

Konzept zur Ermittlung der Sicherheitswirkungen von digitalen Verkehrsinformationen

FA 82.371

Forschungsstelle: TRANSVER GmbH, München
Bearbeiter: Bogenberger, K./Dinkel, A./Totzke I./
Naujoks, F./Mühlbacher, D.
Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen,
Bergisch Gladbach
Abschluss: Juni 2011

1 Aufgabenstellung

In der Richtlinie 2010/40/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 7. Juli 2010 wurde gefordert, dass den Verkehrsteilnehmern europaweit sicherheitswirksame Verkehrsinformationen kostenfrei zur Verfügung stehen sollen. Die Funktionalitäten von kostenpflichtigen Services, die den o. g. Mindestumfang übersteigen, wurden jedoch noch nicht abgegrenzt. Diese Entscheidung erfordert quantifizierte Aussagen zu den Sicherheitswirkungen digitaler Verkehrswarnungen, die bislang nicht vergleichend ermittelt wurden.

Dies ist insbesondere wichtig, da Verkehrsstaus für die Verkehrsteilnehmer gefährliche Situationen darstellen, die teilweise mit einer plötzlichen und starken Reduktion der Geschwindigkeit einhergehen. Hierdurch kann eine Verringerung der Fahrsicherheit resultieren. Insbesondere unerwartete und plötzliche Stauenden können im Fahrtablauf eine erhöhte Gefahr darstellen, da zur Unfallvermeidung zügige Reaktionen der Fahrer nötig sind. Die Annäherung an Stauenden sollte für die Fahrer demnach durch gezielte Informationen und rechtzeitige Warnungen während der Fahrt (on-trip) sicherer werden.

An diesen Punkten setzte das Projekt FA 82.371 "Konzept zur Ermittlung der Sicherheitswirkung von digitalen Verkehrsinformationen" an, dessen vorrangige Ziele es waren, verschiedene Warnungen vor Stauenden zu entwickeln und hinsichtlich ihres Einflusses auf die Fahrsicherheit auf Autobahnen zu untersuchen und zu vergleichen.

2 Untersuchungsmethodik

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war der Vergleich verschiedener Stauende-Warnungen hinsichtlich ihrer Effekte auf die Fahrsicherheit. Die Untersuchungsmethode zeichnet sich durch folgendes Vorgehen aus:

Die Bearbeitung basierte auf einer Recherche verkehrstechnischer Grundlagen zu den Themengebieten "Stau und Stauende" sowie "Verkehrsinformationen". Die Erkenntnisse wurden genutzt, um zum einen eine realistische Simulation der verkehrlichen Bedingungen bei der Annäherung an Stauenden zu ermöglichen, sowie zum anderen, um verschiedene Stauende-Warnungen zu entwickeln. Es wurden Konzepte zur on-trip Warnung vor Stauenden auf Autobahnen festgelegt und diese mit $N = 32$ Fahrern im Rahmen einer Fahrimulator-Studie mit Bewegungssystem untersucht.

In zwei Verkehrsbedingungen ("mit Verkehr" vs. "ohne Verkehr", in denen Stauenden von den Fahrern mit bzw. ohne Umgebungsverkehr erreicht werden) wurden jeweils zwei Stauende-Arten von unterschiedlicher Kritikalität simuliert:

(1) Der umgebende Verkehr bremst kurz vor dem Stauende plötzlich ab ("hartes Stauende" in der Verkehrsbedingung mit Verkehr) bzw. das Stauende ist durch die Streckengeometrie nicht einsehbar ("verdecktes Stauende" in der Verkehrsbedingung ohne Verkehr) vs. (2) der umgebende Verkehr reduziert die Geschwindigkeit vor dem Stauende graduell ("weiches Stauende" in der Verkehrsbedingung mit Verkehr) bzw. das Stauende ist aufgrund der Streckengeometrie einsehbar ("unverdecktes Stauende" in der Verkehrsbedingung ohne Verkehr).

Des Weiteren wurde der erstmalige Zeitpunkt der Warnung (in 3,5 km, 1,5 km oder 0,3 km Entfernung vor dem Stauende) sowie die Warnpräzision ("präzise Warnung", bei der die Distanz zum Stauende angezeigt und regelmäßig aktualisiert wird vs. "unpräzise Warnung", bei der keine konkrete Distanzangabe

geliefert wird) variiert. Zusätzlich wurden Stauenden in einer Kontrollfahrt ohne die Bereitstellung einer Stauendewarnung angefahren.

Mit der Erwartung, dass unter Ablenkungsbedingungen die Vorhersehbarkeit der Stauenden beim Durchfahren des Simulator-Parcours reduziert ist, hatten die Fahrer während der Fahrt zusätzlich eine Nebenaufgabe in Form einer Menüaufgabe zu bearbeiten.

Es wurde ein Bewertungskonzept entwickelt, anhand dessen die angezeigten Warnalternativen mittels Indikatoren für Längs- und Querregelung, Ereigniserkennung und Probandenbefragung hinsichtlich ihres Einflusses auf die Fahrsicherheit verglichen werden konnten. Der erste Bewertungsschritt sah vor, dass die Rohdaten verschiedenartiger Indikatoren, die im Rahmen der Fahrsimulator-Studie aufgezeichnet wurden, in einem deskriptiven, graphischen und inferenzstatistischen Vorgehen einzelindikatororientiert interpretiert wurden.

Eine begrenzte Anzahl aussagekräftiger Indikatoren wurde als Eingangsdaten zur Untersuchung mittels eines indikator-integrierenden statistischen Verfahrens ausgewählt:

- Längsbeschleunigung,
- Querbeschleunigung,
- Anstieg der Bremsbereitschaft vor dem Stauende,
- Probandenbefragung: "Wie hilfreich war die Warnung"?,
- Standardabweichung der Geschwindigkeiten,
- Zeitabstand zum vorausfahrenden Fahrzeug beim Beginn des Bremsens.

Zur Datenanalyse wurde das Verfahren TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution) angewendet, wodurch ein standardisierter Vergleich verschiedener Warnalternativen möglich wurde (Peters et al., 2007). Die Ergebnisse des TOPSIS-Verfahrens wurden auf ihre Plausibilität überprüft.

Das Bewertungskonzept wurde auf die in der Fahrsimulation aufgezeichneten Daten angewendet, so dass die verschiedenen Stauende-Warnungen in Abhängigkeit von der Verkehrsbedingung hinsichtlich der Sicherheitswirkungen vergleichend bewertet wurden. Durch eine ergänzende kritische Einordnung der Ergebnisse, der Warnkonzepte und des Versuchsaufbaus können die Ergebnisse als Entscheidungsunterstützung bei der Entwicklung und Einführung von Stauende-Warnungen verwendet werden.

3 Untersuchungsergebnisse

Nachfolgend werden kurz die Kernaussagen der statistischen einzelindikator-orientierten Bewertung sowie der indikator-integrierten Bewertung mittels TOPSIS dargestellt.

3.1 Mit Verkehr

Die Fahrten mit Verkehr weisen bei harten Stauenden ohne Warnung die geringste Fahrsicherheit auf. Vor allem präzise Warnungen vor harten Stauenden werden für eine Anpassung des Fahrverhaltens an die bevorstehenden Stauenden genutzt. An weichen Stauenden und bei unpräzisen Warnungen sind die Effekte auf die Fahrsicherheit weniger stark ausgeprägt, gemäß indikator-integrierter Bewertung wird bei weichen Stauenden durch die Bereitstellung einer unpräzisen Stauende-Warnung die Fahrsicherheit im Vergleich zur ungewarnten Fahrt nicht erhöht.

Obwohl sich im Fahrverhalten in der Bedingung mit Verkehr positive Effekte auf das Fahrverhalten vor allem bei harten Stauenden finden, geben die Fahrer unabhängig von der Einsehbarkeit der Stauenden an, von präzisen und unpräzisen Warnungen im

Sinne einer gesteigerten Sicherheit profitiert zu haben. In der Befragung zeigte sich zudem, dass die meisten Fahrer präzise gegenüber unpräzisen Warnungen bevorzugen.

Es wurde sowohl für die weichen Stauenden als auch im Falle harter Stauenden für präzise Warnungen bei einer Warndistanz von 1,5 km die jeweils höchste Fahrsicherheit ermittelt.

3.2 Ohne Verkehr

Bei verdeckten Stauenden ist die Fahrsicherheit vor allem bei nicht-gewarnten Annäherungen vergleichsweise gering, besonders für diese Situationen lassen sich durch die Warnungen positive Effekte auf die Fahrsicherheit erzielen. Die Warnungen werden von den Fahrern unabhängig von der Warnpräzision und unabhängig von der Einsehbarkeit der Stauenden (verdeckt oder unverdeckt) mehrheitlich für die Anpassung des Fahrverhaltens an das bevorstehende Bremsen genutzt. Indikatorintegriert wurden für einsehbare Stauenden die Warndistanzen 3,5 km und 1,5 km unabhängig von der Warnpräzision besser bewertet als die Warnungen in 0,3 km Entfernung vor dem Stauende sowie als die Fahrsicherheit ohne bereitgestellte Warnungen. Bei verdeckten Stauenden zeigt sich, dass die präzisen Warnungen in 3,5 km und 1,5 km vor dem Stauende einen vergleichsweise großen Einfluss auf die Fahrsicherheit ausüben, die unpräzise Warnung in 1,5 km Entfernung wurde als drittbeste Variante bestimmt. Die übrigen Varianten (inklusive die nicht-gewarnten Fahrten) weisen gemäß TOPSIS eine geringere Fahrsicherheit auf.

4 Folgerungen für die Praxis

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit bestätigen frühere Befunde (Alm und Nilsson, 2000; van Driel et al., 2007; Brookhuis et al., 2009; Popiv et al., 2010), dass Warnungen vor Hindernissen in Form von Stauenden zu Anpassungen im Fahrverhalten führen. Den verkehrlichen Bedingungen bei Stauanäherungen und der Bedeutung der Warnpräzision und des Warnzeitpunkts wurden in den bisher durchgeführten Untersuchungen weniger Aufmerksamkeit gewidmet.

Gemäß Projektauftrag standen den Fahrern in den Fahrsimulator-Versuchen die Verkehrsinformationen durchgängig und weitestgehend exakt zur Verfügung, die Einflüsse von Fehlmeldungen sollten nicht untersucht werden. Zudem wurden die Projektergebnisse vor dem Hintergrund momentan vorherrschender technischer und organisatorischer Defizite kritisch eingeordnet und erweiterter Forschungsbedarf abgeleitet. Hier wurden der Versuchsaufbau, das Bewertungskonzept, die untersuchten Warnkonzepte sowie die erzielten Ergebnisse analysiert.

Hieraus lassen sich Implikationen für die Systemgestaltung von Stauende-Warnungen ableiten: Einerseits stellt sich die Frage, ob vor allen Arten von Stauenden gewarnt werden sollte. Bei weichen Stauenden finden sich im Gegensatz zu harten Stauenden nur geringe Effekte auf eine Steigerung der Fahrsicherheit. Bei unverdeckten verglichen mit verdeckten Stauenden sind die Wirkungen der Warnungen weniger stark ausgeprägt. Zu viele unnötige Warnungen können eventuell dazu führen, dass diese auf lange Sicht nicht mehr beachtet werden oder für sog. Falsche Alarme gehalten werden. Ein Argument für die Bereitstellung einer begrenzten Anzahl an Warnungen findet sich in der aufmerksamkeitsleitenden Funktion von Warnungen: wird (hier: durch Warnungen) die Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Objekt gerichtet (hier: ein Stauende), könnte es sein, dass anderen Objekten weniger Aufmerksamkeit geschenkt wird (hier: z. B. rückwärtiger Verkehr). Weiterführende Studien wären für die Beantwortung dieser Fragestellungen notwendig.

Die ermittelten Ergebnisse machen zudem deutlich, dass insbesondere präzise Warnungen einen starken Einfluss auf die Erhöhung der Fahrsicherheit ausüben. Ein Abgleich mit den ver-

fügbaren technischen Möglichkeiten zur Meldungsgenerierung zeigt jedoch, dass hier zukünftig noch weiteres Optimierungspotenzial besteht.

Abschließend wird darauf hingewiesen, dass die vorliegende Studie in einem Fahrsimulator mit Bewegungssystem durchgeführt wurde. Hinsichtlich der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf reales Fahren ist zu beachten, dass die ermittelten Werte der Fahrzeugführung (z. B. Bremszeitpunkt, maximale Verzögerung) aus der Fahrsimulation nicht absolut, sondern insbesondere im direkten Vergleich der experimentellen Bedingungen zu interpretieren sind (z. B. Zeitgewinn in der Dauer der Bremsbereitschaft zwischen gewarnten und nicht-gewarnten Fahrten). Weiteren Einfluss auf die Übertragbarkeit der Ergebnisse hat die durchgeführte Nebenaufgabe: die Stauanfahrten fanden unter Ablenkungsbedingungen statt. Es stellt sich die Frage, ob vergleichbare Ergebnisse auch für nicht-abgelenktes Fahren gefunden werden können. Zum einen könnte es sein, dass ohne die Bearbeitung von Nebenaufgaben generell weniger defensiv gefahren wird (z. B. höhere Geschwindigkeit oder geringere Abstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen). Zum anderen könnte es sein, dass Fahrer Stauenden generell früher entdecken und dementsprechend weniger stark von Warnungen profitieren. Zur Beantwortung dieser Fragestellungen sind weiterführende Studien notwendig.

Die Aussagen der einzelindikator-orientierten Bewertung sowie der indikator-integrierten Bewertung sind widerspruchsfrei, liefern im Vergleich aber jeweils einen individuellen Mehrwert: Ein Vorteil der einzelindikatororientierten Untersuchung ist, dass der gesamte Prozess der Stauende-Annäherung überprüft werden kann, wofür in TOPSIS aggregierte und damit unschärfere Werte verwendet werden müssen. Mehrwerte des TOPSIS-Verfahrens sind, dass mehrere vorab auszuwählende Indikatoren bei der Bewertung gemeinsam berücksichtigt werden und als Resultat eine Rangfolge der sicherheitswirksamsten Varianten

quantifiziert wird. Es ist festzuhalten, dass das TOPSIS-Verfahren individuelle Einstellmöglichkeiten bietet (z. B. bei der Wahl der Indikatoren, der Gewichtung, der Datenaufbereitung), die einen Einfluss auf das erzielte Ergebnis ausüben. Im Rahmen des vorliegenden Projekts erfolgte eine Überprüfung und Validierung des TOPSIS-Verfahrens und seiner Ergebnisse. Es konnte gezeigt werden, dass plausible Ergebnisse erzielt wurden, jedoch wird in vorliegendem Kontext nicht empfohlen, TOPSIS als alleinige Methode zur Variantenbeurteilung heranzuziehen.

Die Ergebnisse der vorgestellten Studie können dazu beitragen, die Mindestanforderungen an kostenfrei zur Verfügung stehenden sicherheitsoptimalen Verkehrsinformationen abzuleiten.

5 Literatur

Alm, H.; Nilsson, L. (2000): Incident warning systems and traffic safety: A comparison between the PORTICO and MELYSSA test site systems. *Transportation Human Factors*, Vol. 2 (2000) Nr. 1, S. 77–93

Brookhuis, K.A.; van Driel, C. J. G.; Hof, T.; van Arem, B.; Hoedemaeker, M. (2009): Driving with a congestion assistant: Mental workload and acceptance. *Applied Ergonomics*, 40 (2009) Nr. 6, S. 1019–1025

Peters, M.L.; Zelewski, S. (2007): TOPSIS als Technik zur Effizienzanalyse. *WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium*, Bd. 37 (2007) Nr. 1, S. 9–15

Van Driel, C.J.G.; Hoedemaeker, M.; van Arem, B. (2007): Impacts of a Congestion Assistant on driving behaviour and acceptance using a driving simulator. *Transportation Research Part F*, Vol. 10 (2007) Nr. 2, S. 139–152