflüsse während der Fahrt.

5.3 Ganzheitlicher Systemansatz

Für die Betrachtung der Wechselwirkung im Gesamtsystem wurden zu den Items Justagemarken und -szenario noch sieben weitere hinzugezogen und mit insgesamt 20 Merkmalsausprägungen versehen. Für einen ganzheitlichen Systemansatz erfolgte die Bewertung aller Merkmalsausprägungen anhand der Kriterien Komplexität, Aufwand, Innovationsgrad, Nutzen und Erlebnisfaktor. Ein sechsstufiges Skalenniveau von „sehr hoch“ (0) und „nicht vorhanden“ (5), bzw. invertiert für die Kriterien Innovationsgrad, Nutzen und Erlebnisfaktor, wurde genutzt. Anschließend wurden die Bewertungen aller Experten zu einem Durchschnitt zusammengefasst. Im Anschluss hatten die Experten die Möglichkeit Gesamtsysteme aus den zur Verfügung stehenden Merkmalsausprägungen frei zusammenzustellen. Aus diesen entstanden insgesamt drei Variantenboxen, welche drei verschiedene Innovationsgrade symbolisieren sollen (siehe Abbildung 6-8). Diese geben eine erste Stoßrichtung bei zukünftigen Entwicklungen.



Abbildung 6: Gesamtsystemkonzept für einen selbstjustierenden Scheinwerfer ASSIST - "State of the Art"



Abbildung 7: Gesamtsystemkonzept für einen selbstjustierenden Scheinwerfer ASSIST - "Innovation"



Abbildung 8: Gesamtsystemkonzept für einen selbstjustierenden Scheinwerfer ASSIST - "Far Far Away"

Neben den vorgestellten Systemkonzepten lassen sich die gemittelten Bewertungen je Kriterium über alle Merkmalausprägungen wie in folgender Abbildung für die einzelnen Variantenboxen zusammenfassen. Eine Separation der Werte hinsichtlich der Kriterien Innovationsgrad und Erlebnisfaktor wurde vorgenommen.

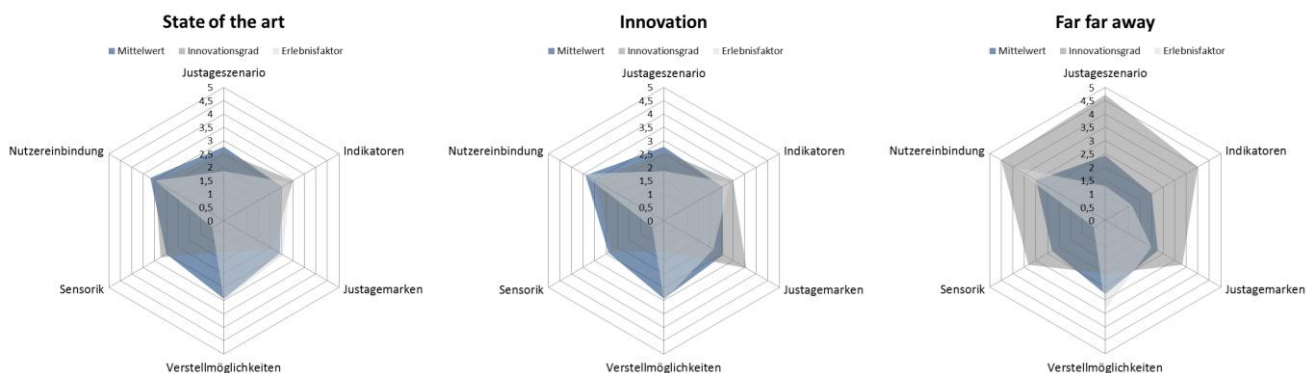


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Variantenboxen in Abhängigkeit der durchschnittlichen Bewertungskriterien (dunkel: alle Bewertungen; mittelgrau: alle Merkmale hinsichtlich Innovationsgrad; hellgrau: alle Merkmale hinsichtlich Erlebnisfaktor)

Der Erlebnisfaktor bildet hierbei einen zu vermutenden, subjektiven Effekt der Nutzgruppe ab, welcher die Erlebbarkeit des Systems hinsichtlich Technik, Funktionalität und Benutzbarkeit widerspiegelt.

6 Ausblick

Die aufgeführten Konzepte werden in den nächsten Schritten weiter konkretisiert, um ein optimales Gesamtsystem zu entwickeln. Hierzu sind vor allem neue Bildverarbeitungsstrukturen zu entwickeln, welche Justagesituationen und -marken zuverlässig und robust erkennen. Eine Justagesituation sollte dabei nicht länger als fünf bis zehn Sekunden in Anspruch nehmen. Weiterhin ist zu untersuchen, wie oft eine Justage sinnvoll ist, um ein effizientes System aufbauen zu können. Die weitere Entwicklung muss zusätzlich die Nutzerbeteiligung und Interaktion mit berücksichtigen. Neben den genannten Aspekten ist zusätzlich über die Integration der fahrzeuginternen Sensoren und damit deren Daten zu befinden. Diese bilden nützliche Indikatoren für die Justage und deren Zyklen sowie zur Systemüberwachung. Der Erfassung des Justagezustands folgt eine Datenverarbeitung, zu welcher auch die Erstellung eines Regelungsalgorithmus gehört. Diesbezüglich werden Strategien entwickelt, welche auch einem Iterationsprinzip zwischen Scheinwerferansteuerung und Sensorverarbeitung gerecht werden. Es ist zu vermuten, dass für spezielle Situationen erst mehrere Auswertungszyklen mit unterschiedlichen Marken zu einem Erfolg im Soll-Ist-Vergleich führt. Weiterhin ist zu prüfen, ob es sinnvoll ist, den eigentlichen Justagevorgang, also die Ansteuerung der Aktorik, vom Justageüberprüfungsvorgang zu entkoppeln, um somit zeitunkritisch arbeiten zu können. Die nächsten operativen Schritte kennzeichnet die Arbeit an neuen Justagemerkmalen und deren Identifikation mittels Kamerasensorik, sowie die Feststellung wann und wie oft eine Justagesituation vorhanden ist, bzw. sein muss.

Zusätzlich werden im Projektverlauf neue und innovative Aktorikkonzepte erstellt und mittels simulativer Umsetzung einer ersten Prüfung unterzogen. Dies erfolgt im Zusammenspiel mit unterschiedlichen konstruktiven Veränderungen und Materialzusammensetzungen, um die Gesamteffizienz im Sinne der Bauraum- und Gewichtsreduktion weiter zu steigern.

Die Forschungsbestandteile Sensorik, Bildverarbeitung, Aktorik und Material werden anschließend für die Erstellung eines Demonstrators genutzt und werden finalisiert in einen Versuchsträger Integration finden. Die Leistungsfähigkeit und die Nutzerakzeptanz werden durch empirische Versuche betrachtet und fließen in eine Optimierungsstrategie ein.

Anmerkung

Die dargestellte Forschungsarbeit wird durch das BMBF gefördert und gehört dem Spitzencluster „it's OWL“ an. Der Projektträger ist das PTKA des KIT.



Quellenverzeichnis

- Albou, P. ; Leleve, J. (2004). System for controlling the in situ orientation of a vehicle headlamp and method of use. US 0167697 A1. Patent.
- Berlitz, S.; Hummel, B. (2007). Verfahren zur automatischen Justage einer Lichteinheit eines Fahrzeugs und Leuchtsystem für ein Fahrzeug. DE 102007049619 A1. Patent
- Brügger, C. Rau, S. (2005). Kraftfahrzeug mit einer Vorrichtung zur Grundeinstellung der Hell-Dunkel-Grenze eines Scheinwerfers, Fernsteuermittel zur Kommunikation mit einer Steuereinrichtung der Vorrichtung und System umfassend ein derartiges Kraftfahrzeug sowie derartige Fernsteuermittel. DE 102005040980 A1. Patent.
- Destatis (2006). Viele Wildunfälle im Oktober. [Online Document] URL http://www.destatis.de/jetspeed/portal/cms/Sites/destatis/Internet/DE/Presse/pm/zdw/2006/PD06__041__p002.psm. (25.08.2011)
- ECE-R 8. Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Halogenscheinwerfern und Lampen. Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen.
- ECE-R 48. Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich des Anbaus der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen. Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen.
- ECE-R 98. Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeug-Scheinwerfern mit Gasentladungslichtquellen. Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen.
- ECE-R 112. Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Kraftfahrzeugscheinwerfer für asymmetrisches Abblendlicht und /oder Fernlicht, die mit Glühlampen ausgerüstet sind. Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen.
- ECE-R 123. Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von adaptiven Frontbeleuchtungssystemen (AFS) für Kraftfahrzeuge. Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen.
- Eggers, H.; Golger, J.; Hahn, S. et al. (2011). Verfahren zum Justieren und/oder Kalibrieren zumindest eines Scheinwerfers eines Fahrzeugs. DE 102011109440 A1. Patent.
- Flannagan, M.J. (2011). Visual performance of headlighting systems and maintenance of aim in use. ISAL. Darmstadt.
- Foltin, J. (2011). Verfahren zur Bestimmung einer Leuchtweite zumindest eines Scheinwerfers und Verfahren zur Kalibrierung einer Lichtaussendung zumindest eines Scheinwerfers eines Fahrzeugs. DE 102011081392 A1. Patent.
- Gödecker, R.; Beneke, F.; Schäfer, H. et al. (2009). Scheinwerfer für ein Kraftfahrzeug mit einer Einrichtung zur verbesserten Grudjustage. DE 102009047932 A1. Patent.
- HELLA KGaA Heuck & Co. (o. J.). Simulative Darstellung von Lichtfunktionen.
- Hoffmann, I. (2008). Verfahren und Vorrichtung zur Kalibrierung einer durch einen Frontscheinwerfer eines Fahrzeugs erzeugten vertikalen Hell-Dunkel-Grenze. DE 102008025459 A1. Patent.
- Kumra, M. Scherrer, M.F. (1995). System for self-aligning vehicle headlamps. US 5633710. Patent.
- LICHT TEST (2009, 2010). Überprüfung von Scheinwerfern. [Online Document] URL www.licht-test.de.

- Mehr, W.; Fechner, T. Heinrich, S. (2008). Verfahren zur Dejustageerkennung eines Fahrzeugscheinwerfers mit einer Kamera. DE 102008031159 A1. Patent.
- Moisel, J. (2010). Verfahren zum Justieren einer Lichteinheit eines Fahrzeugs. DE 102010006190 A1. Patent.
- o.A. (2008). Wildunfall: Ausweichen oft gefährlicher als ein Zusammenstoß. [Online Document] URL. www.motorzeitung.de. (25.08.2011).
- Lietar, C.; Longchamp J.F.; Lopez E. (1991). Einrichtung zur Regelung der Leuchtweite von Scheinwerfern von Kraftfahrzeugen. DE 4122531 C2. Patent.
- ZDK (2010). Mängelfeststellung an Nutzfahrzeugscheinwerfern. Zentralverband Deutsches Kraftfahrzeuggewerbe.
- Ralf Igel, Igel & Slaby GbR Kfz-Meisterbetrieb (2011). Untersuchung der Scheinwerfereinstellung bei Pkw. Auftrag der HELLA KGaA Hueck & Co. Lippstadt.
- Raphael, Sabine (2004). Blendungsbewertung von Scheinwerfern - Untersuchung und Bewertung des Einflusses der Beleuchtungsstärke am Auge, der Leuchtdichte und der Größe der leuchtenden Fläche auf das Blendempfinden und Kontrastempfinden. TU-Ilmenau. Diplomarbeit.
- StVZO (2012). Siebenundvierzigste Verordnung zur Änderung straßenverkehrsrechtlicher Vorschriften. Artikel 3. 1. Juni 2012.
- Smith, J.E.; McDonald, A.B. (2003). Automatic directional control system for vehicle headlights. US 0107898 A1. Patent.
- Staffen, R. (2009). Verfahren und Vorrichtung zur Kalibrierung einer durch einen Frontscheinwerfer eines Fahrzeugs erzeugten horizontalen Hell-Dunkel-Grenze. EP 128590 A1. Patent.
- Statistisches Bundesamt (2011). Verkehr und Verkehrsunfälle 2010. Fachserie 8, Reihe 7. Wiesbaden. S. 276.
- Taner, A.; Trotzauer, A.; Hummel, B. (2011). Verfahren zur Kalibrierung eines wenigstens einen Scheinwerfers eines Kraftfahrzeugs ansteuernden Fahrzeugsystems. EP 2416139 A1. Patent.
- Thom, M.; Hahn, S.; Ritter, W. et al. (2010). Verfahren zum Justieren und/oder Kalibrieren zumindest eines Scheinwerfers eines Fahrzeugs. DE 102010048689 A1. Patent.
- Thom, M.; Ulken, M.; Krüger, L. et al. (2011). Headlight range calibration during driving operation. ISAL. Darmstadt.
- Trotzauer, A. (2012). Automatische Scheinwerfer Online-Kalibrierung im Fahrbetrieb. In: Optische Technologien in der Fahrzeugtechnik. VDI Berichte Nr. 2154. VDI Verlag: Düsseldorf.
- Voss, H. (2007). Unfallhäufungen mit Wildunfällen. In: Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (Hrsg.). Forschungsbericht No. 1. Berlin.
- Willeke, F.J. (2011). Verfahren für die Kalibrierung eines vertikalen Hell-Dunkel-Grenze sowie Fahrzeuge mit einer variierbaren Hell-Dunkel-Grenze. DE 102011000316 A1. Patent.