

LED-DISPLAYS FÜR FAHRERASSISTENZSYSTEME

Lena Rittger,
 Adam Opel AG, Bahnhofplatz, 65423 Rüsselsheim
 Thomas Stemmler,
 WIVW GmbH, Robert-Bosch Straße 4, 97209 Veitshöchheim

Zusammenfassung

Neue LED-(Light Emitting Diodes-)Displaytechnologien in Fahrzeugen erlauben die Präsentation von fahrrelevanten Informationen und Warnungen. In der vorgestellten Studie wurden verschiedene LED-Konfigurationen getestet. Die Konfigurationen unterschieden sich durch die Anzahl der LED, die Breite der LED-Leiste und die Abstände zwischen einzelnen LED. Die Gestaltung der Warnungen und Fahrerinformationen folgte drei grundsätzlichen Prinzipien: Erstens, die Position der aktivierten LED bezog sich auf die Position der Gefahr in Bezug zum Egofahrzeug. Zweitens, Bewegung und/oder relative Breite der aktivierten LED enkodierten laterale und longitudinale Abstände und Richtungen. Drittens, Farben kommunizierten die Dringlichkeit der Fahrerreaktion. Diese Gestaltungsprinzipien wurden auf drei verschiedene Fahrerassistenzsysteme angewendet. An der Fahrsimulatorstudie nahmen 36 Probanden teil. Jeder Proband erlebte die verschiedenen Assistenzsysteme mit jeweils einer Displaykonfiguration. Die Ergebnisse zeigten, dass die Fahrer die grundlegenden Gestaltungsprinzipien verstanden: Alle LED-Konfigurationen reduzierten die Anzahl an Kollisionen in kritischen Situationen und unterstützten die Fahrer beim Spurhalten in Engstellensituationen. LED-Displays eignen sich daher zur Kommunikation komplexer Informationen von verschiedenen Fahrerassistenzsystemen. Die LED-Displays ermöglichen es, die Reize aus der Fahrumgebung durch zusätzliche Informationen anzureichern und könnten so eine günstige Alternative zu Head-up Displays darstellen.

Keywords

LED-Anzeigen; HMI; Fahrerassistenzsysteme

1. HINTERGRUND

Vorangetrieben durch den technischen Fortschritt in der Leistung und Verfügbarkeit von Fahrzeugsensorik und den Anforderungen regulatorischer Vorgaben und Konsumentenorganisationen (z.B. EuroNCAP), nimmt die Anzahl der im Fahrzeug verfügbaren Fahrerassistenzsysteme stetig zu [1]. Ziel der Systeme ist die Unterstützung einer effizienten, komfortablen und sicheren Durchführung der Fahraufgabe [2].

Fahrerassistenzsysteme kommunizieren mit dem Fahrer über die Mensch-Maschine-Schnittstelle (Human Machine Interface, HMI). Die Gestaltung des HMI spielt eine entscheidende Rolle in der Entwicklung neuer Systeme. Nur wenn die Fahrer die Ausgaben des Systems wahrnehmen, verarbeiten, korrekt interpretieren und das angemessene Fahrverhalten auswählen, können die Vorteile des technischen Systems realisiert werden.

HMI-Strategien im Fahrzeug sind häufig visuell dominiert. Die Präsentation visueller Information erlaubt einen hohen Detailgrad und ist prinzipiell für sowohl kollisionsimminente Fahrerwarnungen sowie länger präsentierte Fahrerinformation (z.B. die Anzeige bestehender Geschwindigkeitslimits) geeignet. Im Vergleich zu akustischer Information können die Fahrer die Information dann abrufen, wenn sie benötigt wird und wenn die kognitiven Ressourcen dafür vorhanden sind (z.B. die Geschwindigkeit auf dem Tachometer).

Die Fahraufgabe ist eine visuell dominierte Aufgabe [3], [4]. Bei der Gestaltung der visuellen Anteile des HMI sollte daher berücksichtigt werden, dass das HMI nicht von der

primären Fahraufgabe ablenkt, aber fahrrelevante Informationen und insbesondere Warnungen effektiv an den Fahrer kommuniziert werden.

Der Fahrerraum des Fahrzeugs bietet verschiedene Möglichkeiten zur visuellen Kommunikation von Informationen. Neben den klassischen Kombi-Displays in der Instrumententafel werden insbesondere in Fahrzeugen der Oberklasse Head-up Displays angeboten. Diese präsentieren Inhalte durch Reflexion auf die Windschutzscheibe im primären Sichtfeld des Fahrers. Dadurch kann die Information im Vergleich zur Präsentation im fahrerzentrierten Kombiinstrument schneller wahrgenommen und verarbeitet werden. Mit Head-up Displays sind geringere Akkommodationsanstrengungen des Fahrers notwendig. Außerdem wird die Aufmerksamkeit des Fahrers nicht zunächst in den Fahrzeuginnenraum gelegt und geringere Strecken zwischen der Fixation des HMI und der realen Fahrsituation sind notwendig [5], [6].

Head-up Displays sind technisch aufwendig und mit hohen Kosten verbunden. Alternativ (oder ggf. ergänzend) zu Head-up Displays zeigten Studien, dass visuelle Warnungen in sogenannter High-Head Down Position, also entlang der Scheibenwurzel, ebenfalls effektiv im Sinne einer angemessenen Fahrerreaktion sind [6]. Eine mögliche Variante stellt der Einbau von LED (Light Emitting Diodes) dar. LED-Anzeigen können an unterschiedlichen Orten im Fahrzeug platziert werden. Informationen werden über Aktivierungsmuster, Farbe und Helligkeit kodiert. Im Gegensatz zu anderen visuellen Displays, die Texte oder spezifische Graphiken darstellen können, ermöglichen LED-Anzeigen in der Regel einen geringeren Detailgrad bei der Gestaltung der Fahrerwarnung oder

-information. Untersuchungen in der Vergangenheit zeigten insbesondere die Effektivität von LED-Anzeigen zur Kommunikation von kollisionsimminenten Warnungen mit geringem Detailgrad [7].

Die im Folgenden dargestellte Untersuchung adressierte zwei hauptsächliche Forschungsfragen bei der Entwicklung von LED-Anzeigekonzepten. Erstens, die Implementierung von LED-Anzeigen im Fahrzeug sollte es ermöglichen, LED als Ausgabemedium für verschiedene Fahrerassistenzsysteme zu verwenden. Die Logik der Aktivierungs- und Farbstrategie sollte zwischen Systemen konsistent und eindeutig sein, um dem Fahrer ein schnelles Verständnis zu ermöglichen. Zweitens wurde die Frage nach der Gestaltung einer LED-Leiste im Fahrzeug gestellt. Zur technischen Umsetzung wurde erarbeitet, welche Charakteristika der LED-Leiste im Sinne von Breite und Auflösung zur Abbildung von Informationen für verschiedene Fahrerassistenzsysteme erforderlich sind.

Der folgende Abschnitt beinhaltet die Beschreibung der verschiedenen LED-Konfigurationen. Danach werden das Warn- und Informationskonzept sowie dessen Umsetzung auf den entsprechenden LED-Konfigurationen dargestellt. Anschließend werden die Methoden und Ergebnisse einer Evaluation der Konzepte im Fahrsimulator aufgeführt. Eine Diskussion der Ergebnisse schließt den Artikel ab.

2. LED-KONFIGURATIONEN

In der Untersuchung wurden drei Konfigurationen (KONF) von LED-Anzeigen verglichen. Alle LED-Konfigurationen wurden am unteren Scheibenrand entlang der Scheibenwurzel angeordnet.

KONF 1 zeigt eine breite LED-Reihe mit einer Anordnung von 30 LED (2.1 cm Abstand), die jeweils die Farben Grün, Gelb und Rot annehmen konnten. Die LED waren einzeln ansteuerbar. Sie erstreckten sich über eine Breite von 65 cm zwischen 18° links der geraden Sichtachse des Fahrers bis 24° rechts und reichten damit vom linken Rand der Windschutzscheibe (A-Säule) bis zum rechten Rand der Mittelkonsole (BILD 1).

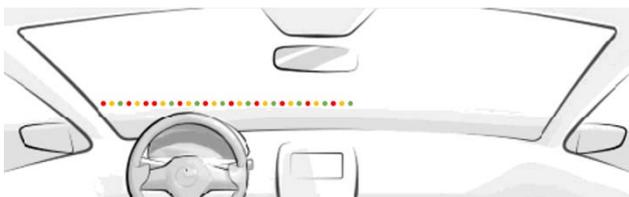


BILD 1. Schematische Darstellung der LED KONF 1 im Fahrzeug.

Die zweite Konfiguration (KONF 2) bestand aus fünf Segmenten von LED-Reihen (BILD 2). Jedes Segment bestand aus 6 aneinander gereihten LED, die innerhalb des Segments einen Abstand von 0.7 cm zueinander hatten. Alle 6 LED eines Segments konnten ausschließlich gemeinsam angesteuert werden und die Farben Grün, Gelb und Rot annehmen. Das mittlere Segment war fahrerzentriert angebracht, jeweils zwei weitere Displays waren sowohl rechts als auch links in einem Abstand von 12 cm zwischen den Segmenten angebracht.

Die Breite von KONF 2 entsprach der Breite von KONF 1; aufgrund der blockweisen Anordnung war die visuelle Auflösung der Anzeigen in KONF 2 geringer als in KONF 1.



BILD 2. Schematische Darstellung der LED KONF 2 im Fahrzeug.

KONF 3 bestand aus einer schmalen fahrerzentrierte LED-Reihe, die aus einem Segment von 6 LED bestand. Der Abstand zwischen den einzelnen LED betrug 0.7 cm. Aufgrund der einzelnen Ansteuerbarkeit der LED war die visuelle Auflösung des Segments hoch. Die LED konnten die Farben Gelb und Rot annehmen (BILD 3).

TAB 1 fasst die Charakteristika der drei Konfigurationen zusammen.



BILD 3. Schematische Darstellung der LED KONF 3 im Fahrzeug.

Spezifikation	KONF 1	KONF 2	KONF 3
Anzahl Segmente	1	5	1
Anzahl LED pro Segment	30	6	6
Farben	Grün, Gelb, Rot	Grün, Gelb, Rot	Gelb, Rot
Ansteuerbarkeit	Einzel-LED	Einzel-Segment	Einzel-LED

TAB 1. Spezifikation der drei untersuchten LED-Konfigurationen.

3. WARN- UND INFORMATIONSKONZEPT

Ziel der Untersuchung war es zu bewerten, ob sich unterschiedliche LED-Konfigurationen zur Vermittlung von Informationen verschiedener Assistenzsysteme eignen. Die getesteten Assistenzsysteme warnten vor lateralen und longitudinalen Gefahren. Aufgrund der technischen Unterschiede zwischen den LED-Konfigurationen sowie den unterschiedlichen Anforderungen an die Fahrerwarnungen für unterschiedliche Fahrerassistenzsysteme, wurde ein sowohl für die Displays als auch für die Fahrerassistenzsysteme einheitliches Warnkonzept entwickelt.

Das Warnkonzept orientierte sich an folgenden drei Gestaltungsprinzipien:

- 1) Die Position der aktivierten LED bezog sich auf die Position der Gefahr in Bezug zum Egofahrzeug. Eine Aktivierung der LED im linken Bereich der LED-Matrix wies auf eine Gefahr links im Verkehrs-

geschehen hin (z.B. ein sich näherndes Fahrzeug oder das Überschreiten einer Fahrspurmarkierung).

- 2) Die Bewegung und/oder relative Breite der aktivierten LED enkodierte laterale und longitudinale Abstände und Richtungen. Zum Beispiel eine Aktivierung von LED in einer Sequenz von links nach rechts symbolisierte die Bewegung eines Kollisionsobjekts von links nach rechts.
- 3) Die Farben kommunizierten die Dringlichkeit der Fahrerreaktionen entsprechend der bekannten Farb-Stereotype. Rot repräsentierte sehr dringliche Warnungen, Gelb stellte Vorwarnungen dar, und Grün signalisierte ok [8]. Die Steigerung einer roten Warnung wurde durch rot blinkende LED realisiert.

Entsprechend der LED-Konfiguration standen unterschiedlich viele LED, Farben sowie Anzeige-Breiten zur Realisierung des Warnkonzeptes zur Verfügung. Die Gestaltungsprinzipien wurden auf alle LED-Konfigurationen übertragen. Im Folgenden wird die Anwendung der Konzepte auf drei verschiedene Assistenzsysteme beschrieben.

3.1. Abstandswarner

Der Abstandswarner informierte den Fahrer durch die Aktivierung von fahrerzentrierten LED über das Vorhandensein eines Vorderfahrzeugs. Bei Unterschreitung eines bestimmten Sekundenabstands zum Vorderfahrzeug erhöhte sich die Anzahl der aktivierten LED bzw. es änderte sich die relative Breite der Anzeige in Abhängigkeit des longitudinalen Abstands. Dies signalisierte dem Fahrer, dass er dichter bzw. zu dicht auf das Vorderfahrzeug auffährt. Bei Unterschreitung eines kritischen Abstandes ging der Abstandswarner in den frontalen Kollisionswarner über und warnte den Fahrer durch den Farbwechsel auf Rot und Blinken der roten LED (BILD 4).

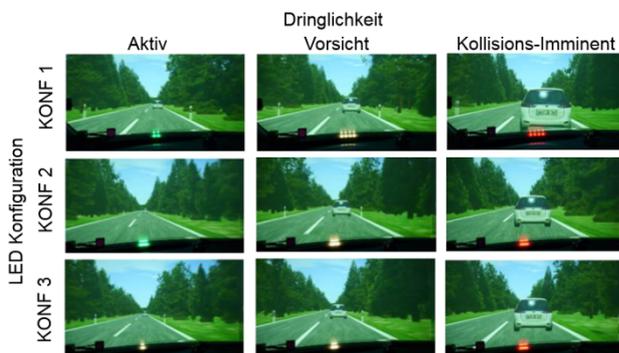


BILD 4. Realisierung des Warnkonzeptes für den Abstandswarner für die drei LED-Konfigurationen. Die drei Dringlichkeitsstufen zeigen Ausschnitte aus der dynamischen Situation in der sich das Egofahrzeug an ein Vorderfahrzeug annäherte.

3.2. Kreuzungsassistent

Der Kreuzungsassistent warnte den Fahrer in Situationen in denen er drohte mit Verkehrsteilnehmern zu kollidieren, die sich von links oder rechts an X-Kreuzungen annäherten. In den Testszenarien im Experiment nahmen die kreuzenden Fahrzeuge dem Egofahrzeug die Vorfahrt. Bei einer Auslegung des Systems basierend auf Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation sind frühe Warn-

zeitpunkte denkbar. Dies wurde bei der Konzeptentwicklung berücksichtigt.

Bei der Annäherung an die Kreuzung markierten richtungsspezifisch leuchtende LED die Annäherung des von links oder rechts kommenden Fahrzeugs zunächst in einer frühen Warnstufe in Gelb. Die Annäherung des Konfliktpartners an die Kreuzung wurde durch die Animation entsprechend seiner Bewegungsrichtung kommuniziert. Beim Übergang in die kollisionsimminente Situation, leuchteten bzw. blinkten die LED fahrerzentriert in Rot (BILD 5). Als früher Warnzeitpunkt wurde eine TTC von 3.2 s festgelegt, für die (späte) kollisionsimminente Warnung eine TTC von 1.7 s.

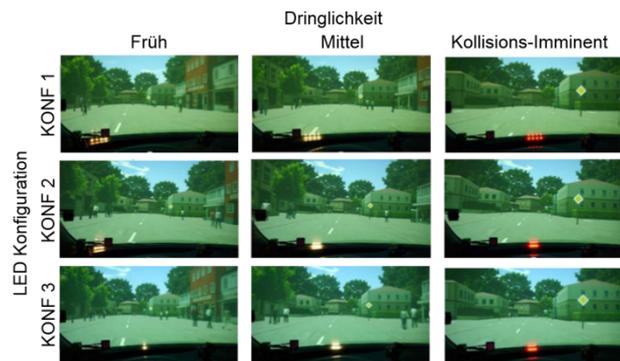


BILD 5. Realisierung des Warnkonzeptes für den Kreuzungsassistenten für die drei LED-Konfigurationen. Die drei Dringlichkeitsstufen zeigen Ausschnitte aus einer dynamischen Situation, in der sich das Kollisionsobjekt von links annäherte.

3.3. Engstellenassistent

Der Engstellenassistent unterstützte den Fahrer beim Durchfahren von Engstellen. Dabei gab das System dynamische Informationen über die aktuelle Position des Egofahrzeugs innerhalb der Fahrspur. BILD 6 beschreibt die Kodierung der Abstände zum Fahrbahnrand.



BILD 6. Parameter zur Realisierung der Informationen/Warnungen für den Engstellenassistenten.

Der linke und der rechte Fahrbahnrand wurden über die Aktivierung entsprechender LED repräsentiert. Fuhren die Probanden in der Mitte der Fahrspur wurde dies über eine gleiche Anzahl grüner bzw. gelber LED für den rechten und linken Fahrbahnrand dargestellt. Entsprechend des Abstands zum jeweiligen Fahrbahnrand änderten sich die Anzahl und die Farbe der aktivierten LED. Je kleiner der Abstand zum Fahrbahnrand (d.h. je höher die Gefahr zur Überschreitung des Fahrbahnrandes), desto höher die Kritikalität der Situation, was mit einer Veränderung der Farbe oder der Anzahl der aktivierten LED einher ging (BILD 7).

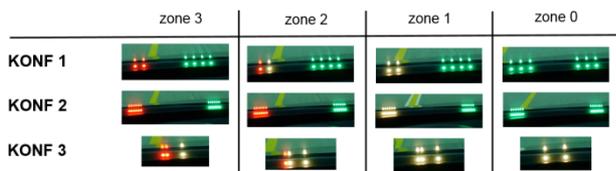


BILD 7. Realisierung des Warnkonzepts für den Engstellenassistenten für die drei LED-Konfigurationen. Die Konzepte zeigen eine Annäherung an den linken Fahrbahnrand. Die 4 Zonen (0-3) entsprechen den Abständen in BILD 6.

4. METHODEN

4.1. Apparate und Materialien

Die Studie wurde am statischen Fahrsimulator der WIVW GmbH durchgeführt (BILD 8). Das Mock-up des Simulators war ein Opel Insignia. Der Simulator verfügte über ein 300° horizontales und 47° vertikales Sichtfeld, welche über fünf Bildkanäle auf Leinwände projiziert wurden. Zwei LCD-Displays fungierten als linker und rechter Außenspiegel. Ein weiteres Display im Kofferraum des Mock-ups präsentierte die rückwärtige Fahrzszenarie, die der Fahrer über den konventionellen Rückfahrspiegel wahrnahm. Die Akustik der Fahrzszenarie wurde über die vier Originallautsprecher im Fahrzeug präsentiert. Ein 100 Mbit Ethernet betrieb das System. Die Daten wurden mit 120 Hz aufgezeichnet. Die Szenarie wurde über die Fahrsimulatorssoftware SILAB entwickelt und dargestellt.



BILD 8. Statischer Fahrsimulator der WIVW GmbH mit Opel Insignia Mock-up.

Die LED-Anzeige Konzepte wurden über einen Ardafruit DotStar LED-Streifen entlang der Scheibenwurzel realisiert (BILD 9).



BILD 9. Darstellung der Fahrerperspektive im Mock-up. Die weiße Markierung verdeutlicht die Position des LED-Streifens entlang der Scheibenwurzel.

Die Umsetzung der Animationen erfolgte über einen Arduino Mikrocontroller. Der LED-Streifen wurde an der Scheibenwurzel der Windschutzscheibe befestigt. Je nach LED-Konfiguration wurden die zur Darstellung des Warnkonzepts relevanten LED aktiviert, während die für die aktuelle LED-Konfiguration irrelevanten LED inaktiv geschaltet wurden. Alle Probanden konnten die LED-Anzeige in ihrer gewohnten Sitzposition während der Fahrt gut erkennen.

4.2. Stichprobe

An der Untersuchung nahmen 36 Probanden (17 weibliche) teil. Die Probanden waren im Mittel 34 Jahre alt (Standardabweichung = 12.5). Die Probanden wurden über das Fahrerpanel der WIVW GmbH rekrutiert und waren trainiert für das Fahren im statischen Fahrsimulator. Die Teilnahme am Versuch wurde vergütet.

4.3. Experimentelles Design

Die LED-Konfigurationen (KONF 1, KONF 2, KONF 3) wurden zwischen den Probanden variiert; jeder Proband erlebte nur eine der Konfigurationen. Eine vierte Gruppe Probanden fuhr ohne neuartiges Warnkonzept als Baseline. Diese Gruppe erlebte in kollisionsimminenten Situationen den frontalen Kollisionswarner (6 rot blinkende LED die fahrerzentriert aktiviert wurden), alle anderen Assistenten waren in dieser Versuchsgruppe nicht verfügbar. Diese Experimentalgruppe wurde eingeführt, um einen Vergleich des neu entwickelten Warnkonzepts mit dem in Serienfahrzeugen verfügbaren Kollisionswarner zu ermöglichen. Damit ergaben sich 4 Versuchsgruppen mit jeweils 9 Probanden.

Die Anwendung des Warnkonzepts auf die unterschiedlichen Assistenzsysteme wurde innerhalb der Probanden variiert, d.h. jeder Proband erlebte beim Durchfahren der Versuchsstrecke wiederholt Abstandswarner, Engstellenassistent sowie Kreuzungsassistent. Für jedes Assistenzszenario erlebten die Fahrer außerdem eine Baseline Situation, in der keine Assistenz verfügbar war. Während der Fahrt zeichnete die Fahrsimulatorssoftware Fahrparameter zur objektiven Bewertung des Fahrverhaltens auf. Nach der Fahrt bewerteten die Fahrer die Anzeigekonzepte anhand der System Usability Scale [9]. Die Skala beinhaltete 10 Fragen zur Nutzung des Systems und erlaubte die Berechnung eines Gesamtscores.

4.4. Versuchsstrecke

Die Versuchsstrecke war für alle Fahrer identisch und bestand aus einer Abfolge von Assistenzszenarien, Baselineszenarien und Füllszenarien. Die Strecke enthielt Abschnitte mit Innenstadtverkehr und Landstraßensituationen. TAB 2 zeigt die Reihenfolge der relevanten Fahrzszenarien.

Der Kreuzungsassistent wurde in jeweils einem Landstraßen- und einem Innenstadtszenario erlebt. Zwischen den gelisteten Testszenarien durchfuhren die Probanden die Füllszenarien ohne kritische oder schwierige Fahrzsituationen. Die Gruppe der Fahrer, die ohne neuartiges LED-Konzept fuhren („Standard“), erlebten bei Unterschreitung der relevanten Schwellwerte den frontalen Kollisionswarner in den Kreuzungssituationen und der Folgefahrt. In der Engstelle erlebten die Fahrer dieser Gruppe keine neuartigen Warnungen oder Informationen.

Szenario	Assistenzsystem	Beschreibung
Kreuzung außerorts	Ohne	Kollisionsfahrzeug von links
Kreuzung außerorts	Kreuzungsassistent	Kollisionsfahrzeug von rechts
Engstelle außerorts	Ohne	Durchfahrt mit 80 km/h
Kreuzung innerorts	Ohne	Kollisionsfahrzeug von rechts
Kreuzung innerorts	Kreuzungsassistent	Kollisionsfahrzeug von links
Engstelle außerorts	Engstellenassistent	Durchfahrt mit 80 km/h
Folgefahren außerorts	Ohne	Vorderfahrzeug fährt 80 km/h
Folgefahren außerorts	Abstandswarner	Vorderfahrzeug fährt 80 km/h

TAB 2. Abfolge der Testszenarien ohne (unkritische) Füllszenarien. Die gelistete Reihenfolge entspricht der Reihenfolge der Szenarien in der Teststrecke.

4.5. Ablauf

Zu Versuchsbeginn wurden die Probanden von der Versuchsleitung begrüßt und füllten eine Datenschutzerklärung aus. Die Fahrer wurden darüber aufgeklärt, dass sie in der folgenden Versuchsfahrt unterschiedliche Fahrerassistenzsysteme erleben werden. Zudem wurden darauf hingewiesen, dass sie sich an die Straßenverkehrsordnung halten und weder sich noch andere gefährden sollten. Nach Abschluss der Fahrt füllten die Fahrer die System Usability Scale aus. Anschließend wurden die Probanden über den Versuch aufgeklärt, bezahlt und verabschiedet. Der Versuch dauert ca. 2 Stunden.

5. ERGEBNISSE

Aufgrund des explorativen Charakters der Untersuchung wurden die Daten deskriptiv ausgewertet und auf eine inferenzstatistische Absicherung der Befunde verzichtet. In den folgenden Abschnitten wird der Kernbefund für jedes Assistenzsystem separat vorgestellt. Anschließend werden die subjektiven Bewertungen für Anzeigeconzepte verglichen.

5.1. Abstandswarner

Die Folgefahrtsituationen wurden anhand der relativen Zeit, die die Fahrer im jeweiligen Systemzustand fuhren, bewertet. Bei genügend großem Abstand zum Vorderfahrzeug aktivierte sich der Abstandindikator nicht. BILD 10 zeigt, dass die Fahrer ohne und mit Abstandindikator und -warner konservatives Fahrverhalten zeigten. Der Abstand zum Vorderfahrzeug war stets so groß, dass das System entweder noch nicht aktiviert wurde oder die Anwesenheit des Vorderfahrzeugs

anzeigte, ohne dass ein kritischer Abstand unterschritten wurde. Bei der Fahrt mit Assistent konnten keine inhaltlich bedeutsamen Unterschiede zwischen den Anzeigeconzepten beobachtet werden.

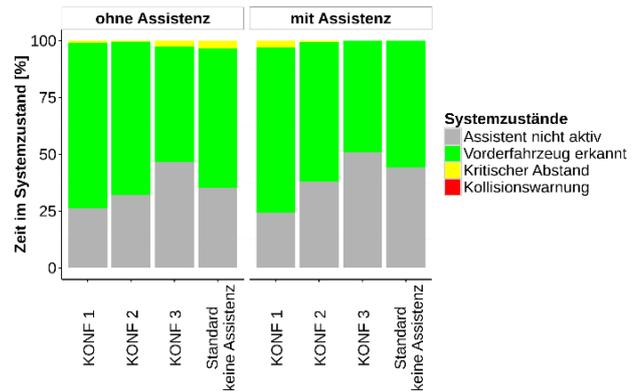


BILD 10. Prozent der Zeit, die die Fahrer in den verschiedenen Systemzuständen fuhren. Standard beschreibt die Gruppe, die ohne Abstandswarner fuhr.

5.2. Engstellenassistent

Zur Bewertung des Fahrverhaltens beim Durchfahren der Engstellen wurde die relative Zeit bestimmt, die die Fahrer in den jeweiligen lateralen Zonen fuhren. Die Abweichungen von der Spurmitte nach links und rechts wurden zusammengefasst. Zone 0 beschreibt die Mitte der Spur. BILD 11 zeigt, dass sich beim Fahren mit Assistenz unabhängig der LED-Konfiguration die Spurhaltung verbesserte.

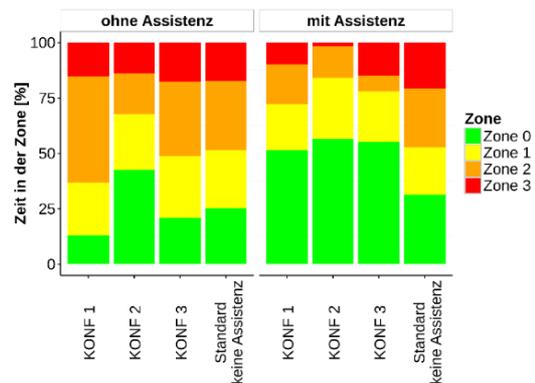


BILD 11. Prozent der Zeit, die die Fahrer in den jeweiligen Zonen bei der Durchfahrt durch die Engstelle verbrachten. Standard beschreibt die Gruppe die ohne Engstellenassistent fuhr.

Während sich bei Fahrern ohne Assistenz (Standard) bei wiederholtem Durchfahren einer Engstelle keine Verbesserung in der Spurhaltung einstellte, zeigten die Fahrer bei der Fahrt mit Assistenz eine Verbesserung der Zeit in den unkritischen Zonen 0 und 1 von ca. 15% (KONF 2) bis 35% (KONF 1).

5.3. Kreuzungsassistent

Für den Kreuzungsassistent wurde die Häufigkeit der Kollisionen mit dem kreuzenden Verkehr betrachtet sowie die Time to Arrival (TTA) bei Bremsbeginn. Die TTA

beschrieb den Sekundenabstand, bis das Egofahrzeug in den Fahrschlauch des Kollisionsfahrzeugs eintrat.

BILD 12 zeigt die relative Häufigkeit von Kollisionen für jede der vier LED-Konfigurationen. Während in Szenarien ohne Assistenz häufig Kollisionen auftraten, verhinderten Warnungen in allen Bedingungen Kollisionen fast vollständig.

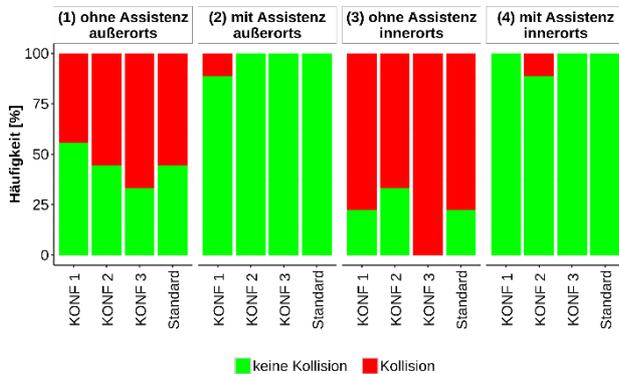


BILD 12. Prozent Kollisionen (100% = 9 Probanden) in den Kreuzungssituationen (mit und ohne Assistenz) für die verschiedenen LED-Konfigurationen. Standard beschreibt die Bedingung in der lediglich die kollisionsimminente Warnung ausgegeben wurde.

Zur zusätzlichen Beschreibung des Kollisionsvermeidungsverhaltens der Fahrer beim Verlauf der Situation wurde die TTA bei Bremsbeginn für die beiden Außerortskreuzungen als Erstkontakte berechnet.

BILD 13 zeigt die Verteilungen der TTA bei Bremsbeginn in Abhängigkeit von LED-Konfiguration.

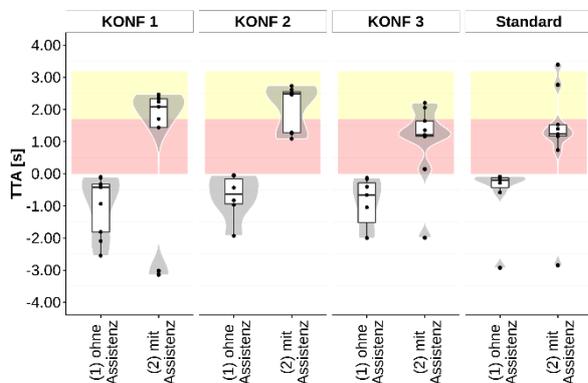


BILD 13. Rohwerte und Verteilungen der TTA bei Beginn der Bremsreaktion. Standard beschreibt die Bedingung in der lediglich die kollisionsimminente Warnung ausgegeben wurde. Gelber Bereich: Zeitbereich für die Anzeige der Vorwarnung. Roter Bereich: Zeitbereich für kollisionsimminente Warnung. Punkte: Rohwerte. Sterne: Mittelwert. Horizontale Linie: Median. Box: 25.-75. Perzentil. Grauer Bereich: Wahrscheinlichkeitsdichte.

Mit Warnungen erhöhte sich der Zeitabstand, bei dem die Fahrer mit der Bremsreaktion begannen. In der Bedingung Standard, in der nur eine kollisionsimminente Warnung angezeigt wurde, bremsten die meisten Fahrer wie

erwartet erst nach Anzeige der Kollisionswarnung (zwei Fahrer bremsten bereits vor Anzeige der Warnung).

In den Bedingungen KONF 1 und KONF 2 bremsten die Fahrer im Mittel bereits während der Anzeige der Vorwarnung bzw. vor der Anzeige der Kollisionswarnung. In der Bedingung KONF 3 bremsten die Fahrer im Mittel erst bei Anzeige der imminanten Kollisionswarnung.

Dies bedeutet, dass mit breiteren Anzeigen (KONF 1 und KONF 2) mehr Fahrer bereits auf die Vorwarnung reagierten als Fahrer mit den schmalen Anzeigen, selbst wenn eine richtungsgebundene Vorwarnung angezeigt wurde (KONF 3).

Schlussfolgernd kann festgehalten werden, dass alle Warnkonzepte dazu führten, dass weniger Kollisionen mit dem kreuzenden Verkehr stattfanden. Das neue Warnkonzept, realisiert über die KONF 1 und KONF 2, führte zu einem weniger kritischen Verlauf der Situationen, da die meisten Fahrer bereits auf die Vorwarnung reagierten.

5.4. Subjektive Bewertung

Nach der Fahrt bewerteten die Fahrer das von ihnen erlebte LED-Anzeige-Konzept anhand der System Usability Scale.

BILD 14 zeigt die Verteilung der Gesamtscores in Abhängigkeit der LED-Konfiguration. Im Mittel wurden alle LED-Konfigurationen positiv bewertet, wobei das Standard LED-Konzept am besten bewertet wurde. Im Mittel wurden KONF 2 und KONF 3 ähnlich gut bewertet wie Standard. KONF 1 wurde im Mittel schlechter bewertet als KONF 2, KONF 3 und Standard. Für KONF 1 und KONF 2 zeigte sich zudem, dass etwa bei 1/3 der Fahrer der Gesamtwert nicht über 70 Punkten lag.

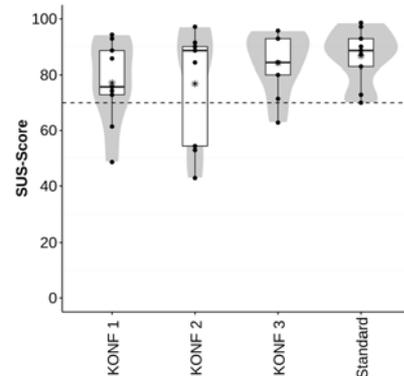


BILD 14: Rohwerte und Verteilung des Gesamtscores der System Usability Scale. Punkte: Rohwerte. Sterne: Mittelwert. Horizontale Linie: Median. Box: 25.-75. Perzentil. Grauer Bereich: Wahrscheinlichkeitsdichte.

6. DISKUSSION

In der vorgestellten Untersuchung wurden verschiedene LED-Anzeige-Konzepte verglichen. Ziel war es zu identifizieren, welche Anforderungen an die Breite, die Aufteilung und Farbunterscheidbarkeit bestehen, um die Anwendbarkeit eines Warn- und Informationskonzepts für verschiedene Fahrerassistenzsysteme trotz der technischen Restriktionen von LED-Leisten zu ermöglichen.

Das Warn- und Informationskonzept wurde anhand von festgelegten Prinzipien gestaltet. Mindestvoraussetzung

dafür waren zwei unterscheidbare Farben und einzeln ansteuerbare LED-Einheiten oder Einzel-LED. Um sicherzustellen, dass mögliche Unterschiede nur aufgrund der LED-Konfiguration entstehen, wurde das gleiche Warnkonzept auf alle drei LED-Konfigurationen angewendet.

Die Ergebnisse der Fahrsimulatoruntersuchung zeigten, dass das Warnkonzept bei der Anwendung auf alle LED-Konfigurationen in Kreuzungssituationen effektiv Kollisionen vermied. In der Anzahl der Kollisionen gab es keinen Unterschied zum Standardsystem des frontalen Kollisionswarners. Allerdings entwickelten sich Kreuzungssituationen mit neuem Warnkonzept weniger kritisch, wenn die beiden LED-Konfigurationen mit großer Breite angewendet wurden (KONF 1 und KONF 2).

Für den Abstandswarner zeigte sich, dass Situationen mit kurzen Folgeabständen schwer zu erzeugen waren. Die Probanden hielten mit und ohne Anzeige einen sicheren Abstand zum Vorderfahrzeug. Daher ergaben sich keine Unterschiede im Fahrverhalten zwischen den Fahrergruppen mit System und der Fahrergruppe ohne Assistenzsystem. Für zukünftige Untersuchungen sollte hier die Szenariengestaltung angepasst werden.

Beim Fahren mit Engstellenassistent zeigte sich, dass die Fahrer in den Gruppen mit neuartigem Anzeigeformat einen größeren Anteil der Zeit in der Mitte der Spur und weniger häufig nahe am Rand der Spur fuhren.

Es konnten keine bedeutsamen Unterschiede in den Fahrerreaktionen auf die unterschiedlichen LED-Konfigurationen gefunden werden. Alle drei Konzepte führten beim Kreuzungsassistenten und dem Engstellenassistenten zu Verbesserungen im Fahrverhalten. Als Konsequenz lässt sich festhalten, dass die minimale Ausstattung von sechs einzeln ansteuerbaren fahrerzentrierten LED mit mindestens zwei unterschiedlichen Farben ausreichen könnte, um das Warnkonzept effektiv zu realisieren.

Diese Schlussfolgerung hängt mit den Mustern und Aktivierungen zusammen, die mit Hilfe der LED dargestellt werden. Wie beschrieben, wurde im aktuellen Ansatz ein für unterschiedliche Assistenzsysteme einheitliches Warnkonzept aufgrund von Vorerfahrungen und Vortests definiert. Sollten andere Konzepte zur Aktivierung der LED erforderlich bzw. gewünscht sein, dann könnte eine erneute Evaluation der dafür notwendigen Hardware Konfiguration nötig werden.

Damit in Zusammenhang steht auch die Frage der Übertragbarkeit des Warnkonzepts auf andere Assistenzsysteme und automatisiertes Fahren. Weitere Untersuchungen sollten zeigen, ob die Minimalkonfiguration der LED-Leiste ausreicht, wenn sich z.B. die Anzahl der Systeme die sie als Ausgabemedium verwenden erhöht, oder wenn weitere Inhalte kommuniziert werden (z.B. Parkassistent). Es ist anzunehmen, dass auch ein generisches Warn- und Informationskonzept bei der Vielfalt der Systeme an die Grenzen der Unterscheidbarkeit für den Fahrer kommt. Fahrfunktionen mit höheren Automatisierungsgraden könnten mehr als zwei Farben erfordern oder die Kombination aus verschiedenen visuellen Anzeigemedien betrachten. Zum Beispiel könnte die Kombination aus LED-Leiste und Darstellungen im Kombidisplay die Vorteile beider Displayvarianten realisieren.

Positiv ist zu bewerten, dass keine negativen Übertragungseffekte zwischen den Systemen beobachtet

wurden. Trotz der Tatsache, dass die Aktivierungen der LED-Leiste in Situationen mit geringer Kritikalität (z.B. Abstandswarner) erlebt wurden, reagierten die Fahrer anschließend auf die Kollisionswarnungen in den Kreuzungssituationen. Die LED-Leiste scheint damit multifunktional einsetzbar.

7. REFERENZEN

[1] Zarife, R. (2014). Integrative Warning concept for Multiple Assistance Systems. Doctoral Dissertation, University Würzburg, Würzburg.

[2] Bengler, K., Hoffmann, S., Manstetten, D., Neukum, A., & Drüke, J. (in press). UR:BAN Human Factors in Traffic. Springer: Berlin.

[3] Gelau, C., & Krems, J.F. (2004). The occlusion technique: A procedure to assess the HMI of in-vehicle information and communication systems. *Applied Ergonomics*, 35, 185-187.

[4] Van der Horst, R. (2004). Occlusion as a measure for visual workload: an overview of TNO occlusion research in car driving. *Applied Ergonomics*, 35, 189-196.

[5] Ablassmeier, M., Poitschke, T., Wallhoff, F., Benlger, K., Rigoll, G. (2007). Eye Gaze Studies Comparing Head-Up and Head Down Displays in Vehicles. IEEE conference, Beijing, China, July, 2-5 2007, CDRom, S. 2250-2252.

[6] Perez, M.A., Kiefer, R.J., Haskins, A., & Hankey, J.M. (2009). Evaluation of Forward Collision Warning System Visual Alert Candidates and SAE J2400. *SAE Int.J. Passeng. Cars – Mech. Syst.* 2(1): 750-764, doi: 10.4271/2009-01-0547.

[7] Lind, H. (2007). An Efficient Visual Forward Collision Warning Display for Vehicles (SAE Technical Paper No. 2007-01-1105). Detroit, MI: Society of Automotive Engineers.

[8] Wickens, C.D., & Hollands, J.G. (2000). *Engineering Psychology and Human Performance*. New Jersey: Addison Wesley Pub Co Inc.

[9] Brooke, J. (1996). SUS: a "quick and dirty" usability scale. In P.W. Jordan, B. Thomas, B.A. Weerdmeester, & A.L. McClelland (Eds.). *Usability Evaluation in Industry*. London: Taylor and Francis.

Kontaktadresse:

Lena.Rittger@opel.com