

Untersuchung einer cyan-farbigen Signalleuchte zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern

Baumann, Maximilian; Trampert, Klaus; Dudzik, Leonhard; Rayamajhi, Asu; Neumann, Cornelius

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

Abstract/Zusammenfassung

Die Thematik der lichtbasierten Kommunikation im Straßenverkehr wird derzeit im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben untersucht. [1],[2] Ziel ist es, die bisher mit der fahrzeugführenden Person stattfindende Kommunikation mit Hilfe einer lichttechnische Einrichtung am Fahrzeug zu ersetzen. Ansätze verwenden beispielsweise Scheinwerferprojektion oder Displays am Fahrzeug zur Darstellung höher aufgelöster Inhalte wie Symbole oder Schrift. [3],[4],[5]

Diese Technologien bieten in der Gestaltung der Nachrichten, beispielsweise in Form von Symbolen viele Freiheitsgrade. Die Verwendung unterschiedlicher Farben und die Darstellung feiner, auch diagonal oder rund verlaufender Linien ist möglich. Ebenso kann die Darstellung über der Zeitachse verändert werden, so dass auch bewegte Zeichen und Animation für die Kommunikation nutzbar sind.

Im Rahmen einer Konzeptstudie wurde bewusst auf diese Möglichkeiten verzichtet und eine niedrig aufgelöste Kommunikationseinrichtung am Fahrzeug implementiert und untersucht. Diese soll als Grundlage für die Durchführung einer Probandenstudie dienen.

Index Terms: Lichtbasierte Kommunikation, Autonomes Fahren

1 Einleitung

Durch die Einführung autonomer Fahrzeuge (engl. autonomous vehicle – AV) ab Level 4 und höher entfällt der Mensch als fahrzeugführende Person. [6] Die fahrzeugführende Maschine übernimmt den überwiegenden Anteil der Aufgaben, wie Umgebungsbeobachtung, Längs- und Querführung. Da der Fahrer von dieser Tätigkeit befreit ist, ist dessen Aufmerksamkeit nicht mehr zwingend dem Verkehrsgeschehen zugewandt und der Blick nicht mehr dauerhaft nach außen auf die Fahrbahn gerichtet.



Daher muss die Maschine auch die mit der Fahraufgabe verbundene Kommunikation übernehmen. Eine wichtige Funktion ist die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern beispielsweise in unübersichtlichen Situationen, auch Pattsituationen genannt. [7] Die Kommunikation erfolgt in der Regel nonverbal [8], [9] durch Hand-Gesten oder das Geben der Lichthupe. [10]

Diese Art der Kommunikation, vor allem in besonderen Verkehrslagen, ist ebenfalls gefordert durch die Straßenverkehrsordnung (StVO). [11] Diese besagt, dass ein Teilnehmer auf seine Vorfahrt verzichten muss, sofern es die Verkehrslage erfordert. Weiter darf auf diesen Verzicht nur vertraut werden, nach Verständigung mit dem Verzichtenden.

Diese Verständigung wird durch den Fahrer, durch Handzeichen, Gesten oder das Auslösen der Lichthupe, getätigt. Mit Hinblick auf den autonomen Verkehr der Zukunft wird eine Einrichtung am autonomen Fahrzeug benötigt, die diese Kommunikation übernimmt.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Konzeptstudie durchgeführt, die eine cyanfarbige, nach vorne gerichtete Signalleuchte zur Anzeige des Verzichts untersucht.

2 Stand der Forschung

Zur Lösung des Problems, dass der Fahrer zukünftig nicht mehr als Kommunikationspartner für andere, nicht autonome Verkehrsteilnehmer verfügbar ist, gibt es bereits verschiedene Ansätze. Bedingt durch die Tatsache, dass der Mensch 80% der Informationen visuell aufnimmt [12], nutzen diese Ansätze Licht zur Kommunikation und zur Darstellung von Informationen.

Diese Ansätze untersuchen beispielsweise die Wirkung verschiedener Farben einer sogenannten Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human Machine Interface – HMI) auf einen adressierten, menschlichen Empfänger. [13] Im Rahmen der genannten Arbeit liegt der Fokus der Untersuchung auf einem Lichtband, welches an der Front des Fahrzeuges verbaut ist.

Neben der Farbe des Lichtbandes ist die Animation, das heißt die zeitliche und örtliche Modulation der Pixel des Lichtbandes, Bestandteil der Untersuchung. Im Rahmen einer Laborstudie müssen die Probanden die gezeigten Lichtfunktionen auf einer fünfstufigen Likert-Skala [14] anhand einer gegebenen Aussage bewerten. Die Items der Skala sind so gewählt, dass sie die Intuitivität der Lichtfunktion abfragen. Die Aussagen sind in die Kategorien „Absichts- oder Intentionskommunikation“ und „Instruktion“ unterteilt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Farbe der Lichtfunktion die Probanden bei Ihrer Aussage stärker beeinflusst, als die Animation, mit der diese präsentiert wird. Die Farbe Grün wird dabei, unabhängig des Aussagecharakters, als am intuitivsten empfunden, die Farbe Rot als am wenigsten intuitiv. Die Farbe Cyan, welche durch die

SAE J3134 [15] als Farbe zur Kennzeichnung autonom fahrender Fahrzeuge empfohlen wird, wird durch die Probanden als neutral empfunden.

Eine weitere Möglichkeit zur Kommunikation von Informationen ist es, die HMI-Systeme hinsichtlich der Auflösung zu erweitern. Im Folgenden werden zwei Umsetzungen präsentiert, die eine hochaufgelöste Darstellung von Inhalten zur Informationsanzeige ermöglichen.

2.1 Scheinwerferprojektion

Eine bereits ausführlich untersuchte Methode, besteht in der Nutzung eines hochauflösenden Scheinwerfermoduls [16] zur Darstellung projizierter Inhalte auf der Fahrbahn. Die dargestellten Formen auf der Fahrbahn können sowohl als Assistenzfunktion für den Fahrer, als auch zur Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern verwendet werden, zum Beispiel zur Warnung. [3]



Abbildung 1 Darstellung projizierter Symbole direkt vor einem adressierten Empfänger (links) und Symbole auf der Fahrzeugfront zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern (rechts) [4]

Nachteilig an dieser Technologie ist jedoch, dass die Projektion nur bei Dämmerung oder Nacht sichtbar ist und auch Witterung, wie Nebel oder Regen, die Erkennbarkeit der Projektion stark beeinträchtigen. [17]

Eine Möglichkeit, diese Nachteile auszugleichen, besteht in der Verwendung von Displays, die am Fahrzeug montiert sind.

2.2 Display

Mit Displays können ähnliche Inhalte wie mit einer Projektion dargestellt werden. Je nach Technologie sind ausreichend hohe Kontraste erreichbar, sodass die Inhalte durch einen externen Beobachter auch bei Tage erkennbar sind. Displays als HMI wurden ebenfalls schon im Rahmen diverser Experimente untersucht. [4] Es ist fraglich, ob diese hohe Auflösung notwendig ist.

Die Möglichkeiten der Gestaltung sind beinahe grenzenlos. Sichtbarkeit und Wiedererkennungswert der Nachricht wird (neben der Gestaltung) maßgeblich von äußeren Einflüssen bestimmt. So beeinflussen beispielsweise Witterung oder auch verschiedene Tageszeiten und Sonnenstände [17] extrem die Sichtbarkeit von Inhalten auf einem Display. Ein weiteres Problem ist, dass die fortschreitende Automation des Verkehrs eine hohe Dichten an hochaufgelösten HMI-Systemen nach sich zieht, wodurch der Informationsgehalt einer einzelnen Nachricht verloren geht [18].

Unter diesem Aspekt wird im Folgenden ein Konzept für eine Probandenstudie erarbeitet, mit der eine nach vorne gerichtete, cyan-farbige Signalleuchte zur Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmern untersucht werden kann.

3 Entwurf Versuchskonzept

Ausgehend von der Anforderung der StVO, genauer des § 11 Absatz 3, wird eine cyan-farbige Leuchte, im Folgenden die Signalleuchte, betrachtet. Dieser Paragraph fordert den Verzicht auf die eigene Vorfahrt in besonderen Verkehrslagen fordert sowie die Anzeige dieses Verzichts.

Untersucht wird das Szenario einer Fahrbahnüberquerung durch einen Fußgänger. Das AV erkennt diesen sowie dessen Absicht zu Queren und reduziert die Geschwindigkeit bis zum Stillstand. Zur Anzeige dieses Verzichts auf die Vorfahrt soll die Signalleuchte aufleuchten und den Verzicht kommunizieren.

Als Umgebung für diese Konzeptstudie wird ein Rundkurs auf dem Campus Süd des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) verwendet, vgl. Abbildung 2.

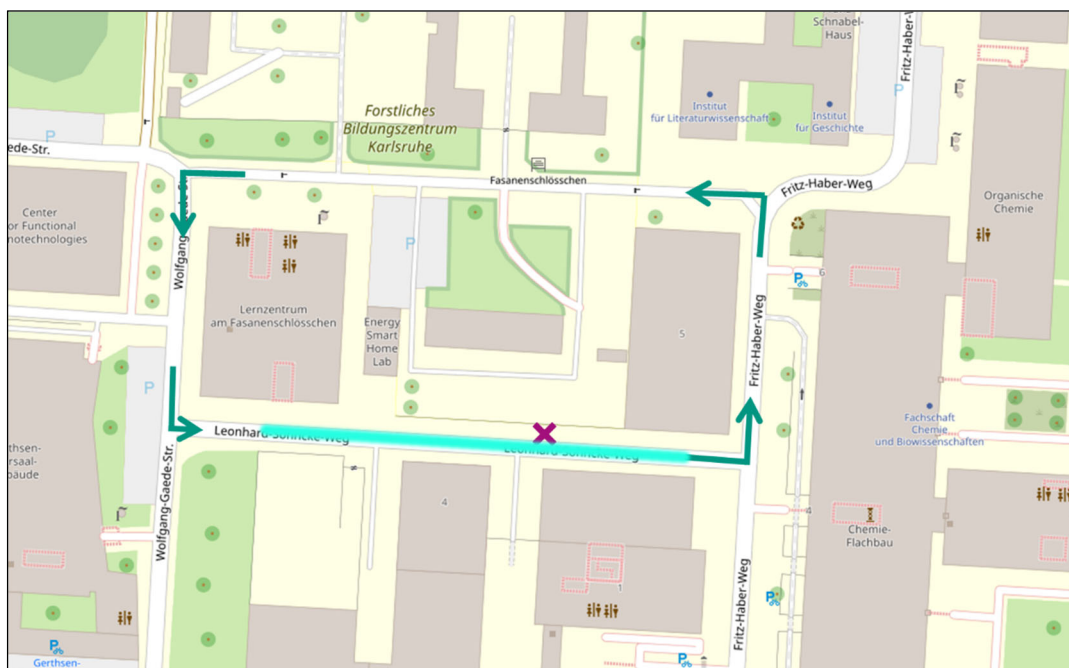


Abbildung 2 Rundkurs auf dem Gelände des Campus Süd des KIT für die Durchführung der Konzeptstudie. Kreuz stellt Position des Probanden dar, cyan-farbige Linie die Strecke, an der die Signalleuchte zugeschaltet wird.

Dies ermöglicht viele Begegnungssituationen nacheinander zu fahren, ohne die Wartezeit für den Probanden zwischen den Abfragen übermäßig zu strecken. Zur weiteren Untersuchung werden zunächst Forschungshypothesen aufgestellt.

3.1 Forschungshypothesen

Da diese Konzeptstudie die Grundlage für eine noch durchzuführende Studie bildet, sind die Forschungshypothesen nicht final formuliert. Die cyan-farbige Leuchte soll in einem späteren Szenario einem anderen Verkehrsteilnehmer im teilautonomen Verkehr einen Verzicht des AVs anzeigen können. Hieraus wird die erste Forschungshypothese als ungerichtete Hypothese wie folgt formuliert:

„Die Probanden überqueren beim Aufleuchten der cyan-farbigen Signalleuchte die Straße“

Es wird zunächst vermutet, dass die Probanden auch ohne vorherige Instruktion den Zusammenhang zwischen „Die Signalleuchte leuchtet“ und „Das Fahrzeug bleibt stehen“ nach kurzer Zeit herstellen können.

Es werden verschiedene Lichtfunktionen auf der Signalleuchte präsentiert. Diese werden in Kapitel 3.2 genauer beschrieben. Ein Einfluss der zeitlichen Modulation auf die Erkennbarkeit führt zur Formulierung der zweiten Forschungshypothese:

„Durch zeitliche Modulation der Lichtfunktion erkennen Probanden diese besser“

Im Folgenden werden die Variablen für die Versuchsdurchführung definiert und beschrieben.

3.2 Definition der Variablen

Für die Durchführung der Studien werden zunächst vier verschiedene Lichtfunktionen ausgewählt. Durch die eingeschränkten Möglichkeiten der Darstellung auf der Signalleuchte ergeben sich folgende Lichtfunktionen, vgl. Abbildung 3.

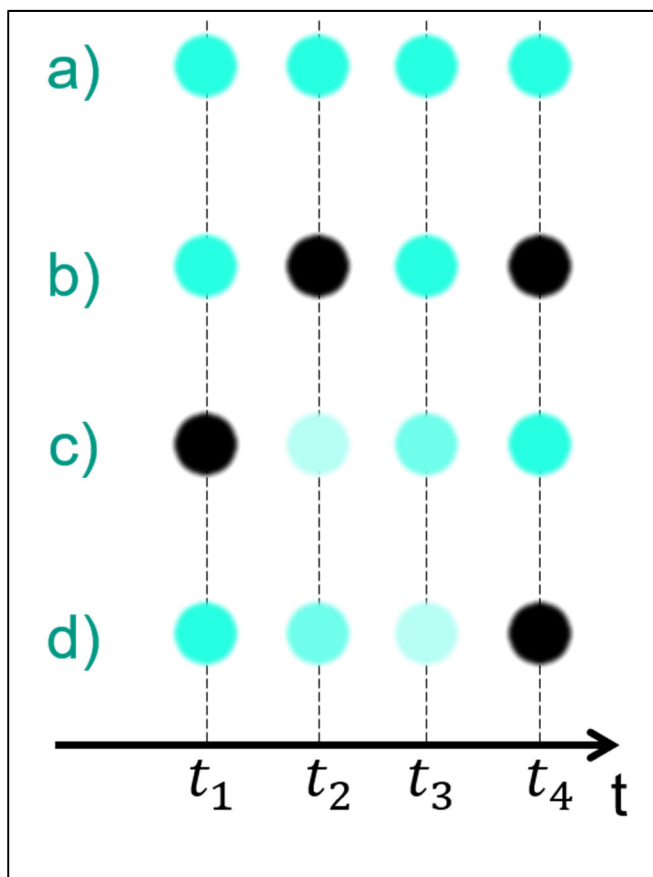


Abbildung 3 Lichtfunktionen der Signalleuchte zur Darstellung während der Studie

Die Lichtfunktionen lassen sich wie folgt hinsichtlich der Ansteuerung beschreiben:

Lichtfunktion a) ist ein dauerhaftes Leuchten der Signalleuchte.

Lichtfunktion b) ist ein konstantes Blinken der Leuchte mit 400 ms (=2,5 Hz). Die Schaltflanken sind senkrecht, die Signalleuchte wird mit einem Rechteck-Puls angesteuert.

Lichtfunktion c) ist ein periodisches, lineares Hochdimmen der Signalleuchte von niedrigster zu hellster Helligkeitsstufe. Die Ansteuerung erfolgt über eine Sägezahnfunktion.

Lichtfunktion d) ist ein periodisches, lineares Herunterdimmen der Signalleuchte von höchster zu niedrigster Helligkeitsstufe. Die Ansteuerung erfolgt über eine inverse Sägezahnfunktion.

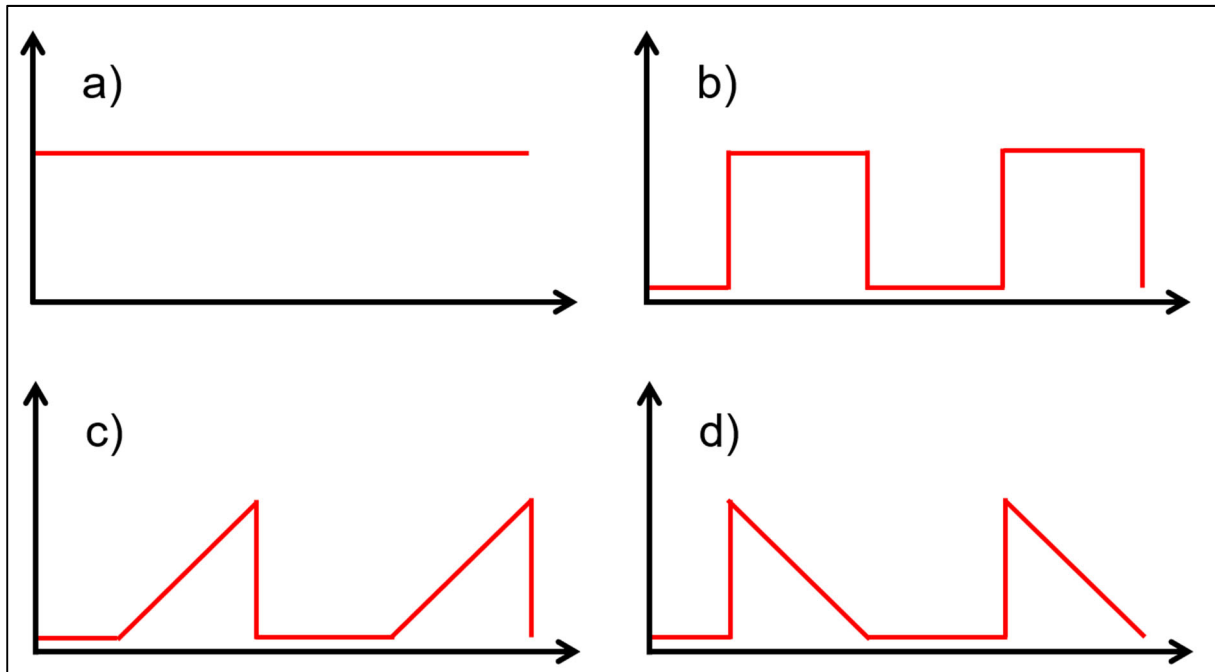


Abbildung 4 Ansteuerfunktionen für die Signalleuchte: a) konstant, b) Rechteck, c) Sägezahn, d) Sägezahn invers

Als Baseline wird eine Fahrt ohne zugeschaltete Signalleuchte verwendet. Somit ergeben sich insgesamt fünf Varianten der Lichtfunktionen zur Untersuchung während der Probandenstudie.

Die Aufgabe des Probanden ist es, während jeder Begegnungssituation mit dem Fahrzeug zu entscheiden, ob er die Straße vor dem autonomen Fahrzeug überqueren würde, oder nicht. Diese Entscheidung wird mündlich dem Versuchsleiter mitgeteilt, der diese notiert. In Kapitel 4 wird erklärt, warum im weiteren Verlauf diese Methode verworfen wird.

Die unterschiedlichen Lichtfunktionen stellen hierbei die unabhängige Variable dar. Die Entscheidung des Probanden zu Querem oder nicht, die abhängige Variable.

3.3 Versuchsablauf

Der Ablauf der Konzeptstudie erfolgt in drei Teilen. Zunächst wird der Proband mündlich über den Ablauf der Studie instruiert und die Aufgabenstellung erklärt. Im folgenden Teil werden dem Probanden 15 randomisierte Begegnungssituationen mit dem autonomen Fahrzeug präsentiert. In diesen ist zu entscheiden, ob die Fahrbahn vor dem Fahrzeug gequert wird oder nicht. Den Abschluss bildet ein Fragebogen mit allgemeinen Fragen zur Thematik autonome Fahrzeuge und Kommunikation im Straßenverkehr.

Insgesamt haben 13 auswertbare Probanden im Alter von 21 bis 31 Jahren an der Studie teilgenommen. Die Durchführung erfolgte während den Mittagsstunden bei Tageslicht und ohne Bewölkung.

Die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

4 Diskussion

Während der Durchführung der Konzeptstudie ergaben sich mehrere Optimierungsmöglichkeiten.

Bedingt durch die Tatsache, dass die Probanden ihre Entscheidung nur mündlich dem Versuchsleiter mitteilen mussten, wurde die Entscheidung zu queren fast ausschließlich gegeben. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass eine Fehlentscheidung für den Probanden keine Konsequenzen gehabt hätte. Daraufhin wurde die Aufgabenstellung für den Probanden dahingehend geändert, dass die Entscheidung zu queren, durch einen Schritt vom Bürgersteig auf die Fahrbahn, angezeigt werden sollte. Um eine Gefährdung für den Probanden auszuschließen, sollten diese jedoch nicht die Straße vollständig überqueren.

Weiterhin zeigte sich, dass die Probanden sehr schnell verstanden, dass das Fahrzeug in jeder Situation anhalten und sie passieren lassen wird. Zur Behebung dieses Defizits wurde eine weitere Fahrt als Falsch-Positiv hinzugefügt, in der das Fahrzeug nicht anhielt und am Probanden vorbeigefahren ist.

Durch das Feedback der Probanden ergab sich ebenfalls, dass die Lichtfunktionen nicht bereits angeschaltet sein sollen, wenn das Fahrzeug um die Kurve kommt und für den Probanden sichtbar wird. Ein Vorschlag war, diese erst dann zuzuschalten, wenn das Fahrzeug beginnt abzubremsen. Diese Änderung des Status der Leuchte bewirkt, dass die Probanden die Lichtfunktionen besser wahrnehmen.

Der abschließende Fragebogen enthielt auch die Frage, wie viele verschiedene Lichtfunktionen die Probanden erkennen konnten. Ein Großteil der Probanden konnte nicht mehr als zwei verschiedene Lichtfunktionen unterscheiden, nämlich *statisch* und *blinkend*.

Für die Durchführung einer Probandenstudie, zur Untersuchung einer cyan-farbigem Signalleuchte, ergeben sich somit folgende Punkte, die dringend zu beachten sind:

1. Anheben der Hemmschwelle für die Entscheidung. Anzeige der Entscheidung durch aktive Handlung, bspw. Schritt auf die Fahrbahn
2. Einfügen einer Falsch-Positiv Fahrt
3. Statusänderung des Fahrzeuges (Beginn des Verzögerungsvorgangs) soll durch Statusänderung bei Lichtfunktion angezeigt werden
4. Unterscheidung zwischen zwei Lichtfunktionen: Statisch und Dynamisch

Die durch die Probanden genannten Störeinflüsse, wie Ablenkung oder Verdeckung des Versuchsfahrzeuges durch andere Verkehrsteilnehmer können in der Hauptstudie durch eine abgesperrte Versuchsstrecke beseitigt werden.

5 Zusammenfassung

Ziel dieser Konzeptstudie ist die Erarbeitung eines funktionalen Versuchskonzeptes, welches zur Untersuchung der cyan-farbigen Signalleuchte geeignet ist. Es hat sich gezeigt, dass Störgrößen die Entscheidung der Probanden beeinflussen und diese maßgeblich von der Gestaltung der Aufgabe für den Probanden abhängig ist.

Es hat sich außerdem gezeigt, dass die Probanden schnell den Zusammenhang erfassen konnten, dass das Fahrzeug auf die Vorfahrt verzichtet und beginnt zu verzögern, sobald die Signalleuchte zugeschaltet wird.

Ebenfalls soll zukünftig die Dauer zwischen der Anzeige der Lichtfunktion und der Entscheidung des Probanden zu Queren gemessen und als unabhängige Variable genutzt werden. So lassen sich Unterschiede zwischen den Lichtfunktionen genauer quantifizieren.

Auch eine Durchführung der Studie bei Dämmerung oder in den Nachtstunden kann neue Erkenntnisse hinsichtlich der Verwendung der Signalleuchte zur Nutzung als Verzichtsanzeige liefern.

Auf dieser Grundlage lassen sich weitere Untersuchungen durchführen, um die Parameter zur Nutzung der Signalleuchte auch in weiteren Situationen zu beschreiben.

Diese Arbeit wurde finanziert durch das BMWI geförderte Projekt „INITIATIVE“ mit dem Förderkennzeichen 19A21008D.

6 Literaturangaben

- [1] interACT project: Home, 2022. <https://www.interact-roadautomation.eu/>, abgerufen am: 25.05.2022
- [2] @city: @CITY | Automatisiertes Fahren in der Stadt | Home, 2022. <https://www.atcity-online.de/>, abgerufen am: 25.05.2022
- [3] Budanow, M. u. Neumann, C.: Road projections as a new and intuitively understandable human-machine interface. *Advanced Optical Technologies* 8 (2019) 1, S. 77–84
- [4] Reschke, J., Auburger, M.-T., Marichalar, R. u. Neumann, C.: Kommunikation zwischen automatisierten Fahrzeugen und Fußgängern
- [5] Baumann, M., Helmer, M. u. Neumann, C.: Lichtbasierte Kommunikationsschnittstelle zwischen Fahrzeug und Fußgänger im automatisierten Straßenverkehr: Was muss sie leisten und wie könnte sie aussehen? 15. Internationales Forum für den lichttechnischen Nachwuchs, 04. – 06. Juni 2021, . Tagungsband. Ilmenau Media Services 2021 - 2021

- [6] SAE International: SAE Levels of Driving Automation™ Refined for Clarity and International Audience, 2021. <https://www.sae.org/blog/sae-j3016-update>, abgerufen am: 12.04.2022
- [7] Imbsweiler, J., Ruesch, M., Heine, T., Linstedt, K., Weinreuter, H., Puente León, F. u. Deml, B.: Die Rolle der expliziten Kommunikation im Straßenverkehr. Arbeit(s).Wissen.Schaf(f)t - Grundlagen für Management & Kompetenzentwicklung. Tagungsband 64. Frühjahrskongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. 2018
- [8] Merten, K.: Kommunikation. Eine Begriffs- und Prozeßanalyse. Studien zur Sozialwissenschaft, Bd. 35. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften; Imprint 1977
- [9] BAUER, T. H., RISSER, R., SOCHE, P., TESKE, W. u. VAUGHAN, C. H.: KOMMUNIKATION IM STRASSENVERKEHR (1. ZWISCHENBERICHT). LITERATURSTUDIE AUS JURISTISCHEM, KOMMUNIKATIONSTHEORETISCHEM UND PSYCHOLOGISCHEM BLICKWINKEL. 1980
- [10] Risser, R.: Behavior in traffic conflict situations. Accident Analysis & Prevention 17 (1985) 2, S. 179–197
- [11] § 11 StVO 2013 - Einzelnorm, 2022. https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/__11.html, abgerufen am: 14.04.2022
- [12] Becker, M. E.: Displaytechnik I. Vorlesungsskript. 2014
- [13] Dey, D., Habibovic, A., Pfleging, B., Martens, M. u. Terken, J.: Color and Animation Preferences for a Light Band eHMI in Interactions Between Automated Vehicles and Pedestrians. Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York, NY, USA: ACM 04212020, S. 1–13
- [14] Rost, J.: Lehrbuch Testtheorie Testkonstruktion. Psychologie Lehrbuch. Bern, Göttingen: Huber; Hogrefe 1996
- [15] SAE International: J3134: Surface Vehicle Recommended Practice - Automated Driving System (ADS) Marker Lamp(s).
- [16] HELLA: Unser Digital Light SSL | HD-Lichtsystem: ein neuer Meilenstein der automobilen Lichttechnik | HELLA, 2019. <https://www.hella.com/techworld/de/Lounge/Unser-Digital-Light-SSL-HD-Lichtsystem-ein-neuer-Meilenstein-der-automobilen-Lichttechnik-55548/>, abgerufen am: 12.06.2023
- [17] Baumann, M., Trampert, K., Helmer, M. u. Neumann, C.: Lichtbasierte Kommunikation im autonomen Mischverkehr. In:

- [18] Baumann, M., Trampert, K., Helmer, M. u. Neumann, C.: Lichtbasierte Kommunikationsschnittstelle zwischen automatisierten Fahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern. In: