

# Charakterisierung eines Displays als Kommunikationsschnittstelle eines autonomen Fahrzeugs

*Greulich, Michael; Baumann, Maximilian; Trampert, Klaus; Neumann, Cornelius*

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)

## Abstract

Situationen im innerstädtischen Straßenverkehr, in denen die Vorfahrt nicht eindeutig geregelt ist, werden im Allgemeinen als Pattsituation bezeichnet. Zur Lösung dieser Situationen durch Verzicht sind die Beteiligten, auch nach der StVO, angehalten, zu kommunizieren und sich untereinander zu verständigen. Hierfür erlernte Kommunikationsmethoden, wie Blickkontakt oder Gesten, entfallen bei einem autonomen Fahrzeug, in dem die Fahrzeuginsassen ausschließlich Passagiere sind. Eine lichtbasierte Mensch-Maschine-Schnittstelle soll diese sich auftuende Lücke schließen.

Ein möglicher Ansatz hierfür ist ein LED-Display, das an der Fahrzeugfront montiert wird. Zur Kommunikation werden verschiedene Inhalte, wie Formen, Text oder Symbole angezeigt. Daraus ergeben sich einige Herausforderungen, wie beispielsweise die Sichtbarkeit der angezeigten Inhalte in verschiedenen Situationen, unabhängig der Umgebungshelligkeit.

Aus diesem Grund wird die Sichtbarkeit der Darstellung auf dem Display unter dem Einfluss verschiedener Störgrößen wie Fremdlicht oder Winkelabhängigkeit überprüft und das Display dahingehend im realen Umfeld charakterisiert. Weiter wird abgeschätzt, ob eine Eignung des Displays als Kommunikationsschnittstelle generell möglich ist. Erkenntnisse für den Betrieb im realen Umfeld wurden daraus abgeleitet und Anforderungen formuliert.

**Index Terms:** lichtbasierte Mensch-Maschine-Schnittstelle, LED-Display



## 1 Einleitung

Im innerstädtischen Verkehr kann es zu Szenarien kommen, in denen es nicht eindeutig ist, welcher Verkehrsteilnehmer vorfahrtsberechtigt ist. Man spricht von einer sogenannten Pattsituation. [1]

Paragraph 11 Absatz 3 der Straßenverkehrsordnung (StVO) verlangt, dass in einer solchen Situation ein Verkehrsteilnehmer auf seine Vorfahrt verzichten und dies kommunizieren muss. [2]

Die Art der Kommunikation muss im Mischverkehr, in dem sich autonome Fahrzeuge und andere Verkehrsteilnehmer begegnen, neu überdacht werden, da die Fahrzeuginsassen nicht mehr für die Fahraufgabe zuständig sein müssen. Bei autonomen Fahrzeugen wird daher der Teil der fahrerbezogenen Kommunikation durch eine external Human-Machine-Interface (eHMI) erfolgen, welches, wie das Fahrzeug selbst, durch Künstliche Intelligenz gesteuert werden kann. [3]

In dieser Arbeit wird ein LED-Display aus der Veranstaltungstechnik als lichtbasierte eHMI vorgeschlagen.

Die Grundvoraussetzung bei lichtbasierter Kommunikation ist die visuelle Erkennbarkeit in jedem möglichen Szenario. Infolgedessen wird die Erkennbarkeit der Darstellung auf dem Display in verschiedenen Situationen auch unter dem Einfluss von Störgrößen zu untersucht. Durch die Analyse der lichttechnischen Grundgrößen des Zeichenträgerelements unter Laborbedingungen wird das Display charakterisiert und auf seine Tauglichkeit als eHMI überprüft. Dazu wird zum einen der Abstrahlwinkel der Anzeige untersucht, um zu gewährleisten, dass die Nachricht auch ihren Adressaten erreicht und zum anderen der Kontrast, da er für eine Erkennbarkeit ausreichend hoch sein muss.

Zur Einordnung der Ergebnisse werden die Anforderungen von Wechselverkehrszeichen hinzugezogen. Sie stellen bereits ein Medium in der Straßenverkehrsinfrastruktur dar, das Displays zur Nachrichtenübermittlung verwendet. Daraus lassen sich Empfehlungen für den Einsatz im Straßenverkehr ableiten.

## 2 Stand der Technik und Forschung

### 2.1 Stand der Technik

Die Kommunikation einzelner Verkehrsteilnehmer untereinander gewährleistet einen reibungslosen Verkehrsfluss, was sowohl für den gegenwärtigen Straßenverkehr als auch den zukünftigen autonomen Mischverkehr gilt.

Lichtbasierte Kommunikation wird beispielsweise bereits gegenwärtig durch *Signalleuchten* umgesetzt. Sie ermöglichen nicht nur eine klare Signalisierung von Fahrmanövern, sondern dienen auch dazu, das Fahrzeug bei Dunkelheit in speziellen Situationen besser sichtbar zu machen. Abbildungen 1 und 2 zeigen Beispiele für ein rückwärtiges Signalbild.



Abbildung 1: Rückwärtige Bremsleuchten [4]



Abbildung 2: Rückwärtiges Warnblinklicht [4]

### 2.2 Aktuelle Forschung

Da im Straßenverkehr häufig Situationen auftreten, bei denen die Kommunikation mittels Signalleuchten nicht ausreicht, wird im Kontext des autonomen Fahrens eine externe Schnittstelle, eine sogenannte external Human-Machine-Interface (eHMI) erforderlich.

Das Projekt INITIATIVE (**IN**telligent**TE** Mensch-Technik-Kommunik**ATI**on im gemischten **VE**rkehr) beschäftigt sich bereits mit der Erforschung einer eHMI und hat das Ziel, eine lichtbasierte Kommunikationsschnittstelle zu entwickeln und zu validieren, die eine winkel- und tageszeitabhängige Erkennbarkeit gewährleistet. Sie soll eine Kommunikation zwischen automatisierten Verkehrsteilnehmern und schwächeren Verkehrsteilnehmern wie Fußgängern und Radfahrern sowie nicht automatisierten Fahrzeugen sicherstellen. [5]

### 3 Charakterisierung des Displays

Bei der Nutzung eines Displays muss die Sichtbarkeit der Anzeige gewährleistet sein. Diese kann durch Störeinflüsse wie schlechte Sichtverhältnisse durch Nebel oder Fremdlichteinwirkung in Form von Sonnenlicht beeinträchtigt werden. Damit die Erkennbarkeit der Anzeige auf dem LED-Display am Auto gelingt, erfolgt die Orientierung an bestehenden Methoden.

In Form von Wechselverkehrszeichen (WVZ) haben sich Displays in der Straßeninfrastruktur bereits etabliert. Sie stellen dem Verkehrsteilnehmer lichtbasiert Informationen zu Verfügung. „Ein WVZ ist ein Verkehrszeichen, auf dem die abgebildete Information verändert bzw. an- oder abgeschaltet werden kann. Diese Information kann aus Text und/oder Symbolen bestehen“ [6]. Für sie gelten die gleichen hohen Anforderungen wie für ein Display am Fahrzeug, da sich bei ihrer Nutzung ähnliche Herausforderungen ergeben.



Abbildung 3: Wechselverkehrszeichen über einer Autobahn [7]

#### 3.1 Untersuchung des Betrachtungswinkels

Damit die auf dem Display dargestellten Informationen möglichst über die gesamte Straßenbreite ablesbar sind, ist die Analyse des Betrachtungswinkels zum Objekt von großer Bedeutung. Auch ein Fußgänger am Straßenrand, der eventuell die Straße überqueren möchte, wie in Abbildung 4 gezeigt, muss noch in der Lage sein, die Nachricht auf dem Display zu erkennen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass in der horizontalen (H-)Ebene ein Abstrahlwinkel von fast  $90^\circ$  möglich ist. Da ein Fußgänger das Display von oben betrachtet, muss das Objekt auch in der vertikalen (V-)Ebene eine Abstrahlung ermöglichen.





Abbildung 4: Fußgänger am Straßenrand

In der H-Ebene wurde die Abstrahlcharakteristik von  $-90^\circ$  bis  $+90^\circ$  untersucht. Ein größerer Winkel ist bei einer beleuchteten zweidimensionalen Fläche nicht sinnvoll, weil sie nur nach vorne abstrahlt. Die Lichtverteilung in der vertikalen (V-)Ebene wurde im Bereich von  $-20^\circ$  bis  $+20^\circ$  gemessen.

Die Abbildung 5 zeigt die Lichtstärkeverteilungskurve (LVK) des Displays bei einer horizontalen Drehung von  $-90^\circ < \phi < +90^\circ$  beispielhaft für den Winkel  $\theta = 0^\circ$ . Eine fast kreisförmige Lichtstärkeverteilung wie diese bedeutet, dass das Display keine Vorzugsrichtung hat. Die Lichtstärke hängt nur vom Winkel  $\phi$  zwischen Flächennormale und Strahlrichtung ab. Das Display zeigt demnach die Charakteristik eines Lambertischen Strahlers. [8]

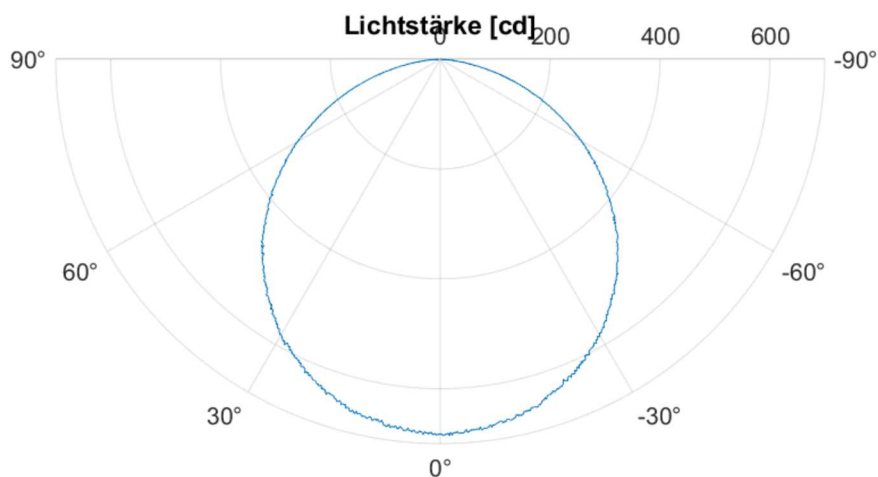


Abbildung 5: LVK des Displays

Der limitierende Faktor ist hier nicht die Lichtstärkeverteilung, sondern die Verzerrung der angezeigten Nachricht. Bei einer Betrachtung von einem Winkel  $\alpha$  zur Flächennormale verkleinert sich scheinbar die Größe der Darstellung  $s$  um den Faktor  $\cos(\alpha)$  und wird mit einer Größe von  $s_w$  wahrgenommen. Abbildung 6 zeigt die geometrische Anordnung und Abbildung 7 zudem die Sicht eines Fußgängers am Straßenrand, der durch die Perspektive die Schrift von der Seite schlechter ablesen kann. [9]

$$s_w = s \cdot \cos(\alpha) \quad (1)$$

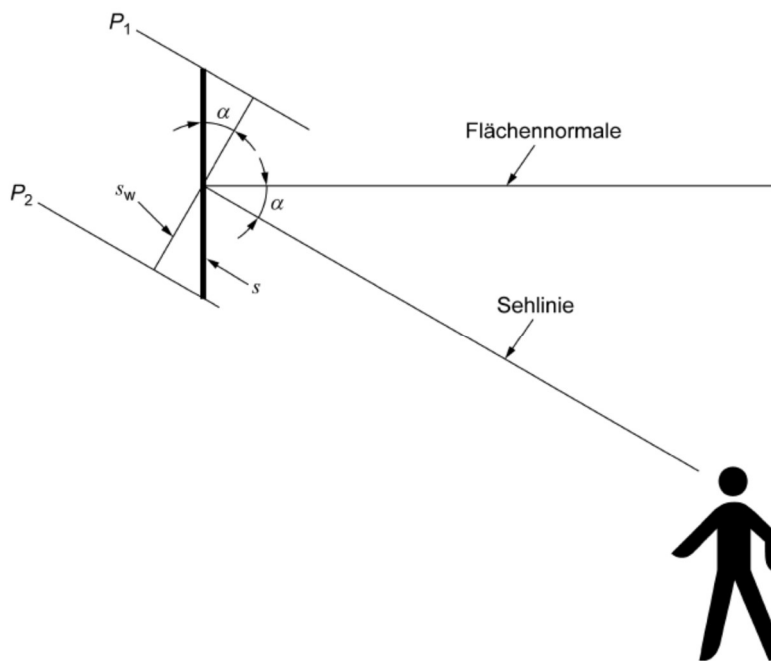


Abbildung 6: Scheinbare Verkleinerung der Information bei Betrachtung von der Seite [9]



Abbildung 7: Verzerrung der angezeigten Nachricht bei Betrachtung von der Seite

### 3.2 Einfluss von Fremdlicht

Unabhängig vom Betrachtungswinkel skaliert die Erkennbarkeit von Objekten mit dem Kontrast.

Bei Tag wirkt Fremdlicht in Form von Sonnenlicht auf das Display, was den Kontrast von Display zum Umfeld herabsetzt, wie in Gleichung (2) anhand des Weberkontrasts gezeigt.

$$K_{W+Ph} = \frac{L_{\text{Objekt}} + L_{Ph} - (L_{\text{Umfeld}} + L_{Ph})}{L_{\text{Umfeld}} + L_{Ph}} = \frac{L_{\text{Objekt}} - L_{\text{Umfeld}}}{L_{\text{Umfeld}} + L_{Ph}} \quad (2)$$

Um die Erkennbarkeit der Darstellung auf dem Display zu gewährleisten, ist ein konstanter Kontrast anzustreben. Damit dies erreicht werden kann, muss die Objektleuchtdichte je nach Umfeldleuchtdichte angepasst werden.

Ein weiterer Effekt von Fremdlichteinwirkung ist die Verschiebung des Farborts.

Die Society of Automotive Engineers (SAE) schlägt als Signalfarbe für autonome Fahrzeuge Cyan vor. Der Farbort soll sich innerhalb des schwarz gestrichelten Bereichs befinden.

In Abbildung 8 ist zu sehen, dass das vom Display angezeigte Cyan diese Bedingung erfüllt. Durch die Einwirkung des Fremdlichts (blaues Kreuz) liegt die Mischfarbe außerhalb des Bereichs, was in Abbildung 9 an der Lage des roten Kreuzes zu erkennen ist. [10]

Diese Farbortverschiebung zeigt, dass, je nach Anforderung, eine farbige Anzeige eventuelle Vorgaben bei Fremdlichteinwirkung nicht mehr einhalten kann.

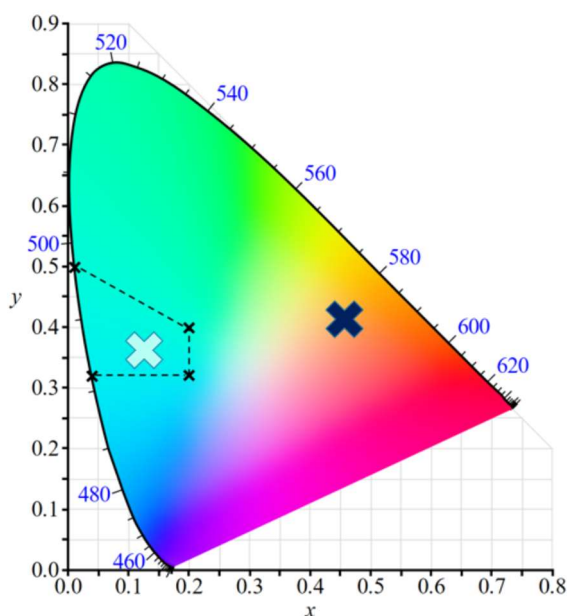


Abbildung 8: Cyan auf der CIE-Normfarbtafel [10]

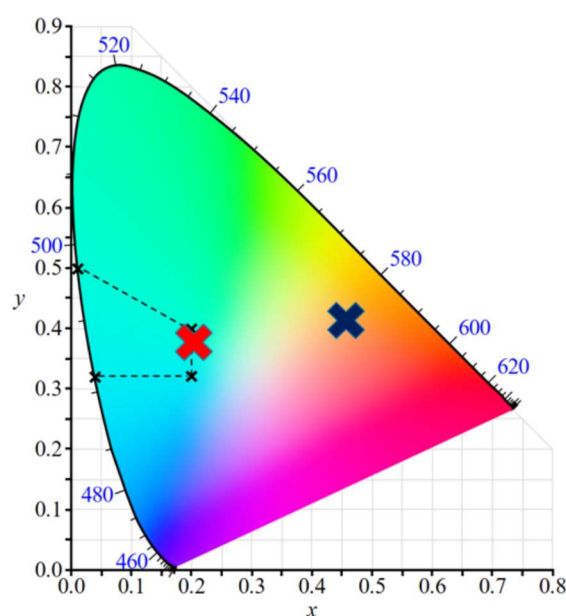


Abbildung 9: Cyan verschoben durch Fremdlicht [10]



### 3.3 Anpassung der Objektleuchtdichte

Bei Nacht können bei einer zu hellen Anzeige andere Verkehrsteilnehmer geblendet werden, was ein hohes Ablenkungspotential birgt und der Erkennbarkeit der angezeigten Nachricht nicht dienlich ist. Abbildung 9 zeigt eine Anzeige mit zu heller Objektleuchtdichte und damit einem zu hohen Kontrast.



Abbildung 10: Blending durch zu hohen Kontrast

Ein Herabsetzen der Objektleuchtdichte ermöglicht es, den Kontrast auf einem geringeren Wert zu belassen. Eine Anpassung an die Umgebungsleuchtdichte ist nötig.

## 4 Zusammenfassung

Die Messungen ermöglichen es, das Display basierend auf den photometrischen Grundgrößen einzuordnen und schaffen dieserart eine Grundlage, um Displays miteinander zu vergleichen.

Das Ergebnis der Abstrahlcharakteristik zeigt, dass die Ablesbarkeit aus einer Vielzahl situationsbezogener Betrachtungswinkel sehr gut gelingt. Die Anforderungen an das Display sind in diesem Fall übererfüllt. Damit ist insbesondere die Kommunikation zwischen Fahrzeug und Fußgängern am Straßenrand gewährleistet. Da mit dem Objekt vor allem schwächere Verkehrsteilnehmer angesprochen werden sollen, unterstreicht dies nochmals, dass eine Kommunikation gelingt.



Die maximal mögliche Leuchtdichte des Objekts garantiert eine Nutzung bei Tag und Sonnenlichteinstrahlung.

Bei der Anzeige bestimmter Farben muss eine gesonderte Farbortverschiebung bei Fremdlichteinwirkung berechnet werden. Da die SAE zur Kennzeichnung von autonomen Fahrzeugen Cyan als Signalfarbe vorschlägt, wird der Einfluss einer externen Lichtquelle auf eine cyanfarbene Anzeige analysiert. Das Ergebnis dieser Untersuchung zeigt, dass sich die Mischfarbe außerhalb des vorgeschlagenen Bereichs befindet. In einem solchen Fall muss ein Display mit LEDs verwendet werden, die ein anderes Spektrum aufweisen.

Auf Grund der Option, das Display zu dimmen, ist eine Nutzung bei Nacht ebenfalls problemlos möglich. Durch das Herabsetzen der Leuchtdichte bei geringerer Umgebungsbeleuchtungsstärke kann der Kontrast auf einem geeigneten Wert belassen werden, ohne eine Gefährdung anderer Verkehrsteilnehmer durch Blendung zu befürchten.

## **5 Fazit und Ausblick**

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass sowohl beim Vergleich mit bestehenden Methoden zur Gewährleistung von Sichtbarkeit, wie bei Wechselverkehrszeichen, als auch bei der Betrachtung im realen Umfeld, das gewählte Display in der Lage ist, in verschiedenen Szenarien gut erkennbare Inhalte anzuzeigen. Der Adressat der Nachricht ist in der Lage aus verschiedenen Betrachtungswinkeln die Anzeige abzulesen.

Das Display ermöglicht zudem einen ausreichenden Kontrast, um bei Tageslicht die Erkennbarkeit weiterhin sicherzustellen und durch Dimmung bei Nacht Blendung zu vermeiden. Das bedeutet, dass die Nutzung eines Displays als Kommunikationsschnittstelle für ein autonomes Fahrzeug möglich ist.

Auf Grundlage der angeführten Betrachtungen leiten sich weitere Forschungsfragen ab.

Weitere Untersuchungen können darüber Aufschluss geben, inwieweit Symbole gegenüber Schriftzeichen besser geeignet sind, um eine Nachrichtenübermittlung zu gewährleisten. Symbole können unabhängig vom Betrachtungswinkel verständlicher bleiben.

Mit der Erkenntnis, dass das Display dimmbar ist, ist eine Optimierung der Erkennbarkeit möglich. Indem die Werte der Umgebungsbeleuchtungsstärke eingebunden werden, kann eine dynamische Anpassung der Leuchtdichte erzielt werden, sodass ein zur Sichtbarkeit nötiger Kontrast erreicht wird.

Mit Hilfe von Studien lässt sich ermitteln, welcher minimale Kontrast bei Tageslicht zur Sichtbarkeit nötig ist und bei welchem Leuchtdichteverhältnis Blendung bei Nacht andere Verkehrsteilnehmer gefährdet werden und die Anzeige nicht mehr ablesbar ist.

Studien können darüber Aufschluss geben, welche Inhalte eine Handlung des autonomen Fahrzeugs am intuitivsten kommunizieren können.

Dazu kann der Vorschlag der SAE, Cyan als Signalfarbe zu verwenden, aufgegriffen und untersucht werden, ob es sinnvoll ist, autonome Fahrzeuge gesondert als solche zu kennzeichnen. Bei der Verwendung von Farbe ist zusätzlich eine Farbortverschiebung durch externe Lichtquellen zu betrachten.

Die Frage, wie ein Mensch Kontakt zu einem autonomen Fahrzeug aufnimmt, in dem sich keine Insassen befinden oder sie dem Verkehrsgeschehen abgewandt sind, kann durch Studien mit realen autonomen Fahrzeugen beantwortet werden. Nur wenn die KI eines autonomen Fahrzeugs die Intention des Menschen erkennen kann, lässt sich daraus ein Fahrmanöver ableiten, das dem relevanten Verkehrsteilnehmer über das Display kommuniziert wird.

## 6 Literaturangaben

[1] Imbsweiler, Jonas, Maureen Ruesch, Tobias Heine, Katrin Linstedt, Hannes Weinreuter, Fernando Puente León und Barbara Deml: *Die Rolle der expliziten Kommunikation im Straßenverkehr*. In: *Arbeit(s).Wissen.Schaf(f)t Grundlage für Management et Kompetenzentwicklung* : 64. GfA-Frühjahrskongress, 21.-23. Februar 2018, Frankfurt am Main, FOM Hochschulzentrum Frankfurt. GfA-Press, 2018, ISBN 978-3-936804-24-9.

[2] *Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) § 11 Besondere Verkehrslagen*. [https://www.gesetze-im-internet.de/stvo\\_2013/\\_\\_11.html](https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/__11.html), Letzter Zugriff: 26.08.2024.

[3] Juschkat, Katharina: *Was ist Human Machine Interface? Definition, Geschichte und Beispiele*, 10.04.2019. <https://www.elektrotechnik.vogel.de/was-ist-human-machine-interface-definition-geschichte-beispiele-a-718202/>, Letzter Zugriff: 26.08.2024.

[4] *Audi Media Center - Audi A6 Avant*. <https://www.audi-mediacenter.com/de/fotos/album/audi-a6-avant-2018-1145>, Letzter Zugriff: 26.08.2024.

[5] *Initiative - INtelligenTe Mensch-Technik KommunIkATIOn im gemischten Verkehr*. <https://www.initiative-projekt.de/>, Letzter Zugriff: 26.08.2024

[6] *DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau): Vertikale Verkehrszeichen – Wechselverkehrszeichen; Deutsche Fassung EN 12966:2014+A1:2018*, 01.02.2019.

- [7] Forster - Intelligente Verkehrsleitsysteme.  
<https://forster.at/verkehrstechnik/intelligente-verkehrsleitsysteme>, Letzter Zugriff:  
26.08.2024.
- [8] Zinth, Wolfgang und Ursula Zinth: *Optik: Lichtstrahlen–Wellen–Photonen*.  
Oldenbourg Wissenschaftsverlag Verlag, 2013.
- [9] DIN Deutsches Institut für Normung e. V.: *Schriften – Leserlichkeit; DIN 1450:2013-04*, 04.2013.
- [10] AVSR GRE Task Force: *J3134 Automated Driving System (ADS) Lighting*,  
12.2018