

Zeitliche Gestaltung effektiver Fahrerinformationen zur Kollisionsvermeidung auf der Basis kooperativer Perzeption

Frederik Naujoks*, Heidi Grattenthaler* und
Alexandra Neukum*

Zusammenfassung: Zukünftige kooperative Kommunikationstechnologien ermöglichen es – über Notfallwarnungen hinaus – frühzeitige Informationen über potenzielle Gefahrensituationen an den Fahrer zu vermitteln. In Anlehnung an Forschungsergebnisse zu Fahrerwarnungen wird erwartet, dass die Effektivität dieser Fahrerinformationen einerseits von deren Übermittlungszeitpunkt abhängt, andererseits von situationspezifischen Fahrererwartungen. N = 20 Probanden befuhren in einer Simulatorstudie Längsverkehrs- und Kreuzungsszenarien unterschiedlicher Vorhersehbarkeit der Situationsentwicklung. In einem Head-Up-Display wurden zu verschiedenen Zeitpunkten Fahrerinformationen über bevorstehende Konflikte dargeboten (bis zu vier Sekunden vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt in fünf Abstufungen). Die Ergebnisse zeigen, dass die Probanden Informationen zwei bis drei Sekunden vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt präferieren, wobei deren Wirkung von der Vorhersehbarkeit der Konflikte abhängt: Vor allem in überraschenden und unerwarteten Szenarien zeigen sich positive Effekte auf das Fahrverhalten. Als Zeitfenster für effektive Fahrerinformationen kann auf Basis der vorliegenden Ergebnisse eine Zeit von mindestens einer Sekunde, im besten Fall zwei bis drei Sekunden vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt empfohlen werden.

Schlüsselwörter: C2X-Kommunikation, Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle, Fahrerinformation, Fahrsimulation.

1 Einleitung

Das Forschungsprojekt Ko-PER im vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Verbundprojekt Ko-FAS (www.kofas.de) zielt mittels einer möglichst vollständigen Erfassung der lokalen Verkehrsumgebung über verteilte Sensornetzwerke auf Verbesserungen der präventiven Sicherheit im Straßenverkehr ab. Über drahtlose Fahrzeug-Fahrzeug- und Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation werden Informationen über das Verkehrsgeschehen gewonnen und mit der fahrzeuglokalen Umfeld-Erfassung fusioniert, um ein möglichst vollständiges Gesamtbild der aktuellen Verkehrssituation zu erhalten (kooperative Perzeption). Somit können im Vergleich zur lediglich fahrzeuglokalen Sensorik potenzielle Konfliktsituationen vollständiger und früher erkannt werden, was eine frühzeitigere Fahrerunterstützung ermöglicht. Funktions- und MMI-Entwicklung verlaufen im Forschungsprojekt Ko-PER synchron. Die MMI-Gestaltung verfolgt das

* Interdisziplinäres Zentrum für Verkehrswissenschaften an der Universität Würzburg (IZVW),
(e-mail: naujoks@psychologie.uni-wuerzburg.de, grattenthaler@psychologie.uni-wuerzburg.de,
neukum@psychologie.uni-wuerzburg.de)

Ziel, geeignete Informationsstrategien zur Fahrerunterstützung zu ermitteln. Der Projektfokus liegt hierbei in der Fahrerunterstützung in zeitkritischen Konfliktsituationen.

Vorgestellt werden in dieser Arbeit Ergebnisse einer Simulatoruntersuchung, die in kritischen Verkehrssituationen die Darbietung von Fahrerinformationen zur Konfliktschärfung zum Gegenstand hatte. In Anlehnung an Forschungsergebnisse zu Fahrerwarnungen wird erwartet, dass die Effektivität dieser Fahrerinformationen einerseits von deren Übermittlungszeitpunkt abhängt, andererseits von situationsspezifischen Fahrererwartungen [1], d.h. der Möglichkeit, auf Konfliktsituationen antizipativ zu reagieren.

2 Hintergrund

2.1 Motivation

Basis für die Ausgabe eines Informations- oder Warnsignals stellt die sog. Situationsanalyse dar, [2]. Auf Grundlage der fusionierten Daten der kooperativen Perzeption wird die aktuelle Verkehrssituation möglichst vollständig erfasst und eine probabilistische Situationsprognose inkl. einer prognostizierten Situationskritikalität erstellt. Die Bewertung der prognostizierten Situationskritikalität (z.B. über zeitbasierte Maße wie etwa die Time-to-Collision) kann genutzt werden, um die Art der Fahrerunterstützung zu priorisieren (z.B. Fahrerinformation bei (noch) niedriger Situationskritikalität oder dringliche Fahrerwarnung bei hoher prognostizierter Situationskritikalität). Die Herausforderung bei der Gestaltung frühzeitiger Informationen liegt an dieser Stelle in der Entscheidung über die Weitergabe einer Information, die zwar technisch erfassbar, möglicherweise aber aufgrund ihrer probabilistischen Natur unzuverlässig ist und sich somit negativ auf die Effektivität und Akzeptanz auswirken könnte [3; 4]. In Anlehnung an Befunde zu dringlichen Warnungen [5-7] müssen daher auch die **Zeitfenster für frühzeitige Fahrerinformationen** eingegrenzt werden: Für eine maximale Zuverlässigkeit und gleichzeitig minimale Ablenkung sollten die Informationen so spät wie möglich gegeben werden, allerdings so früh wie nötig, um noch eine adäquate Fahrerreaktion ermöglichen zu können. Hinweise für dieses Zeitfenster, welches eine wichtige Grundlage für die MMI-Gestaltung darstellt, liegen jedoch bisher nur vereinzelt vor (z.B. [8-10]) und wurden im Rahmen der hier berichteten Studie erarbeitet.

2.2 Konzeptueller Rahmen

Etablierte, auf fahrzeuglokaler Sensorik basierende Konzepte zur Fahrerunterstützung in Konfliktsituationen sehen vor, unter Beachtung der Fahrerreaktionszeit Kollisionen mittels Darbietung einer Fahrerwarnung zu vermeiden und ggf. autonom in die Fahrzeugführung einzugreifen (z.B. [6; 11; 12]). Als geeignetes Zeitfenster für solch dringliche Warnungen (sog. „imminent crash warnings“, [13]) werden in einschlägigen Übersichtsarbeiten Intervalle von 700-1500 ms vor dem unmittelbar bevorstehenden Unfall angegeben (z.B. [13; 14]). Durch kooperative Perzeption wird das Zeitfenster davor (> 1500 ms) für die Darbietung von Fahrerinformationen zugänglich [15]. Diese sog. „advisory warnings“ [13] oder „Risikoinformationen“, [11], im Folgenden Fahrerinformationen genannt, sollen die Aufmerksamkeit des Fahrers auf einen potenziellen Konflikt richten und Reaktionsbereitschaft herstellen [15]. Fahrerwarnungen hingegen zielen auf eine unmittelbare Fahrerreaktion zur Kollisionsvermeidung ab. Bei der Konzeption der Fahrerunterstützung in Ko-PER wird zunächst davon ausgegangen, dass etablierte zeitliche Warnstrukturen, die vielfach beschrieben bzw. untersucht wurden, beibehalten werden sollen, um eine konsistente Nachrichtenübermittlung an den Fahrer zu gewährleisten. Die zeitliche Struktur der auf fahrzeuglokaler Sensorik basierenden Warnkonzepte wird somit mittels

kooperativer Sensorik um eine frühzeitige Informationskomponente ergänzt, ohne die bisherige Zeitstruktur etablierter Warnkonzepte (d.h. dringlicher Fahrerwarnungen) zu verändern (siehe Abbildung 1).

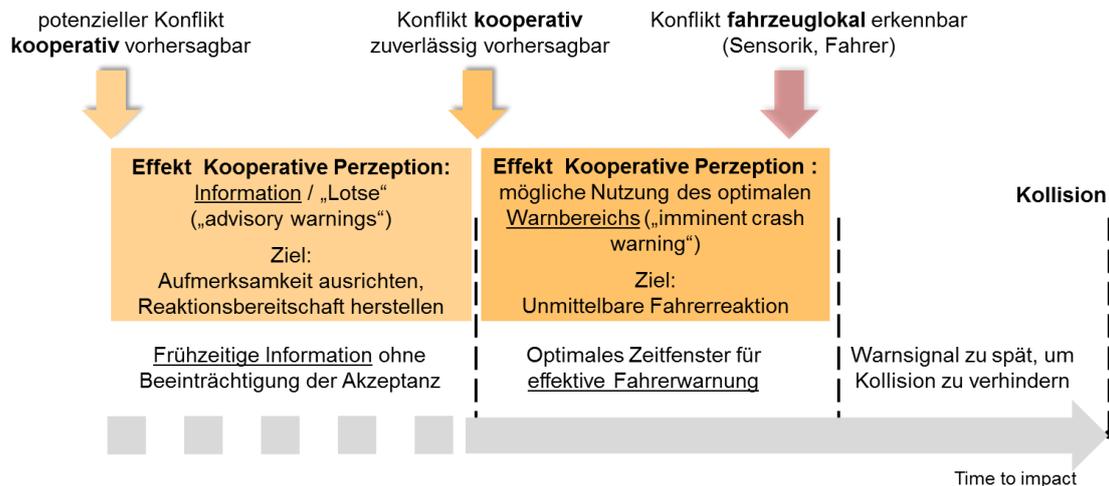


Abbildung 1: Schematische Darstellung der Zeitfenster zur Fahrerunterstützung in den letzten Sekunden vor einer Kollision [15].

2.3 Gestaltung von Fahrerinformationen zur Kollisionsvermeidung

Neben dem in dieser Studie untersuchten **Zeitpunkt** für effektive Fahrerinformationen muss eine Entscheidung über deren **Modalität** und **Inhalt** getroffen werden. Dies kann teilweise auf Basis vorhandener Forschungsergebnisse geschehen. Aus der Literatur zur Gestaltung von Warnungen lassen sich folgende Gestaltungsempfehlungen zur **Modalität** von Fahrerinformationen ableiten (z.B. [11; 16-20]):

- Verwendung visueller Anzeigen, anstelle von Sprachmeldungen oder dringlichen Tönen.
- Vermeidung akustischer Signale (Warntöne oder Sprachausgabe) – diese sollten dringlichen Warnungen vorbehalten sein. Vor allem bei häufiger Aktivierung mit evtl. falschen Alarmen (was im Fall von frühen Informationen zu erwarten ist) können diese dringlichen Warnungen nachteilig sein.
- Ein ankündigender, nicht aufdringlicher Ton kann die Effektivität der Information steigern.

Aus den aufgeführten Gestaltungsempfehlungen lassen sich weiterhin Forderungen an den **Informationsinhalt** ableiten: Für Fahrerinformationen wird empfohlen, zusätzlich die Art des jeweiligen Konflikts (sog. **Konfliktspezifität**) und den Ort, an dem der Konflikt droht, darzustellen (sog. **Richtungsspezifität**). Es ist außerdem denkbar, über den noch verbleibenden Abstand zum drohenden Konflikt (sog. **Ortsspezifität**) oder über die vorhergesagte Wahrscheinlichkeit, dass der prädierte Konflikt eintritt (sog. **Risikospezifität**), zu informieren. Ob solche spezifischen Angaben günstige Effekte auf das Fahrverhalten in drohenden Konfliktsituationen bewirken, kann auf Basis der vorliegenden Literatur nicht abschließend geklärt werden. Es finden sich sowohl Studien, die Hinweise auf eine schnellere Fahrerreaktion bei richtungsspezifischen Signalen liefern ([14; 21; 22]) als auch Studien, die keine Vorteile solcher Signale zeigen können ([3; 23; 24]). Hinsichtlich der Wirksamkeit von konflikt- ([24-26]), orts- [9]

und risikospezifischen ([27; 28]) Warnungen liegen bislang wenige Untersuchungen mit gemischten Ergebnissen vor, so dass ebenfalls keine gesicherte Aussage über deren Nutzen getroffen werden kann.

3 Versuchsmethodik

3.1 Stichprobe und Versuchsablauf

Untersucht wurde eine Stichprobe von $N = 20$ Probanden, jeweils zur Hälfte Männer und Frauen verschiedener Altersstufen (20-29 Jahre: $n=6$, 30-39 Jahre: $n=4$, 40-49: $n=0$, 50-59 Jahre: $n=1$, 60-69 Jahre: $n= 6$ und ≥ 70 Jahre: $n=3$). Die Fahrpraxis der Probanden betrug zum Erhebungszeitpunkt zwischen sieben und 53 Jahre ($M = 28.10$ Jahre, $SD = 17.29$). Die Probanden wurden aus dem Testfahrerpanel des WIVW (Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften) rekrutiert und hatten bereits an einem ausführlichen Simulatortraining teilgenommen.

Im statischen Fahrsimulator des WIVW durchfuhren die Probanden einen Parcours mit Konfliktsituationen sowohl ohne als auch mit Fahrerunterstützung (bis zu vier Sekunden vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt in fünf Abstufungen). Im Mittelpunkt der vorliegenden Arbeit standen eine Auswahl von drei der im Forschungsprojekt Ko-PER betrachteten Konfliktsituationen (siehe Tabelle 1), die sich im Grad ihrer Vorhersehbarkeit unterschieden: In einer **erwarteten Situation** kreuzte ein Radfahrer die Fahrbahn beim Rechtsabbiegen (Antizipation hoch). Im **unerwarteten Szenario** betrat ein Fußgänger zwischen parkenden Fahrzeugen die Fahrbahn und überquerte diese (Antizipation niedrig). In einer **überraschenden Situation** verletzte ein wartepflichtiges, abbiegendes Fahrzeug die Vorfahrt (Antizipation nicht möglich). Zur Kontrolle von Reihenfolgeeffekten wurden sechs verschiedene Zufallsreihenfolgen der Szenarien erstellt, welchen die Fahrer randomisiert zugewiesen wurden.

3.2 Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle

Die Fahrerinformationen wurden visuell-auditiv dargeboten. Sie beinhalteten die jeweilige Darstellung des Konfliktpartners und der Konfliktrichtung als Anzeige im simulierten HUD in Kombination mit einem ankündigenden Ton (siehe Tabelle 1). Der Zeitpunkt der Informationsdarbietung wurde in fünf Stufen von jeweils einer zusätzlichen Sekunde ab dem letztmöglichen Warnzeitpunkt t_0 variiert (siehe Tabelle 1). Unter Berücksichtigung der Ausgangsgeschwindigkeit wird hierbei davon ausgegangen, dass der Fahrer nach einer Information mit einer Reaktionszeit (T_r) von einer Sekunde mit einer konstanten Verzögerung von 8m/s^2 zum Stillstand abbremst: $t_0 = T_r + (v/2a)$ mit: $T_r = 1\text{s}$, $a = -8\text{m/s}^2$.

Die Auslösung der Darbietung der Information erfolgte in Abhängigkeit vom Fahrerverhalten. Berücksichtigt wurde die verbleibende Zeit bis zum Erreichen des jeweiligen Konfliktpunkts¹. Kam es in dieser Phase zu einer Unterschreitung der jeweiligen Zeitschwelle (t_0 , $t_{0+1\text{s}}$ usw.), so wurde die Informationsdarbietung ausgelöst. Bremsten die Fahrer bei Annäherung an den Konfliktpunkt selbstinitiiert ab, so wurde keine Information dargeboten.

¹ Zeit bis zum Konfliktpunkt [s] = Distanz zum Konfliktpunkt [m] / Geschwindigkeit [m/s]

Tabelle 1: Szenarien, HUD-Anzeigen und Informationszeitpunkte in Abhängigkeit von der jeweiligen Ausgangsgeschwindigkeit.

| Szenario | v [km/h] | Informationszeitpunkt [s] | | | | |
|---|----------|---------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | | t ₀ | t _{0+1s} | t _{0+2s} | t _{0+3s} | t _{0+4s} |
| Radfahrer kreuzt Fahrbahn beim Rechtsabbiegen | 25 | 1.43 | 2.43 | 3.43 | 4.43 | 5.43 |
| Fußgänger überquert Fahrbahn | 50 | 1.87 | 2.87 | 3.87 | 4.87 | 5.87 |
| Abbiegendes Fahrzeug nimmt Vorfahrt | 50 | 1.87 | 2.87 | 3.87 | 4.87 | 5.87 |

3.3 Abhängige Variablen

Neben der Aufzeichnung objektiver Daten, beispielsweise Annäherungs- und Bremsverhalten der Fahrer in den Konfliktsituationen, wurden subjektive Bewertungen zur erlebten Kritikalität ([29]; Abbildung 2 links) erhoben. Weiterhin beurteilten die Probanden, inwieweit sie die Situation als überraschend erlebten, wie rechtzeitig die Information dargeboten wurde und wie nützlich die Information war (Abbildung 2, rechts).

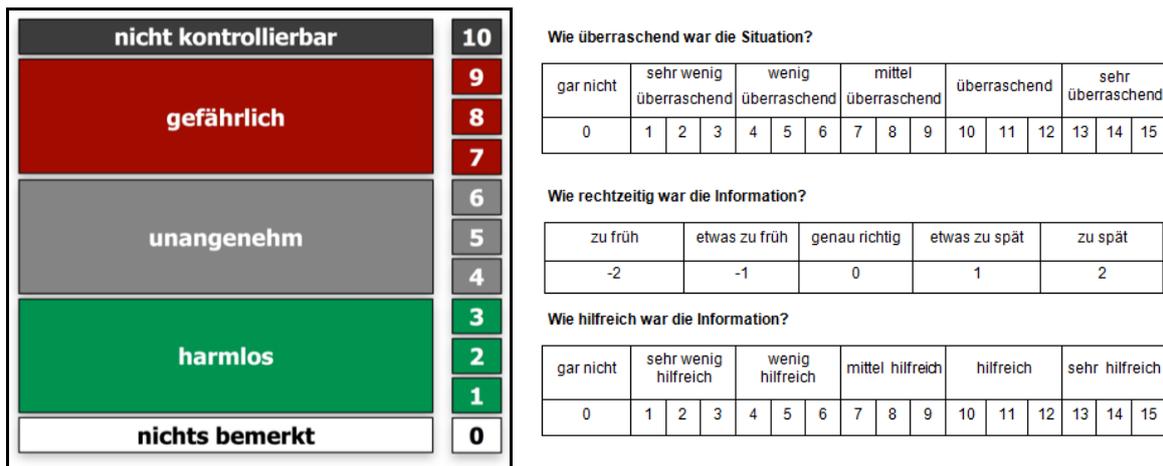


Abbildung 2: Subjektive Maße

4 Ergebnisse

Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, unterschreiten die meisten Probanden die Auslöseschwellen für Fahrerinformationen in der überraschenden und in der unerwarteten Situation. In der erwarteten

Situation reduzieren die Probanden von sich aus ihre Geschwindigkeit und lösen dementsprechend späte Fahrerinformationen (t_0 und t_{0+1s}) weniger häufig aus.

Tabelle 2: Häufigkeit der Auslösung der Fahrerinformation

| Zeitpunkt | t_0 | t_{0+1s} | t_{0+2s} | t_{0+3s} | t_{0+4s} |
|--|-------|------------|------------|------------|------------|
| Überraschend: Abbiegendes Fahrzeug nimmt Vorfahrt | 20 | 19 | 20 | 20 | 20 |
| Unerwartet: Fußgänger überquert Fahrbahn | 12 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| Erwartet: Radfahrer kreuzt beim Rechtsabbiegen | 3 | 7 | 16 | 19 | 20 |

Die intendierte Manipulation der Vorhersehbarkeit der Situationen erweist sich somit als erfüllt. Dies zeigen auch die subjektiven Angaben zur ‚Überraschung‘ (siehe Abbildung 3) für die Referenzfahrten ohne Fahrerunterstützung. Es wird weiterhin für die überraschende und die unerwartete Situation deutlich, dass diese im Vergleich zur Bedingung ohne Fahrerunterstützung ab t_{0+2s} nur noch als wenig überraschend bewertet wird. Im Gegensatz dazu ist die erwartete Situation ohne und mit Fahrerinformation wenig überraschend.

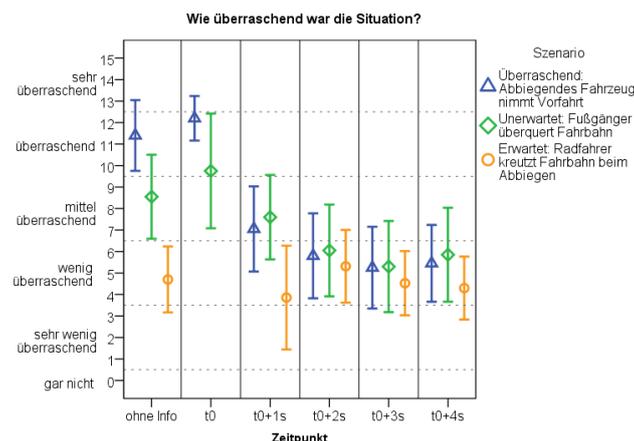


Abbildung 3: Berichtete Überraschung in der Begegnungssituation, dargestellt sind jeweils Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall²

Wird keine Information dargeboten, so fallen die Probandenurteile zur Situationskritikalität erwartungsgemäß entsprechend der Vorhersehbarkeit des jeweiligen Konflikts aus (siehe Abbildung 4, links): Während die erwartete Situation mehrheitlich als harmlos eingestuft wird, wird die unerwartete Situation mehrheitlich als unangenehm und die überraschende Situation als gefährlich beurteilt. In Übereinstimmung damit zeigt sich im minimalen Abstand zum Konfliktpartner (siehe Abbildung 4, rechts), dass sich die geringsten Abstände in der überraschenden Situation ergeben, gefolgt von der unerwarteten und der erwarteten Situation.

Auch die Darbietung von Informationen wirkt sich je nach Vorhersehbarkeit des Konflikts aus (siehe Abbildung 4). In der erwarteten Situation ändert sich subjektiv und objektiv auch mit Fahrerunterstützung nichts: Sowohl ohne als auch mit Informationsdarbietung ergeben sich harmlose Situationen bzw. mittlere minimale Abstände $\geq 2s$. Im unerwarteten Fall findet sich subjektiv und objektiv eine Reduktion der Kritikalität ab t_{0+2s} gegenüber dem nicht-assistierten Fahren, im überraschenden Szenario ab t_{0+1s} . Zu beachten ist an dieser Stelle, dass die Fahrer im

² Aufgrund der geringen Zellbesetzung mit nur 3 Fahrern (siehe Tabelle 2) wurden die Ergebnisse für die erwartete Situation des Zeitpunkts t_0 in die Auswertung nicht einbezogen.

unerwarteten Szenario von einer höheren Kritikalität bei später Information zu t_0 verglichen mit der nicht-assistierten Fahrt berichten. Ebenso zeigen auch die objektiven Daten in der Fahrt mit Informationsdarbietung kleinere minimale Zeitabstände zu t_0 als in der nicht-assistierten Fahrt, jedoch sowohl für die unerwartete als auch für die überraschende Situation.

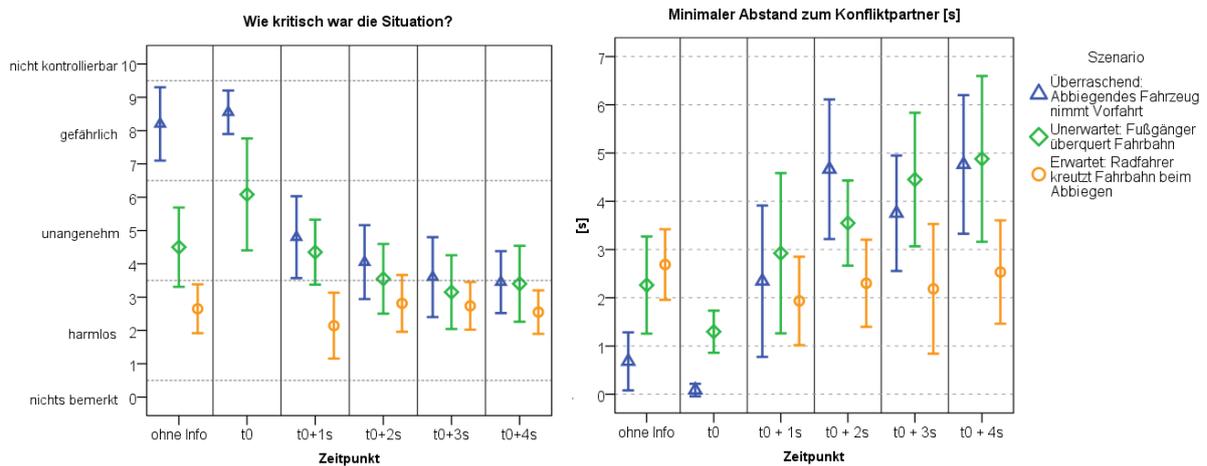


Abbildung 4: Berichtete Situationskritikalität (links) und minimaler Abstand zum Konfliktpartner (rechts), dargestellt sind jeweils Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall²

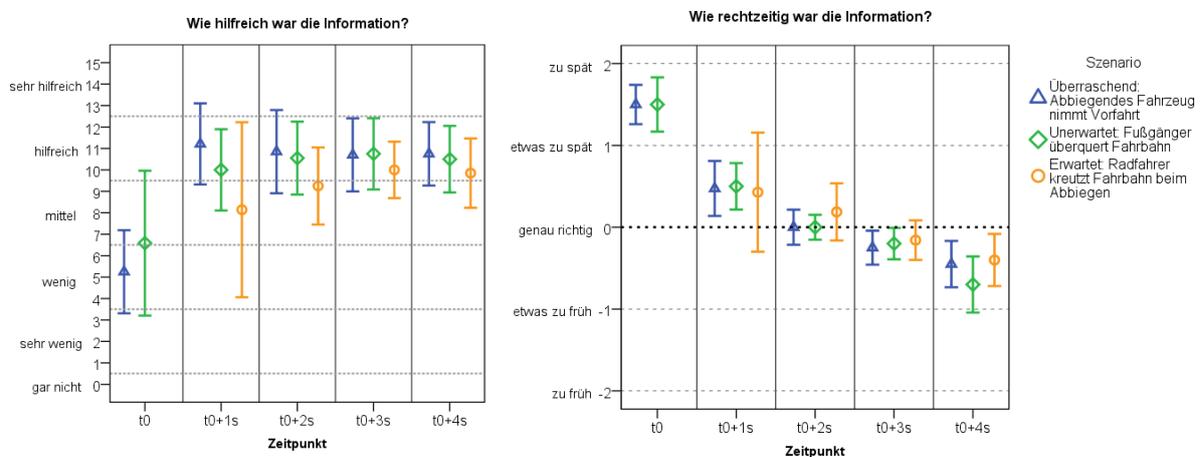


Abbildung 5: Berichtete Nützlichkeit (links) und Rechtzeitigkeit (rechts) der Information, dargestellt sind jeweils Mittelwert und 95%-Konfidenzintervall²

Werden Informationen erst zu t_0 dargeboten, so werden diese im Mittel als wenig bis durchschnittlich hilfreich bewertet (siehe Abbildung 5 links). Mit früherer Informationsdarbietung steigen auch die Nützlichkeitsurteile an, was die berichtete Situationsentschärfung bei frühen Informationen vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt, nicht aber zum letztmöglichen Warnzeitpunkt, widerspiegelt. In der überraschenden und unerwarteten Situation werden die Informationen ab einem Informationszeitpunkt von einer Sekunde vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt (t_{0+1s}) im Mittel als hilfreich eingeschätzt.

In der erwarteten Situation werden die Informationen generell als weniger hilfreich angesehen als in den beiden anderen Situationen. Ab einem Zeitpunkt von drei Sekunden vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt (t_{0+3s}) geben die Fahrer auch in dieser Situation mehrheitlich an, dass die Informationen hilfreich sind. Dies ist insofern bemerkenswert, als die Fahrerinformationen in dieser Situation zu keinem Zeitpunkt einen positiven Effekt auf die Situationskritikalität haben. Trotz der Abwesenheit eines objektiven Nutzens der Informationen werden diese bei entsprechend verfügbarer Reaktionszeit als hilfreich bewertet. In allen untersuchten Situationen werden Informationen zwei bis drei Sekunden vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt (t_{0+2s} bzw. t_{0+3s}) hinsichtlich der Rechtzeitigkeit der Informationsdarbietung am besten bewertet (siehe Abbildung 5, rechts).

5 Ergebnisse und Diskussion

In einem Fahrsimulatorversuch wurde die **Wirksamkeit** auf kooperativer Perzeption basierender frühzeitiger Fahrerinformationen in Konfliktsituationen untersucht. Ziel des Versuchs war die Eingrenzung des Zeitfensters für solche frühzeitigen Fahrerinformationen unter Berücksichtigung der Auswirkungen situativer Fahrererwartungen. Eine positive Auswirkung der Fahrerinformationen konnte vor allem in überraschenden und unerwarteten Situationen gezeigt werden. In erwarteten Situationen richten Fahrer ihre Aufmerksamkeit von sich aus auf potenzielle Konfliktsituationen aus und profitieren dementsprechend nicht von den Informationen. Die stärkste Wirkung von Informationen konnte in überraschenden Situationen gefunden werden. Die Versuchsergebnisse liefern weiterhin Hinweise auf ein optimales Informationszeitfenster. Informationen müssen nicht so früh wie möglich erfolgen. Vielmehr sind Informationen mindestens eine Sekunde vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt, optimalerweise zwei Sekunden davor, darzubieten, um einen positiven Effekt auf das Fahrverhalten und die damit einhergehende Situationskritikalität zu haben. Noch frühere Informationen liefern keinen weiteren Beitrag zur Situationsentschärfung. Die Probanden selbst präferieren konsistent über die untersuchten Szenarien hinweg, zwei bis drei Sekunden vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt über unmittelbar bevorstehende Konfliktsituationen informiert zu werden. An dieser Stelle ist jedoch zu betonen, dass das ermittelte Informationszeitfenster für die prototypisch implementierte Fahrer-Fahrzeug-Schnittstelle gilt, d.h. für eine unaufdringliche, visuell-auditive Fahrerinformation mit Darbietung der visuellen Anzeigeelemente im simulierten HUD. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein intensiveres Signal, wie es etwa bei einer dringlichen Warnung Anwendung findet, auch zu einem späten Zeitpunkt noch Wirkung zeigt.

Hinsichtlich der **Akzeptanz** frühzeitiger Fahrerinformationen zur Kollisionsvermeidung ist festzuhalten, dass diese von den Fahrern generell als nützlich angesehen werden, sofern sie nicht zu t_0 dargeboten werden. Die Bewertung der Nützlichkeit der Fahrerunterstützung zu t_0 ist heterogen, teilweise werden späte Informationen als wenig hilfreich angesehen. Für frühere Informationsdarbietungen (vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt) finden sich durchweg mittlere bis hohe Nützlichkeitseinschätzungen. Dies ist insofern bemerkenswert, als vor allem zum Zeitpunkt von einer Sekunde vor dem letztmöglichen Warnzeitpunkt (t_{0+1s}) zwar teilweise noch Kollisionen und Konfliktsituationen auftreten, die Informationen aber trotzdem als nützlich bewertet werden. Weiterhin werden die Informationen auch in solchen Szenarien, die von den Fahrern auch ohne Fahrerunterstützung sicher gelöst wurden als mittel hilfreich bis hilfreich eingeschätzt. Die Ergebnisse unterstreichen, dass ein Informationssystem zur Konfliktvermeidung, wie es in dieser Untersuchung prototypisch umgesetzt wurde, von den Fahrern generell als hilfreich beurteilt wird. Die subjektiven Nützlichkeitsurteile spiegeln hierbei jedoch nicht in allen Fällen einen objektiv vorhandenen Nutzen im Fahrverhalten wider.

Als problematisch anzusehen ist die Erhöhung der Situationskritikalität bei Fahrerinformationen zu t_0 in den nicht antizipierten Szenarien. Rechnerisch steht den Fahrern zum Zeitpunkt der Informationsdarbietung noch eine Sekunde zur Verfügung, um mit dem Bremsen zu beginnen. Gegenüber der nicht-assistierten Fahrt finden sich trotzdem in diesen Szenarien geringere minimale Sekundenabstände. Mögliche Erklärungen hierfür wären (1) eine Anpassung der Bremsreaktion an das Informationssystem (in den meisten assistierten Durchgängen steht mehr Reaktionszeit zur Verfügung), (2) eine Erhöhung der Geschwindigkeit bei den assistierten Fahrten gegenüber den nicht-assistierten Fahrten oder (3) ein Ablenkungseffekt durch das Lesen der visuellen Anzeigeelemente und eine dadurch erhöhte Reaktionszeit. Eine Klärung des Effekts war im Rahmen dieser Studie nicht möglich, wird jedoch in Folgestudien angestrebt.

6 Danksagung

Diese Arbeit entstand im Forschungsprojekt Ko-PER, im Rahmen des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Verbundprojekts Ko-FAS (www.kofas.de) unter dem Förderkennzeichen 19S9022C.

Literatur

- [1] Schmidt, G. & Krüger, H.-P. (2010). Violating the driver's threat anticipation and the effect of different modalities for Forward Collision Warnings (FCW), *Paper presented at the HFES Europe Chapter Conference*. Berlin.
- [2] Weidl, G. & Breuel, G. (2012). Overall Probabilistic Framework for Modeling and Analysis of Intersection Situations, *16th Int. Forum on Advanced Microsystems for Automotive Applications (AMAA 2012)*. Berlin.
- [3] Bliss, J. P. & Acton, S. A. (2003). Alarm mistrust in automobiles: how collision alarm reliability affects driving. *Applied Ergonomics*, 34(6), 499-509.
- [4] Sorkin, R. D. (1988). Why are people turning off our alarms? *Journal of the Acoustic Society of America*, 84(3), 1107-1108.
- [5] McGehee, D. V., Brown, T. L., Lee, J. L. & Wilson, T. B. (2002). Effect of warning timing on collision avoidance behavior in a stationary lead vehicle scenario. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1803(1-6).
- [6] Brown, T. L., Lee, J. D. & McGehee, D. V. (2001). Human performance models and rear-end collision avoidance algorithms. *Human Factors*, 43(3), 462-482.
- [7] Lee, J. D., McGehee, D. V., Brown, T. L. & Reyes, M. L. (2002). Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high-fidelity driving simulator. *Human Factors*, 44(2).
- [8] Lenné, M. G., Triggs, T. J., Mulvihill, C. M., Regan, M. A. & Corben, B. F. (2008). Detection of emergency vehicles: Driver responses to advance warning in a driving simulator. *Human Factors*, 50(1), 135-144.
- [9] Totzke, I., Naujoks, F., Mühlbacher, D. & Krüger, H.-P. (2011, 19.-21. Oktober). *Precision of congestion warnings: Do drivers really need warnings with precise information about the congestion tails position?* Paper presented at the HFES Europe Chapter Conference, Leeds.

- [10] Werneke, J., Waller, C., Gonter, M., Rhede, J. & Vollrath, M. (2011). Evaluation eines integrierten Warnkonzepts für unterschiedliche Fahrsituationen. In VDI Wissensforum (Ed.), 6. *VDI-Tagung - Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit (VDI-Berichte 2134)* (pp. 93-105). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- [11] Rhede, J. G., Waller, C. & Oel, P. (2011). Der FAS Warnbaukasten – Strategie für die systematische Entwicklung und Ausgabe von HMI-Warnungen. In VDI Wissensforum (Ed.), 6. *VDI-Tagung - Der Fahrer im 21. Jahrhundert Fahrer, Fahrerunterstützung und Bedienbarkeit (VDI-Berichte 2134)* (pp. 63-75). Düsseldorf: VDI Verlag GmbH.
- [12] Winner, H. (2009). Frontalkollisionsschutzsysteme. In H. Winner, S. Hakuli & G. Wolf (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme* (pp. 522-542). Wiesbaden: Vieweg & Teubner.
- [13] Lenné, M. G. & Triggs, T. J. (2009). Warning drivers of approaching hazards: The importance of location cues and multi-sensory cues. In D. De Waard, J. Godthelp, F. L. Kooi & K. Brookhuis (Eds.), *Human Factors, Security and Safety* (pp. 203-211). Maastricht: Shaker Publishing.
- [14] Spence, C. & Ho, C. (2008). Multisensory warning signals for event perception and safe driving. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 9(6), 523 - 554.
- [15] Neukum, A. (2011, 28.September). *Wenn das Fahrzeug mehr sieht als der Fahrer – Konsequenzen für die Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug Schnittstelle*. Paper presented at the Ko-FAS Zwischenprasentation, Schloss Aschaffenburg.
- [16] Dingus, T. A., Jahns, S. K., Horowitz, A. D. & Knipling, R. (1998). Human factors design issues for crash avoidance systems. In N. V. Barfield & A. Dingus (Eds.), *Human factors in intelligent transportation systems* (pp. 55-94). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- [17] International Harmonized Research Activities (IHRA) working group on Intelligent Transport Systems (ITS). (2008). *Statement of principles on the design of high-priority warning signals for in-vehicle intelligent transport systems – draft. Informal Document Number ITS-16-03*.
- [18] Green, P., Levison, W., Paelke, G. & Serafin, C. (1993). *Preliminary human factors guidelines for driver information systems (Technical Report UMTRI-93-21)*. Ann Arbor, MI: The University of Michigan Transportation Research Institute
- [19] Campbell, J. L., Carney, C. & Kantowitz, B. H. (1997). *Human factors design guidelines for advanced traveler information systems (ATIS) and commercial vehicle operations (CVO) (Technical Report FHWA-RD-98-057)*. Washington, D.C.: U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [20] COMSIS Corporation. (1996). *Preliminary human factors guidelines for crash avoidance warning devices (NHTSA Project No. DTNH22-91-07004)*. Silver Spring, MD: COMSIS.
- [21] Ho, C. & Spence, C. (2005). Assessing the effectiveness of various auditory cues in capturing a driver's visual attention. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11, 157–174.
- [22] Ho, C. & Spence, C. (2009). Using peripersonal warning signals to orient a driver's gaze. *Human Factors*, 51, 539-556.
- [23] Lee, J. D., Gore, B. F. & Campbell, J. L. (1999). Display alternatives for invehicle warning and sign information: message style, location and modality. *Transportation Human Factors* 1(4), 347–375.

- [24] Cummings, M. L., Kilgore, R. M., Wang, E. & Kochhar, D. S. (2007). Effects of single versus multiple warnings on driver performance. *Human Factors*, 49(6), 1097–1106.
- [25] Ho, A. W. L. & Cummings, M. L. (2005). *Multiple alarms and driving situational awareness* (No. HAL2005-01). Cambridge: MIT, Department of Aeronautics and Astronautics.
- [26] Thoma, S., Lindberg, T. & Klinker, G. (2009). Evaluation of a generic warning for multiple intersection assistance systems. In D. de Waard, H. Godthelp, F. Kooi & K. Brookhuis (Eds.), *Human Factors, Security and Safety* (pp. 1-15). Maastricht: Shaker Publishing.
- [27] Lee, J. D., Hoffman, J. D. & Hayes, E. (2004). Collision warning design to mitigate driver distraction. In J. Herbsleb & G. Olson (Eds.), *Proceedings of the 2004 ACM conference on Computer supported cooperative work* (pp. 65-72). New York: ACM.
- [28] Gupta, N., Bisantz, A. M. & Singh, T. (2002). The effects of adverse condition warning system characteristics on driver performance: An investigation of alarm signal type and threshold level. *Behavior and Information Technology*, 21(4), 235-248.
- [29] Neukum, A., Lübbecke, T., Krüger, H.-P., Mayser, C. & Steinle, J. (2008). ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen. In M. Maurer & C. Stiller (Eds.), *5. Workshop Fahrerassistenzsysteme - FAS 2008* (pp. S. 141-150). Karlsruhe: fmrt.