

ASSIST – Die erste Generation selbstjustierender Scheinwerfer

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

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

1 Zusammenfassung

Die in den letzten Dekaden entwickelten und produzierten Scheinwerfersysteme zeichnen sich durch eine steigende Komplexität in der Konstruktion und den Funktionalitäten aus. Weiterhin steigen der Anteil des emittierten Lichtstroms sowie das Beleuchtungsstärkemaximum mit nahezu jeder Scheinwerfergeneration an. Neben den eingesetzten Lichtquellen- und optischen Technologien (LED-Arrays, LASER, Silikonelastomere, Mikrolinsen etc.) bescheinigen nicht nur die zunehmende Lichtfunktionen und die Digitalisierung der Ansteuerungen den Eintritt von Scheinwerfertechnologien in den Bereich der Hochtechnologie. Neben dieser Einordnung wirkt das Vorhandensein von manuellen Scheinwerfereinstellungsmechanismen wie ein Anachronismus in dieser Welt aus digitalen Signalen und adaptiven Funktionen. Neben den schon als unzureichend anzusehenden manuellen Justagemechanismen tragen die zu langen Intervalle einer offiziellen Überprüfung der Scheinwerfereinstellung sowie die teilweise unzureichenden Einstellgeräte und -prozesse (objektiv) zu einer Verschlechterung der Gesamtsituation bei. Dabei erfordern gerade neue Lichtfunktionen wie das blendfreie Fernlicht sogar eine Erweiterung der Scheinwerfereinstellung um den horizontalen Bereich, der bisher bei der Justage im Fall der Hauptuntersuchung eher eine marginale Rolle spielt.

Einen Lösungsweg aus dieser Situation heraus bietet das ASSIST-Konzept, welches in der Konsequenz der Selbstjustage des Scheinwerfers die manuellen Einstellelemente eliminiert und eine automatische, sensorgekoppelte Scheinwerfereinstellung in horizontaler und vertikaler Bewegungsrichtung umsetzt. Durch Nutzung eines schon implementierten, für adaptive Lichtfunktionen notwendigen Kamerasystems, kann in verschiedenen Alltagssituationen eine Überprüfung der Scheinwerferlage anhand verschiedener Justagemarken erfolgen, welche sich aus den Geometrien der Lichtfunktionen und damit der Hell-Dunkel-Grenzen ergeben.

Bei der Entwicklung des Gesamtsystemansatzes wurde darauf geachtet, einzelne Komponenten so auszulegen, dass ein modularer Einsatz in anderen Systemen möglich ist.

2 Einleitung

Im „Lichttest 2014“ wurde eine leichte Verbesserung des Punktes „Scheinwerfereinstellung“ festgestellt. Insgesamt sank die Mängelquote bei falsch eingestellten Scheinwerfern um 0,8 Prozentpunkte (22,5%, davon 13% zu hoch eingestellt, 9,5% zu niedrig eingestellt) [LICHT 2014]. Leider wird nur die vertikale Einstellung geprüft, welche Einfluss auf die Blendwirkung und die Ausleuchtungsweite hat. Für neuartige ADB-Systeme (Adaptive Driving Beam) spielt darüber hinaus aber auch die horizontale Einstellung von Scheinwerfern und somit schaltbaren Segmenten eine besondere Rolle.

Die ECE R48 beispielweise gibt ein grundsätzliches Set an Einstellparametern vor. Die Größe der Intervallangaben ist vor dem Hintergrund immer leistungsfähigerer Scheinwerfertechnologien sicherlich in den kommenden Jahren zu diskutieren. Für den einwandfreien Betrieb und eine einwandfreie Scheinwerferperformance ist jedoch eine mehr oder weniger kontinuierliche Einstellung sicherzustellen, da verschiedene Einflüsseffekte auf den Scheinwerfer wirken (z.B. Materialsetzeffekte, Vibrationen, Temp.unterschiede, menschliche Einflüsse etc.).

Bei einer detaillierten Betrachtung der Situation kann eine korrekte Justage der Scheinwerfer, außer beim Ersteinbau in das Fahrzeug (am Bandende des Fahrzeugherstellers) kaum garantiert werden. Hier fehlen bislang exakte Möglichkeiten in den Werkstätten, wie beispielsweise digitale SEGs (Scheinwerfereinstellgeräte), exakte Einstellprozessbeschreibungen oder die, insbesondere für komplexe Scheinwerfereinstellungen, nötige Infrastruktur. [Röper 2014, Dominsky 2013, Dominsky 2014]

Aus o.g. Gründen resultiert der Anspruch, zukünftig bei der Entwicklung und Realisierung neuer Lichtsysteme eine dauerhafte und präzise Justage der Scheinwerfer sicherzustellen. Dabei besteht das Ziel, dies mittels vorhandener Sensorik zu erreichen und das mechatronische Gesamtsystem den resultierenden Anforderungen anzupassen, um in jeder Situation vermehrte Blendung zu vermeiden und die Ausleuchtungsweite optimal zu halten.

Da schon vorhandene Sensorsysteme genutzt und adaptiert werden, ist es hinsichtlich der Nachhaltigkeit und einer Marktdurchdringung wichtig, die aktuelle Verbreitung dieser zu betrachten. Die bei der ASSIS-Technologie verwendeten Kamerasysteme unterstützen die lichtbasierten Assistenzfunktionen neuartiger Scheinwerfersysteme schon heute. Bis 2019 wird sogar eine signifikante Wachstumsrate von kamerabasierten Systemen um 28%, im Vergleich zu 2011/12, vorausgesagt [HELLA & LEK, 2014]. Damit wäre die Durchdringung

eines wichtigen Elements des ASSIST Gesamtkonzepts bereits in vielen Fahrzeugen vorhanden.

3 ASSIST

Das „Aktorbasierte System für eine selbstjustierende, intelligente Scheinwerfertechnologie“ soll in einem ersten Ansatz als Gesamtsystem verstanden werden, welches sich durch das Zusammenwirken einzelner „Module“ auszeichnet. In Abbildung 1 sind diese dargestellt.

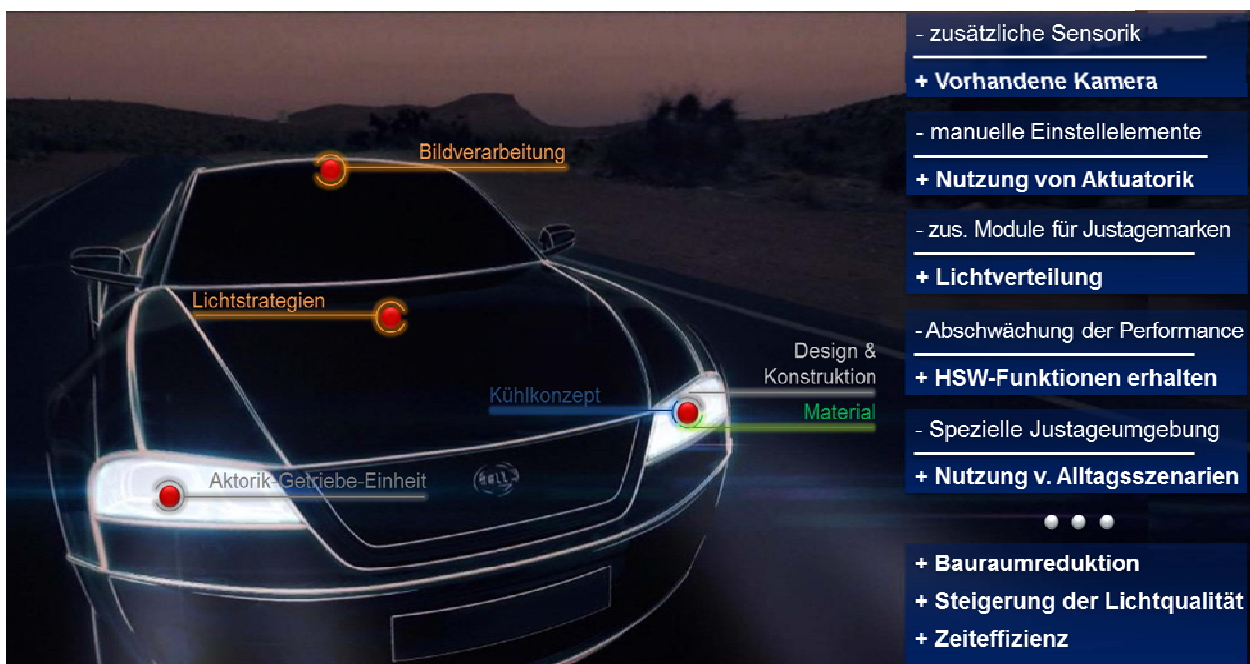


Abbildung 1: ASSIST-Gesamtkonzept mit Darstellung verschiedener grundsätzlicher Anforderungen an die Technologie

Hierbei ist festzuhalten, dass neben der gesteigerten Funktionalität durch die Selbstjustage, alle weiteren lichtbasierten Assistenzfunktionen (z. B. AFS, blendfreies Fernlicht) weiterhin unterstützt werden.

Das Gesamtsystem setzt sich somit maßgeblich aus einer die Umwelt beobachtenden Sensorik und einer nachgeschalteten Datenauswertung (Software), einer dynamisierenden Einheit mit der entsprechenden Sensorik sowie den mechanisch-konstruktiven und licht-technischen Bausteinen zusammen.

3.1 Lichtstrategien, Kamerasensorik und Bildverarbeitung

Die Verwendung des Systemansatzes soll hinsichtlich des Einsatzes nicht nur auf spezielle Situationen beschränkt sein, sondern, entsprechend der Anforderung an eine Reduktion der Justageintervalle und damit der Sicherstellung einer korrekten Scheinwerfereinstellung, Alltagssituationen nutzen. Die unterstützten Use Cases lassen sich in die Bereiche kooperative und nicht kooperative Umgebungen unterteilen. Während sich die kooperativen Situationen durch eine eindeutig beschreibbare Umgebung und Projektionsebene ohne auffällige Störeinflüsse auszeichnen, bilden die nicht kooperativen Situationen die Basis für die Verwendung des Bildverarbeitungsalgorithmus unter „widrigen“ Bedingungen wie bei Gegenverkehr, nicht plane oder strukturierte Projektionsoberflächen, sich verändernde Lichtverhältnisse etc. Erste Untersuchungen des Systems mit bereits zur Verfügung stehenden Versuchsträgern spezifizieren die Justagemarken, also die Lichtverteilungen der Hell-Dunkel-Grenze (HDG) für einzelne Use Cases. Eine Aufstellung der hinterlegten, anzusteuernenden Geometrien für die einzelnen Szenarien ist in Abbildung 2 dargestellt. Anschließend werden die Lichtstrategien in der Mastereinheit zur Steuerung der Anfahrtswege des Scheinwerfers sowie der Einstellung der Korrekturwinkel entwickelt und implementiert.

Für den Systembestandteil der Bildverarbeitung und Sensorik lässt sich folgendes allgemeines Vorgehen extrahieren:

- Prüfung der Voraussetzung für Start der HDG-Erkennung
 - Stillstand eigenes Fahrzeug
 - Ebene mit Situationsbeschreibung (Boden / Wand / Fahrzeugheck)
 - statische Szene
- Prüfung der Szenenstabilität und -eignung (Aktivierung während des gesamten Vorgangs)
- Kalibriersituation wird erkannt und 3D-Lage der Objekte ermittelt; alle 3 geplanten Use Cases werden unterstützt (nicht kooperative Umgebung)
- Extraktion der Entfernung aus dem Kamerabild
- Geeignete Lichtverteilung wird ausgewählt und auf Justageobjekt positioniert
- HDG wird bewegt und im Kontrastbild vermessen
- Übermittlung des detektierten Intersektion Points (ISP) (HDG-Segmentschittpunkt) (mit Frameversatz) und Berechnung der Korrekturwinkel
- Datenübermittlung an die Masereinheit

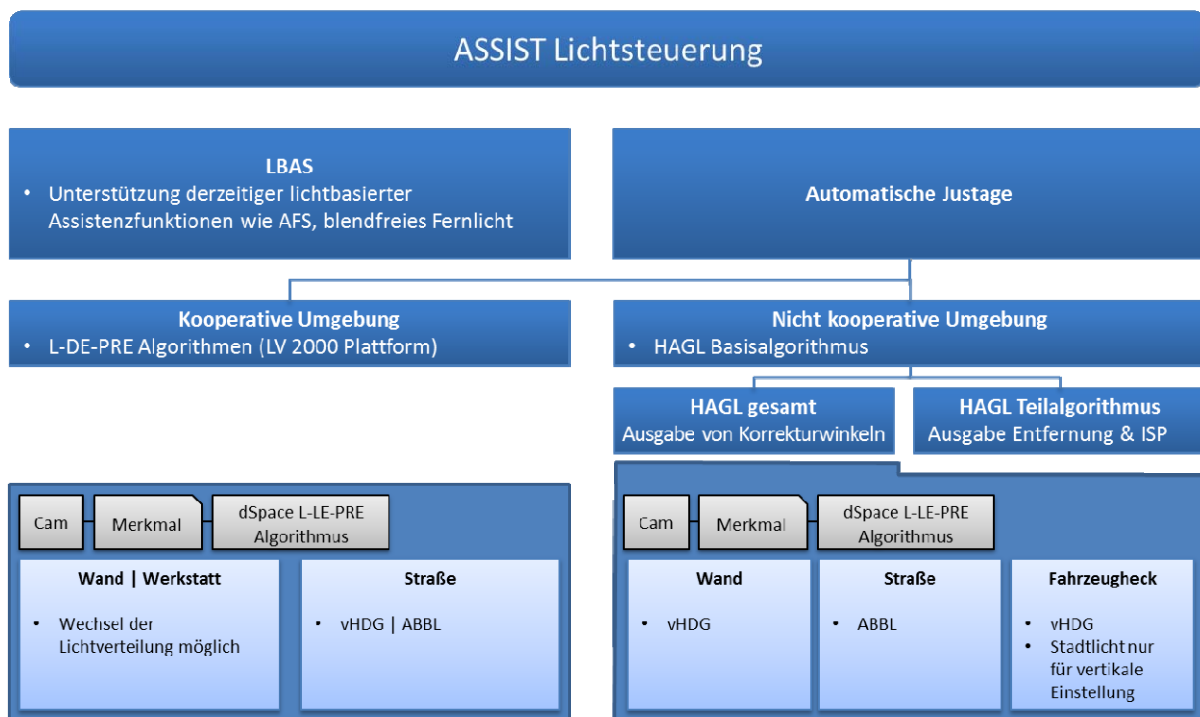


Abbildung 2: Zuweisung der Lichtverteilungen zu den Use Cases

Davon ausgehend lassen sich für den benannten Systembestandteil vier Hauptfunktionscluster benennen, die im Ergebnis zu den notwendigen Daten für eine Scheinwerferjustage führen. Zur Plausibilisierung der ermittelten Korrekturwinkel lassen sich verschiedene Verfahren anwenden. Neben der Verwendung des direkt ermittelten Korrekturwerts, der in Abhängigkeit von der Situationsgüte erheblichen Streuungen unterworfen sein kann, können verschiedene statistische Methoden angewendet werden. Derzeit ist eine zweistufige Herangehensweise implementiert, wodurch die Messwerte, resultierend aus Messwiederholungen innerhalb einer Use-Case-Messung (intravariabel) genutzt und über einen 2-Sigma-Filter bewertet werden sowie die Messungen zwischen den Use Cases (intervariabel) in Bezug gesetzt werden. Somit ist man unabhängiger von nur einer Szenenausprägung und kann Häufungen von weniger geeigneten Justagegängen entgegenwirken. Untersuchungen zu einem Best-Fit-Wert müssen noch durchgeführt werden. In Wechselwirkung mit zu analysierenden Umgebungs- und Nutzungsdaten ist es sicherlich nicht nötig, jederzeit eine Justage durchzuführen.

Die schon genannten vier Hauptfunktionsblöcke sind in Abbildung 3, am Beispiel des Nutzungsszenarios Straße dargestellt.



Abbildung 3: Hauptfunktionscluster des Moduls "Bildverarbeitung"

Im oberen linken Fenster ist die Funktion der Ebenenabschätzung dargestellt. Diese dient zum einen dazu die Lage der Projektionsebene zur Fahrzeuglage zu bestimmen und somit geometrische Verzerrungen ausgleichbar zu machen. Zum anderen wird über Ebenenbestimmung eine Unterscheidung der Use Cases Straße und Wand betrieben. Im gezeigten Beispiel liegt die Projektionsebene vor dem Fahrzeug und stellt somit die Straße dar. Sollte sich orthogonal zum Fahrzeug eine Ebene befinden, kennzeichnet dies den Fall Wand. Rechts neben der Ebenenabschätzung ist die Berechnung der Entfernung zur Projektionsebene dargestellt. Wird eine Ebene, oder bei dem Use Case Fahrzeugheck ein Rückleuchtenpaar, entdeckt, wird daraus die Entfernung zu diesem Merkmal abgeleitet. Wichtig ist bei der nicht kooperativen Umgebung, dass sich in der Region of Interest (ROI) genügend auswertbare Merkmale befinden. Im Fall der kooperativen Umgebung werden andere Herangehensweisen und spezielle Verfahren für die Entfernungsbestimmung genutzt (z.B. Matching von Hell-Dunkel-Grenzen-Geometrien, Scaling von Lichtverteilungsseg-

menten, Differenzwinkelberechnung etc.). Hinsichtlich des folgenden Programmbestandteils (mittlere Reihe) werden die nicht relevanten Bildanteile unterdrückt und nur die sich bewegenden Justagemarkenanteile extrahiert und verfolgt. Es lassen sich zwei Hell-Dunkel-Grenzen identifizieren, welche frameversetzt existieren und auf die Bewegungsrichtung sowie den ISP-Abstand schließen lassen. Wichtig für eine valide Szene ist, dass sich die sich bewegenden Justagemarken innerhalb einer statischen Auswertungsebene befinden, welche nicht durch dynamische Anteile gestört wird. Ein Fußgänger im Bild würde somit zu einem Abbruch des Einstellvorgangs führen. In der rechten Anzeige lassen sich zudem die gefundenen HDG-Kanten im Realbild abbilden und die Güte der Szene anhand der oben links angezeigten Indikatoren bewerten. Fusioniert ergeben die einzelnen Anteile das untere rechte Anzeigebild, in welchem alle Schritte zusammenlaufen und mit relevanten Fahrzeuginformationen ergänzt werden. Im rechten Abschnitt der unteren Reihe werden die berechneten Korrekturwinkel für die Use Cases, die Scheinwerferseite und die statistische Auswertung angezeigt und anschließend an die Systemmastereinheit (dSpace-Box) übermittelt.

Erste Versuche mit einem Vario-Xenon-Modul der W211 Baureihe ergeben gute Ergebnisse hinsichtlich des Algorithmus, der Erkennung der Justagemarken und der Wiederholbarkeit der automatischen Einstellung. Für das ASSIST-System mit verbessertem Bewegungskonzept und optischer Abbildung wird mit einer stark verbesserten Optimierung gerechnet. Weiterhin wird an einem verbesserten EGO-Motion-Verfahren gearbeitet.

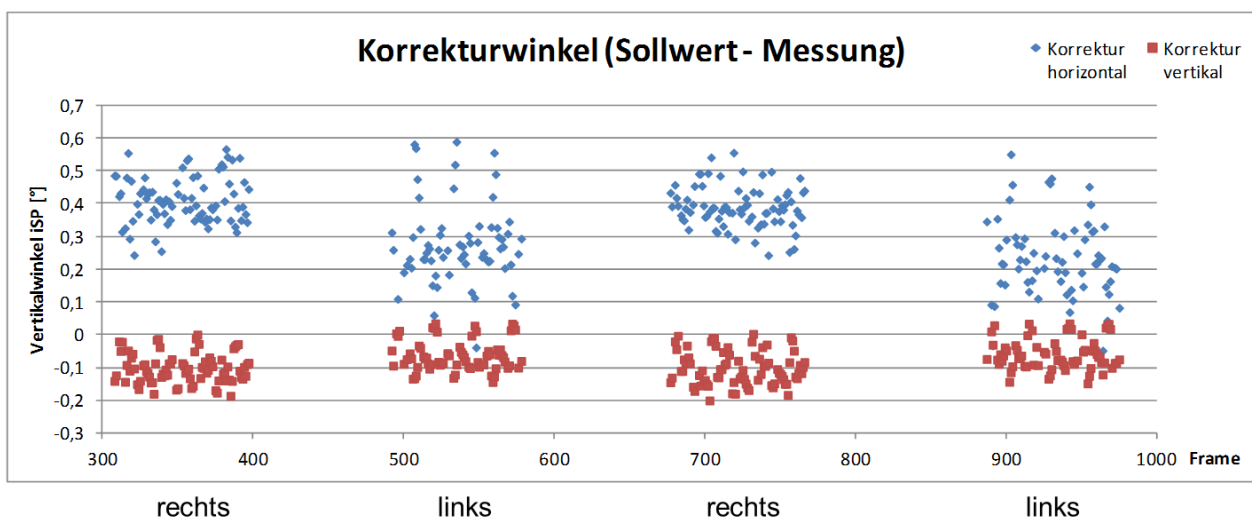


Abbildung 4: Wiederholgenauigkeit der Korrekturwinkelberechnung und der ISP Ausgabe über den Algorithmus V.01 (Use Case Straße; vier Bewegungssequenzen Abblendlicht (ABBL) links und rechts, Mittelwert aus zwei vergleichbaren Messungen)

Dabei ist zu erkennen, dass insbesondere der Vertikalwinkel um $\pm 0,1^\circ$ (beide Scheinwerfer) variiert und der Horizontalwinkel um $\pm 0,2^\circ$ (rechts) bzw. $\pm 0,3^\circ$ (links). Letzterer Wert ist wohl auf das Spiel der Mechanik im Scheinwerfer zurückzuführen und lässt sich durch die hohe Wertestreuung veranschaulichen.

3.2 Bewegungskonzept

Für die Dynamisierung der Scheinwerferlichtfunktionen und letztlich auch die Scheinwerfereinstellung ohne manuell-mechanische Elemente ist ein Bewegungskonzept zu realisieren, welches die Vorteile einer entfallenden Kopplung mit scheinwerferexternen Bauteilen nutzbar macht und die Vorteile neuer Innovationen aufgreift. Um eine möglichst kompakte Einheit zu erhalten und den benötigten Bauraum zu minimieren, jedoch die bisher integrierten Funktionen zumindest beizubehalten, wurde ein kardanisches Bewegungskonzept entwickelt, welches in den jeweiligen Bewegungsachsen der lichtemittierenden Einheit für die Reichweite (Vario-LED II) eine Aktor-Getriebe-Einheit besitzt und für die Überwachung und Referenzierung der zu verfahrenen Schritte (Winkel) mit einem kontaktlosen Sensor (CIPOS – Contactless Inductive Position Sensor) ausgestattet ist (Abbildung 5). Eine Kopplung mit der Vorfeldbeleuchtung erfolgt separat. Eine Besonderheit des Bewegungskonzepts ist es, dass nunmehr keine translatorischen in rotatorische Bewegungen umgewandelt werden müssen, sondern durch die Umsetzung eines rotatorisch-rotatorischen Ansatzes eine direkte Winkelansteuerung in den Drehachsen erfolgt. Durch die extrem spielarme und selbsthemmende Auslegung der „Direktantriebseinheiten“ können die Genauigkeit und Robustheit des Systems erhöht werden.

Ziel war es zudem, mittels des neuen Bewegungskonzeptes, welches die dynamisierenden Einheiten trägt, neben den Leistungseigenschaften auch den erforderlichen Bauraum zu minimieren.

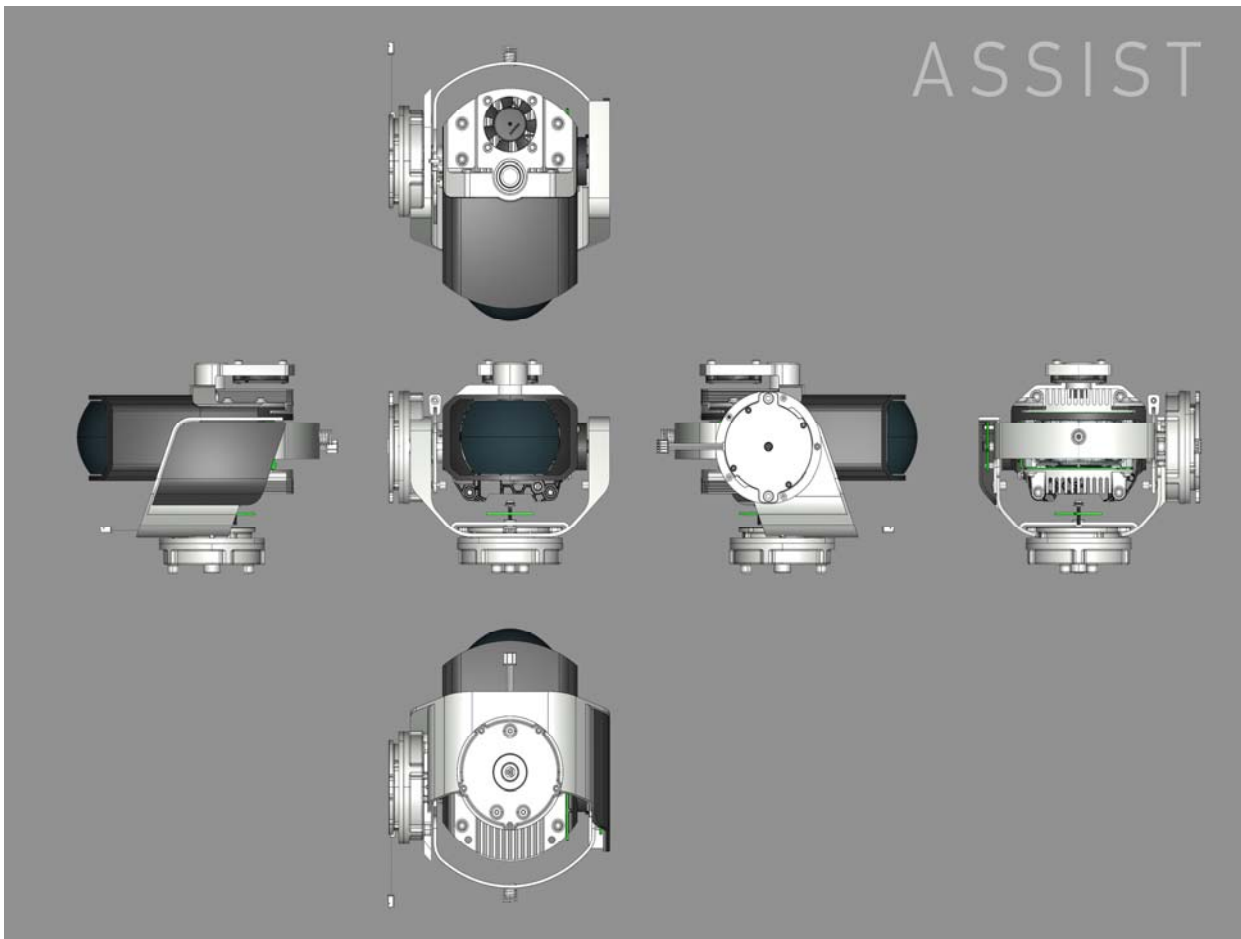


Abbildung 5: Bewegungskonzept (grün: CIPOS in den Drehachsen; dunkelgrau: Blende und Primäroptik als abbildende Linse; Mitte Frontansicht links und unten in der Frontansicht Aktor-Getriebe-Einheiten)

In Anlehnung an die Forderung wurde ein „Ultra-flat-Schrittmotor“ der Fa. Nanotec den Automobilanforderungen entsprechend modifiziert und mit einem neuentwickelten Cyclo-Akbar-Getriebe (Fa. Maul Konstruktionen GmbH) gekoppelt. Entsprechend der Ansteuerungsparameter wird bereits im Vollschriff und einer Untersezung von 1:80 eine Winkelaufösung am Abtrieb von $0,0225^\circ$ erreicht. Aus der erstmaligen Koppelung der Technologieansätze der Cycloiden- und Akbargetriebe resultiert eine Steigerung des Drehmoments von 0,065 Nm auf 1,05 Nm (lineare Ansteuerung, max. Beschleunigung, Dauerbetrieb, Microstepping, $I_{\text{mean}}=1,0 \text{ A}$), was einem berechneten Wirkungsgrad von ca. 56 % entspricht ($i_0=0,988$; $n_{1\text{ges}}=0,361$) (Abbildung 6). Bei einer Ansteuerungsvariation auf $I_{\text{mean}}=1,35 \text{ A}$ wird eine Drehmomentsteigerung am Abtrieb auf 1,23 Nm erreicht. Insgesamt kann die Peakdrehmomentabgabe durch eine nicht lineare Ansteuerung in der Treiberelektronik erhöht werden, indem eine sinuide und geschwindigkeits- & beschleunigungsreduzierte Anfahrt bei Mehrlastsituationen erfolgt.



Abbildung 6: Erste Version der Aktor-Getriebe-Einheit (Gesamthöhe ohne Kupplung: 31 mm; Durchmesser: 83 mm; Gewicht 208 g)

Durch die Auslegung des Systems in Abstimmung auf die Parameter der Bildverarbeitung und einzelner Use-Cases, hinsichtlich von ausgewerteten Voruntersuchungen zu potenziell auftretenden Dejustagewinkeln und entsprechend der Anforderungen für die Lichtfunktionen dynamisches Kurvenlicht und dynamische Leuchtweitenregulierung, wird ein horizontaler Schwenkwinkel von $-7,5^\circ$ bis 15° und ein vertikaler Schwenkwinkel von $+4^\circ$ bis $-7,5^\circ$ unterstützt.

Zur Unterstützung des Bewegungskonzepts ist ein doppeltes Leichtlauflager am hinteren Teil vorgesehen, um die horizontale Bewegungsrichtung abzustützen und eine zusätzliche Stabilität im System zu gewährleisten. Da es sich zudem um eine kompakte Einheit handelt, ist eine spätere Montage (keine aufwendige Verbindung mit anderen mechanischen Bauelementen im Scheinwerfer) und ggf. Variation des Erscheinungsbildes gekoppelt mit einem „Plug-In“-Charakter gegeben.

3.3 *Lichttechnische Funktionen und Design*

Wie in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben sollen die dynamischen Lichtfunktionen Kurvenlicht und Leuchtweitenregulierung unterstützt werden. Zusätzlich sollen AFS-Funktionen (Adaptive Frontbeleuchtung) und das blendfreie Fernlicht unterstützt werden. Letztgenannte Funktionen werden über eine Walze im Reichweitenmodul (Vario LED II) umgesetzt und über die Schwenkachsen des Bewegungskonzepts umgesetzt. Auch die Walzenposition wird über einen CIPOS-Sensor überwacht. Das Vorfeld ist mit einer Koppelung an die vertikale Einstellung des Reichweitenmoduls angebunden und wird über ein „COMLED“-Modul (Vorfeldbeleuchtung) umgesetzt. Mittels eines 3-Funktionslichtleiters (3-FuLL) werden aus einem TIR-Volumenkörper die Funktionen Tagfahrlicht, Positionslicht

und Fahrtrichtungsanzeiger generiert. Durch die spezielle Auslegung der Einkoppelstrukturen, der lichttechnischen Auslegung der Funktionsanteile und der Mikrostrukturierung der Auskoppelflächen für die Signalfunktionen wird eine gute Gleichförmigkeit in der Ausleuchtung bei gleichzeitiger Minimierung der Lichtleiterhöhe (7 mm) erreicht. Weiterhin wird durch die lichttechnische Auslegung ein differenziertes Erscheinungsbild erzeugt, wodurch die Signalfunktionen aus einem ambient scheinenden Hintergrund herausgehoben werden.

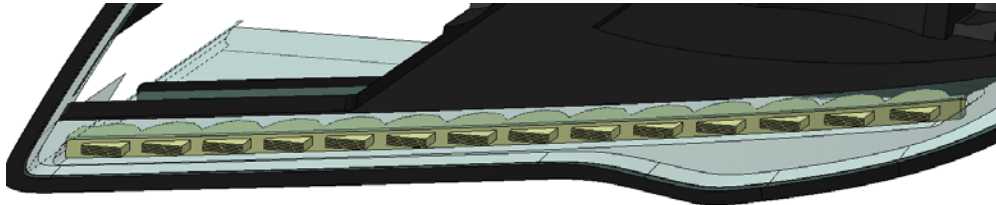


Abbildung 7: 3-FuLL im ASSIST-Scheinwerferdesign

Das Design unterstützt die Message „Show the Tech“ und setzt das Bewegungskonzept in den Mittelpunkt.



Abbildung 8: „Show the Tech“-Designrendering des ASSIST-Scheinwerfers ohne KAS und ohne 3-FuLL

4 Evaluation

In einer ersten Studie wurde neben den Scheinwerfereinstellungsqualitäten von Vertragswerkstätten (ähnlich dem LICHT Test) auch die Systemperformance des Use Cases Wand/Werkstatt getestet [Röper 2014]. Hierzu wurden die Scheinwerfer 18 mal (36

Scheinwerfer) durch einen Experten und eine identische Prozedur auf Soll-Dejustage-Maße (manuell-mechanisch) eingestellt. Verwendet wurde das schon benannte Versuchsfahrzeug W211 mit Vario Xenon. Nach jeder laserbasierten Experteneinstellung an einer 11 m entfernten Projektionswand im Lichtkanal der Fa. HELLA, wurde eine Projektionswand, entsprechend den Anforderungen aus dem Szenario „Wand/Werkstatt“ in 4 m Entfernung vor dem Fahrzeug aufgebaut.

Zielwert _v	Zielwert _h	$\Delta\text{Target L}_{\text{HSW}}$		$\Delta\text{Target R}_{\text{HSW}}$	
		v	h	v	h
-0.57°	0°	+ 0.78°	+ 0.91°	0°	-1.82°

Tabelle 1: Dejustagewerte für den jeweils linken und rechten Scheinwerfer in Bezug auf den Zielwert (v: vertikal; + hoch; - runter; h: horizontal: + nach außen; - nach innen)

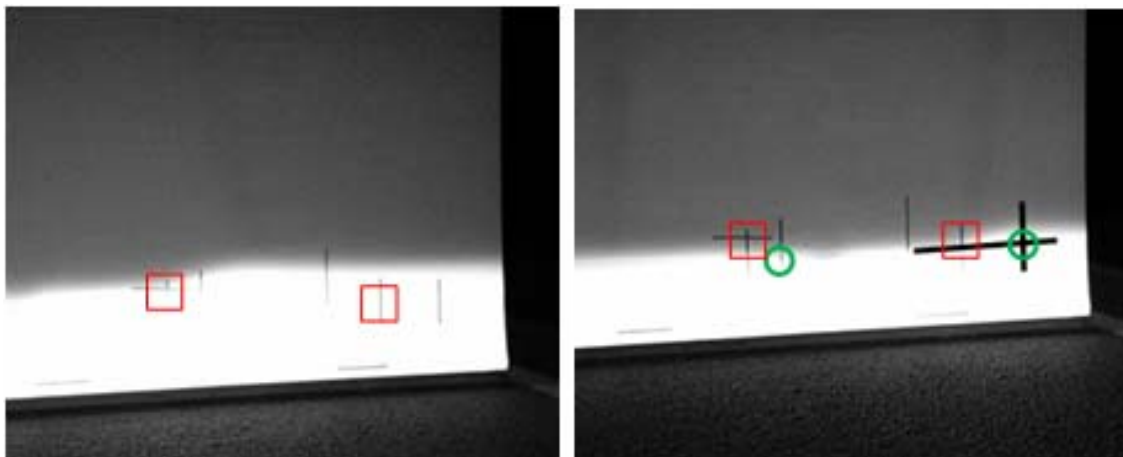


Abbildung 9: Darstellung der Scheinwerferdejustage für die Studie in Verbindung mit den Werten aus Tabelle 1 (rot: Dejustagepositionen, grün: Soll-Positionen, richtige Scheinwerfereinstellung nach ECE R48; linker Scheinwerfer zu hoch und zu weit nach außen geschwenkt; rechter Scheinwerfer ist vertikal auf Zielwert, aber zu weit nach innen geschwenkt)

Das System, gekoppelt mit der Kamera und ausgelegt auf die Justagemarke Abblendlicht, startete nun hintereinander die Justage der einzelnen Scheinwerfer, wobei der jeweils nicht relevante Scheinwerfer aus der Region of Interest hinausgeschwenkt wurde. Parameter für die automatische Scheinwerfereinstellung waren 100 Scans der Justagemarken und max. drei Rekursionsschritte bis zum Erreichen der gültigen Einstellung. Sollte das System weniger Rekursionsschritte für die Justage benötigen, wurde das Ergebnis mit jenen Resultaten verifiziert. Im Anschluss an jede Einstellung wurde die 4 m Projektionswand entfernt und das Ergebnis qualitativ durch den Experten an der 11 m Wand begut-

achtet. Die definierte Toleranz für die horizontale und vertikale Einstellung war durch $\pm 0,1^\circ$ (ca. ± 2 cm) gegeben. Neben der Einstellgüte wurde ebenfalls die Zeit eines Justageprozesses gemessen. Diese kann der Dauer einer derzeitigen Einstellung im Werkstattbetrieb gegenübergestellt werden. Hierbei entsprach der gemessene durchschnittliche Zeitaufwand in den Werkstätten sieben Minuten. Das System der automatischen Scheinwerfereinstellung benötigte in diesem vergleichbaren Use Case im Durchschnitt 26,56 Sekunden und war somit um den Faktor 15,8 schneller. In weiteren exemplarischen Messungen wurde das System bei einer Projektionswandentfernung von 6 m getestet. Die Ergebnisse mit veränderter Entfernung zur Fahrzeugfront können als vergleichbar betrachtet werden.

	Vertikale Einstellung			Horizontale Einstellung		
	OK	Zu hoch	Zu niedrig	OK	Zu weit innen	Zu weit außen
Absolut	36	0	0	34	2	0
Relativ	1	0	0	0.94	0.06	0

Tabelle 2: Evaluationsergebnisse der Studie zur Einstellgenauigkeit von dejustierten Scheinwerfern mittels ASSIST-Ansatz (2x18 Scheinwerferpaare entsprechen einer Stichprobe von 36 Scheinwerfern)

Neben der Bewertung der Systemleistung aus den kooperativen Szenarien findet eine stetige Weiterentwicklung der Bildverarbeitungsalgorithmen und -methoden für die nicht kooperativen Situationen statt. Als wichtige Voraussetzung für die Funktionssicherheit und Genauigkeit des Systems sind neben der Erkennung der Justagemarken, also der Hell-Dunkel-Grenzen, insbesondere zwei Sachverhalte zu benennen. Einen Faktor stellt der Systembestandteil der Ebenenabschätzung dar, um die Lage der Projektionsebene zum Fahrzeug feststellen zu können dar und zum zweiten muss der Einfluss der Genauigkeit der Entfernungsabschätzung zwischen dem Fahrzeug und der Projektionsfläche hervorgehoben werden. Entsprechend den verschiedenen Szenarien kommen unterschiedliche Ansätze zum Einsatz. Während bei der Entfernungsabschätzung zur Wand die Parallaxe zwischen der Kamera und den Scheinwerfern genutzt wird, spielt beispielsweise bei der „Distance Recognition“ bei voraushaltenden Fahrzeugen die Methode der Lichtquellenerkennung (LSR) eine Rolle. Welche Toleranzen bei der automatischen Scheinwerferjustage gefordert werden, um eine erste abgeschätzte Aussage über die Auswirkung auf die Scheinwerfereinstellung im horizontalen Fall treffen zu können, sei für einige Winkel/Entfernungs-Relationen im folgenden Diagramm aufgezeigt. Der Scheinwerferwinkel

(Intersection Point) ist in Relation zum angenommenen prozentualen Distanzfehler aufgetragen. Dabei ist der Scheinwerfer bei verschiedenen Entfernungen (orthogonal zur Projektionsfläche) auf die Bildmitte des Kamerabildes ausgerichtet.

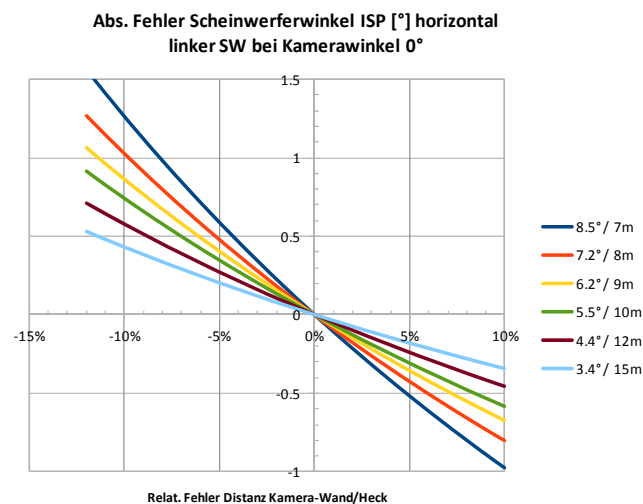


Abbildung 10: Scheinwerferjustage in natürlicher Umgebung - Robustheit gegenüber Distanzfehlern

Hinsichtlich des Szenarios des vorausbefindlichen Fahrzeughecks wurden erste Analysen zur Leistungsabschätzung der Entfernungsberechnung durchgeführt (EgoMotion I – Algorithmik). In einer Feldstudie und Datenakquise wurden positiv identifizierte Rückleuchtenpaare und die Entfernungsschätzung des Algorithmus erhoben. Mittels Laserabstandsmessung konnte ein durchschnittlicher relativer Fehler von 5% extrahiert werden (Abbildung 11).

distance	GTD Dist	Absoluter Fehler [m]	Relativer Fehler	ZielVT
4.63	4.57	0.06	1.4%	W12 LED
3.55	3.95	0.40	10.2%	W12 LED
12.32	11.63	0.69	5.9%	W12 LED
6.58	6.47	0.11	1.7%	Mazda 6
6.28	5.85	0.43	7.4%	Mazda 6
4.55	4.10	0.45	11.0%	Mazda 6
4.92	4.51	0.41	9.1%	Mazda 6
9.72	9.70	0.02	0.2%	Mazda 6
5.87	5.30	0.57	10.8%	VW Passat
8.65	8.32	0.32	3.9%	VW Passat
2.92	2.90	0.01	0.5%	VW Passat
2.98	2.87	0.11	3.7%	VW Passat
5.11	5.24	0.13	2.4%	VW Passat
5.16	5.05	0.11	2.2%	VW Passat

Abbildung 11: Aufstellung der Entfernungsschätzung des Szenarios Fahrzeugheck im Feldversuch (14 von 21 positiv erkannte Situationen)

Zusätzlich wurden aus einer Videodatenbank vergleichbare Situationen herausgesucht und exemplarisch bewertet. Dabei sollte im Kern die automatische Identifikation von Scheinwerferjustagesituationen des benannten Szenarios untersucht werden. Anschließend fand, unter Plausibilisierung der Entfernungsberechnung durch Pixelauszählung und Relationssetzung auf Normgeometrien (Nummernschildern), eine Abschätzung des Abstands statt. Aus einem Pool aus 115 Videos ergab sich ein relativer durchschnittlicher Fehler in der Entfernungsextraktion von 13%. Zusammenfassend ergibt sich für den ersten Algorithmenansatz folgendes Bild:

Über alle Rückleuchtenvariationen	
Situation nicht erkannt (RL Paar nicht gefunden)	17.9%
Situation nicht erkannt (keine plausible Entfernung)	25.9%
Situation gut erkannt inkl. korrekter Entfernung	20.5%
Situation erkannt (Entfernung ungenau)	28.6%
Situation schlecht erkannt (falsche Entfernung)	7.1%

Abbildung 12: Güte der Situationserkennung und Entfernungsschätzung mittels Datenbank (115 Videos), Plausibilisierung der Entfernung grob anhand des Nummernschild

5 Ausblick

Die erste Generation einer selbstjustierenden Scheinwerfertechnologie vereinigt viele innovative Bestandteile und demonstriert in einer ersten Phase die Funktionsweise und Leistungseigenschaften eines solchen Systems. Durch die gewonnenen Erkenntnisse lassen sich für weitere Entwicklungsschritte diverse Optimierungspotenziale identifizieren. Neben der Reduktion des Bauraums für die Aktuator-Getriebeeinheit ließe sich eine Vereinfachung und Bauteilreduktion im Getriebe durchführen. Hierfür wäre eine abgestimmte Entwicklung des Getriebes, des Aktuators und der Treiberelektronik zu empfehlen, um die Zielleistungseigenschaften auf die Dimensionierung anpassen zu können. Weiterhin könnte das Antriebskonzept durch eine integrative Ausführungsweise des Abtriebelements des Getriebes verbessert werden, um somit den bisherigen Trägerdeckel in das kardanische System zu integrieren. Weiterhin kann die Genauigkeit der schrittüberwachenden Sensoren (CIPOS) durch eine Erweiterung der Flügelstruktur an die Bewegungswinkel der ein-

zelnen Bewegungsrichtungen optimiert werden. Außerdem wird der Aufbau von Einzelteilen des Scheinwerfers auf Biopolymerebene geprüft und wenn möglich durchgeführt. Die mit dem rotatorisch-rotatorischen Ansatz möglichen Bewegungsräume lassen sich durch konstruktive Maßnahmen bei der Scheinwerferauslegung erweitern.

Mittels des vorliegenden optischen Systems lassen sich Justagemarken für die Funktionserfüllung generieren. Hinsichtlich der besseren Identifikation und der Entfernungsberechnung über versetzte Winkelstrukturen auf dem Blendelement bei projizierenden Systemen sind ein erhöhter Winkelversatz oder auch die Einbringung von optischen Strukturen zu empfehlen. Infolgedessen würde es sich lohnen über eine Implementierung dieses Ansatzes in den Bildverarbeitungs-Algorithmus in Erwägung zu ziehen.

Hinsichtlich der unter Punkt 3.1 beschriebenen Funktionen der EgoMotion I werden durch die zum Einsatz kommende Folgeversion weitere Optimierungen zum Einsatz kommen. Neben der intuitiven Steuerung über ein entwickeltes ASSIST Control Desk, wird standardmäßig die automatische Scheinwerferjustage zum Einsatz kommen. Mittels der Algorithmenverwendung der EgoMotion II lassen sich für den zur Verfügung stehenden Auswertepool für beide Versionen folgende Performance-Steigerungen aufzeigen:

- Identifikationssteigerung der Use Cases (Wand: von 81% auf 87%; Straße: von 46% auf 53%; Fahrzeug: 53% mit EgoMotion I)
- Mittlere Fehlerreduktion bei der Entfernungsschätzung (Wand: um 40%; Straße: um 22%), wobei sich die Standardabweichung geringfügig erhöht

Den aufgeführten Ergebnissen ist hinzuzufügen, dass diese ersten erweiterten Versuchsreihen entweder über eine Videodatenbank mit manueller Entfernungsabschätzung stattfanden, oder über Fahrzeuge mit einem Standard-Vario-System. Hinsichtlich der zu entwickelten ASSIST wird von einer weiteren Resultatsteigerung ausgegangen.

Neben der Fusion der Systembestandteile aus Software und Hardware bestehen die nächsten Schritte aus der Implementierung der ASSIST-Scheinwerfer in das Forschungsfahrzeug, dem funktionellen Test des Gesamtsystems sowie in der Parametrisierung des Systems.

Anschließend werden Testfahrten unternommen, um Aussagen über die Akzeptanz und Leistungsfähigkeit des Systems treffen zu können.

6 Anmerkung

Die Forschung zum Projekt „it's OWL-ASSIST“ wird im Spitzencluster „it's OWL“ durch das Bundesministerium für Forschung und Entwicklung gefördert.



7 Literatur

- LICHT 2014 Licht-Test (2014). www.Licht-test.de.
- Röper 2014 Röper, B.: "Der „selbsteinstellende Scheinwerfer“ der HELLA KGaA Hueck & Co. als Produktinnovation", University of applied Science Münster, 2014.
- Dominsky 2013 Dominsky, S.: „Kein Licht am Ende des Tunnels“, Kfz-Betrieb, Nr. 35, 2013.
- Dominsky 2014 Dominsky, S.: „Lichttechnik: Neue Prüfvorschriften für alle“, Kfz-Betrieb, 2014.
- LEK 2014 LEK & HELLA (2014). Market Analysis and Strategy support (Study). München, Deutschland: LEK Consulting GmbH.