

Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 262



bast

Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

von

Reinhold Maier
Maria Pohle
Martin Schmotz

TU Dresden
Lehrstuhl für Straßenverkehrstechnik
und Theorie der Verkehrsplanung

Thoralf Knotte
Günther Nirschl
Christian Erbsmehl

Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Verkehrstechnik Heft V 262

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Schünemann Verlag GmbH, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt: FE 18.0025/2013
Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn

Fachbetreuung:
Thomas Jährig

Herausgeber
Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0
Telefax: (0 22 04) 43 - 674

Redaktion
Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag
Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9331
ISBN 978-3-95606-196-7

Bergisch Gladbach, Januar 2016

Kurzfassung – Abstract

Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten

Unfälle aufgrund von Falschfahrten sind sehr seltene Ereignisse, welche aber in der Regel eine besonders hohe Unfallschwere aufweisen. Aktuelle Studien aus Deutschland zeigen, dass häufig falsches Linksabbiegen an Anschlussstellen den Ausgangspunkt von Falschfahrten bildet.

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurde durch empirische Erhebungen und Fahrten im Fahrsimulator an umgestalteten und nicht umgestalteten Anschlussstellen die Maßnahmenwirkung unterschiedlicher Markierungsvarianten evaluiert. Aus den Ergebnissen wurden Empfehlungen für die optimierte Knotenpunktmarkierung abgeleitet.

Im Untersuchungskollektiv waren sowohl signalisierte als auch nicht-signalisierte Anschlussstellen vertreten. An allen empirisch untersuchten Anschlussstellen wurden videogestützte Verkehrserhebungen durchgeführt. Aus den erhobenen fahrer- und umfeldspezifischen Merkmalen konnte das Orientierungs- und Abbiegeverhalten der Linksabbieger analysiert werden.

Im Fahrsimulator wurde zusätzlich überprüft, inwieweit gruppenbezogene Ausprägungen bzw. Unterschiede bzgl. des objektiven Fahrverhaltens und der subjektiven Fahrempfindungen auftreten.

Im Ergebnis der empirischen Untersuchungen und der Probandenversuche im Fahrsimulator wurde für nicht signalisierte Anschlussstellen eine Markierungsvariante favorisiert, bei der die Wartelinie weiter innen im Knotenpunkt liegt als bisher. Zusätzliche Richtungspfeile und eine innere Abbiegeleitlinie in Verbindung mit weiteren Anpassungen (Sonderform des Zeichens 296 StVO mit Breitstrich, Zeichen 222 StVO eingedreht und durch Leitplatte Zeichen 626 StVO ergänzt) unterstützen den Verkehrsteilnehmer, sich beim Abbiegeprozess vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn intuitiv richtig zu verhalten.

An signalisierten Anschlussstellen wird ebenfalls der Versatz der Haltlinie in Richtung Knotenpunktmitte, in Verbindung mit den bereits für nicht-signalisierte Anschlussstellen genannten Anpassungen favorisiert. Die Standorte der Signalgeber müssen

aber in jedem Fall im Hinblick auf die Bestimmungen der RiLSA (2010) mit der zuständigen Straßenverkehrsbehörde abgestimmt werden.

Das Fahrverhalten an den untersuchten Anschlussstellen hat gezeigt, dass die empfohlenen Markierungsvarianten ein intuitiv richtiges Verhalten beim Abbiegen unterstützen und dadurch Falschfahrten vermieden werden.

Technological optimization of left turns from the subsidiary road network on highways to avoid wrong-way driving

Accidents caused by wrong-way driving are very rare events, but which generally have a particularly high accident severity. Recent studies from Germany show that often wrong way driving begins by the false left turn from the subsidiary road onto the motorway.

In this research project the driving behaviour at junctions with common and various redesigned pavement markings were evaluated at on-site junctions as well as within a driving simulator. As a result, optimized designs of pavement markings could be recommended.

The research project focussed on signalized and on unsignalized junctions as well. The traffic surveys of the on-site junctions were video-based. The raised driver and environment-specific data is used to describe and analyse the behaviour during the phase of orientation and the turning manoeuvre.

The results of the driving behaviour within the driving simulator were tested on systematic effects within particular groups.

As a result of the behaviour studies on-site and within the driving-simulator a pavement marking for unsignalized junctions could be recommended which contains a shifted holding line of the left turn lane further into the section area. An additional left-turn arrow beyond the holding line and an inner turn line in combination with further adjustments (holding line of the intersecting motorway exit with an additional barrier line, shifted "pass-by-on-right" sign with added obstruction marker) support the road users to ensure a correct left-turn-manoeuver.

At signalized junctions a shifted stop line further into the section is recommended as well and added by the mentioned adjusted features at unsignalized junctions. With regard to the recommendations within the guidelines for traffic signals (RiLSA, 2010) the location of the traffic signals have to be coordinated with the road traffic authority in any case.

The driving behaviour of the investigated junctions has shown that the recommended pavement markings support an intuitively correct left-turn-manoever and therefore avoid wrong-way driving.

Inhalt

Abkürzungen	6	5	Untersuchungsmethodik	17
1 Einleitung und Ziel	7	5.1	Allgemeines	17
1.1 Ausgangslage	7	5.2	Beobachtungen des Real- verhaltens im Verkehr	17
1.2 Pilotstudie in Bayern	7	5.2.1	Erhebungen durch die Beobachter	18
1.3 Ziel der Untersuchung	7	5.2.2	Orientierungsverhalten	18
2 Untersuchungsablauf	8	5.2.3	Abbiegeverhalten	19
3 Literaturrecherche	8	5.3	Probandenversuche im Fahrsimulator	21
3.1 Unfallgeschehen	8	5.3.1	Versuchsziel	21
3.2 Örtliche Verteilung von Falschfahrten	9	5.3.2	Versuchsaufbau	21
3.3 Zeitliche Verteilung von Falschfahrten	9	5.3.3	Untersuchungsvarianten	21
3.3.1 Nach Tageszeit	9	5.3.4	Methodische Vorgehensweise	21
3.3.2 Nach Wochentag	10	5.3.5	Datenerhebung und Auswertung	23
3.4 Verursacher von Falschfahrten	10	6	Ergebnisse der Verkehrs- erhebungen	27
3.4.1 Geschlecht	10	6.1	Allgemeines	27
3.4.2 Alter	10	6.2	Orientierungsverhalten	27
3.5 Ortskenntnis	11	6.2.1	Betriebsform und Tageszeit	28
3.6 Ursachen	11	6.2.2	Einfahrgeschwindigkeit	28
3.7 Fazit	11	6.2.3	Ergebnisse Orientierungs- verhalten	29
3.8 Markierungs- und Beschilderungs- varianten	11	6.3	Abbiegeverhalten	29
3.8.1 Aktuelle Markierungs- und Beschilderungsvarianten von Anschlussstellen	12	6.3.1	Abbiegegeschwindigkeit	29
3.8.2 Neue Markierungs- und Beschilderungsvarianten von Anschlussstellen	12	6.3.2	Lenkkorrektur beim Links- abbiegen	29
4 Auswahl und Kategorisierung des Untersuchungskollektivs	15	6.3.3	Beachtung der Halte- bzw. Wartelinie	33
4.1 Anschlussstellen mit modifizierter Markierung	15	6.3.4	Ergebnisse Abbiegeverhalten	33
4.2 Auswahl der Untersuchungs- anschlussstellen	16	6.4	Fazit der empirischen Untersuchung	33
		7	Ergebnisse der Fahrversuche im Labor	34
		7.1	Allgemeines	34

7.1.1	Versuchspersonen	34
7.1.2	Situationsparameter	34
7.2	Fahrzeugposition und Fahrer- Fahrzeug-Interaktion.	35
7.2.1	Fahrlinien und Geschwindigkeits- verläufe	35
7.2.2	Einscher- und Abbiegepunkte.	36
7.3	Blickverhalten	38
7.4	Versuchspersonenbefragung	38
7.4.1	Subjektive Beurteilung	38
7.4.2	Vergleichende Beurteilung der Untersuchungsvarianten.	38
8	Zusammenfassung	39
8.1	Untersuchungsablauf	39
8.2	Ergebnisse	40
8.2.1	Orientierungsverhalten	40
8.2.2	Abbiegeverhalten	40
8.2.3	Subjektive Einschätzung	41
8.3	Empfehlungen.	41
8.3.1	Anschlussstellen ohne LSA	41
8.3.2	Anschlussstellen mit LSA	43
9	Literatur.	44
10	Anhang 1-12	47

Abkürzungen

AS	Anschlussstelle
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
EU	Europäische Union
HBS	Handbuch für die Bemessung von Stra- ßenverkehrsanlagen
LA	Linksabbieger
m	männlich
MVI	Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg
RAL	Richtlinien für die Anlage von Landstra- ßen
RDS	Radio Data System
RMS	Richtlinien für die Markierung von Stra- ßen
SMWA	Sächsisches Staatsministerium für Wirt- schaft, Arbeit und Verkehr
StMI	Bayerisches Staatsministerium des Innen- ren, für Bau und Verkehr
t_G	Grenzzeitlücke
t_m	Mittlere Befahrungszeit
TMC	Traffic Message Channel
U(P)	Unfälle mit Personenschaden
w	weiblich

1 Einleitung und Ziel

1.1 Ausgangslage

Unfälle aufgrund von Falschfahrten sind sehr seltene Ereignisse, welche aber in der Regel eine besonders hohe Unfallschwere aufweisen. Aktuelle Studien in Deutschland zeigen, dass in den nachgewiesenen Fällen häufig falsches Linksabbiegen im Knotenpunktbereich des Anschlusses der Aus- bzw. Einfahrtrampe der Autobahn an die nachgeordnete Straße den Ausgangspunkt von Falschfahrten bildet (GERLACH & SEIPEL, 2012).

In Deutschland werden jährlich etwa 1.800 Verkehrswarmmeldungen zu Falschfahrern auf Autobahnen über RDS-TMC gemeldet. Aufgrund der Häufung von sehr schweren Falschfahrerunfällen im Herbst des Jahres 2012 und der daraus resultierenden medialen Präsenz des Themas wurden in der Konferenz der Verkehrsminister der Länder im April 2013 mögliche Maßnahmen gegen Falschfahrerunfälle diskutiert. In der Folge wurde in vielen Bundesländern eine gezielte Überprüfung der Beschilderung und Markierung an Autobahnanschlussstellen vorgenommen.

In Baden-Württemberg und Sachsen wurden als Maßnahme u. a. zusätzliche Richtungspfeile auf den Aus- bzw. Einfahrtrampen der Autobahn markiert (SMWA, 2013; MVI, 2013).

Aus verschiedenen Untersuchungen sind Gestaltungsmaßnahmen bekannt, die an plangleichen Knotenpunkten der Anschlussstellen ein Fehlverhalten verhindern sollen, das zu Falschfahrten auf Autobahnen führt – siehe Kapitel 3.8. Bisher existieren jedoch keine ausreichenden Erkenntnisse über die Wirkung dieser Maßnahmen auf das Fahrverhalten.

1.2 Pilotstudie in Bayern

Zu Beginn des Jahres 2011 wurden an ausgewählten Autobahnanschlussstellen und Rastanlagen der BAB 3 und BAB 8 „Falschfahrerwarntafeln“ (Bild 1) aufgestellt. Diese wurden aufgrund ihrer grenznahen Lage zu Österreich ausgewählt, wo die Falschfahrerwarntafeln bereits zur Anwendung kommen. Im Verlauf der Pilotstudie wurde entschieden einen weiteren Abschnitt der BAB 94 in den Pilotversuch mit aufzunehmen.



Bild 1: Geisterfahrerwarntafel (Passauer Neue Presse vom 14.02.2012)

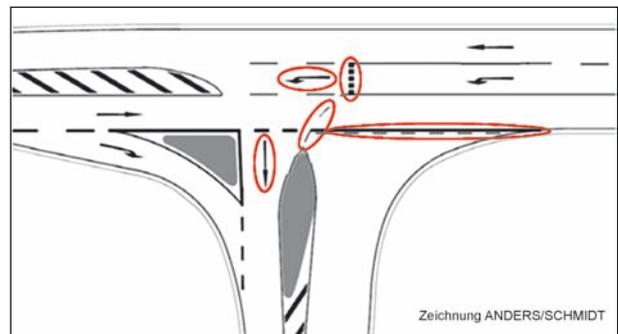


Bild 2: Modifizierte Markierungsvariante einer Einmündung ohne LSA (SCHMIDT, 2012)

Angrenzend an die Abschnitte mit „Falschfahrerwarntafeln“ wurden weitere Maßnahmen in Form veränderter Markierungen im Knotenpunktbereich verschiedener Anschlussstellen in den Pilotversuch integriert. Diese modifizierte Markierungsvariante (Bild 2) soll im Gegensatz zu den „Falschfahrerwarntafeln“ nicht die Falschfahrer aufhalten, sondern bereits eine Entstehung von Falschfahrten beim Linksabbiegen vom nachgeordneten Netz auf die Autobahnrampe verhindern.

1.3 Ziel der Untersuchung

Im vorliegenden Forschungsvorhaben sollen unterschiedliche verkehrstechnisch optimierte Markierungsvarianten an Anschlussstellen untersucht werden. Durch empirische Erhebungen des Fahrverhaltens an umgestalteten und nicht umgestalteten Knotenpunkten, sowie mit Fahrten im Fahrsimulator soll die Maßnahmenwirkung der Markierungsvarianten evaluiert werden. Im Ergebnis stehen Empfehlungen sowie ggf. Optimierungsvorschläge der Knotenpunktmarkierung, die das intuitiv richtige Verhalten beim Abbiegen vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahnrampe

unterstützen und dadurch Falschfahrten vermeiden helfen. Grundlage dieser Untersuchung bildet der in Kapitel 2 beschriebene Untersuchungsablauf.

2 Untersuchungsablauf

Die methodische Vorgehensweise und das sich hieraus ergebende Arbeitsprogramm sehen fünf inhaltlich zum Teil aufeinander aufbauende Arbeitsschritte vor. Die Struktur und den Ablauf zeigt Bild 3.

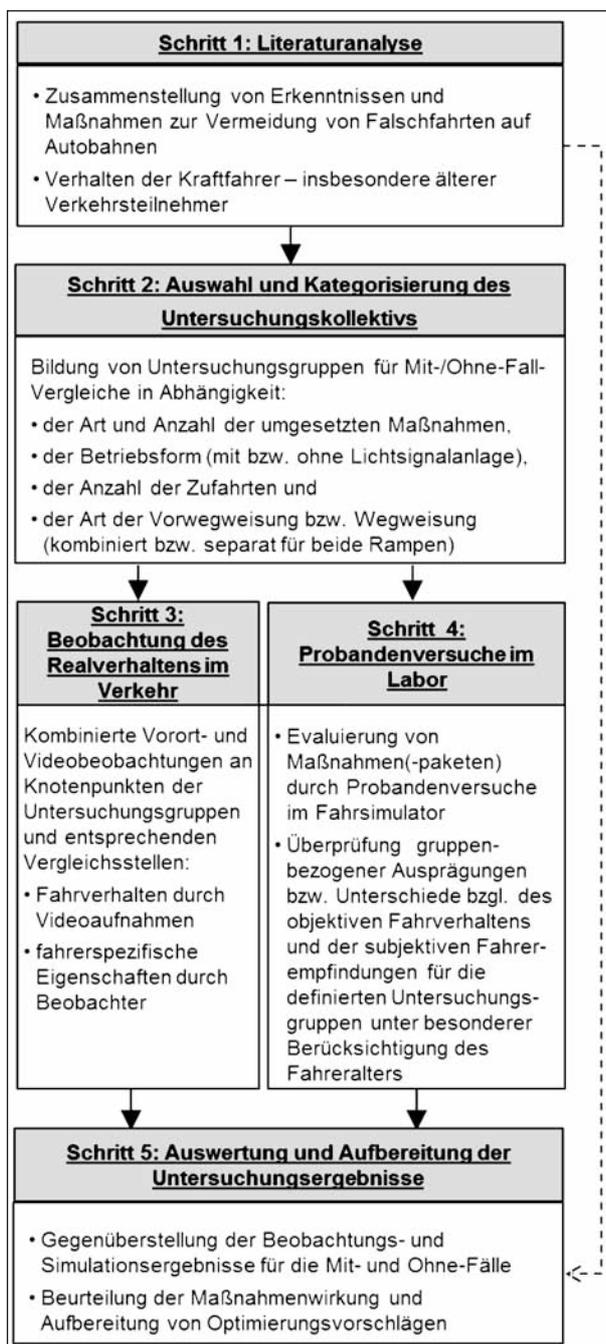


Bild 3: Untersuchungsablauf und Arbeitsschritte

Im ersten Arbeitsschritt erfolgt eine Zusammenstellung der Erkenntnisse zur Entstehung, Bedeutung und Möglichkeiten zur Vermeidung von Falschfahrten. Im Fokus stehen dabei die Gestaltung und Markierung der Anschlussstellen im Bereich der Knotenpunkte, die Analyse der speziellen Fahranforderung des Linksabbiegens und die spezielle Charakteristik von Falschfahrten.

Im darauffolgenden Arbeitsschritt werden aus den im Rahmen des Pilotprojekts in Bayern umgestalteten AS relevante Untersuchungsgruppen in Abhängigkeit ihrer verkehrstechnischen Gestaltung gebildet. In diesem Arbeitsschritt werden auch regelwerkskonforme AS ausgewählt, um Mit-/Ohne-Fall-Vergleiche zu ermöglichen.

Die Arbeitsschritte drei und vier beinhalten die Analyse des Fahrverhaltens. Dafür werden neben den realen Fahrverhaltensdaten vor Ort auch Daten aus Fahrten im Fahrsimulator erhoben. Im Fahrsimulator werden neben den umgesetzten Maßnahmen auch weitere im Rahmen der Untersuchung definierte Gestaltungs- und Markierungsvarianten evaluiert.

Anschließend werden die Erkenntnisse des dritten und vierten Arbeitsschritts gegenübergestellt. Hierbei werden sowohl die Wirkung der im Pilotversuch in Bayern umgesetzten Maßnahmen als auch die ermittelte Maßnahmenwirkung weiterer Optimierungsvarianten (aus den Ergebnissen der Fahrversuche im Simulator) analysiert und, mit dem Ziel Empfehlungen abzuleiten, interpretiert.

3 Literaturrecherche

3.1 Unfallgeschehen

Unfälle aufgrund von Falschfahrten sind sehr seltene Ereignisse, weisen allerdings in der Regel eine sehr hohe Schwere auf. Eine von der BASt durchgeführte Datenerhebung in 6 Bundesländern aus dem Jahr 2006 zeigte, dass an 0,3 % aller Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen Falschfahrer beteiligt waren (SCHMIDT, 2012). Auf niederländischen Autobahnen ermittelten BLOKPOEL & de NIET (2000) einen Anteil von 0,1 % Falschfahrerunfälle an allen Autobahnunfällen mit Personenschaden. Bezogen auf die Autobahnunfälle mit Getöteten wurde ein Anteil von 2,6 % ermittelt. KARHUNEN (2003) weist auf finnischen Autobahnen mit 0,4 % Falschfahrerunfällen an allen Auto-

bahnunfällen mit Personenschaden und 2,9 % aller Autobahnunfälle mit Getöteten vergleichbare Größenordnungen nach. Auswertungen in Österreich (Zeitraum von 1987 bis 1999) zeigten, dass 0,4 % aller Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen durch Falschfahrer verursacht wurden (ROBATSCH, 2000).

Weiterhin belegen diese Untersuchungen die hohe Schwere dieser Unfälle. So geschahen in den 13 Betrachtungsjahren in Österreich 155 Falschfahrerunfälle mit Personenschaden, bei denen 74 Menschen getötet, 177 schwer- und 132 leichtverletzt wurden. Dies entspricht einer mittleren Unfallschwere von über 650.000 € je Personenschadensunfall (Preisstand 2009). Damit weisen die von Falschfahrern verursachten Unfälle eine mehr als 5-mal so hohe Unfallschwere wie ein durchschnittlicher Autobahnunfall mit Personenschaden auf (ROBATSCH & HAGSPIEL, 2002). Auch Unfallauswertungen in der Schweiz (SCARAMUZZA & CAVEGN, 2006) bestätigen, dass Falschfahrerunfälle sehr selten sind, aber eine sehr hohe Schwere aufweisen.

Allerdings sind mit der amtlichen Unfallstatistik in Deutschland vergleichbare Auswertungen des Unfallgeschehens nicht möglich, da die entsprechende Unfallursache (10) „Benutzung der falschen Fahrbahn“ auch die verbotswidrige Benutzung anderer Straßenteile mit einschließt. So wird u. a. in ADAC (2011) für eine bessere Transparenz der tatsächlichen Gefährdung durch Falschfahrer eine gesonderte Ausweisung von Falschfahrerunfällen in der Unfallstatistik gefordert – wie zum Beispiel seit 1987 in Österreich üblich (ROBATSCH & HAGSPIEL, 2002).

3.2 Örtliche Verteilung von Falschfahrten

In einer Stellungnahme des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) zu einer Petition an den Deutschen Bundestag aus dem Jahr 2007, welche die gesetzliche Grundlage schaffen sollte, Fahrzeugführer mittels Krallenketten (Krallengurte) zu stoppen, die auf eine Autobahn oder autobahnähnliche Bundesstraße falsch auffahren, wurden vielfältige Ursachen für Falschfahrten genannt (BMVBS, 2009). So ereigneten sich Falschfahrten laut BMVBS entgegen der in der Öffentlichkeit verbreiteten Ansicht überwiegend nicht durch falsches Einfahren auf die Autobahn.

Ursprung für Falschfahrten sind häufig Baustellen oder bewusstes Wenden auf der Autobahn. Eine weitere Ursache für Falschfahrten war das Fahren unter Alkohol- bzw. Drogeneinfluss.

Untersuchungen in den USA bestätigen die vielfältigen Einflüsse auf Falschfahrten. So zeigten Analysen von Falschfahrerunfällen im Bundestaat Texas (COONER et al., 2004) als auffällige Örtlichkeiten:

- linksliegende Autobahnausfahrten,
- unübersichtliche Verkehrsführungen in Baustellenbereichen und
- zum Teil komplexe Situationen innerhalb von Bereichen großer Ballungsräume.

Dem stehen Erkenntnisse aktueller Untersuchungen in Deutschland und aus anderen europäischen Ländern entgegen. Bei der Auswertung von polizeilichen Daten zu 447 Falschfahrten in Deutschland, bildeten mit ca. 63 % AS den häufigsten Ausgangspunkt von Falschfahrten, wenn Informationen zur Ausgangsstelle vorlagen (GERLACH & SEIPEL, 2012). Sicherheitstechnische Begutachtungen von beanstandeten AS zeigten, dass oft Mängel in der wegweisenden Beschilderung zur Autobahn vorhanden waren bzw. Markierungen und Signale schlecht erkennbar waren oder gänzlich fehlten.

In den Niederlanden entsteht nach BLOKPOEL & de NIET (2000) knapp die Hälfte der Falschfahrten durch die falsche Benutzung der Autobahnausfahrt als Einfahrt. Einen vergleichbaren Einfluss der AS auf Falschfahrten ermitteln OLIVIER & CONTREMOULINS (2002) in Frankreich.

In Österreich war die häufigste Ausgangsstelle von Falschfahrten mit einem Anteil von 44 % der Einmündungsbereich von einer untergeordneten Straße in die Aus- bzw. Einfahrtrampe einer Autobahn (ROBATSCH & HAGSPIEL, 2000).

3.3 Zeitliche Verteilung von Falschfahrten

3.3.1 Nach Tageszeit

Nach den Untersuchungen von BIERWAS et al. (1981) zeigen sich Falschfahrten gleichermaßen bei Tag und Nacht. Aktuelle Studien deuten jedoch verstärkt auf Falschfahrten bei Dunkelheit hin (GERLACH & SEIPEL, 2012). Die Gegenüber-

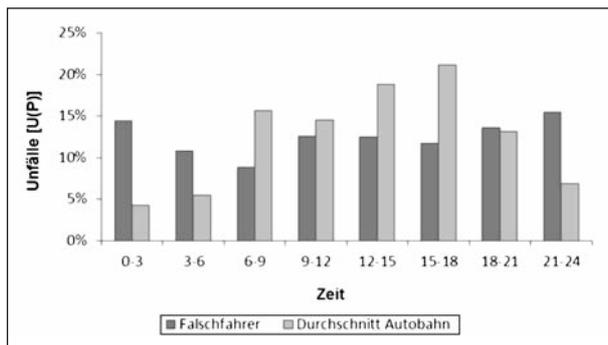


Bild 4: Autobahn- und Falschfahrerunfälle mit Personenschaden nach Tageszeit (nach GERLACH & SEIPEL, 2012 und DESTATIS, 2011)

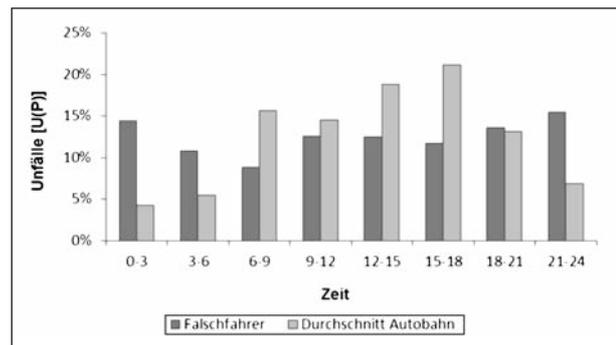


Bild 5: Autobahn- und Falschfahrerunfälle mit Personenschaden nach Wochentag (nach GERLACH & SEIPEL, 2012 und DESTATIS, 2011)

stellung der zeitlichen Verteilung aller Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen und der Unfälle mit Personenschaden in Zusammenhang mit Falschfahrten zeigt prozentual mehr Falschfahrerunfälle in der Zeit zwischen 21 und 6 Uhr – Bild 4. Dementsprechend ereignen sich in den Zeitbereichen mit hohem Verkehrsaufkommen (zwischen 6-9 Uhr und 15-18 Uhr) anteilig weniger Falschfahrerunfälle.

3.3.2 Nach Wochentag

Die Verteilung der Unfälle infolge von Falschfahrten nach Wochentagen weisen in österreichischen und deutschen Studien überproportional häufig Samstag und Sonntag als Unfalltag aus – Bild 5 (BIERWAS et al., 1981, ROBATSCH et al., 2006, GERLACH & SEIPEL, 2012). Die Betrachtung aller Unfälle mit Personenschaden auf Autobahnen zeigt hingegen für Freitage den höchsten Unfallanteil (DESTATIS, 2011).

3.4 Verursacher von Falschfahrten

3.4.1 Geschlecht

Mehrere internationale Untersuchungen (ROBATSCH (2000); SWOV (2009); GERLACH & SEIPEL (2012)) weisen einen überwiegenden Anteil an Männern unter den Falschfahrern aus. Je nach Studie schwanken die Werte zwischen 76 % und 85 %. Allerdings weisen Männer in der Regel auch eine höhere Verkehrsleistung und Mobilitätszeit auf (BMVBS, 2012). Andere Studien (z. B. SWOV, 2009) zeigen bei der Gegenüberstellung zur generellen Unfallbeteiligung nach Geschlecht keine Auffälligkeiten. Im Gegensatz dazu wurde von SCARAMUZZA & CAVEGN (2006) auf Basis schweizerischer Daten für Frauen ein 1,7-fach höheres Risiko im Vergleich

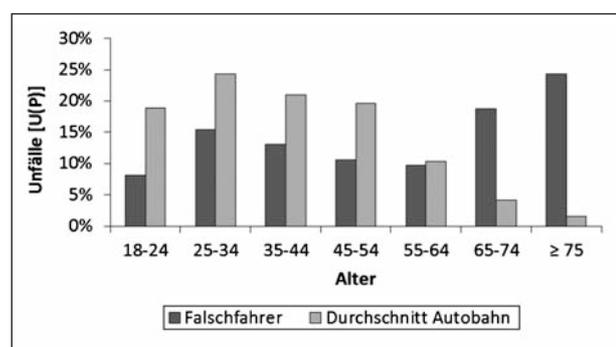


Bild 6: Autobahn- und Falschfahrerunfälle mit Personenschaden nach Alter (nach GERLACH & SEIPEL, 2012 und DESTATIS, 2011)

zu allen Autobahnunfällen bestimmt. Das höhere Risiko ergibt sich aus dem Vergleich des Frauenanteils an Falschfahrerunfällen zu dem Frauenanteil an allen Autobahnunfällen.

3.4.2 Alter

Als besonders betroffene und beteiligte Gruppen werden in den Studien häufig vornehmlich ältere Personen genannt. GERLACH & SEIPEL (2012) bestätigen mit 35 % den auffällig hohen Anteil der durch Senioren (65 Jahre und älter) verursachten Falschfahrerunfälle in Deutschland (Bild 6). Niederländische Untersuchungen weisen einen Anstieg des Anteils von Falschfahrerunfällen an allen Unfällen bereits für Altersgruppen ab 55 Jahren nach (BLOKPOEL & de NIET, 2000).

Nach SCARAMUZZA & CAVEGN (2006) besteht für die Altersgruppe über 65 Jahren ein 7,7-faches Risiko einen Falschfahrerunfall zu verursachen. Die Gegenüberstellung der Altersverteilung der U(P) für Autobahn- und Falschfahrerunfälle (Bild 6) zeigt den überproportional hohen Anteil der älteren Fahrzeugführer.

Zudem zeigten Beobachtungen, dass das Linksabbiegen als komplexe Fahraufgabe ältere Fahrzeugführer generell vor Schwierigkeiten stellt (VOLLRATH et al., 2011). Insbesondere die Beurteilung angemessener Zeitlücken oder die Schätzung von Abstand und Geschwindigkeit fällt mit zunehmendem Alter schwer.

Nach ROBATSCH & HAGSPIEL (2002) werden junge Fahrer als weitere Risikogruppe genannt. Zumeist treten Unfälle dieser Altersgruppe im Zusammenhang mit Alkoholkonsum auf.

Beide Risikogruppen zeichnen sich durch ihre geringe Fahrleistung aus. Dies führt zu der Vermutung, dass die fehlende Fahrroutine eine beeinflussende Größe darstellt, da unabhängig vom Alter die Gruppe der Fahrer mit niedriger jährlicher Fahrleistung ein erhöhtes Unfallrisiko aufweist (LANGFORD et al., 2006)

3.5 Ortskenntnis

Durch den Vergleich der Ortskennung im amtlichen Kennzeichen der Fahrzeuge mit der örtlichen Ausgangsstelle der Falschfahrt zieht ROBATSCH (2000) Rückschlüsse auf die Ortskenntnis der Fahrzeugführer. Basis der Untersuchung waren 52 Unfälle mit Personenschaden infolge von Falschfahrten. Danach konnte für 77 % aller betrachteten Falschfahrten eine Ortskenntnis nachgewiesen werden, für nur 23 % der Falschfahrten eine Ortskenntnis ausgeschlossen werden.

3.6 Ursachen

Durch die Unfallauswertung und nähere Untersuchung von ausgewählten AS, die häufig den Ausgangspunkt von Falschfahrten bildeten, konnte ROBATSCH (2000) drei Hauptursachen für Falschfahrten identifizieren:

- Verlangsamte Informationsverarbeitung infolge nicht angepasster Geschwindigkeit oder erhöhter Risikobereitschaft durch Alkoholisierung (rund 50 % aller Falschfahrer).
- Überforderung durch Orientierungsverlust bzw. mangelnde Routine in Verbindung mit ungünstiger/komplizierter Wegweisung, schlechten Witterungsverhältnissen, schlechter Beschilderung und Bodenmarkierung oder Beeinträchtigung der Fahrtauglichkeit durch Übermüdung, Ärger

oder Stress. Überforderte Fahrer waren zumeist verwirrte Personen, ältere Fahrer oder Fahrer mit fehlender Fahrpraxis (rund 30 % aller Falschfahrer).

- Bewusste bzw. absichtliche Falschfahrten (rund 20 % aller Falschfahrten).

BRAAMS (2006) weist mit annähernd 60 % einen hohen Anteil alkoholisierter Falschfahrer bei Unfällen mit Getöteten nach. Diese waren zu 59 % stark alkoholisiert (> 1,5 ‰ Blutalkoholspiegel). Im Vergleich dazu konnten für die in den Falschfahrer-Unfällen verwickelten Fahrer in richtiger Fahrtrichtung nur in 6 % der Unfälle ein hoher Blutalkoholspiegel nachgewiesen werden.

3.7 Fazit

Unfälle infolge von Falschfahrten sind seltene Ereignisse, die jedoch durch sehr schwere Unfallfolgen charakterisiert sind. Im internationalen Vergleich bilden die Unfälle infolge von Falschfahrten bis zu 0,4 % der Unfälle mit Personenschäden auf Autobahnen.

Der häufigste Ausgangspunkt von Falschfahrten waren AS mit einem Anteil von 44-63 %.

Verursacher von Falschfahrten sind häufig ältere Fahrzeugführer (55-65 Jahre) und jüngere, häufig zudem alkoholisierte Fahrzeugführer. Bezüglich des Geschlechts zeigte sich keine eindeutige Tendenz in der Literaturrecherche.

Absichtliche Falschfahrten bilden den geringsten Anteil an Ursachen für Falschfahrten. Häufiger sind stattdessen der Orientierungsverlust (ca. 30 %) und vor allem Alkoholisierung (ca. 50-60 %).

Dass Falschfahrten vornehmlich von Ortsfremden verursacht werden, konnte nicht bestätigt werden.

3.8 Markierungs- und Beschilderungsvarianten

Im Folgenden wird zunächst die derzeitige Markierung der AS nach geltender RMS (1993) und RAL (2012) vorgestellt.

Ausgehend von der Überlegung bereits präventiv die Entstehung einer Falschfahrt zu verhindern durch entsprechende Markierungsvarianten an den

AS, werden anschließend Maßnahmen beschrieben, die das falsche Auffahren auf die Autobahn verhindern sollen. Außer Acht bleiben reaktive Maßnahmen, die der Entdeckung von Falschfahrern über Radar, Funk o. Ä. dienen.

3.8.1 Aktuelle Markierungs- und Beschilderungsvarianten von Anschlussstellen

An AS sehen die geltenden Bestimmungen der RMS (1993) und RAL (2012) die Markierung folgender Elemente vor (vgl. Bild 7, Bild 8):

- Die Wartelinien der endenden Linksabbiegerstreifen sind annähernd in der Verlängerung des rechten Randes der untergeordneten Knotenpunktzufahrt bzw. 3,50 m von der rechten Begrenzung des Fahrbahnteilers zu markieren (RMS). Die Lage der Haltlinien wird von den Schleppkurven der Ein- und Abbieger bestimmt.
- Am Rand der übergeordneten Straße zur untergeordneten Auffahrtrampe ist eine unterbrochene Fahrbahnbegrenzung als Breitstrich mit dem Strich-Lücken-Verhältnis 1,5 m/1,5 m auszuführen.
- Leitlinien für Linksabbiegerstreifen werden nur bei doppelten Linksabbiegerstreifen im Strich-Lücken-Verhältnis 1,5 m/1,5 m markiert.

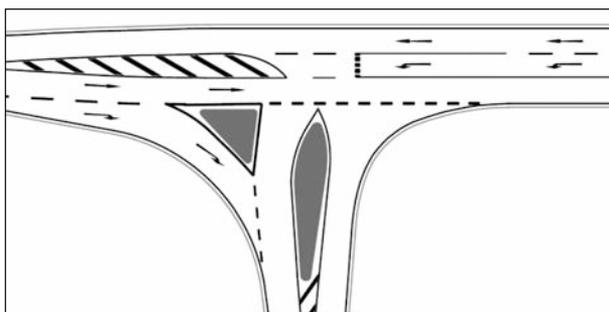


Bild 7: Beispiel einer RMS-konformen AS ohne LSA (RAL, 2012)

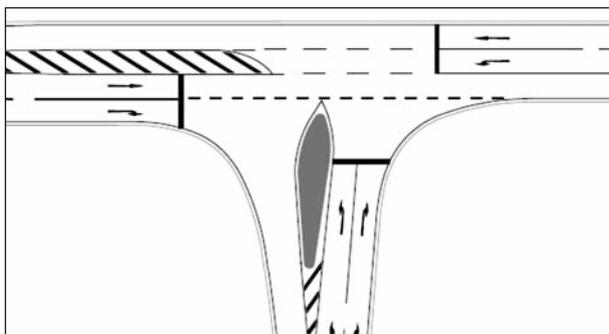


Bild 8: Beispiel einer RMS-konformen AS mit LSA (RAL, 2012)

- 5 m vor der Halte- bzw. Wartelinie sind die Richtungspfeile des Linksabbiegers anzubringen.

3.8.2 Neue Markierungs- und Beschilderungsvarianten von Anschlussstellen

Maßnahmen aus Österreich

Nach ROBATSCH (2000) können Falschfahrten nicht durch einzelne Maßnahmen verhindert werden. Stattdessen muss diesem Problem mit einem möglichst vielschichtigen Ansatz begegnet werden. So sollen die Maßnahmen generell das Verhalten der Kraftfahrer beeinflussen und eine Verbesserung der Verkehrsführung (z. B. durch Bodenmarkierung, Beschilderung und Wegweisung) bewirken. ROBATSCH & HAGSPIEL (2002) empfehlen folgende Maßnahmen:

- [1] Das auf der Spitze der Trenninsel (Tropfen) in der untergeordneten Zufahrt (Rampe) befindliche Zeichen 222 StVO (Rechts vorbei) sollte entweder dem Linksabbieger leicht zugekehrt oder als gewölbtes Verkehrszeichen ausgeführt werden, so dass Linksabbieger bereits von ihrer Warteposition aus dieses Zeichen erkennen können. Damit die optische Erkennbarkeit dieses Zeichens gewährleistet bleibt, sollte auf der Trenninsel das Zeichen 267 StVO (Verbot der Einfahrt) nicht angebracht werden.
- [2] Vorziehen der Wartelinie für die Linksabbieger, soweit die Schleppkurvennachweise das zulassen.
- [3] Markierung einer inneren linksliegenden Abbiegeleitlinie für die Linksabbieger (unterbrochener Schmalstrich) im Kreuzungsbereich.
- [4] Weitere Markierungsempfehlungen: Ergänzung einer durchgezogenen Linie vor dem Fahrstreifen der Ausfahrtrampe in der Flucht der Fahrbahnbegrenzungslinie der Straße des nachgeordneten Netzes; kein Richtungspfeil auf dem Linksabbiegestreifen unmittelbar vor der Ausfahrtrampe; Richtungspfeile der Linksabbieger nicht in einem Winkel von 90° sondern von 135°; linke Begrenzung des Abbiegestreifens als durchgezogene Doppellinie, Richtungspfeile in der Ausfahrt der Rampe.
- [5] Ortsfeste Beleuchtung des Kreuzungsbereichs der Rampe in Verbindung mit Zeichen 222 StVO in innenbeleuchteter Ausführung bei wiederholt auftretenden Falschfahrten.

- [6] Keine Verwendung kombinierter Vorwegweisung bzw. Wegweisung auf der nachgeordneten Straße (getrennte (Vor-) Wegweisung für die beiden Rampenanschlüsse).

Die Maßnahmenvorschläge [1] bis [3] sowie einige unter [4] genannte Maßnahmen entsprechen weitgehend denen an den etwa 30 verkehrstechnisch optimierten Pilotanschlussstellen in Bayern umgesetzten Maßnahmen.

Ein weiteres Konzept, welches an österreichischen Pilotanschlussstellen umgesetzt und durch Untersuchungen zum Blickverhalten analysiert wurde, beschreiben PFLEGER et al. (2004) – Bild 9. Die von PFLEGER et al. (2004) vorgeschlagenen Maßnahmen werden im Vergleich zu den von ROBATSCH & HAGSPIEL (2002) beschriebenen Maßnahmen u. a. durch farbliche Markierung ergänzt. Das Auffahren auf die Autobahn wird dabei kontinuierlich durch blaue Markierungen unterstützt. Die Farbe Blau erzielt im peripheren Bereich die höchste Aufmerksamkeit. Analog soll das Abfahren über eine rote Markierung unterstützt werden. Die Untersuchung von PFLEGER et al. (2004) führte zu folgenden Ergebnissen (die nachfolgende Nummerierung bezieht sich auf die Gestaltungsvorschläge in Bild 9):

- [1,3] „Die Abfolge von Piktogrammen und Führungsmarken stellen für die Lenker während der Annäherung und Auffahrt ein kontinuierliches Informationsangebot dar. Die Führungsmarken und blau unterlegten Richtungspfeile gewährleisten bei den Linksabbiegern während der Annäherung eine lückenlose Führung. Beim Abbiegen zeigt sich, dass neben den Führungslinien die Führungsmarken einen wichtigen Teil der Führung übernehmen. Durch die neuen Führungselemente im unmittelbaren Fahrbahnbereich wird der Anteil der Sichtabschattungen durch die A-Säule herabgesetzt, da hauptsächlich der Bereich der Fahrbahnmittle fixiert wird. Nach dem Abbiegevorgang ist vor allem das Autobahn-piktogramm auf der Rampe äußerst wirksam. Es wird häufig anvisiert und gibt den Lenkern Sicherheit und eine Bestätigung für die richtig gewählte Auffahrt. [...] Als wesentliches Element zur Etablierung der Barrierewirkung sollen weiße Geradeauspfeile auf rotem Grund im Bereich der Abfahrtrampen angeordnet werden. Eine mögliche Irritation des richtig Auffahrenden kann im Gegensatz zu ungünstig angebrachten Verkehrszeichen 'Einfahrt verboten' und Geisterfahrerwarntafeln vermieden werden.“

- [2] Die als Sägezahnlinie ausgeführte Haltlinie dient der Barrierewirkung im Falle einer Falschfahrt. Sie wurde von den Probanden nie fixiert, weshalb eine positive Wirkung nicht nachgewiesen werden konnte. Daher wurde für die Umsetzung die Ausführung einer konventionellen Haltlinie vorgeschlagen. Da es während der Blickuntersuchungen an den umgestalteten AS zu keiner Falschfahrt kam, muss die fehlende Fixierung der umgestalteten Haltlinie nicht zwangsläufig bedeuten, dass sie keine positive Beeinflussung darstellt.

- [4] „Im Gegensatz zu den Bodenmarkierungen werden die Leitplanken bei Dunkelheit bereits aus größerer Entfernung gesehen und dienen somit bereits frühzeitig als Orientierungshilfe.“

- [5] „Die oberhalb der Fahrbahn angebrachten Verkehrszeichen wurden von den Probanden nur selten fixiert. Dennoch ist eine periphere Wahrnehmung gegeben, welche neben einer Tor-situation vor allem nachts dem Lenker eine weitere Hilfe für das Auffahren bietet. Hinzu kommt, dass durch die Verlegung des Verkehrszeichens „Einfahrt verboten“ an die Trenninselspitze dieses nicht mehr im Bereich der Mittel-trennung positioniert sein muss, und so nicht in das zentrale Blickfeld des Lenkers gerät.“

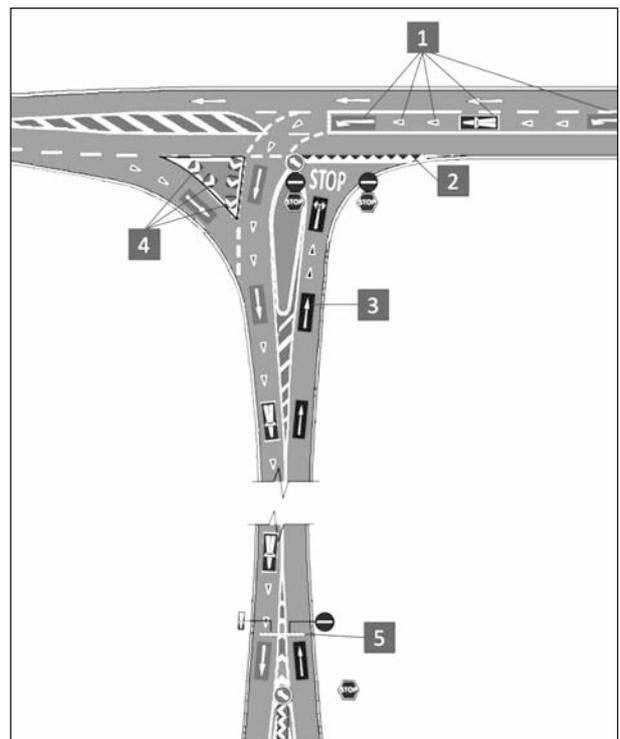


Bild 9: Optimierte Markierungsvariante (PFLEGER et al., 2004)

Maßnahmen aus Frankreich

Durch die Mautstationen wird in Frankreich das falsche Auffahren auf Autobahnen erschwert. Dennoch stellen Falschfahrten auf den übergeordneten Nationalstraßen (routes nationales de France) ein Problem dar. Im Jahr 2006 wurde auf der RN 165 zwischen Brest und Nantes sowie auf der RN 171 zwischen Nantes und St. Nazaire eine Pilotuntersuchung durchgeführt. Dafür wurden die vorhandenen Anschlussstellen mit einer LED-Barriere in der Ausfahrtrampe ausgestattet, an der Falschfahrer ein rot leuchtendes Blinklicht auslösen. Die Barriere befindet sich auf gleicher Höhe zweier „Einfahrt verboten“-Schilder und einer Pfeilmarkierung entgegen der Fahrtrichtung – Bild 10.

Nachher-Untersuchungen über einen Dreijahres-Zeitraum zeigten, dass an diesen AS ein Rückgang der jährlich registrierten Falschfahrten sowohl im Vergleich zum Vorherzeitraum als auch zu nicht umgestalteten AS zu verzeichnen war. Aufgrund der Leuchtwirkung der LED-Barriere war eine signifikante Wirkung jedoch nur für Falschfahrten bei Nacht nachweisbar (DIK, 2011). Derzeit wird das System an weiteren AS anderer Autobahnbetriebersgesellschaften installiert.

Maßnahmen aus den USA

Studien des National Transportation Safety Board (NTSB, 2012) und von RINDE (1978) zeigen, dass bereits eine Reduzierung der Falschfahrten erzielt werden kann, wenn die Verkehrszeichen „Einfahrt verboten“ in Höhe des Fahrers bzw. dessen Blickfeldes angebracht werden. Zusätzlich wird empfohlen diese Verkehrszeichen möglichst groß auszuführen, da häufig ältere Fahrer Falschfahrten verursachen (COONER, 2004).

Im California Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD-California, 2010) werden zur Verhinderung der falschen Nutzung einer Ausfahrt die Verkehrszeichen „DO NOT ENTER“ und „WRONG WAY“ in 0,6 bzw. 0,45 m über dem Boden angebracht, sodass es optimal im Leuchtkegel der Scheinwerfer liegt (Bild 11).

Auf den Rampen werden Richtungspfeile (vergleichbar mit den Vorschlägen aus Österreich in Bild 9) eingesetzt, wobei aber zusätzlich diese in der amerikanischen Variante mit in der Straße eingebauten Reflektoren ausgeführt sind, die in richtiger Fahrtrichtung weiß ausgeführt sind und in Gegenrichtung rot reflektieren (siehe Bild 12).

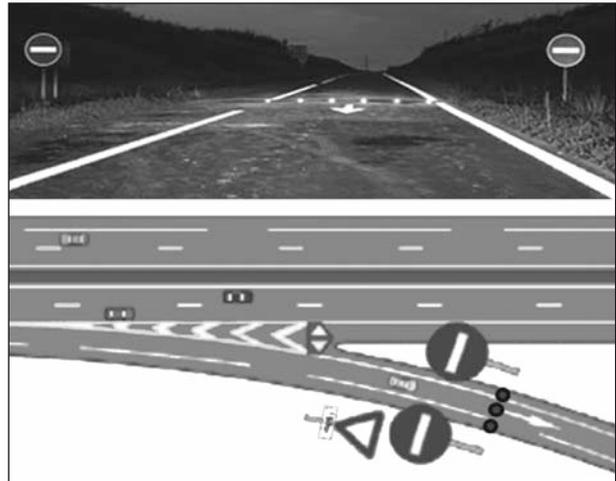


Bild 10: Französisches Falschfahrer-Pilotprojekt (DIK, 2011)



Bild 11: Herabgesetzte Beschilderung (Illinois Center For Transportation, 2012)

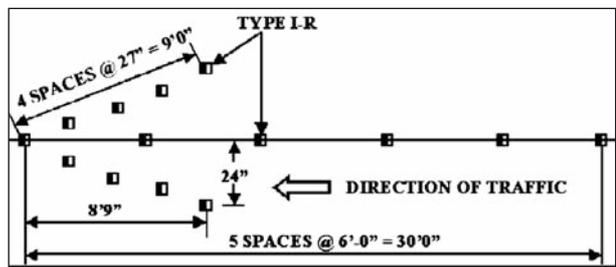


Bild 12: Richtungspfeile auf den Ein- und Ausfahrtrampen (oben TxDOT, 1974; unten Illinois Center For Transportation, 2014)

Pilotversuch Bayern

In einem Pilotversuch wurden im Jahr 2011 in Bayern einige Autobahnanschlussstellen umgestaltet. Im Rahmen des vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und des Bayerischen Staatsministerium des Inneren (StMI) durchgeführten Pilotversuchs sollte zunächst ausschließlich die Eignung der in Österreich üblichen „Falschfahrerwarntafeln“ zur Vermeidung von Falschfahrten in Deutschland überprüft werden.

Untersucht wurden die Anschlussstellen der BAB 3, 8 und 94. Anhand polizeilicher Unfalldaten wurde in einem Vorher-/Nachher-Vergleich die Wirksamkeit der Falschfahrerwarntafeln untersucht. Die Ergebnisse wurden wie folgt zusammengefasst: „Da die Falschfahrerwarntafeln, wie die polizeilichen Daten und Berichte über bestätigte Einzelfälle belegen, grundsätzlich bestenfalls in beschränktem Maße dazu geeignet sind, das falsche Einfahren auf die Autobahn zu unterbinden, und angesichts der vergleichsweise kleinen Zahlen mit bestätigten Falschfahrern sowie Unfällen mit Falschfahrern, ist zu vermuten, dass Falschfahrerwarntafeln nicht zu einer signifikanten und nachhaltigen Reduzierung von Unfällen mit Falschfahrern beitragen“ (SCHMIDT, 2012).

Nachträglich wurde das Pilotprojekt in Form veränderter Gestaltungs- und Markierungsvarianten der Anschlussstellen ergänzt. Die veränderte Markierung soll im Gegensatz zur Falschfahrerwarntafel nicht die Weiterfahrt infolge einer bereits falschen Auffahrt im letzten Moment verhindern, sondern bereits an der Autobahnanschlussstelle die Orientierung und damit das intuitiv richtige Fahrverhalten verbessern. Das Konzept wurde auf Abschnitten der BAB 3 zwischen den Anschlussstellen (AS) Regensburg und Deggendorf, der BAB 8 zwischen den AS Bad Aibling und AS Übersee und der BAB 94 zwischen den AS Mühldorf-West und AS Burghausen umgesetzt.

Gegenüber den nach aktuellem Regelwerk (RMS Teil 2, 1980) markierten AS enthält das Pilotprojekt fünf wesentliche Veränderungen (siehe Bild 13):

- (1) Vorziehen der Wartelinie der Linksabbieger bis zum rechten Rand der Schleppkurve des von der Autobahn kommenden Linkseinbiegers,
- (2) Zusätzlicher Vorankündigungsmarkierungspfeil Zeichen 297-10 StVO (Richtungspfeil links ab) hinter der Wartelinie der Linksabbieger,

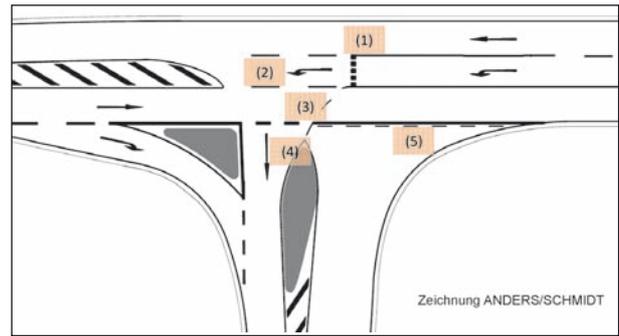


Bild 13: Modifizierte Markierungsvariante an einer Einmündung ohne LSA (SCHMIDT, 2012)

- (3) innere Abbiegeleitlinie für den Linksabbieger,
- (4) Vorankündigungsmarkierungspfeil Zeichen 297-30 StVO (Richtungspfeil geradeaus) am Beginn der Einfahrt,
- (5) Zeichen 296 StVO: einseitige und optisch stärkere Abtrennung im Bereich der Ausfahrt.

An AS mit LSA wurde im Pilotversuch auf die vorgezogene Haltlinie verzichtet, da eine veränderte Anordnung der Haltlinie nur im Zusammenhang mit der Versetzung des Signalgebers und hohem baulichem Aufwand möglich gewesen wäre.

4 Auswahl und Kategorisierung des Untersuchungskollektivs

4.1 Anschlussstellen mit modifizierter Markierung

Im Zuge der Pilotstudie wurden 25 AS mit der modifizierten Markierungsvariante ausgestattet.

An diesen AS erfolgt zunächst eine Unterscheidung nach:

- baulicher Form (Einmündung, Kreuzung, Kreisverkehrsplatz, planfreie Führungen (Rampe)) und
- Betriebsform (mit/ohne Lichtsignalanlage).

Darüber hinaus werden bei der Auswahl der Untersuchungsanschlussstellen auch weitere Einflussgrößen beachtet. Gemäß den im HBS (2001) beschriebenen Bemessungsverfahren für Straßenverkehrsanlagen wird bei Knotenpunkten ohne LSA im Außerortsbereich zwischen der Lage innerhalb und außerhalb von Ballungsräumen unterschieden, da dies einen Einfluss auf das Fahrverhalten der Fahrzeugführer hat.

5 Untersuchungsmethodik

5.1 Allgemeines

Der Ablauf der Untersuchung unterteilt sich in zwei parallel durchgeführte Arbeitsschritte (Schritt 3 und 4 nach Bild 3) mit jeweils der im Folgenden beschriebenen Methodik.

In Schritt 3 wird anhand empirischer Erhebungen das reale Fahrverhalten an den AS untersucht (siehe Kapitel 5.2). Dazu wird das Fahrverhalten der Linksabbieger an richtlinienkonform markierten AS (RMS-konform) und an den AS mit modifizierter Markierung mittels Videokameras aufgezeichnet¹. Schwerpunkt der Erhebungen bildet das Fahrverhalten der Linksabbieger beim Wechsel in den Linksabbiegerstreifen sowie das Abbiegeverhalten am Knotenpunkt.

Da bei den Erhebungen vor Ort nicht die fahrerspezifische Wahrnehmung des Abbiegevorgangs erfasst werden kann, erfolgen in Schritt 4 parallel zu den empirischen Erhebungen Probandenversuche in einem Fahrsimulator (siehe Kapitel 5.3). Diese Untersuchungen bieten den Vorteil, dass neben dem Fahrverhalten auch das Blickverhalten der Versuchspersonen aufgezeichnet werden kann. Mithilfe des Blick- und Fahrverhaltens kann die Wirkung der jeweiligen Gestaltungsvariante der AS abgeleitet werden. Die digitale Aufzeichnung der Fahrt ermöglicht den späteren Vergleich von Fahrlinien und Geschwindigkeitsverläufen mit den Beobachtungen im Realverkehr. Empfehlungen können nur für die jeweilige Gesamtgestaltung der untersuchten AS abgeleitet werden. Rückschlüsse und Empfehlungen zu einzelnen Markierungsvarianten sind nicht möglich.

5.2 Beobachtungen des Realverhaltens im Verkehr

An den ausgewählten AS werden Videokameras positioniert, um das Einfahr- und Abbiegeverhalten der Linksabbieger aufzuzeichnen. Zusätzlich protokollieren zwei Beobachter vor Ort weitere Merkmale, die aus Gründen der Bildauflösung der Kamera oder auch durch Reflexionen des Sonnen-

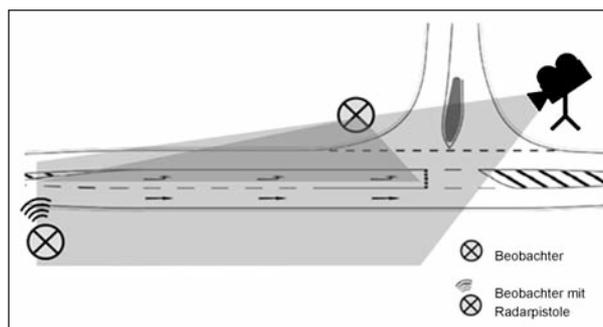


Bild 15: Versuchsaufbau der empirischen Untersuchung (beispielhaft für eine Einmündung ohne LSA)

lichts aus den Videoaufzeichnungen nicht ermittelt werden können. Bild 15 zeigt beispielhaft den Versuchsaufbau.

Für die Aufnahmen bei Tag werden konventionelle Videokameras verwendet. Die Nachtaufnahmen werden mit einer Nah-Infrarot-Kamera² durchgeführt. Während der Aufzeichnung werden die Kameras auf einem bis zu 8 m hohen Stativ möglichst unauffällig positioniert.

Die Stative und die Beobachter vor Ort wurden so positioniert, dass Beeinträchtigungen des Fahrverhaltens vermieden werden. Bei der Datenerhebung wurden die Anforderungen des Datenschutzes beachtet.

Die Auswertungen des Fahrverhaltens der Linksabbieger anhand des Videomaterials umfassen:

- 1) Das Orientierungsverhalten im Einfahrtbereich in Form
 - möglichen frühzeitigen Verzögerns vor Erreichen der Warteposition,
 - möglicher Beeinflussung durch vorausfahrende Fahrzeuge,
 - des Ortes, an dem der Linksabbieger vom durchgehenden Fahrstreifen in den Linksabbiegefahrstreifen wechselt (auch: Einscherverhalten) und
 - der Einfahrtgeschwindigkeit (Geschwindigkeit im Bereich der Verziehungsstrecke des Linksabbiegestreifens).
- 2) Das Abbiegeverhalten in Form
 - möglicher Beeinflussung durch entgegenkommende Fahrzeuge,
 - der Warteposition in Bezug zur Halte- bzw. Wartelinie,

¹ Die Anforderungen des Datenschutzes wurden beachtet

² Kamera mit einem Scheinwerfer im Nah-Infrarot-Bereich, dessen Licht für das menschliche Auge nicht sichtbar ist.

- des Anhaltens bzw. Lenkkorrekturen beim Linksabbiegen und
- ggf. falschen Linksabbiegens in die Ausfahrtöffnung.

Im Zusammenhang mit der Einschätzung eines unbeeinflussten Fahrverhaltens unterscheiden sich die dafür maßgeblichen Bedingungen zwischen der Phase der Orientierung zu denen in der Phase des Abbiegens.

Für das Orientierungsverhalten des Linksabbiegers ist maßgeblich, dass vorausfahrende Fahrzeuge nicht das Orientierungsverhalten des Linksabbiegers beeinflussen (freifahrender Linksabbieger). Hierfür wurden Fahrzeuge als freifahrend eingestuft, die eine Zeitlücke von 20 s zum zuvor eingefahrenen Fahrzeug aufwiesen.

Für das Abbiegeverhalten ist maßgeblich, dass vorausfahrende und entgegenkommende Fahrzeuge bzw. Schaltzustände des Signalgebers nicht das Abbiegeverhalten des Linksabbiegers beeinflussen (unbeeinflusste Linksabbieger). Deren Kriterium zur Bestimmung beeinflusster Abbiegevorgänge wird in Kapitel 5.2.3 beschrieben.

Lenkkorrekturen wurden von den Beobachtern vor Ort notiert, wenn der Linksabbiegevorgang nicht in einem Zug durchgeführt wurde, sondern, um in die richtige Öffnung einzufahren, ein Bruch in der Fahrlinie zu erkennen war.

5.2.1 Erhebungen durch die Beobachter

Parallel zur Videoaufzeichnung werden von den Beobachtern vor Ort fahrer- und fahrzeugspezifische Daten sowie situationsbezeichnende Merkmale erhoben. Durch die Überlagerung der Informationen aus den Video- und Beobachtungsdaten entsteht ein vollständiger Datensatz für die Auswertung. Zu den vor Ort von den Beobachtern erhobenen Daten zählen:

- Einfahrzeit in den Linksabbiegestreifen,
- Warteposition in Bezug zur Halte- bzw. Wartelinie,
- vorzeitiges Überfahren der linken Fahrstreifenbegrenzung des Linksabbiegestreifens,
- deutliche Lenkkorrekturen beim Abbiegen,
- Geschlecht,
- ungefähres Alter (< 30 Jahre, 30-60 Jahre, > 60 Jahre),

- Verwendung einer Sehhilfe (Brille),
- ggf. Signalgeberzeichen bei Annäherung an die AS,
- Fahrtrichtungsanzeiger (Blinken),
- Einfahrgeschwindigkeit (mittels Radarpistole),
- Herkunft (über Ortskennung des Kfz-Kennzeichens).³

Weiterhin wurden die Witterungsverhältnisse und die Erkennbarkeit der wegweisenden Beschilderung (subjektive Einschätzung der Reflexionseigenschaft bei Dunkelheit) bei jeder Messung erhoben.

Die kombinierten Beobachtung vor Ort und die Videobeobachtungen erfolgen an den 16 Knotenpunkten über einen Zeitraum von 2 Stunden bei Tag und 2 Stunden bei Nacht. SCARAMUZZA & CAVEGN (2006), COONER (2004) und SWOV (2009) weisen darauf hin, dass sich die Hälfte aller Unfälle durch Falschfahrer während der Dunkelheit ereignet. Durch die Nachterhebungen wird gewährleistet, dass auch verkehrsschwache Zeiten berücksichtigt werden, in denen häufiger Fehler beim Linksabbiegen an AS erwartet werden.

5.2.2 Orientierungsverhalten

Anhand der Auswertung des Orientierungsverhaltens wird die These untersucht, ob es aufgrund schlechter Vororientierung an den AS zu auffälligem Fahrverhalten beim Abbiegen kommt.

Die Orientierung bei der Annäherung an den Knotenpunkt wird durch das Einscherverhalten der Linksabbieger in den Linksabbiegestreifen beurteilt. Ein frühes Einordnen in den Linksabbiegestreifen gilt dabei als Indikator für eine begreifbare Beschilderung und Knotenpunktgestaltung.

Zu diesem Zweck wird der Linksabbiegestreifen in fünf gleichlange Segmente zu jeweils 20 % der Länge des Linksabbiegestreifens eingeteilt (siehe Bild 16).⁴ Für jeden Linksabbieger wird für das rechte und linke Vorderrad sowie für die Fahrzeug-

³ Die Herkunft ergibt sich aus der Lage der AS zu den Kennzeichenbereichen. Liegt eine AS an der Grenze zu einem anderen Kennzeichenbereich, werden als „heimisch“ beide Kennzeichenbereiche zugelassen.

⁴ Um eine Vergleichbarkeit zwischen den unterschiedlichen Linksabbiegestreifen der Untersuchungsanschlusstellen bezüglich ihrer Länge und Geschwindigkeitsniveaus herzustellen, wurde anstelle statischer Längen eine relative Einteilung des Abbiegestreifens gewählt.

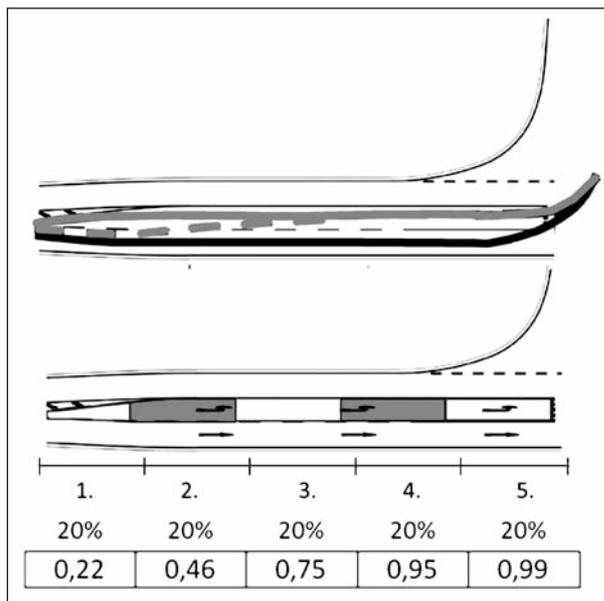


Bild 16: Einscherverhalten in den Linksabbiegerstreifen und Summenhäufigkeit (Beispiel)

mitte das Segment aufgenommen, in dem in den Linksabbiegerstreifen gewechselt wird.

Bild 16 zeigt drei mögliche Verhaltensweisen beim Wechseln in den Linksabbiegerstreifen. Die obere Linie zeigt einen Fahrtverlauf, bei dem zum frühestmöglichen Zeitpunkt in den Linksabbiegerstreifen eingefahren wird. Dagegen stellt die unterste Linie einen Fahrtverlauf dar, bei dem der letztmögliche Punkt zum Linksabbiegen genutzt wurde. Das durchschnittliche Verhalten beim Linksabbiegen stellt die gestrichelte Linie dar.

Für jedes Segment wird der Anteil eingeschertter Fahrzeuge ermittelt (Summenhäufigkeit). Dabei werden nur freifahrende Linksabbieger berücksichtigt.⁵ Je höher der Anteil der bereits im ersten Segment eingefahrenen Linksabbieger ist, desto eher kann davon ausgegangen werden, dass die Verkehrsführung für den Verkehrsteilnehmer verständlich ist.

Neben der Einscherverposition wird im Bereich der Verziehungsstrecke des Linksabbiegerstreifens die Geschwindigkeit der Linksabbieger mittels eines Radarmessgeräts erfasst. Die so ermittelten Geschwindigkeiten (Einfahrtsgeschwindigkeiten) werden als weitere Kenngröße zur Beurteilung des Orientierungsverhaltens herangezogen (siehe Kapitel 6.2).

5.2.3 Abbiegeverhalten

Als Kriterium zur Bewertung des Abbiegeverhaltens wird u. a. die Abbiegegeschwindigkeit genutzt. Hierzu werden die Zeitstempel beim Überfahren der

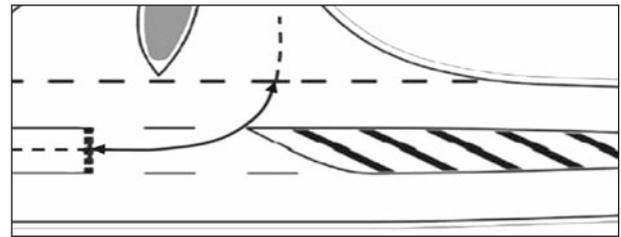


Bild 17: Strecke zur Ermittlung der Abbiegegeschwindigkeit

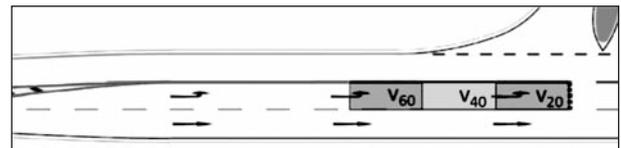


Bild 18: Geschwindigkeitsverhaltens bei der Annäherung an die Halte- bzw. Wartelinie (Beispiel)

Halte- bzw. Wartelinie und der äußeren rechten Leitlinie des Geradeausfahrstreifens der Gegenrichtung genutzt. Über den Weg-Zeit-Zusammenhang wird die Abbiegegeschwindigkeit der Linksabbieger berechnet (siehe Bild 17). Im Kapitel 6.3 wird erläutert, ob Ausprägungen der Abbiegegeschwindigkeiten Anzeichen für ein sicheres Linksabbiegen sind.

Nach dem Einfahren in den Linksabbiegerstreifen wird als nächste Orientierungsphase die Annäherung an die Warte- bzw. Haltlinie untersucht. Dabei beeinflussen die Schaltzustände des Signalgebers an AS mit LSA sowie die mögliche Anwesenheit/Annäherung von Gegenverkehr an AS ohne LSA und an AS mit LSA ohne eigene Linksabbiegephase die Geschwindigkeit bei der Annäherung an die Halte- bzw. Wartelinie. Über eine weitere Einteilung der letzten 60 m vor der Halte- bzw. Wartelinie in 20-m-Segmente und der zum Durchfahren dieser Segmente benötigten Zeit wird der Geschwindigkeitsverlauf 60 m vor der Halte- bzw. Wartelinie (v_{60}) bis zum Erreichen der Halte- bzw. Wartelinie bestimmt.⁶ In gleicher Weise wird für die letzten 40 m und 20 m vor der Halte- bzw. Wartelinie (v_{40} und v_{20}) verfahren – siehe Bild 18. Ge-

⁵ Für folgende Fahrzeuge ist eine Orientierung am Fahrverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs nicht auszuschließen. Deshalb darf vom Fahrer des nachfolgenden Fahrzeugs das Einscherverhalten des vorausfahrenden Fahrzeugs nicht beobachtbar gewesen sein. In dieser Gruppe sind demnach auch Fahrzeuge enthalten, die aufgrund des bevorrechtigten Gegenverkehrs mit veränderter Geschwindigkeitswahl einfahren.

⁶ Da der Geschwindigkeitsverlauf unmittelbar vor dem Abbiegen untersucht werden soll, kann aufgrund der zum Teil recht langen Linksabbiegerstreifen nicht auf die prozentuale Segmenteneinteilung, die zur Auswertung des Einscherverhaltens verwendet wird, zurückgegriffen werden.

prüft wird, ob eine deutliche Geschwindigkeitsänderung in einem dieser Segmente ein Indiz für eine fehlerhafte Einschätzung in der Orientierungsphase sein könnte.

Um die Abbiegegeschwindigkeiten richtig interpretieren zu können, muss der Grad der Beeinflussung durch den Gegenverkehr ermittelt werden. Hierfür werden auf der gemeinsamen Konfliktfläche des Linksabbiegers mit dem entgegenkommenden Geradeausfahrer die Ankunftszeitpunkte des Linksabbiegers sowie des vor und des nach dem Linksabbieger die Konfliktfläche befahrenden entgegenkommenden Geradeausfahrers aufgenommen – siehe Bild 19. Es wird eine zeitliche Differenz zwischen Linksabbieger und entgegenkommenden Geradeausfahrer von 20 s oder mehr gewählt, sodass mit einer hoher Wahrscheinlichkeit von einem unbeeinflussten Abbiegevorgang ausgegangen werden kann.

Liegt der zeitliche Abstand zwischen dem Linksabbieger und dem entgegenkommenden Geradeausverkehr unter 20 s, wird eine mögliche Beeinflussung des Linksabbiegers durch folgendes Vorgehen bestimmt – siehe Bild 19 und Tabelle 3:

- Aus den Fahrvorgängen der unbeeinflussten Abbieger wird die mittlere Befahrungszeit $t_{m,60}$, $t_{m,40}$ bzw. $t_{m,20}$ für die letzten 60 m, 40 m bzw. 20 m vor der Halte- bzw. Wartelinie ermittelt.
- Zur Überprüfung der möglichen Beeinflussung von Linksabbiegern, bei denen der zeitliche Abstand zum Gegenverkehr auf der Konfliktfläche unter 20 s beträgt, werden die realen Befahrungszeiten dieser Linksabbieger auf den letzten 60 m, 40 m bzw. 20 m vor der Halte- bzw. Wartelinie mit den mittlere Befahrungszeiten $t_{m,60}$, $t_{m,40}$ bzw. $t_{m,20}$ der unbeeinflussten Fahrzeuge verglichen. Tritt eine Unterschreitung der unbeeinflussten Befahrungszeiten durch die Linksabbieger auf, ist von einer Beeinflussung auszugehen.

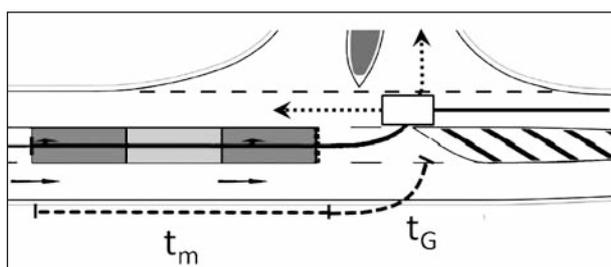


Bild 19: Analyse möglicher Beeinflussungen durch den Gegenverkehr

- Die tatsächliche Einschätzung der Beeinflussung ergibt sich aus der Gegenüberstellung der unbeeinflussten und realen Befahrungszeiten der einzelnen 60-m-, 40-m- und 20-m-Segmente. In Tabelle 3 ist das Vorgehen anhand von 4 Fallbeispielen erläutert.

Der Fall I beschreibt eine unbeeinflusste Fahrt des Linksabbiegers. In keinem Befahrungssegment kommt es zu einer Unterschreitung der unbeeinflussten Befahrungszeit.

Der Fall II beschreibt eine vollständig beeinflusste Fahrt bis zur Halte- bzw. Wartelinie. In diesem Fall wird der Linksabbieger seine Geschwindigkeit abmindern, um nach dem entgegenkommenden Geradeausfahrer abzubiegen. Dabei kann es bis zum Halt des Linksabbiegers am Knotenpunkt kommen.

Fall III beschreibt einen Vorgang, bei dem der Linksabbieger (obwohl er die unbeeinflusste Befahrungszeit in den ersten zwei Segmenten nicht unterschreitet) seine Geschwindigkeit reduziert, um nach dem entgegenkommenden Geradeausfahrer abzubiegen.

Beschleunigt der beeinflusste Linksabbieger seine Geschwindigkeit, um noch vor dem entgegenkommenden Geradeausfahrer abzubiegen, entspricht das dem Fall IV.

In den Fällen II bis IV wird somit von einer Beeinflussung des Abbiegevorgangs des Linksabbiegers ausgegangen. Zur Auswertung des Abbiegeverhaltens werden nur unbeeinflusste Linksabbieger betrachtet.

Für unbeeinflusste Linksabbieger wird vor Ort und bei den Videoauswertungen weiterhin erfasst, ob beim Abbiegen ruckartige Lenkbewegungen oder Haltevorgänge im Knotenpunktbereich auftraten. Solche Verhaltensweisen wurden als Lenkkorrekturen definiert und können als Indikator für Probleme

	60 m	40 m	20 m	0 m	erstes Fahrzeug
Fall I	o	o	o	o	LA
Fall II	x	x	x	x	GA
Fall III	o	o	x	x	GA
Fall IV	x	o	o	o	LA

x = Unterschreitung der unbeeinflussten Befahrungszeit
o = keine Unterschreitung der unbeeinflussten Befahrungszeit

Tab. 3: Fallbeispiele zur Bestimmung der Beeinflussung

beim Abbiegevorgang, also beim Einfahren in die Einfahrtrampe der AS, angesehen werden.

5.3 Probandenversuche im Fahrsimulator

5.3.1 Versuchsziel

Ziel der Versuche im Fahrsimulator ist es, die durchgeführten Beobachtungen zu ergänzen. Dies ist dort angebracht, wo die verkehrlichen Randbedingungen (einschließlich Fahrereigenschaften) und Umgebungsparameter (Tageszeit, Wetter) im Simulator gegenüber der Realität effizienter beeinflussbar sind. Die Versuche im Fahrsimulator dienen vor allem zur Klärung von Fragestellungen, die mittels der durchgeführten Beobachtungen an den AS nicht ausreichend genau beantwortet werden konnten (z. B. Blickverhalten, weitere Markierungsvarianten).

Für ausgewählte Maßnahmen gegen Falschfahrten wird im Simulator überprüft, inwieweit gruppenbezogene Ausprägungen bzw. Unterschiede bzgl. des objektiven Fahrverhaltens und der subjektiven Fahrerempfindungen auftreten. Dabei wird besonders der Einfluss des Fahreralters betrachtet.

5.3.2 Versuchsaufbau

Eine Kurzbeschreibung des Simulators ist im Anhang 4 beigefügt.

5.3.3 Untersuchungsvarianten

Im Simulator werden 8 Untersuchungsvarianten mit unterschiedlichen Maßnahmenkombinationen untersucht. Im Vordergrund steht dabei der Vergleich definierter Kombinationen ausgewählter Elemente von Maßnahmenpaketen zueinander (vgl. Maßnahmenvorschläge [1] in Kapitel 3.8.2 und Markierungsvarianten (1) bis (5) in Kapitel 3.8.2, die im Rahmen der empirischen Untersuchungen an den Pilotanschlussstellen nur als komplette Maßnahmenpakete betrachtet werden konnten. Die Untersuchungsvarianten werden im Fahrsimulator so umgesetzt, dass sie in flexibel definierbaren Abfolgen (Permutationen) durchfahren werden können (siehe Kapitel 5.3.4). Hierzu wurden die AS nach genauen Projektvorgaben und geltenden Vorschriften speziell für den Fahrsimulator erstellt.

5.3.4 Methodische Vorgehensweise

Im Fahrsimulator können flexibel verschiedene Landschafts-, Bbauungs- und Straßenvisualisierungen erzeugt werden. Es stehen veränderbare Autobahn-, Landstraßen- und innerstädtische Umgebungen zur Verfügung.

Die Versuchsperson kann durch variierende Routenwahl im Versuchsterrain unterschiedliche Untersuchungsvarianten durchfahren (Bild 20). Jede im Fahrsimulator befahrbare AS entspricht dabei einer Untersuchungsvariante. Zusammen mit der Unterscheidung nach Knotenpunkten mit/ohne LSA und den Maßnahmenkombinationen ergeben sich 8 Untersuchungsvarianten. Der Versuchsleiter navigiert die Versuchsperson entsprechend in der Umgebung und realisiert so den Versuchsplan.

In Tabelle 4 und Tabelle 5 sind die Untersuchungsvarianten und deren Unterscheidung untereinander in Form von Luftbildern, Fahrerperspektiven und der Beschreibung der wesentlichen Unterscheidungsmerkmale zusammengefasst.⁷ Die Variante „nach RMS“ beschreibt dabei die Markierung nach den aktuell geltenden Regelwerken RAL (2012) und RMS (FGSV, 1993 sowie FGSV, 1980).

Im Rahmen der Untersuchung wurde eine optimierte Lage und eine Verkürzung des Linksabbiegepfeils im Hinblick auf die geringere Abnutzung durch den Linksabbieger aus der Ausfahrtrampe der Autobahn diskutiert. Im Ergebnis wurde aber auf eine Verkürzung des Linksabbiegepfeils verzichtet, da Sicherheitsaspekte Vorrang vor dem erhöhtem Unterhaltsaufwand haben sollten.

Bei früheren Untersuchungen wurde gezeigt, dass eine Simulatorfahrt nicht länger als ca. 30 min

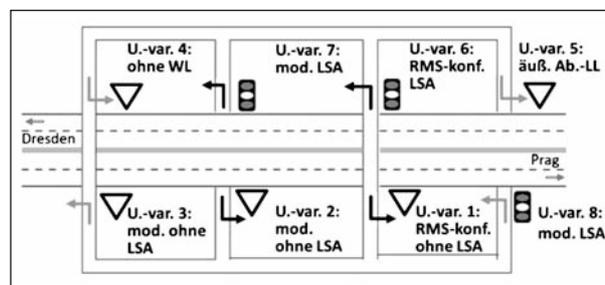


Bild 20: Systematik des Versuchsaufbaus: Beispiel einer Fahrt

⁷ Im Anhang 5 ist eine tabellarische Zusammenstellung der Gestaltungsmerkmale der acht Untersuchungsvarianten beigefügt.

Variante 1 „nach RMS ohne LSA“	
- Markierung gemäß RMS (1980)	
Variante 2 „modifiziert ohne LSA“	
neue Markierungsvariante: - versetzte Wartelinie - zusätzlicher Richtungspfeil hinter der Wartelinie - innere Abbiegeleitlinie - Richtungspfeil am Beginn der Einfahrtrampe - Zeichen 296 StVO vor der wartepflichtigen Zufahrt - Zeichen 222 und 267 StVO eingedreht	
Variante 3 „modifiziert + ohne LSA“	
wie Variante 2 „modifiziert ohne LSA“, aber: - Breitstrich vor der wartepflichtigen Zufahrt (als Sonderform des Zeichens 296 StVO) - Rechts-/Linkspfeil in der wartepflichtigen Zufahrt - ohne Richtungspfeil in der Einfahrtrampe - Zeichen 222 ergänzt durch Leitplatte (Zeichen 626 StVO)	
Variante 4 „ohne Wartelinie ohne LSA“	
wie Variante 3 „modifiziert + ohne LSA“, aber: - ohne Warte- und Abbiegeleitlinie	
Variante 5 „äußere Abbiegeleitlinie ohne LSA“	
wie Variante 3 „modifiziert + ohne LSA“, aber:	

Tab. 4: Gestaltungsmerkmale der Varianten für den Fahrsimulator für AS ohne LSA

Variante 6 „nach RMS mit LSA“	
Markierung nach RMS, aber: - Zeichen 222 ergänzt durch Leitplatte (Zeichen 626 StVO)	
Variante 7 „modifiziert mit LSA“	
neue Markierungsvariante: - Zusätzlicher Richtungspfeil hinter der Wartelinie - innere Abbiegeleitlinie - Richtungspfeil am Beginn der Einfahrt - Breitstrich vor der Ausfahrtrampe der BAB (als Sonderform des Zeichens 296 StVO) - Fahrstreifenbegrenzung bis zum Beginn der inneren Abbiegeleitlinie als linke Begrenzung des Linksabbiegestreifens - ohne versetzte Haltlinie - Zeichen 222 ergänzt durch Leitplatte (Zeichen 626 StVO)	
Variante 8 „modifiziert + mit LSA“	
wie Variante 7 „modifiziert mit LSA“, aber: - versetzte Haltlinie - versetzter Signalgeberstandort (auch des Wiederholungssignals)	

Tab. 5: Gestaltungsmerkmale der Untersuchungsvarianten für den Fahrsimulator für AS mit LSA

dauern sollte. Somit können nach einer einführenden Gewöhnungsphase von 10 min während einer 20-minütigen Fahrt von der Versuchsperson somit 4 Untersuchungsvarianten á 5 Minuten durchfahren werden. In Tabelle 6 ist der Versuchsablauf für eine Versuchsperson skizziert. Die in der ersten Fahrt durchfahrenen Varianten werden nach einer Pause in umgekehrter Reihenfolge noch einmal durchfahren (siehe Tabelle 6).

Um Reihenfolgeeffekte weitgehend auszuschalten, wird ein Versuchsplan in Anlehnung an die Methode „lateinisches Quadrat“ entworfen. Ziel dabei ist, dass alle Untersuchungsvarianten gleich häufig als 1., 2., 3. oder 4. Situation durchfahren werden. Tabelle 7 zeigt den so erstellten Versuchsplan.

Dauer	1. Fahrt	2. Fahrt
10 min.	Gewöhnung	Pause
20 min.	Variante A	Variante D
	Variante B	Variante C
	Variante C	Variante B
	Variante D	Variante A

Tab. 6: Versuchsablauf (pro Versuchsperson)

		Untersuchungsvariante							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Situationsgruppe	1	B	D				A	C	
	2	A			C	D	B		
	3		A	C				B	D
	4			A	D	C			B
	5	C			A	B	D		
	6		B	D				A	C
	7	D		B			C		A
	8		C		B	A		D	

Tab. 7: Versuchsplan

Jede Situationsgruppe besteht aus 6 Versuchspersonen (entsprechend den 6 Altersgruppen, siehe Tabelle 10). Jede Untersuchungsvariante wird von 24 Versuchspersonen je zweimal durchfahren, zuerst in einem ersten Fahrtabschnitt und dann in einem zweiten Fahrtabschnitt als Messwiederholung. Jede Untersuchungsvariante wird somit von jeweils 6 Versuchspersonen einmal als 1. und 8., einmal als 2. und 7., einmal als 3. und 6. und einmal als 4. und 5. in der Variantenabfolge durchfahren. Da jede Untersuchungsvariante von 24 Personen durchfahren wird und eine Versuchsperson jeweils 4 Untersuchungsvarianten absolviert, werden für die 8 Untersuchungsvarianten insgesamt 48 Versuchspersonen eingesetzt.

Hieraus ergibt sich die in Tabelle 8 gezeigte Verteilung der Untersuchungsvarianten. T1 bis T8 bezeichnet darin die Position in der zeitlichen Abfolge, in der eine Untersuchungsvariante durchfahren wird.

5.3.5 Datenerhebung und Auswertung

Während der Simulatorfahrt werden die folgenden Fahrparameter aufgezeichnet und in Protokolldateien abgespeichert:

Untersuchungsvariante	zeitliche Abfolge								Summe
	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	
	A	B	C	D	D	C	B	A	
1	6	6	6	6	6	6	6	6	48
2	6	6	6	6	6	6	6	6	48
3	6	6	6	6	6	6	6	6	48
4	6	6	6	6	6	6	6	6	48
5	6	6	6	6	6	6	6	6	48
6	6	6	6	6	6	6	6	6	48
7	6	6	6	6	6	6	6	6	48
8	6	6	6	6	6	6	6	6	48
Gesamt	48	48	48	48	48	48	48	48	384

Tab. 8: Verteilung der Untersuchungsvarianten

Irrtumswahrscheinlichkeit p	Untersuchungsvariante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Untersuchungsvariante	1	1,00	0,05	0,02	0,41	0,04			
	2		1,00	0,59	0,44	0,68			
	3			1,00	0,26	0,94			
	4				1,00	0,33			
	5					1,00			
	6						1,00	0,20	0,01
	7							1,00	0,04
	8								1,00
<p>p > 0,05: kein signifikanter Unterschied</p> <p>p <= 0,05: signifikanter Unterschied auf dem 5%-Signifikanzniveau</p> <p>p <= 0,01: signifikanter Unterschied auf dem 1%-Signifikanzniveau</p>									

Tab. 9: Signifikanzmatrix der Geschwindigkeitsmittelwerte am Abbiegepunkt

- Fahrzeugposition (zeitlich, örtlich), Fahrzeuggeschwindigkeit und -beschleunigung,
- Fahrer-Fahrzeug-Interaktionen: Beschleunigen, Verzögern, Lenken, Blinken,
- Blickregistrierung,
- Geschwindigkeiten an definierten Messpunkten.

Um die statistische Signifikanz von Unterschieden in den Messungen von abhängigen Variablen (Einscherpunkte, Abbiegepunkte und Geschwindigkeit an definierten Messpunkten) bei den verschiedenen Untersuchungsvarianten zu überprüfen,

werden paarweise t-Tests durchgeführt. Die so ermittelten Irrtumswahrscheinlichkeiten werden in „Signifikanzmatrizen“ eingetragen. Es werden nur Untersuchungsvarianten untereinander verglichen, die entweder mit oder ohne LSA geregelt sind. Tabelle 9 zeigt ein Beispiel.

Situationsparameter

Die Situationsparameter dienen dazu, unbeeinflusstes von beeinflusstem Fahrverhalten zu unterscheiden. Als relevanter Situationsparameter wird bei den Untersuchungsvarianten ohne LSA (1 bis 5) berücksichtigt, ob der Abbiegevorgang ohne oder mit Gegenverkehr stattfand. Als „mit Gegenverkehr“ wird dieser eingestuft, wenn der Fahrer aufgrund eines entgegenkommenden Fahrzeugs anhalten oder die Geschwindigkeit deutlich reduzieren muss.

Bei den Untersuchungsvarianten mit LSA wird unterschieden, ob der Fahrer aufgrund eines roten Signalbildes anhalten muss oder unmittelbar bei Grün abbiegen kann. Der Gegenverkehr und die LSA-Regelung werden in den Simulationen in Abhängigkeit des Eigenfahrzeuges getriggert. D. h. durchfährt die Versuchsperson einen festen Punkt wird das entgegenkommende Fahrzeug gestartet bzw. die LSA-Regelung aktiviert. Die jeweiligen Punkte zur Auslösung wurden im Voraus für jede Untersuchungsvariante manuell ermittelt.

Versuchspersonen

Die Auswahl der Versuchspersonen erfolgt unter dem Gesichtspunkt der Repräsentativität (männlich vs. weiblich, jung vs. alt, wenig vs. viel Fahrerfah-

		Versuchspersonen								
		Gesamt	Geschlecht		Altersgruppe					
			m	w	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	>65
Situationsgruppe	1	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	2	6	3	3	w	m	w	m	w	m
	3	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	4	6	3	3	w	m	w	m	w	m
	5	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	6	6	3	3	w	m	w	m	w	m
	7	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	8	6	3	3	w	m	w	m	w	m
Summe		48	24	24	6	6	6	6	6	6

Tab. 10: Versuchspersonenzusammensetzung

rung) der Autofahrerpopulation in der EU unter besonderer Berücksichtigung von Risikogruppen (ältere Personen, Personen mit wenig Fahrerfahrung). Daraus ergibt sich die in Tabelle 10 dargestellte (ideale) Zusammensetzung an Versuchspersonen.

Fahrzeugposition und Fahrer-Fahrzeug-Interaktion

Die Fahrlinien werden jeweils in das (transformierte) x/y-Koordinatensystem der Versuchsumgebung eingezeichnet. Die Geschwindigkeitsverläufe sind jeweils über die zurückgelegte Fahrtstrecke bei Annäherung an die Anschlussstelle aufgetragen, wobei als Nullpunkt die Spitze des Fahrbahnteilers (Tropfenspitze) definiert wird – siehe Bild 21.

Des Weiteren werden Einscher- und Abbiegepunkte sowie zusätzliche Geschwindigkeitsmesspunkte definiert. In Bild 22 ist die Definition der Einscher- und Abbiegepunkte veranschaulicht. Sie werden jeweils als (horizontale) Entfernung vom Referenzpunkt (Tropfenspitze) auf der x-Achse des Koordinatensystems dargestellt. Als Einscherpunkt wird der Punkt bezeichnet, an dem die Fahrlinie die rechte Begrenzungslinie des Linksabbiegestreifens schneidet. Als Abbiegepunkt wird der Punkt definiert, an dem die Fahrlinie die linke Begrenzungslinie des Linksabbiegestreifens schneidet und das Testfahrzeug auf die Gegenfahrbahn fährt, um die Einfahrtöffnung anzusteuern.

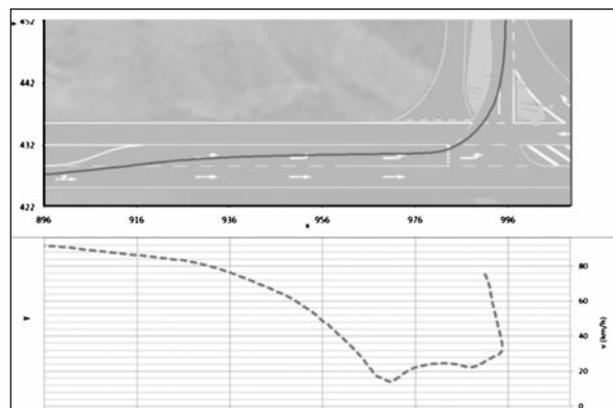


Bild 21: Fahrlinien und Geschwindigkeitsverlauf (Beispiel)

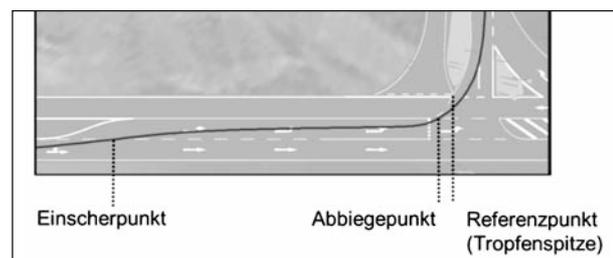


Bild 22: Lage der Einscher- und Abbiegepunkte

Die Einscher- und Abbiegepunkte werden anschließend in den grafischen Darstellungen der Fahrlinien manuell vermessen.

Durch den Vergleich der Einscher- und Abbiegepunkte bzw. der Abbiegegeschwindigkeiten (siehe Bild 22) mit dem realen Fahrverhalten vor Ort wird zunächst geprüft, ob die Ergebnisse des Fahr-simulators repräsentativ sind. Dafür werden:

- die Einscherpunkte den Einscherabschnitten zugeteilt,⁸
- die Abbiegepunkte nach ihrer Lage vor bzw. hinter der Warte- bzw. Haltlinie zugeordnet,
- die Geschwindigkeiten an den Geschwindigkeitsmesspunkten im Knotenpunkt verglichen

und den Ergebnissen der empirischen Untersuchung gegenübergestellt.

Geschwindigkeitsquerschnitte an definierten Messpunkten

Um einen systematischen Vergleich des Geschwindigkeitsverhaltens beim Annähern an die Einmündung und beim Durchfahren zwischen den verschiedenen Untersuchungsvarianten zu ermöglichen, werden zusätzliche Messpunkte definiert (siehe Bild 23). An diesen Messpunkten wird für alle Untersuchungsvarianten jeweils die mittlere Geschwindigkeit differenziert für die betrachteten Versuchspersonengruppen erhoben und ausgewertet.

Blickverhalten

Ergänzend zur Analyse des Fahrverhaltens wird das Blickverhalten (Blickorte, Fixationsdauern) der Versuchspersonen erfasst.

Das Simulatorfahrzeug ist mit dem Blickregistrierungssystem faceLAB des Unternehmens Seeing Machines ausgestattet, das ein berührungsloses Erfassen der Kopf- und Blickbewegungen des Fahrers ermöglicht. Zur Zuordnung der mit faceLAB erfassten Blickdaten zu Objekten in der Umwelt, die als x/y-Koordinaten vorliegen, muss ein sogenanntes World Model erstellt werden. Anhand von Gesichtsmarkern (z. B. Position und Form von

Augen, Nase, Mund) wird dann ein Blickvektor für die Kopfrichtung ermittelt. Die Augenbewegungen werden durch Erfassung von Augenmerkmalen (Pupillenlage und -form etc.) im Bezug zu den Gesichtsmarkern registriert. Die Kalibrierung für die Erfassung der Augenbewegungen ist aufwändiger und der Messvorgang störungsanfälliger als für die Erfassung der Kopfbewegungen allein.

Mithilfe einer zusätzlichen Elektronik kann im Fahr-simulator der ermittelte Blickpunkt der Kopf- und Augenbewegungen in die reale Szene eingeblendet und mit dieser zusammen als Videoszene aufgezeichnet werden. Aus technischen Gründen war die Kalibrierung für die Erfassung der feinen Augenbewegungen und für deren Einblendung in die auf der großen Leinwand dargebotene Fahr-szene sehr stör-anfällig und sehr ungenau. Es wurde deshalb in den Simulatortests nur der „Blickort“ mit aufgezeichnet (siehe Bild 24). Als „Blickort“ versteht sich der zur Gesichtsfläche orthogonale Vektor dessen Durchstoßpunkt auf der sphärischen Leinwand (grüner Punkt) aufgezeichnet wird.

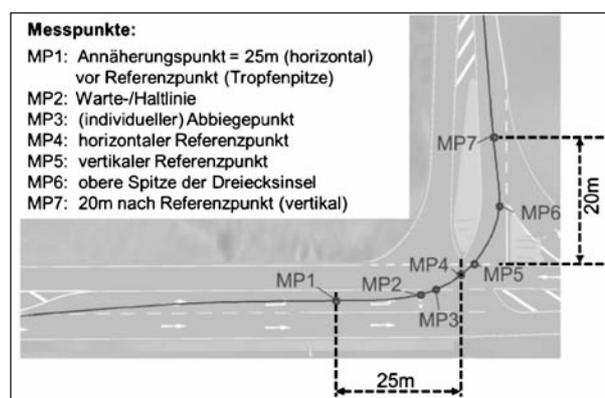


Bild 23: Geschwindigkeitsmesspunkte



Bild 24: Fahrsicht mit überlagerter Blickerfassung (auf Gegenfahrbahn)

⁸ Bei den empirischen Untersuchungen wird das Einbiegen in den Linksabbiegestreifen anhand des linken Reifens ermittelt, wohingegen in den Simulatorstudien der Schwerpunkt des Fahrzeugs genutzt wird.



Bild 25: Bereiche der Blickverteilung

Wie alle Blickregistrierungsgeräte weist faceLAB einen Messfehler auf, der in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen zwischen ± 2 bis 5 Grad liegt. Dieser Messfehler gilt im aktuellen Anwendungsfall ebenfalls für den „Blickort“. Diese Abweichungen sind bei kurzen Entfernungen zwischen Betrachter und Objekt weniger kritisch als bei großen Entfernungen. So führt eine Abweichung von ± 3 Grad bei einer Entfernung von 50 m zu einem Fehlerkreis mit 5 m Durchmesser, in 150 m Entfernung bereits zu einem Fehlerkreis von ca. 15 m. Diese Einflüsse sind bei Auswertansätzen zur Ermittlung quantitativer Aussagen über Blickorte und Blickdauern zu berücksichtigen.

Dieses Blickverhalten wird für jeden Probanden mittels manueller Videoauswertung untersucht. Wird im Video ein definierter Szenenbereich (z. B. Markierungspfeil auf einem Fahrstreifen) vom Blickvektor überstrichen, so wird in einer Tabelle markiert, dass die Versuchsperson diesen Bereich „im Blick“ gehabt hat. Auf diese Weise entsteht eine Tabelle, aus der die Anzahl der Versuchspersonen entnommen werden kann, die in diesen Bereich geblickt haben. Der prozentuale Anteil aller Versuchspersonen, welche diese Variante durchfahren und diesen Bereich „im Blick“ hatten, wird dann in eine grafische Darstellung mit den definierten Szenenbereichen eingetragen. In Bild 25 sind die relevanten Szenenbereiche dargestellt.

Vor- und Nachbefragung der Versuchspersonen

Mit jeder Versuchsperson wird vor dem Beginn der Simulatorfahrt anhand eines Fragebogens (Fragebogen A, siehe Anhang 6) ein Einführungsinterview durchgeführt. Dabei werden persönliche Merkmale erhoben (Alter, Fahrerfahrung u. a.). Nach Beendigung der Simulatorfahrt werden in einer Nachbefragung (Fragebogen B, Anhang 7) zunächst die Eindrücke über die Fahrt und die Simulationsumgebung erfragt. Des Weiteren werden die Versuchspersonen um eine Beurteilung der durchfahrenen Untersuchungsvarianten gebeten (auffällige Merkmale, Schwierigkeitsgrad). Hierzu werden den Versuchspersonen Bilder der Untersuchungsvarianten aus Fahrersicht vorgelegt. Der Ablauf einer Sitzung folgt einem festgeschriebenem Testdrehbuch (siehe Anhang 8).

Ablauf der Simulatorfahrt für die Versuchspersonen

Anhand eines Beispiels (Bild 26) wird der Ablauf einer Simulatorfahrt erläutert. Im Beispiel ist die Versuchsperson 36 Jahre alt und weiblich. Im ersten Schritt werden Angaben zur Person und Fahrverhalten im Fragebogen A erhoben.

In Schritt 2 erfolgt die Zuordnung zur Situationsgruppe. Die Versuchsperson wird der Situationsgruppe 2 zugeordnet, da in der Altersklasse 36 bis 48 Jahre die Situationsgruppen 4, 6 und 8 bereits mit weiblichen Versuchspersonen aufgefüllt sind.

Schritt 3 beinhaltet eine Eingewöhnungsfahrt von 10 Minuten bei der die Simulatortauglichkeit geprüft wird. Besteht die Versuchsperson ohne Anzeichen von Unwohlsein oder Übelkeit („Simulator-Sickness“) die Eingewöhnungsfahrt erfolgt die Versuchsdurchführung.

Die Versuchsperson durchfährt infolge ihrer Zuordnung zur Situationsgruppe 2 im Schritt 4 die Untersuchungsvarianten in der Reihenfolge 1 \rightarrow 6 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 6 \rightarrow 1. Während der Simulatorfahrt wird von der Versuchsperson für jede Variante das Orientierungs-, Abbiege und Blickverhalten erhoben. Ein Ausfall der Versuchsperson durch „Simulator-Sickness“ ist auch in diesem Schritt möglich.

Nach der Simulatorfahrt wird die Versuchsperson im abschließenden Fragebogen B zu ihrer subjektiven Wahrnehmung der einzelnen Untersuchungsvarianten befragt.

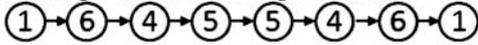
Schritt 1: Ausfüllen des Vorinformationsbogens (Fragebogen A)										
- Fahrerfahrung - Medikamente - etc.										
Schritt 2: Zuordnung zu einer Situationsgruppe (Tabelle 10)										
		Versuchspersonen								
		Ge-samt	Geschlecht		Altersgruppe					
			m	w	18-25	26-35	36-45	46-55	56-65	>65
Situationsgruppe	1	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	2	6	3	3	w	m	w	m	w	m
	3	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	4	6	3	3	w	m	w	m	w	m
	5	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	6	6	3	3	w	m	w	m	w	m
	7	6	3	3	m	w	m	w	m	w
	8	6	3	3	w	m	w	m	w	m
Summe		48	24	24	6	6	6	6	6	6
→ Wahl der Situationsgruppe je nach Auffüllung der Untersuchungsvarianten (Tabelle 10) → Wahl von Situationsgruppe 2										
Schritt 3: 10 Minuten Eingewöhnungsfahrt										
Einschätzung Simulatortauglichkeit										
Schritt 4: Versuchsdurchführung nach lateinischem Quadrat										
		Untersuchungsvariante								
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Situationsgruppe	1	B	D			A	C			
	2	A			C	D	B			
	3		A	C				B	D	
	4			A	D	C			B	
	5	C			A	B	D			
	6		B	D				A	C	
	7	D		B			C		A	
	8		C		B	A		D		
→ Reihenfolge der Untersuchungsvarianten: 										
Schritt 5: Nachbefragung und Subjektive Einschätzung der Situationen										

Bild 26: Ablaufbeispiel einer Simulatorfahrt

6 Ergebnisse der Verkehrserhebungen

6.1 Allgemeines

An den untersuchten Anschlussstellen konnte mittels Videobeobachtungen das Fahrverhalten von 1.822 Linksabbiegevorgängen aufgezeichnet werden. Darunter sind 1.724 freifahrende Einschervorgänge und 1.673 unbeeinflusste Abbiegevorgänge. Je nach Vollständigkeit der Erhebung eines Merkmals (Alter, Lenkkorrekturen, Einschervorgänge, Einschergeschwindigkeiten, etc.) durch die Beobachter variiert die Anzahl der auswertbaren Einscherv- bzw. Abbiegevorgänge.⁹

Die erhobenen Linksabbiegevorgänge verteilen sich nahezu gleichmäßig auf die Anschlussstellen mit RMS-konformer (N = 930) und modifizierter Markierung (N = 892).

Etwa 75 % der unbeeinflussten Linksabbiegevorgänge fanden während der Erhebungen bei Tag statt. Bei diesen konnten in 93 % der Fälle den Fahrzeugführern vor Ort personenbezogene Merkmale (Brille, Alter, Geschlecht, etc.) zugeordnet werden. Bei den Erhebungen bei Dunkelheit konnten den Linksabbiegern aufgrund der schlechteren Sichtbedingungen nur in 73 % der Fälle personenbezogene Merkmale zugeordnet werden.

6.2 Orientierungsverhalten

Im Rahmen der Videoauswertung wurde das Orientierungsverhalten in Form des Einscherverhaltens und der Einfahrgeschwindigkeit in den Linksabbiegefahrestreifen mit der in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Methodik erfasst.

Maßgebend für die Ermittlung des Einschervorganges war dabei der Ort an dem der Linksabbieger die rechte Fahrestreifenbegrenzung des Abbiegestreifens mit seinem linken Vorderrad überfährt. Bei der Auswertung wurden für die erhobenen AS

- der Anteil der Abbieger, die im ersten Einschervorgang nach Bild 16 in den Linksabbiegestreifen eingefahren sind und

⁹ Die Erhebungen aus den Videoaufzeichnungen umfassen ein größeres Kollektiv an Abbiegevorgängen, da während der Vor- und Nachbereitungen der Erhebung durch das Erhebungspersonal im Video Abbiegevorgänge erfasst werden konnten.

- das mittlere Einscherssegment der Linksabbieger, bestimmt.

6.2.1 Betriebsform und Tageszeit

Die Linksabbieger wechseln an den AS mit LSA tendenziell früher vom Hauptfahrstreifen in den Linksabbiegestreifen, als an den AS ohne LSA. Bei Dunkelheit verstärkt sich dieser Effekt weiter (Bild 27).

Obwohl sich die Markierung der Linksabbiegestreifen im Bereich der Verziehungs- und Verzögerungsstrecke bei den modifizierten AS gegenüber den RMS-konformen AS nicht verändert hat, zeigte sich in einer Prüfung, dass an den Anschlussstellen mit RMS-konformer Markierung tendenziell früher in den Abbiegestreifen eingefahren wird.

Keine Unterschiede zwischen AS mit und ohne LSA zeigt die Auswertung des Blinkverhaltens derer, die im ersten Segment in den Linksabbiegerstreifen einfahren. Bei der Differenzierung nach den Lichtverhältnissen und bei der Auswertung für spät eingefahrene Linksabbieger zeigen sich Unterschiede des Blinkverhaltens zu den Ergebnissen in Bild 27. Es sinkt der Anteil der Abbieger die nachts beim Einscheren in den Abbiegestreifen den Fahrtrichtungsanzeiger betätigt haben. Da somit kein Zusammenhang zwischen dem Einscherverhalten und der Nutzung des Fahrtrichtungsanzeigers zu erkennen ist, wird auf eine nähere Auswertung des Orientierungsverhaltens anhand der Nutzung des Fahrtrichtungsanzeigers verzichtet.

Ein Zusammenhang zwischen dem Einscherverhalten und der Länge des Linksabbiegestreifens konnte ebenfalls nicht nachgewiesen werden.

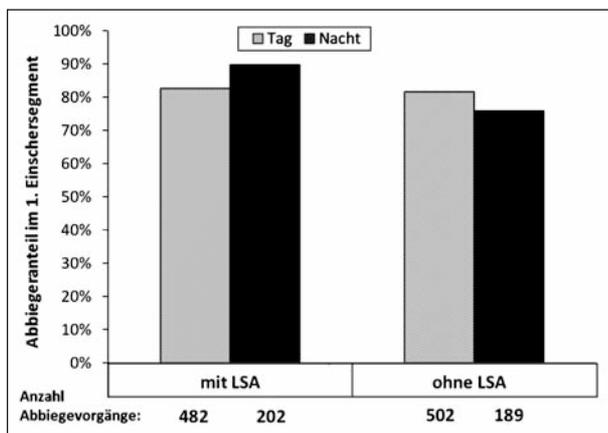


Bild 27: Einscherverhalten in Abhängigkeit von Betriebsform und Tageszeit

6.2.2 Einfahrgeschwindigkeit

Ein Zusammenhang zwischen dem Einscherverhalten und der Einfahrgeschwindigkeit konnte an den untersuchten AS nicht nachgewiesen werden – siehe Bild 28. So variieren die Einfahrgeschwindigkeiten an den einzelnen AS, obwohl an nahezu allen AS die Linksabbieger im Bereich des ersten und zweiten Einscherssegments in den Abbiegestreifen wechseln.

Die differenzierte Analyse der Einfahrgeschwindigkeiten nach dem eingefahrenen Segment des Linksabbiegers zeigte einen Zusammenhang zwischen den beiden Größen (Bild 29). Linksabbieger, die spät in den Linksabbiegerstreifen wechselten, zeigten an AS ohne LSA geringere Einfahrgeschwindigkeiten.

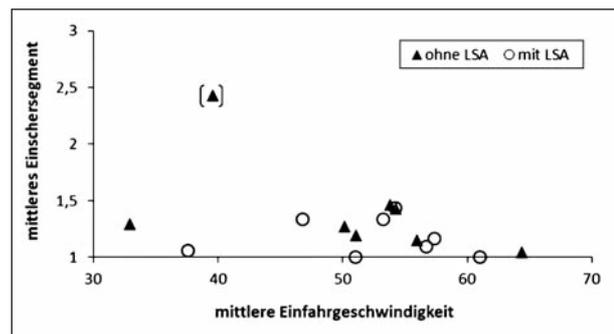


Bild 28: Mittleres Einscherssegment und Einfahrgeschwindigkeiten ($N_{\text{ohne LSA}} = 373$; $N_{\text{LSA}} = 111$)

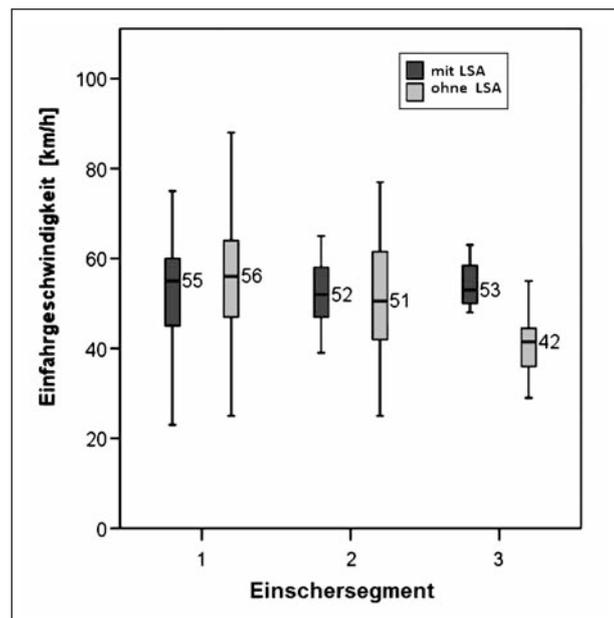


Bild 29: Einfahrgeschwindigkeiten in Abhängigkeit des Einscherssegments ($N_{\text{ohne LSA}} = 373$; $N_{\text{LSA}} = 111$)

6.2.3 Ergebnisse Orientierungsverhalten

Die Ergebnisse der Auswertung des Orientierungsverhaltens an den untersuchten AS lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Die mittlere Einfahrtsgeschwindigkeit steht an AS ohne LSA im Zusammenhang mit dem Einscherverhalten, wenn die Einschersegmente differenziert betrachtet werden.
- Anhand des Einscherverhaltens können jedoch keine Rückschlüsse auf die Orientierung an den AS gezogen werden.

6.3 Abbiegeverhalten

Aus den Videobeobachtungen werden mit der in Kapitel 5.2.3 beschriebenen Methodik die Abbiegegeschwindigkeiten und das Fahrverhalten der Linksabbieger ermittelt. Anhand der erhobenen Daten soll überprüft werden, ob

- hohe Abbiegegeschwindigkeiten sich negativ auf das Abbiegeverhalten an den AS auswirken und durch welche Faktoren die Abbiegegeschwindigkeiten beeinflusst werden (siehe Kapitel 6.3.1),
- die an den erhobenen AS beobachteten Lenkkorrekturen unter Berücksichtigung der übrigen Kenngrößen (Einscherverhalten, Abbiegegeschwindigkeit usw.) Rückschlüsse auf Fehlverhalten begünstigende Einflussgrößen ermöglichen (Kapitel 6.3.2) und ob
- die Akzeptanz der Warte- bzw. Haltlinie im Zusammenhang mit Problemen beim Abbiegen steht (Kapitel 6.3.3).

Dabei werden gemäß den Definitionen in Kapitel 5.2.3 nur unbeeinflusste Abbieger betrachtet.

6.3.1 Abbiegegeschwindigkeit

Die Auswertung zeigt, dass an AS ohne LSA höhere mittlere Abbiegegeschwindigkeiten auftreten als an AS mit LSA (Bild 30). Weitere Unterschiede fallen bei der Unterscheidung hinsichtlich der Markierungsvariante auf. Bei den AS ohne LSA sind die mittleren Abbiegegeschwindigkeiten bei modifizierter Markierung höher als an AS mit RMS-konformer Markierung. An den AS mit LSA sind hingegen nahezu keine Unterschiede in den mittleren Abbiegegeschwindigkeiten zu erkennen.

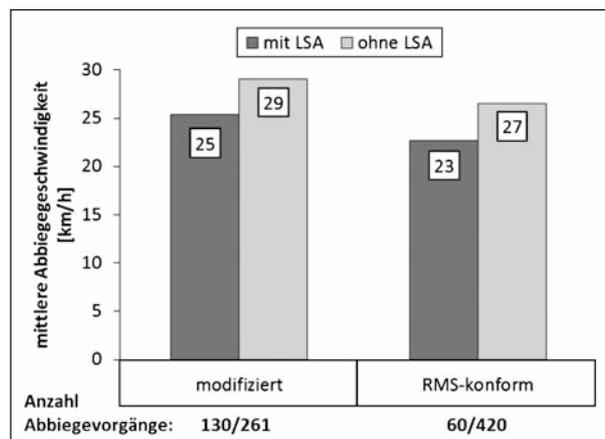


Bild 30: Mittlere Abbiegegeschwindigkeit in Abhängigkeit der Betriebsform und der Markierungsvariante

6.3.2 Lenkkorrektur beim Linksabbiegen

Vor Ort und bei den Videoauswertungen wurde für die Linksabbiegevorgänge erfasst, ob beim Abbiegen deutlich erkennbare Lenkkorrekturen auftraten. Insgesamt konnten diese bei 32 Abbiegevorgängen beobachtet werden, was einem Anteil von 1,9 % aller beobachteten Abbiegevorgänge mit Bewertung des Fahrmanövers durch den Beobachter entspricht.

Auch wenn diese Anzahl vergleichsweise gering ist, trägt sie der ebenfalls nur geringen Anzahl an Falschfahrten Rechnung, die an AS durch Fehler beim Abbiegen beginnen. Dennoch muss diese geringe Datengrundlage bei den nachfolgenden Ergebnisdarstellungen beachtet werden.

Einfluss der Markierungsvarianten

Die Verteilung deutlich erkennbarer Lenkkorrekturen über die untersuchten AS zeigt, dass an den AS mit modifizierter Markierung anteilig weniger Lenkkorrekturen zu verzeichnen sind als an den AS mit RMS-konformer Markierung (Bild 31).¹⁰ Vor dem Hintergrund sehr kleiner Fallzahlen kann diese Feststellung als Indiz für einen erleichterten Abbiegevorgang angesehen werden und damit die Modifikationen der Markierung als prinzipiell geeignete Maßnahme zur Vermeidung von Fehlverhalten beim Linksabbiegen an Autobahnanschlussstellen eingestuft werden.

¹⁰ Der Ausreißer an der AS 1 lässt sich durch die fehlende separate Linksabbiegerphase erklären. Der Linksabbieger muss den zweistreifigen Gegenverkehr durchsetzen, wobei es häufig zu Lenkkorrekturen kam.

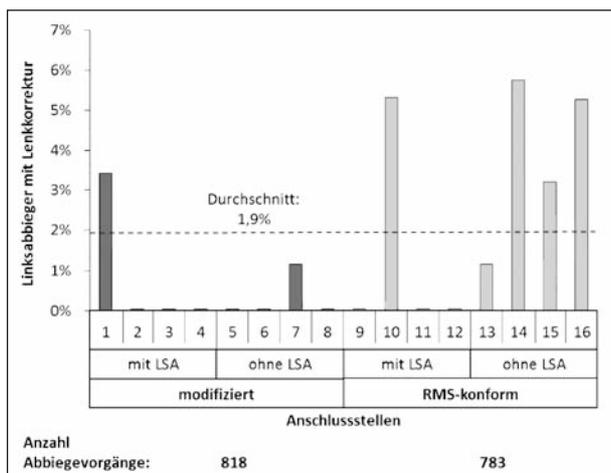


Bild 31: Lenkkorrekturen und Markierungsvariante

Die in Bild 31 dargestellten Linksabbiegeranteile, bei denen deutliche Lenkkorrekturen festgestellt wurden, zeigen eine Ungleichverteilung zwischen AS mit modifizierter und RMS-konformer Markierung. Ein Einfluss der Betriebsform der Knotenpunkte ist nach den Ergebnissen in Bild 31 zu vermuten.

Einfluss der Betriebsform

In Bild 32 sind die Lenkkorrekturen für die AS mit und ohne LSA in Abhängigkeit der Markierungsvariante zusammengefasst. Während sich an den AS mit LSA die Linksabbiegeranteile mit Lenkkorrekturen für die verschiedenen Markierungsvarianten kaum unterscheiden, sind an den AS ohne LSA deutliche Unterschiede zu erkennen. An den AS ohne LSA mit RMS-konformer Markierung waren Lenkkorrekturen etwa zehnmal häufiger zu verzeichnen als an den AS mit modifizierter Markierung (ohne LSA). Folglich ist an den AS ohne LSA die Wirkung der Modifikation der Markierung am deutlichsten ausgeprägt.

An den AS mit LSA traten Lenkkorrekturen nur an zwei Anschlussstellen auf – jeweils an einer modifiziert und einer RMS-konform-markierten AS auf (Bild 31). An der AS mit modifizierter Markierung (Anschlussstelle 1) ist keine separate eigene Phase für die Linksabbieger (Linksabbiegerschutz) vorhanden. Folglich können die Linksabbieger an dieser Anschlussstelle nur unter Beachtung des Gegenverkehrs abfließen, wodurch der erhöhte Anteil an Lenkkorrekturen erklärt werden könnte. Abhängigkeiten durch die Lage der Haltelinie sind nicht gegeben, da die Lage der Haltelinie an den AS mit LSA der empirischen Untersuchung nicht verändert wurde (vgl. „Pilotstudie Bayern“ in Kapitel 3.8.2).

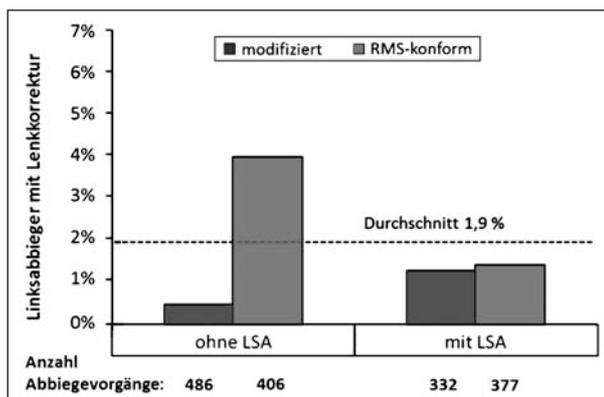


Bild 32: Lenkkorrekturen und Betriebsform

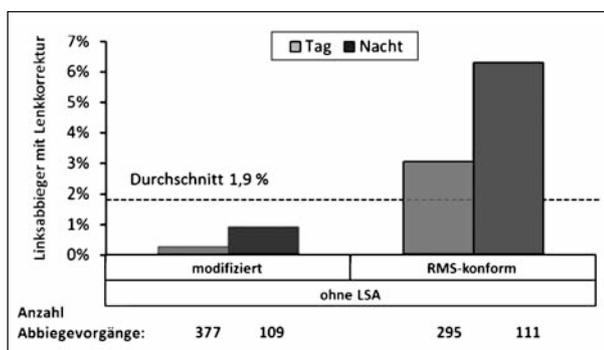


Bild 33: Lenkkorrekturen und Tageszeit

Es ist zu vermuten, dass sich bei einer vollständigen Umsetzung der Verbesserungsvorschläge auch an den AS mit LSA vergleichbar positive Effekte bezüglich der Lenkkorrekturen ergeben hätten, wie sie in Bild 32 für die AS ohne LSA zu erkennen sind. Bei den nachfolgenden Analysen der Lenkkorrekturen werden aufgrund der geringen Fallzahl und der erläuterten Besonderheiten die AS mit LSA nicht weiter berücksichtigt.

Einfluss der Tageszeit

Von den 32 insgesamt beobachteten Linksabbiegern mit Lenkkorrekturen war der Großteil bei Dunkelheit (Bild 33). Dies gilt für alle untersuchten Markierungsvarianten.

Einfluss der Ortskenntnis

Anhand der Landkreiskennung in den Fahrzeugkennzeichen und der Lage der AS wurde nach „fremden“ und „heimischen“ Fahrzeugen unterschieden.

Bild 34 zeigt sowohl für „fremde“ als auch für „heimische“ Fahrzeuge an den modifizierten AS ohne LSA geringere Linksabbiegeranteile mit Lenkkor-

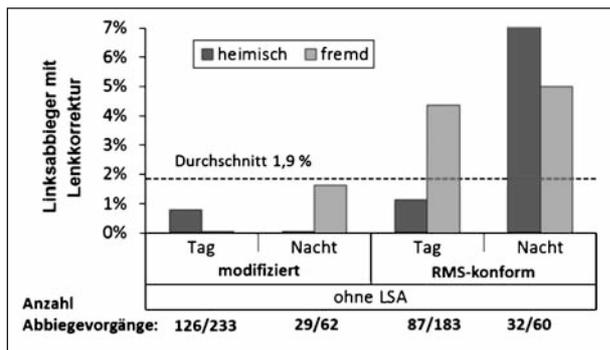


Bild 34: Lenkkorrekturen und Fahrzeugherkunft

rekturen als an AS mit RMS-konformer Markierung. Bei den letztgenannten AS ergaben sich sowohl bei Tag als auch bei Nacht für „fremde“ Fahrzeuge vergleichbare Linksabbiegeranteile mit Lenkkorrekturen. Für die „heimischen“ Fahrzeuge sind die in Bild 34 dargestellten Ergebnisse aufgrund der geringen Stichprobe nur bedingt aussagefähig. Ein Einfluss der Ortskenntnis auf mögliches Fehlverhalten kann daher nicht abgeleitet werden. Allerdings ist auch die Ableitung der Ortskenntnis aus dem amtlichen Kennzeichen des Fahrzeugs wenig zuverlässig (z. B. Dienstfahrzeuge).

Einfluss des Alters und Geschlechts der Fahrzeugführer

Bei den Erhebungen konnten nur wenige ältere Fahrzeugführer¹¹ beobachtet werden, weshalb bei der Auswertung nur die zwei Altersgruppen „jung“ (bis 30 Jahre) und „übrige“ (über 30 Jahre) unterschieden wurden – siehe Bild 35.

Der nach Altersgruppen differenzierte Vergleich zeigt, dass bei den jungen Fahrzeugführern sowohl an Anschlussstellen mit RMS-konformer als auch mit modifizierter Markierung Lenkkorrekturen auftreten, wobei der Anteil der Linksabbieger mit Lenkkorrekturen an den AS mit RMS-konformer Markierung höher liegt.

Für die Fahrzeugführer über 30 Jahre (Altersgruppe „übrige“) sind Lenkkorrekturen ausschließlich an den Anschlussstellen mit RMS-konformer Markierung zu beobachten, wobei der Anteil der Linksabbieger mit Lenkkorrekturen deutlich höher liegt als bei den jungen Fahrzeugführern. Folglich kann davon ausge-

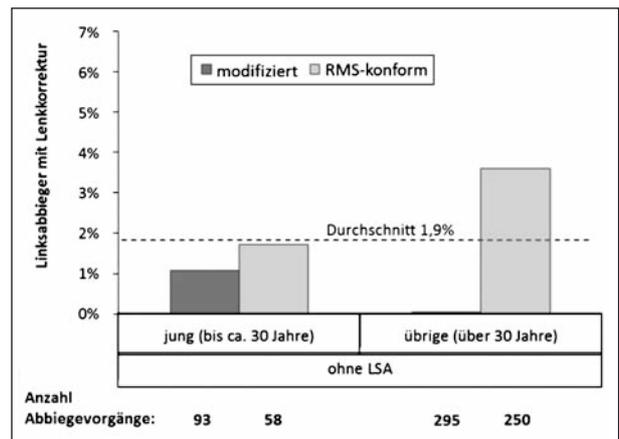


Bild 35: Lenkkorrekturen und Alter der Fahrzeugführer

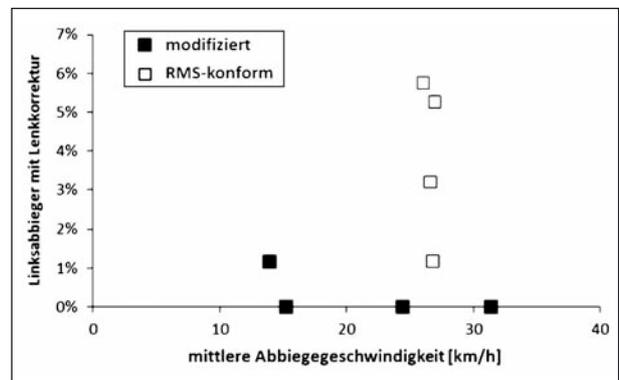


Bild 36: Lenkkorrekturen und mittlere Abbiegegeschwindigkeit

gangen werden, dass die modifizierte Markierungsvariante vor allem bei Fahrzeugführern mittleren und hohen Alters (Altersgruppe „übrige“) einen positiven Einfluss auf das Fahrverhalten hat.

Eine Unterscheidung nach weiblichen und männlichen Fahrzeugführern zeigte keine nennenswerten Unterschiede bei der Auswertung der Lenkkorrekturen.

Einfluss der Abbiegegeschwindigkeit

Der Vergleich der Linksabbiegeranteile mit Lenkkorrekturen und der Abbiegegeschwindigkeiten ergab an AS ohne LSA und RMS-konformer Markierung tendenziell höhere Abbiegegeschwindigkeiten – siehe Bild 36. Ein statistisch signifikanter Zusammenhang (im Sinne einer Korrelationsanalyse) zwischen beiden Kenngrößen konnte jedoch nicht nachgewiesen werden. Folglich kann anhand der vorhandenen Datengrundlage aus einem zügigen Linksabbiegevorgang nicht auf ein erhöhtes Fehlerpotenzial beim Linksabbiegen geschlossen werden.

¹¹ Fahrer, die vom Erhebungspersonal älter als 60 Jahre eingeschätzt wurden.

Einfluss des Einscherverhaltens

Eine Gegenüberstellung des Abbiegeverhaltens, in Form des Linksabbiegeranteils mit Lenkkorrekturen und des Einscherverhaltens ist in Bild 37 für die AS ohne LSA dargestellt. Auf einen Zusammenhang zwischen dem frühen Wechsel in den Linksabbiegerstreifen und dem Abbiegevorgang kann anhand der vorhandenen Datengrundlage nicht geschlossen werden.

Um den Einfluss der Lichtverhältnisse zu überprüfen, erfolgte eine nach Tageszeit differenzierte Betrachtung des Abbiege- und Einscherverhaltens – Bild 38. Werden die Fälle mit geringem Stichprobenumfang an erfassten Linksabbiegevorgängen ausgeschlossen (Datenpunkte mit eckigen Klammern in Bild 38), ist kein Zusammenhang zwischen dem Einscherverhalten und den Lenkkorrekturen festzustellen. Die Beobachtungen des Fahrverhaltens lassen den Schluss zu, dass das Orientierungsverhalten der Fahrzeugführer keinen Einfluss auf mögliche Fehler beim Abbiegen hat.

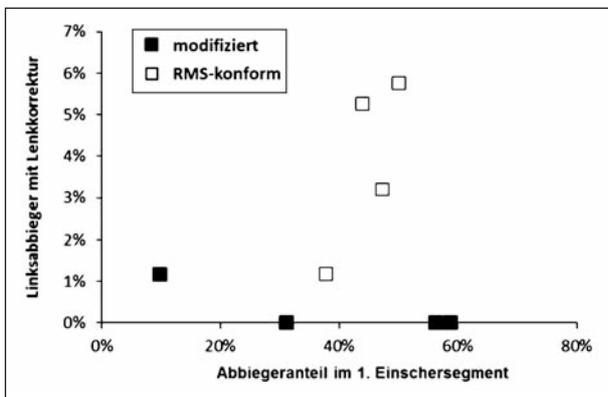


Bild 37: Lenkkorrekturen und Einscherverhalten (die Stichproben für beide Anteilswerte unterscheiden sich)

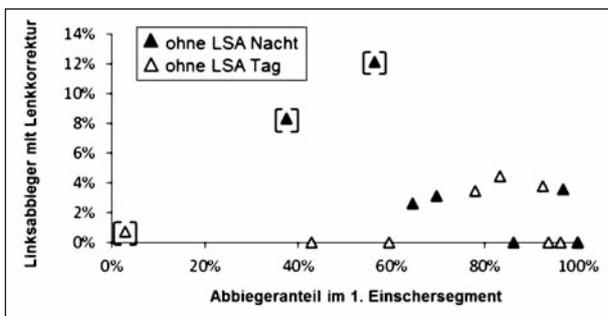


Bild 38: Lenkkorrekturen und Einscherverhalten nach Tageszeiten

Einfluss der Länge der Konfliktfläche

Je nach baulicher Ausführung/Markierung der AS variiert die Länge der Konfliktfläche, die der Linksabbieger durchfahren muss. Als Konfliktfläche wird der Bereich zwischen der inneren und äußeren Leitlinie des entgegenkommenden Geradeausfahrers definiert – siehe Bild 39.

Bild 40 zeigt, dass es zwischen den modifizierten und RMS-konformen Markierungsvarianten Unterschiede gibt. RMS-konforme AS haben bei längeren Konfliktflächen vergleichsweise höhere Anteile an Lenkkorrekturen zu verzeichnen. An AS mit modifizierter Markierungsvariante verringert sich der Anteil der Linksabbieger mit Lenkkorrekturen bei kürzerer Konfliktflächenlänge. Dieser Effekt ist nur an AS ohne LSA nachweisbar.

Da an den modifizierten AS die Wartelinien vorgezogen wurden, verkürzt sich an diesen AS die zu durchfahrende Konfliktfläche. Dies stellt eine mögliche Erklärung für die positive Wirkung der modifizierten Markierungsvariante an den AS ohne LSA dar.

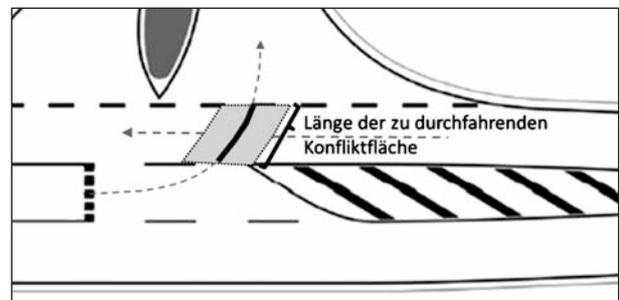


Bild 39: Länge der zu durchfahrenden Konfliktfläche

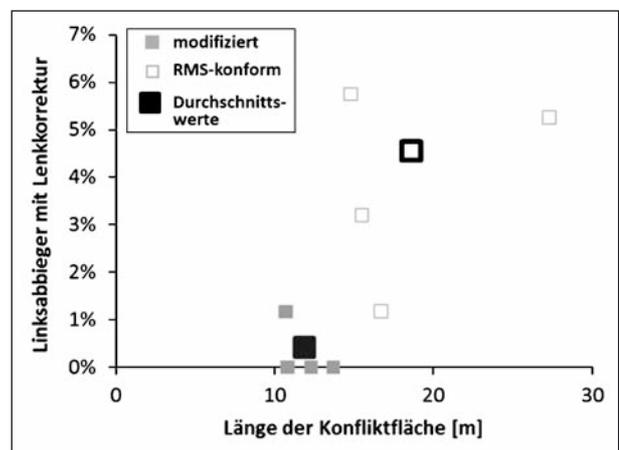


Bild 40: Lenkkorrekturen und Länge der zu durchfahrenden Konfliktfläche ($N_{\text{modifiziert}} = 486$; $N_{\text{RMS-konform}} = 406$)

6.3.3 Beachtung der Halte- bzw. Wartelinie

Bei denjenigen Linksabbiegern, die aufgrund der Sperrzeit der LSA oder aufgrund von Gegenverkehr nicht direkt abbiegen konnten, wurde die Halteposition in Abhängigkeit der Halte- bzw. Wartelinie ermittelt – Bild 41.

Generell zeigt sich, dass die Haltelinien an den AS mit LSA besser beachtet werden als die Wartelinien an den AS ohne LSA. Das Ergebnis für die AS mit LSA und modifizierter Markierung wird stark von einer AS ohne eigene Linksabbiegerphase (Linksabbiegerschutz) beeinflusst. An dieser AS warteten die Linksabbieger während der Freigabezeit hinter der Haltelinie, um den Gegenverkehr zu einem späteren Zeitpunkt und passender Zeitlücke zu durchsetzen. Vernachlässigt man diesen Sonderfall, zeigt sich ein ähnliches Verhalten wie an den AS mit LSA und RMS-konformer Markierung.

Der Vergleich der Akzeptanzwerte für die AS ohne LSA zeigt, dass trotz des Vorziehens der Wartelinie diese genauso häufig überfahren wird, um hinter der Wartelinie die Warteposition einzunehmen. Zusammenhänge zwischen der Beachtung der Halte- bzw. Wartelinien und den Lichtverhältnissen oder der Länge der zu durchfahrenden Konfliktfläche konnten nicht nachgewiesen werden.

6.3.4 Ergebnisse Abbiegeverhalten

Die wesentlichen Ergebnisse der Auswertung des Abbiegeverhaltens an den untersuchten AS lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

- Lenkkorrekturen treten an den AS mit modifizierter Markierung seltener auf.
- Die Beachtung der Halte- bzw. Wartelinie ist unabhängig von der Markierungsvariante (RMS-konform, modifiziert).

6.4 Fazit der empirischen Untersuchung

Die empirischen Untersuchungen an den AS haben gezeigt, dass nahezu alle Fahrzeugführer ein regelkonformes Fahrverhalten aufweisen. Lediglich bei einem Anteil von 1,9 % konnten Abweichungen in Form von zusätzlichen Lenkkorrekturen beobachtet werden. Da jedoch der

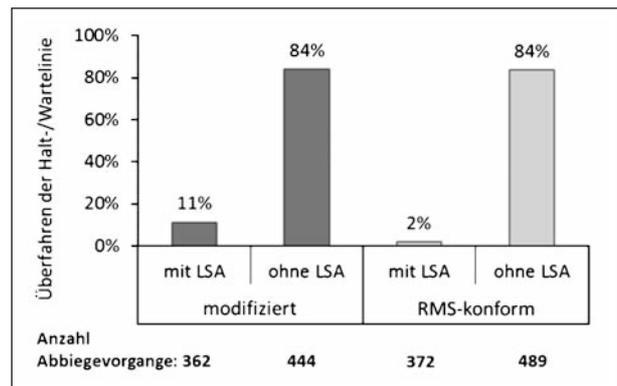


Bild 41: Beachtung der Halte-/Wartelinien

Beginn der Falschfahrten an AS ein ebenso seltenes Ereignis darstellt, die Folgen aber schwerwiegend sein können, wurden für die festgestellte Datengrundlage an Linksabbiegern Abhängigkeiten untersucht. Die Auswertungen zum Orientierungs- und Linksabbiegeverhalten sowie zur Beachtung der Halte- bzw. Wartelinie führten zu folgenden Ergebnissen:

- An AS mit LSA wird bei Dunkelheit früher in den Linksabbiegestreifen eingeschert als an AS ohne LSA. In den Hellstunden ist das Einscherverhalten nahezu identisch.
- Das beobachtete Einscherverhalten lässt keine Rückschlüsse auf mögliche Orientierungsprobleme zu.
- Lenkkorrekturen im Fahrverhalten beim Linksabbiegen eignen sich prinzipiell als Indikator für Probleme beim Abbiegen.
- An AS mit RMS-konformer Markierung ist die Anzahl an Lenkkorrekturen höher, vor allem bei Nacht, als an AS ohne LSA und bei Fahrzeugführern älter als 30 Jahre.
- Lenkkorrekturen stehen im Zusammenhang mit der Länge des zu durchfahrenden Konfliktbereichs mit dem Gegenverkehr, wodurch u. a. eine positive Wirkung der modifizierten Markierungsvariante (vorgezogene Halte- bzw. Wartelinie) erklärt werden kann.
- Die Beachtung der Halte- bzw. Wartelinie ist unabhängig von der Markierungsvariante (RMS-konform, modifiziert).

7 Ergebnisse der Fahrversuche im Labor

7.1 Allgemeines

7.1.1 Versuchspersonen

Für den Fahrsimulatorversuch standen Daten von 46 Versuchspersonen für die Auswertung zur Verfügung. Bei 22 weiteren Versuchspersonen musste die Fahrt aufgrund von Simulatorunverträglichkeit („Simulator-Sickness“) vorzeitig abgebrochen werden, so dass diese Daten verworfen werden mussten. Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Verteilung und Zusammensetzung der Versuchspersonen nach Alter, Geschlecht und Auswertbarkeit der Simulatorfahrt.

Versuchspersonen												
Altersgruppe	Gesamt			teilweise auswertbar			nicht auswertbar			voll auswertbar		
	m	w	ges.	m	m	m	m	w	ges.	m	w	ges.
18-25	8	6	13	7	7	7	1	2	3	7	2	9
26-35	9	9	18	8	8	8	1	3	4	8	5	13
36-45	9	3	12	8	8	8	1	1	2	8	5	7
46-55	5	4	9	4	4	4	1	2	3	4	2	6
56-65	5	4	9	3	3	3	1	2	3	3	2	5
>65	6	1	7	6	6	6	0	1	1	6	0	6
Summe	42	26	68	33	33	33	5	11	16	42	26	68
Anteil				8,8 %			23,5 %			67,6 %		

Tab. 11: Versuchspersonen nach Altersgruppe, Geschlecht und Auswertbarkeit der Fahrt

Untersuchungsvariante	zeitliche Abfolge T								Summe
	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	
	A	B	C	D	D	C	B	A	
1	6	6	5	6	6	5	6	6	46
2	6	7	5	6	6	5	7	6	48
3	5	6	6	7	7	6	6	5	48
4	5	5	6	5	5	6	5	5	42
5	5	5	5	6	6	5	5	5	42
6	6	6	6	5	5	6	6	6	46
7	7	6	6	5	5	6	6	7	48
8	6	5	7	6	6	7	5	6	48
Gesamt	46	46	46	46	46	46	46	46	368

Tab. 12: Statistik der Untersuchungsvarianten

Aus der Tabelle 12 geht die Aufteilung der 46 auswertbaren Fahrten auf die einzelnen Untersuchungsvarianten hervor.

7.1.2 Situationsparameter

Wie aus Tabelle 13 entnommen werden kann, war das zahlenmäßige Verhältnis der Abbiegevorgänge ohne und mit Gegenverkehr an den Knotenpunkten ohne LSA ca. 2:1. Bei den Untersuchungsvarianten mit LSA mussten die Versuchspersonen nur in etwa 10 % der Fälle bei Rot anhalten. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Phasen der Signalanlage so programmiert waren, dass bei der Annäherung mit mittlerer Geschwindigkeit (ca. 50 bis 60 km/h) die Umschaltung auf grün initiiert wurde, sobald der Fahrer eine Annäherungsschwelle unterschritt (200 m).

Um bei der Auswertung der Ergebnisparameter die im Testablauf deutlich erkennbaren Gewöhnungseffekte zu berücksichtigen, werden nur die Ergebnisse der Testgruppen P5 bis P8 herangezogen, d. h. für jede Versuchsperson wird jeweils nur die Wiederholungsfahrt in der Auswertung einbezogen.

Untersuchungsvariante	Gegenverkehr		Gesamt	
	ohne	mit		
ohne LSA	1	13	10	23
	2	17	7	24
	3	17	7	24
	4	13	7	20
	5	15	6	21
	Gesamt	75	37	112
	Anteil	67 %	33 %	100 %
mit LSA	Signalbild		Gesamt	
	Grün	Rot		
	6	20	3	23
	7	21	2	23
	8	21	2	23
	Gesamt	62	7	69
Anteil	90 %	10 %	100 %	

Tab. 13: Untersuchungsvarianten und Beeinflussung des Abbiegevorgangs

7.2 Fahrzeugposition und Fahrer-Fahrzeug-Interaktion

7.2.1 Fahrlinien und Geschwindigkeitsverläufe

Im Anhang 12 sind beispielhaft für die verschiedenen Untersuchungsvarianten jeweils für eine Teilgruppe der Versuchspersonen Fahrlinien und Geschwindigkeitsverläufe dargestellt. Die Betrachtung der Fahrlinien und Geschwindigkeitsverläufe liefert noch keine Aussagen über evtl. durch Markierung oder Beschilderung bedingte Variation im Fahrverhalten. Nur im Einzelfall können individuelle Abweichungen vom Normalverhalten erkannt werden. Deshalb werden zusätzlich die Einscher- und Abbiegepunkte ausgewertet sowie Geschwindigkeiten an definierten Messpunkten analysiert.

Geschwindigkeiten an definierten Messpunkten

In Bild 42 sind die mittleren Geschwindigkeiten an den in Kapitel 5.3.5 definierten Messpunkten für die

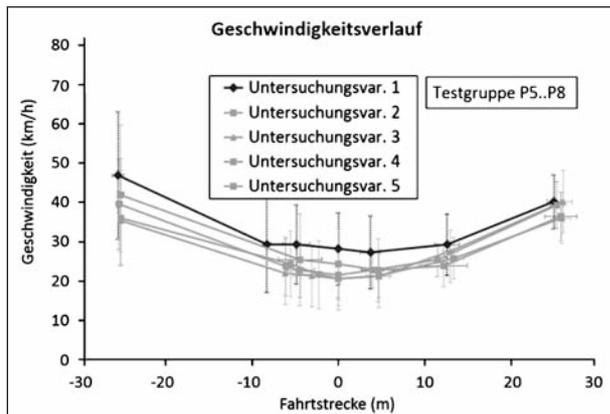


Bild 42: Mittelwerte der Geschwindigkeiten an definierten Messpunkten für Untersuchungsvarianten ohne LSA (ohne Gegenverkehr)

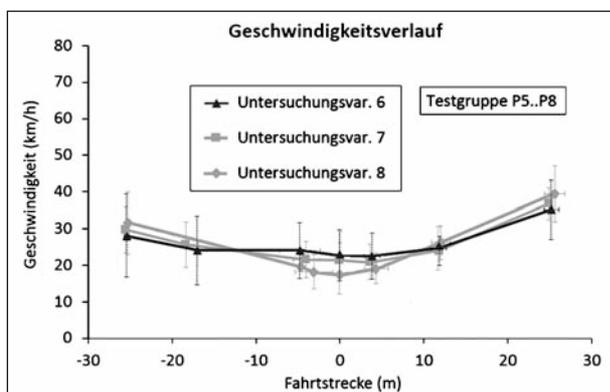


Bild 43: Mittelwerte der Geschwindigkeiten an definierten Messpunkten für Untersuchungsvarianten mit LSA (ohne Signalbild „Rot“)

Untersuchungsvarianten ohne LSA (nur Simulatorfahrten ohne Gegenverkehrsbeeinflussung) und in Bild 43 die mittleren Geschwindigkeiten an den definierten Messpunkten für die LSA-geregelten Untersuchungsvarianten (ohne Simulatorfahrten bei Signalbild „Rot“) dargestellt. Als Referenzfälle sind die Untersuchungsvarianten mit RMS-konformer Markierung schwarz hervorgehoben. Die Whisker bilden jeweils die einfache Standardabweichung ab.

Der Vergleich der beiden Bilder zeigt höhere Annäherungsgeschwindigkeiten bei Untersuchungsvarianten ohne LSA als bei denjenigen mit LSA. In beiden Darstellungen ergeben sich über die Strecke grundsätzlich ähnliche Geschwindigkeitsprofile, allerdings bei den Untersuchungsvarianten ohne LSA auf unterschiedlichem Niveau. Beim Vergleich der mittleren Geschwindigkeitsniveaus für die Untersuchungsvarianten 1 bis 5 (ohne LSA) sind für die Untersuchungsvariante 1 (RMS-konforme Markierung) ca. 5 bis 10 km/h höhere mittlere Geschwindigkeiten als bei den übrigen Untersuchungsvarianten zu erkennen.

Um fundierte Aussagen zu Geschwindigkeitsunterschieden an den definierten Messpunkten für die verschiedenen Untersuchungsvarianten treffen zu können, wurden Signifikanzanalysen durchgeführt. Diese sind im Detail im Anhang 9 beschrieben.

Interpretiert man die (frühzeitige) Reduzierung der mittleren Geschwindigkeit beim Annähern an die Einmündung und ein niedrigeres Geschwindigkeitsniveau beim Durchfahren des Knotenpunktbereichs als Sicherheitsgewinn, so lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

- Bei der Annäherung an die Einmündung (Messpunkt 1) wurden bei den Untersuchungsvarianten mit LSA (ohne Signalbild „Rot“) insgesamt deutlich niedrigere mittlere Geschwindigkeiten als bei den Untersuchungsvarianten ohne LSA (insgesamt) gemessen.
- Innerhalb der Untersuchungsvarianten ohne LSA wurden im Vergleich zur RMS-konformen Markierung (Untersuchungsvariante 1, „RMS-konform ohne LSA“) bei den Untersuchungsvarianten 2 („modifiziert ohne LSA“), 3 („modifiziert + ohne LSA“) und 5 („äußere Abbiegeleitlinie“) niedrigere Annäherungsgeschwindigkeiten gemessen (signifikant für die Untersuchungsvarianten 3 und 5). Zwischen den Untersuchungsvarianten mit LSA gab es an diesem Messpunkt keine (signifikanten) Unterschiede.

- Am Beginn des eigentlichen Abbiegevorgangs (Abbiegepunkt) sind die Unterschiede zwischen den Untersuchungsvarianten ohne LSA signifikant. Für die Untersuchungsvariante 8 („modifiziert + mit LSA“) wurden signifikant niedrigere Geschwindigkeiten gegenüber der RMS-konformen Variante (Untersuchungsvariante 6) gemessen.
- Die für die mittleren Geschwindigkeiten bei der Annäherung und am Abbiegepunkt beobachteten Unterschiede sind in vergleichbarer Form für die verschiedenen Untersuchungsvarianten auch beim Passieren des Referenzpunktes (Messpunkt 4) und beim Einfahren in die Einfahrtöffnung festzustellen (Messpunkte 5).
- An den letzten beiden Messpunkten (8 m bzw. 20 m nach der Einfahrt) nivellieren sich die Unterschiede bzgl. der mittleren Geschwindigkeiten zwischen den Untersuchungsvarianten zunehmend.

7.2.2 Einscher- und Abbiegepunkte

Einscherpunkte

In Bild 44 sind die Verteilungen der Einscherpunkte für die verschiedenen Untersuchungsvarianten dargestellt. Als Beginn des Abbiegestreifens wird der Beginn der Verziegungsstrecke des Linksabbiegestreifens verwendet. In Tabelle 14 sind die Ergebnisse der Signifikanzüberprüfungen für die mittleren Einscherpunkte der unterschiedlichen Untersuchungsvarianten aufgeführt.

Bild 44 zeigt, dass die Verteilungen der Einscherpunkte zum Teil recht große Streuungen aufweisen. Die Verteilung der Einscherpunkte bei den Untersuchungsvarianten mit LSA (6 bis 8) deutet auf ein früheres Einscheren in den Abbiegefahrstreifen als bei den Untersuchungsvarianten ohne LSA (1 bis 5) hin. Dies ist vermutlich dadurch zu erklären, dass die Fahrzeugführer aufgrund der von weitem sichtbaren Signalgeber früher in den Linksabbiegestreifen wechseln.

Innerhalb der Untersuchungsvarianten ohne LSA (1 bis 5) liegen die Einscherpunkte im Mittel bei den Untersuchungsvarianten 2 („modifiziert ohne LSA“) und 5 („äußere Abbiegeleitlinie“) deutlich näher an der Einmündung als bei den übrigen Untersuchungsvarianten ohne LSA. Die mittleren Einscherpunkte der Untersuchungsvariante 5 liegen beim Vergleich mit den Untersuchungsvariante 1,3 und 4 signifikant näher an der Einmündung. Zwischen den mittleren Einscherpunkten der Untersuchungsvariante 2 und denen der Untersuchungsvariante 1 und 4 sind ebenfalls signifikante Unterschiede nachweisbar. Eine Erklärung dieser Unterschiede anhand der Markierung der AS ist

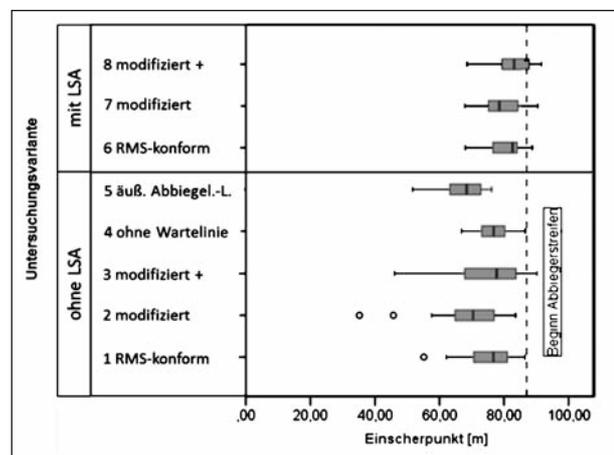


Bild 44: Lage der Einscherpunkte für die verschiedenen Untersuchungsvarianten (Box-Plot-Darstellung)¹²

		Einscherpunkte							
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Untersuchungsvariante	Untersuchungsvariante							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Untersuchungsvariante	1	1,00	0,04	0,73	0,27	0,001			
	2		1,00	0,15	0,007	0,43			
	3			1,00	0,25	0,02			
	4				1,00	0,000			
	5					1,00			
	6						1,00	0,55	0,23
	7							1,00	0,1
	8								1,00

p > 0,05: keine signifikanten Unterschiede
 p <= 0,05: signifikante Unterschiede auf dem 5%-Signifikanzniveau
 p <= 0,01: signifikante Unterschiede auf dem 1%-Signifikanzniveau

Tab. 14: Signifikanzmatrix zu den Mittelwerten der Einscherpunkte

¹² Im Boxplot wird der Median (Strich innerhalb der „Box“), das obere und untere Quartil (Anfang und Ende der „Box“) und die Whisker (Strichverlängerung der „Box“) dargestellt. Die Whisker verlängern die Box einseitig bis zu dem Datenwert, welcher innerhalb des 1,5-fachen Interquartilsabstand (Abstand zwischen oberem und unterem Quartil) liegt.

nicht möglich, da die Einleitung in den Linksabbiegestreifen bei allen Untersuchungsvarianten ohne LSA dieselbe Gestaltung aufweist (identische Ausführung der Verziehungs- und Verzögerungsstrecke).

Für die Untersuchungsvarianten mit LSA (6 bis 8) zeigen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den mittleren Einscherpunkten.

Abbiegepunkte

In Bild 45 sind die Verteilungen der Abbiegepunkte für die verschiedenen Untersuchungsvarianten

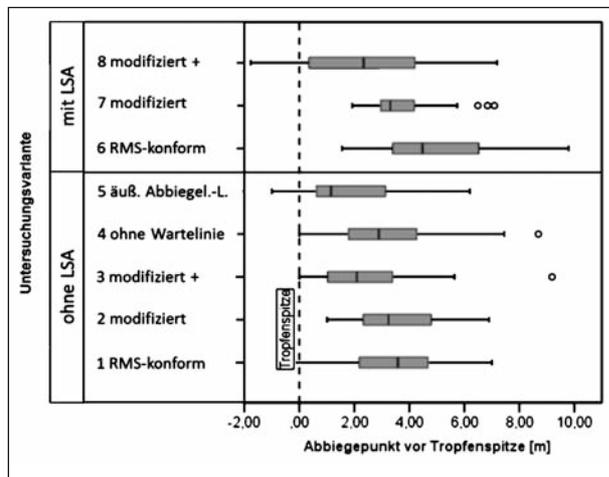


Bild 45: Lage der Abbiegepunkte für die verschiedenen Untersuchungsvarianten

ten dargestellt. Tabelle 15 zeigt die Ergebnisse der Signifikanzprüfungen für die mittleren Abbiegepunkte der unterschiedlichen Untersuchungsvarianten.

Da möglicher Gegenverkehr in den Untersuchungsvarianten ohne LSA und das Signalbild „Rot“ in den Untersuchungsvarianten mit LSA die Fahrer bei der Wahl des Abbiegepunktes beeinflussen können, wurden diese Situationen vor der weiteren statistischen Analyse herausgefiltert. In Bild 46 sind die Verteilungen der Abbiegepunkte für unbeeinflusste Linksabbieger dargestellt. Tabelle 16 zeigt die zugehörige Signifikanzmatrix.

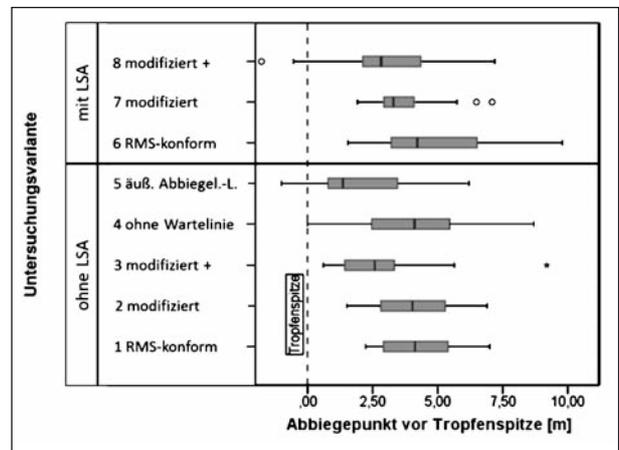


Bild 46: Verteilung der Abbiegepunkte für die verschiedenen Untersuchungsvarianten (nur unbeeinflusste Abbiegevorgänge)

		Abbiegepunkte							
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Untersuchungsvariante	Untersuchungsvariante							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Untersuchungsvariante	1	1,00	0,78	0,36	0,72	0,03			
	2		1,00	0,22	0,91	0,013			
	3			1,00	0,24	0,20			
	4				1,00	0,02			
	5					1,00			
	6						1,00	0,08	0,000
	7							1,00	0,01
	8								1,00

p > 0,05: keine signifikanten Unterschiede
 p <= 0,05: signifikante Unterschiede auf dem 5%-Signifikanzniveau
 p <= 0,01: signifikante Unterschiede auf dem 1%-Signifikanzniveau

Tab. 15: Signifikanzmatrix zu den Mittelwerten der Abbiegepunkte (alle Untersuchungsvarianten)

		Abbiegepunkte (nur unbeeinflusster Abbieger)							
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Untersuchungsvariante	Untersuchungsvariante							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Untersuchungsvariante	1	1,00	0,64	0,053	0,99	0,004			
	2		1,00	0,10	0,73	0,007			
	3			1,00	0,12	0,32			
	4				1,00	0,02			
	5					1,00			
	6						1,00	0,08	0,016
	7							1,00	0,19
	8								1,00

p > 0,05: keine signifikanten Unterschiede
 p <= 0,05: signifikante Unterschiede auf dem 5%-Signifikanzniveau
 p <= 0,01: signifikante Unterschiede auf dem 1%-Signifikanzniveau

Tab. 16: Signifikanzmatrix zu den Mittelwerten der Abbiegepunkte (nur unbeeinflusste Abbiegevorgänge)

Die Verteilung der Abbiegepunkte in Bild 46 zeigt, dass bei der Untersuchungsvariante 5 („äußere Abbiegeleitlinie“) und bei der Untersuchungsvariante 3 („modifiziert ohne LSA“) die Abbiegepunkte im Mittel deutlich näher an der Spitze des Fahrbahnteilers liegen (späterer Abbiegepunkt, in Fahrtrichtung gesehen) als bei den übrigen Untersuchungsvarianten. Die Lageunterschiede zwischen den Abbiegepunkten der Untersuchungsvariante 5 („äußere Abbiegeleitlinie“) und der Untersuchungsvariante 1 („RMS-konform ohne LSA“), 2 („ohne Abbiegeleitlinie“) bzw. 4 („ohne Wartelinie“) sind signifikant. Bei der Untersuchungsvariante 3 („modifiziert ohne LSA“) ist der Unterschied zur Untersuchungsvariante 1 („RMS-konform ohne LSA“) an der Signifikanzschwelle, die Unterschiede zu anderen Untersuchungsvarianten sind nicht signifikant.

Innerhalb der Untersuchungsvarianten mit LSA (6 bis 8) liegt bei den Untersuchungsvarianten 7 („modifiziert mit LSA“) und 8 („modifiziert + mit LSA“) der Abbiegepunkt im Vergleich zur Untersuchungsvariante 6 („RMS-konform mit LSA“) tendenziell näher zur Spitze des Fahrbahnteilers. Signifikant ist der Unterschied zwischen Untersuchungsvariante 8 und Untersuchungsvariante 6.

Wird ein näher zu Spitze des Fahrbahnteilers gelegener Abbiegepunkt – also ein später eingeleiteter Linksabbiegevorgang – als Sicherheitsgewinn interpretiert, so wird dies durch das Gestaltungsdesign der Untersuchungsvariante 3 und 5 bei den AS ohne LSA erreicht. Bei den Untersuchungsvarianten mit LSA schneidet in dieser Hinsicht Untersuchungsvariante 8 am besten ab.

7.3 Blickverhalten

Aufgrund der problematischen technischen Randbedingungen bei der Erfassung der Blickbewegungen (siehe Kapitel 5.3.5) können nur die beschriebenen „Blickorte“ durch manuelle Sichtung ausgewertet werden.

Durch die manuelle Auswertung der reinen Kopfbewegungen „Blickorte“ konnten keine speziellen Hinweise abgeleitet werden. Es ist hierbei zu beachten, dass bei der manuellen Auswertung der „Blickorte“ die Pupillenrichtung vernachlässigt werden musste.

Aus den Ergebnissen der Blickortverteilungen für die einzelnen Untersuchungsvarianten (siehe Anhang 11) können keine Hinweise abgeleitet werden, dass das Blickverhalten durch die untersuchten Markierungs- und Beschilderungsvarianten beeinflusst wird.

7.4 Versuchspersonenbefragung

7.4.1 Subjektive Beurteilung

Keiner Versuchsperson war während der Testfahrten die Unterschiede in der Markierung und Beschilderungen aufgefallen. Auf Nachfrage anhand von Situationsbildern aus Fahrersicht wurden im Anschluss an die Simulatorfahrten fast immer differenzierende Anmerkungen zu den Untersuchungsvarianten gemacht.

Als hilfreich für die Orientierung beim Abbiegen wurden bei den Markierungen am häufigsten der zusätzliche Pfeil in Fahrtrichtung hinter der Wartebzw. Haltelinie und die innere Abbiegeleitlinie genannt. Die äußere Abbiegeleitlinie wurde kaum als hilfreich für die Orientierung empfunden.

Bei der Beschilderung wurde das Eindrehen des Zeichens 222 StVO („Rechts vorbei“) durchwegs als Maßnahme zur besseren Sichtbarkeit des Verkehrszeichens gewürdigt. Die zusätzliche Leitplatte unter dem Verkehrszeichen (Zeichen 626 StVO) wurde häufig als Hilfe bei der Orientierung genannt.

Bei den Untersuchungsvarianten mit LSA wurden der Standort des zusätzlichen Signalgebers für die Linksabbieger am linken Fahrbahnrand (Wiederholungssignal) bei den Untersuchungsvarianten 6 und 7 (neben der Fahrbahn vor der Ausfahrt) sehr häufig kritisiert (mögliche Verleitung zum Einbiegen in die Ausfahrtöffnung der Rampe). Die Positionierung des (linksliegenden) Wiederholungssignals auf der Dreiecksinsel hinter der Einfahrrampe (Untersuchungsvariante 8) wurde von den Befragten als bessere Lösung angesehen.

7.4.2 Vergleichende Beurteilung der Untersuchungsvarianten

Bei der Frage nach empfundenen Unterschieden in der Schwierigkeit, die Untersuchungsvarianten zu bewältigen, wurden die Unterschiede häufig als nicht gravierend eingestuft. Dennoch wurden fast

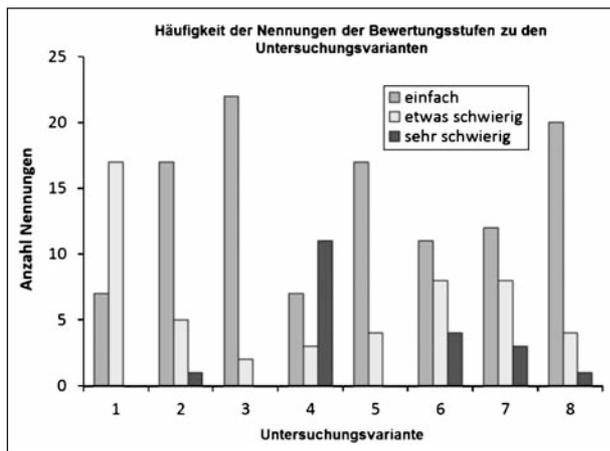


Bild 47: Subjektive Bewertung der Schwierigkeit der Untersuchungsvarianten

immer differenzierende Beurteilungen abgegeben. In Bild 47 sind für die verschiedenen Untersuchungsvarianten die Anzahl der Nennungen in den 3 Bewertungskategorien (einfach, etwas schwierig, sehr schwierig) dargestellt.

Es zeigt sich, dass die Untersuchungsvariante 4 („ohne Wartelinie“) mit Abstand am häufigsten als sehr schwierig eingestuft wurde, gefolgt von den Untersuchungsvarianten 6 („RMS-konform mit LSA“) und 7 („modifiziert mit LSA“). Für die Untersuchungsvariante 1 („RMS-konform ohne LSA“) war die häufigsten Nennungen der Bewertung „etwas schwierig“ zu verzeichnen.

Die häufigsten Nennungen der Bewertung „einfach“ ergaben sich für Untersuchungsvariante 3 („modifiziert ohne LSA“) und die Untersuchungsvariante 8 („modifiziert + mit LSA“) gefolgt von ebenfalls häufigen Nennungen für Untersuchungsvariante 5 („äußere Abbiegeleitlinie“) und Untersuchungsvariante 2 („modifiziert ohne LSA“).

Um die verschiedenen Untersuchungsvarianten hinsichtlich der empfundenen Schwierigkeit auf einer Ordinal-Skala anordnen zu können (Ranking), wurde den einzelnen Schwierigkeitskategorien jeweils eine Note zugeordnet (1 = einfach, 2 = etwas schwierig, 3 = sehr schwierig). Damit wurden anschließend für die einzelnen Untersuchungsvarianten mittlere Bewertungsnoten gebildet. Das Ergebnis ist in Bild 48 dargestellt.

Auf der Rankingskala nach der empfundenen Schwierigkeit schneiden die Untersuchungsvarianten mit veränderter Markierung durchweg besser ab als die Untersuchungsvarianten mit den RMS-

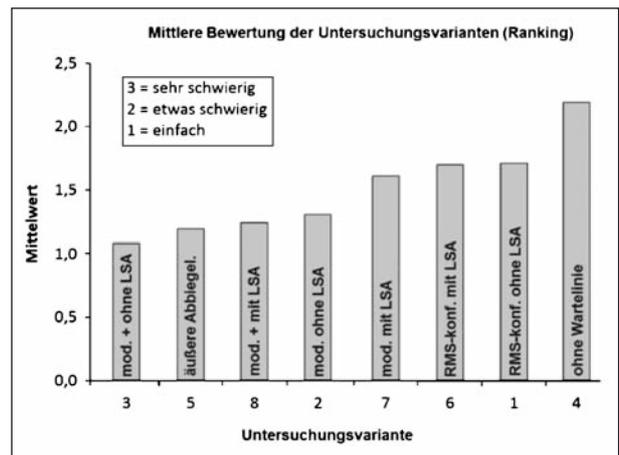


Bild 48: „Ranking“ der subjektiven Bewertungen der Untersuchungsvarianten nach mittleren Bewertungsnoten

konformen Gestaltungs- und Markierungsvarianten. Eine Ausnahme bildet die Untersuchungsvariante 4 (ohne Wartelinie), welche auf dem letzten Platz liegt.

8 Zusammenfassung

8.1 Untersuchungsablauf

An den AS mit modifizierten und RMS-konformen Markierungsvarianten wurden videogestützte Verkehrserhebungen durchgeführt. Anhand des Videomaterials und der vor Ort erhobenen fahrer- und umfeldspezifischen Merkmale wurde das Orientierungs- und das Abbiegeverhalten der Linksabbieger an den AS analysiert. Die Erhebungen fanden bei Tag und bei Nacht statt.

Als Merkmale für das Orientierungs- und Abbiegeverhalten wurden

- die Einschersegmente (Ort, an dem die Linksabbieger in den Abbiegefahrestreifen wechseln),
- die Einfahr- und Abbiegegeschwindigkeiten,
- mögliche Lenkkorrekturen und
- die Wartepositionen in Bezug zur Warte- bzw. Haltelinie

ausgewählt. Die für insgesamt 1.822 Linksabbieger erhobenen Kenngrößen wurden unter Berücksichtigung der Geometrie (Länge der Konfliktbereiche und Linksabbiegestreifen) und Betriebsform der untersuchten AS sowie den Personenmerkmalen der Fahrzeugführer für die AS mit modifizierter und RMS-konformer Markierung verglichen.

Zusätzlich zu den empirischen Untersuchungen wurden Laborversuche im Fahrsimulator durchgeführt, in denen 8 Untersuchungsvarianten mit verschiedenen Markierungs- und Beschilderungsvarianten für die Linksabbieger an AS mit und ohne LSA untersucht wurden (vgl. Tabelle 4 und Tabelle 5 im Kapitel 5.3.4). Für die 5 Untersuchungsvarianten ohne LSA und 3 Untersuchungsvarianten mit LSA wurde überprüft, inwieweit gruppenbezogene Ausprägungen bzw. Unterschiede bzgl. des objektiven Fahrverhaltens und der subjektiven Fahrempfindungen auftraten.

Erhoben und ausgewertet wurden als Fahrparameter:

- die Fahrlinien,
- die Geschwindigkeiten an definierten Messpunkten und
- die Einscher- und Abbiegepunkte.

Das Blickverhalten der Versuchspersonen wurde mithilfe eines optischen Blickregistrierungssystems erfasst und als Szenenbild in die Videoaufzeichnungen der Simulatorfahrten eingeblendet. Subjektive Einschätzungen zum Simulatortest und zu den verschiedenen Untersuchungsvarianten wurden von den Versuchspersonen in einer Nachbefragung in Erfahrung gebracht.

Von insgesamt 68 potenziellen Versuchspersonen konnten die Fahrten von 46 Versuchspersonen vollständig für die Untersuchung genutzt und ausgewertet werden. Die übrigen 22 Versuchspersonen beendeten den Test wegen Simulatorunverträglichkeit („Simulator-Sickness“) vorzeitig.

8.2 Ergebnisse

8.2.1 Orientierungsverhalten

Bei den empirischen Untersuchungen und den Laborversuchen im Fahrsimulator wurde an den AS mit LSA tendenziell früher in den Linksabbiegefahrstreifen eingefahren als an den AS ohne LSA (Analyse des Einscherverhaltens). Dies ist vermutlich durch die von weitem sichtbaren Signalgeber zu erklären, die an AS mit LSA die Linksabbieger zum früheren Einscheren in den Abbiegefahrstreifen anregen und zu einer besseren Orientierung beitragen.

Weiterhin konnte gezeigt werden, dass die Einfahrtsgeschwindigkeit (Geschwindigkeit der Linksabbie-

ger im Bereich der Verziehungsstrecke des Linksabbiegefahrstreifens) an AS ohne LSA tendenziell niedriger sind bei einem späteren Wechsel in den Linksabbiegefahrstreifen.

Ein Einfluss des Orientierungsverhaltens auf das Abbiegeverhalten konnte nicht nachgewiesen werden.

8.2.2 Abbiegeverhalten

Die Auswertung der Abbiegepunkte (Orte, an denen die Fahrzeugführer beim Abbiegen in die Einfahrtöffnung die linke Leitlinie des Linksabbiegestreifens überfahren) zeigte, dass bei den modifizierten Markierungsvarianten der Abbiegepunkt der Linksabbieger weiter in der Knotenpunktmitte liegt. Eine Ausnahme bildete hier die Untersuchungsvariante 4 (ohne LSA) bei der auf die Markierung der Wartelinie verzichtet wurde. Da sich bei einem späteren Beginn des Abbiegevorgangs die Gefahr verringert in die Ausfahrtöffnung abzubiegen (potenzielle Ausgangssituation einer Falschfahrt), wird das spätere Abbiegen als Sicherheitsgewinn interpretiert. Dies wird an den AS ohne LSA am besten durch die Markierungs- und Gestaltungsvarianten der Untersuchungsvarianten 3 (modifiziert + ohne LSA) und 5 (äußere Abbiegeleitlinie) erreicht und an den AS mit LSA mit der Untersuchungsvariante 8 (modifiziert + mit LSA).

Die Auswertungen der Warteposition bedingt durch Gegenverkehr oder rotem Signalbild zeigten, dass die Beachtung der Halte- bzw. Wartelinie unabhängig von der Ausführung der Markierung ist. An den AS mit RMS-konformer Markierung wurden die Halte- bzw. Wartelinie in gleichem Maße überfahren wie an den AS mit modifizierter Markierung.

Das Abbiegeverhalten wurde in den empirischen Untersuchungen anhand sichtbarer Lenkkorrekturen untersucht. Es zeigte sich, dass an AS mit RMS-konformer Markierung häufiger Korrekturen der Fahrlinie beim Abbiegevorgang vorgenommen wurden. Vor allem bei Dunkelheit und an AS ohne LSA zeigte sich dieses Verhalten öfter und vornehmlich bei Fahrzeugführern in der Altersgruppe älter als 30 Jahre. Ein solches Fahrverhalten konnte im Fahrsimulator nicht nachgewiesen werden.

Das Vorziehen der Halte- bzw. Wartelinie weiter in Richtung der Knotenpunktmitte führt zu einer Verkürzung der Konfliktfläche zwischen dem Linksabbieger und dem Gegenverkehr, infolgedessen die

Anzahl an Lenkkorrekturen zurückgeht. In der empirischen Untersuchung konnte das jedoch nur durch die AS ohne LSA belegt werden, weil die Haltelinie an AS mit LSA nicht versetzt wurde.

Darüber hinaus wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit beim Linksabbiegen und sichtbaren Lenkkorrekturen untersucht. Im Ergebnis konnten empirisch keine Zusammenhänge nachgewiesen werden.

Im Rahmen der Probandenversuche im Fahrsimulator war erkennbar, dass an RMS-konformen AS ohne LSA (Untersuchungsvariante 1) die Geschwindigkeiten und deren Verläufe insgesamt über denen an AS ohne LSA mit modifizierter Markierung lagen (Untersuchungsvarianten 2 (modifiziert ohne LSA), 3 („modifiziert + ohne LSA“) und 5 („äußere Abbiegeleitlinie“)). Auch bei den Untersuchungsvarianten mit LSA war für die Modifikationsvorschläge der Untersuchungsvariante 8 („modifiziert + mit LSA“) eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung festzustellen.

Aus der Erfassung und Auswertung der Blickorte bei den Untersuchungen im Fahrsimulator konnten keine Hinweise auf den Einfluss der modifizierten Markierungs- oder Beschilderungsvarianten abgeleitet werden.

8.2.3 Subjektive Einschätzung

Die Befragung im Anschluss an die Simulatorfahrten, die mithilfe von Situationsbildern durchgeführt wurde, zeigte, dass nahezu keiner Versuchsperson ($\leq 5\%$) während der Testfahrten Unterschiede an den AS hinsichtlich der Markierung und Beschilderung aufgefallen waren. Auf Nachfrage konnten anhand der Situationsbilder differenzierende Anmerkungen zu den Untersuchungsvarianten erhoben werden.

Als hilfreich für die Orientierung beim Abbiegen wurden am häufigsten der zusätzliche Abbiegepfeil zwischen der Warte- bzw. Haltelinie und der Sperrflächenmarkierung sowie die innere Abbiegeleitlinie genannt. Bei der Beschilderung wurden das Eindrehen des Zeichens 222 StVO („Rechts vorbei“) auf der Tropfenspitze sowie die zusätzliche Leitplatte (Zeichen 626 StVO) unter dem Verkehrszeichen Z 222 häufig als Hilfe bei der Orientierung genannt.

Bei den Untersuchungsvarianten mit LSA wurde der Standort des Wiederholungssignals für die

Linksabbieger am linken Fahrbahnrand bei den Untersuchungsvarianten 6 und 7 (neben der Fahrbahn vor der Ausfahrtöffnung) sehr häufig kritisiert („mögliche Verleitung zum Abbiegen in die Ausfahrtöffnung der Autobahn“). Die Positionierung des linksliegenden Wiederholungssignals auf die Dreiecksinsel hinter der Einfahrtöffnung (Untersuchungsvariante 8) wurde von den Befragten als bessere Lösung angesehen. Der Aufstellort auf der Rampe war allerdings kein Bestandteil der Untersuchung.

Fast alle AS mit modifizierter Markierung wurden von den Probanden als vergleichsweise weniger schwierig befahrbar eingeschätzt. Bei den AS ohne LSA wurde die Untersuchungsvariante 3 („modifiziert + ohne LSA“) und bei den Anschlussstellen mit LSA die Untersuchungsvariante 8 („modifiziert + mit LSA“) als am leichtesten befahrbar eingeschätzt. Als am schwierigsten zu befahren wurde die Markierungsvariante ohne Wartelinie (Untersuchungsvariante 4) empfunden.

8.3 Empfehlungen

In Kapitel 8.3.1 und 8.3.2 sind die Ergebnisse der empirischen Untersuchung und der Simulatorfahrten für die Anschlussstellen mit und ohne LSA zusammengefasst. Die Bewertung der einzelnen Kriterien erfolgte anhand des Vergleichs mit den Untersuchungsergebnissen der AS mit RMS-konformer Markierung.

Die Ergebnisse aus den empirischen Untersuchungen konnten nur ergänzend in die Bewertung einfließen, da nicht alle im Fahrsimulator untersuchten Varianten auch für die Vor-Ort-Erhebungen im Straßennetz vorlagen. Die Empfehlungen können auf Kreuzungen als Form der Anschlussstelle entsprechend übertragen werden.

8.3.1 Anschlussstellen ohne LSA

Bei den untersuchten Anschlussstellen ohne LSA unterstützen die untersuchten Varianten „modifiziert +“ und „äußere Abbiegeleitlinie“ am besten ein intuitiv richtiges Verhalten der Fahrzeugführer. Die Bewertungsergebnisse resultieren aus den weit im Knotenpunktinneren liegenden Abbiegepunkten, den vergleichsweise geringen Abbiegegeschwindigkeiten und der positiven subjektiven Einschätzung durch die Versuchspersonen der Untersuchung im Fahrsimulator – siehe Tabelle 17.

Die beiden Untersuchungsvarianten „modifiziert +“ und „äußere Abbiegeleitlinie“ erscheinen im Hinblick auf die Vermeidung von Falschfahrten als am besten geeignet. Aus den nachfolgenden Gründen wird die Variante „modifiziert +“ für eine Umsetzung an potenziell gefährlichen Anschlussstellen empfohlen:

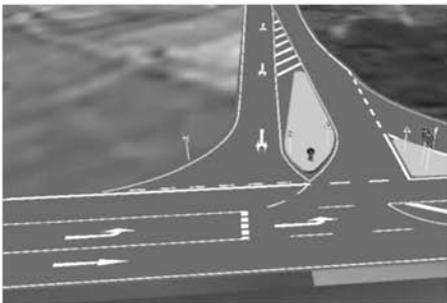
- Die innere Abbiegeleitlinie hat im Vergleich zur äußeren Abbiegeleitlinie eine größere Barrierewirkung zur kritischen Seite (Ausfahrtöffnung) und besitzt eine intuitiv besser verständliche Leitwirkung für die Führung in die Einfahrtöffnung.
- Die gute Leitwirkung und Orientierung durch die innere Abbiegeleitlinie wurde auch durch die Probanden der Simulatorstudie bestätigt – siehe auch Kapitel 7.3 und Anhang 10.

Kriterium		1 „RMS-konform“	2 „modifiziert“	3 „modifiziert +“	4 „ohne Wartelinie“	5 „äußere Abbiegeleitlinie“
Empirie	Einscheregment	0	-			
	Akzeptanz Wartelinie	0	0			
	Lenkkorrekturen	0	++			
	Abbiegegeschwindigkeiten	0	0			
Simulator	Einscherpunkte	0	-	0	0	-
	Abbiegepunkte	0	0	++	0	++
	Abbiegegeschwindigkeiten	0	+	++	0	++
	Blickzuwendung	0	0	0	0	0
	Subjektive Einschätzung	0	+	++	--	++
Ranking		3	2	1	4	1

Tab. 17: Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsvarianten ohne LSA

Auf der Grundlage der empirischen Untersuchung und den Analysen im Fahrsimulator wird für AS ohne LSA die in Tabelle 18 dargestellte Markierungsvariante empfohlen. Da die AS nur als Ganzes und nicht hinsichtlich der Wirkung ihrer Einzelteile untersucht werden konnte, zeigten sich bei dieser Markierungsvariante die größten Verbesserungen im Sinne der Befahr- und Begreifbarkeit. Aus diesem Grund beinhaltet diese Markierungsvariante für AS ohne LSA das größte Potenzial unabsichtliche Falschfahrten beim Abbiegen vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zu vermeiden.

Als ungeeignet stellte sich in der Untersuchung die Variante „ohne Wartelinie“ heraus, welche als einzige keine Vorteile gegenüber RMS-konform gestalteten und markierten Anschlussstellen bietet – siehe Tabelle 17.

	Markierung
	<ul style="list-style-type: none"> - Wartelinie an den äußeren Rand der Schleppkurve des Linkseinbieger aus der Ausfahrttrampe der Autobahn, - Vorankündigungspfeile vor dem Fahrstreifen des Rechtseinbiegers (um nicht in die Ausfahrttrampe der Autobahn zu zeigen), - Innere Abbiegeleitlinie, - Zusätzlicher Richtungspfeil zwischen der Wartelinie und der Sperrfläche mit Pfeilspitze nach der Spitze des Fahrbahnteilers (nicht zu nah an der Wartelinie), - Einseitige Fahrstreifenbegrenzung vor der Ausfahrttrampe der Autobahn in Form eines zusätzlichen durchgezogenen Breitstrichs (Sonderform Zeichen 296 StVO als Breitstrich), - Vorankündigungspfeil Zeichen 297-31 StVO („links und rechts ab“) in der Ausfahrttrampe der Autobahn.
	Beschilderung
	<ul style="list-style-type: none"> - Vorwegweiser (Zeichen 440 StVO) mit großer Schrift, - Wegweiser zur Autobahn (Zeichen 420 StVO) mit größerer Schrift und in 2,50 m Höhe, - Vorgeschriebene Vorbeifahrt (Zeichen 222 StVO) auf Fahrbahnteiler in Größe 3 eingedreht und ergänzt mit Leitplatte (Zeichen 626 StVO), - Verbot der Einfahrt (Zeichen 267 StVO) eingedreht, beidseitig und etwa 5 m in die Ausfahrt zurückgesetzt (Größe 2).

Tab. 18: Vorzugsvariante – ohne LSA

8.3.2 Anschlussstellen mit LSA

Bei den untersuchten Anschlussstellen mit LSA unterstützt die untersuchte Variante „modifiziert +“ (Tabelle 19) ein intuitiv richtiges Verhalten der Fahrzeugführer am besten. Auch dieses Bewertungsergebnis resultiert aus einem weit im Knotenpunkt liegenden Abbiegepunkt und der besseren subjektiven Einschätzung der Befahr- und Begreifbarkeit

	Kriterium	6 „RMS-konform“	7 „modifiziert“	8 „modifiziert +“
Empirie	Einscheregment	0	0	
	Akzeptanz Wartelinie	0	0	
	Lenkkorrekturen	0	+	
	Abbiegegeschwindigkeiten	0	0	
Simulator	Einscherepunkte	0	0	0
	Abbiegepunkte	0	+	++
	Abbiegegeschwindigkeiten	0	0	0
	Blickzuwendung	0	0	0
	Subjektive Einschätzung	0	+	++
Ranking		3	2	1

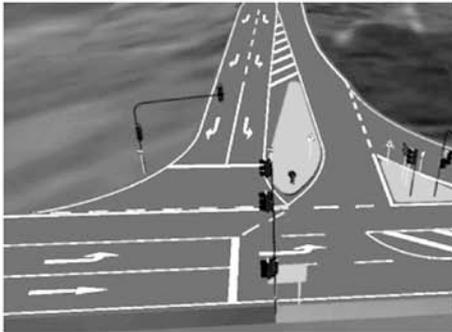
Tab. 19: Zusammenfassende Bewertung der Untersuchungsvarianten mit LSA

durch die Versuchspersonen der Untersuchung im Fahrsimulator.

An den AS mit LSA müssen die Standorte der Signalgeber im Hinblick auf die Bestimmungen der RiLSA (2010) mit der zuständigen Straßenverkehrsbehörde abgestimmt werden. Dies gilt insbesondere bezüglich

- der eindeutigen Zuordnung der Signalgeber zu den signalisierten Verkehrsströmen und
- der Einhaltung des empfohlenen Abstands zwischen dem Hauptsignal und der Haltelinie.

Diese Bestimmungen verlangen, dass mit Veränderung der Lage der Haltelinie auch der Signalgeberstandort geändert werden muss. Unter Berücksichtigung des Mindestabstands zwischen Haltelinie und Hauptsignalgeber muss gleichzeitig gewährleistet sein, dass eine mögliche Sicht auf den vorgezogenen Signalgeber für die Einbieger aus der Ausfahrtrampe der Autobahn verhindert wird. In Abhängigkeit der örtlichen Gegebenheiten kann daher die Haltelinie nicht in jedem Fall bis an den äußeren Rand der Schleppkurve des aus der Ausfahrtrampe der Autobahn kommenden Linkseinbiegers vorgezogen werden.

	Markierung
	<ul style="list-style-type: none"> - Haltelinie wenn möglich bis an den äußeren Rand der Schleppkurve des Linkseinbiegers aus der Ausfahrtrampe der Autobahn (Abstimmung Straßenverkehrsbehörde und RiLSA 2010), - Vorankündigungspfeile vor dem Fahrstreifen des Rechtseinbiegers (um nicht in die Ausfahrtrampe der Autobahn zu zeigen), - Innere Abbiegeleitlinie, - Zusätzlicher Richtungspfeil zwischen der Haltelinie und der Sperrfläche mit Pfeilspitze nach der Spitze des Fahrbahnteilers (nicht zu nah an der Haltelinie), - Einseitige Fahrstreifenbegrenzung vor der Ausfahrtrampe der Autobahn in Form eines zusätzlichen durchgezogenen Breitstrichs (Zeichen 296 StVO als Breitstrich).
	Beschilderung
	<ul style="list-style-type: none"> - Vorwegweiser (Zeichen 440 StVO) mit großer Schrift, - Wegweiser zur Autobahn (Zeichen 420 StVO) mit größerer Schrift und in 2,50 m Höhe, - Vorgeschriebene Vorbeifahrt (Zeichen 222 StVO) auf Tropfen in Größe 3 eingedreht und ergänzt mit Leitplatte (Zeichen 626 StVO), - Verbot der Einfahrt (Zeichen 267 StVO) eingedreht, beidseitig und etwa 5 m in die Ausfahrt zurückgesetzt (Größe 2).
	Lichtsignalstandort
	<ul style="list-style-type: none"> - Hauptsignalgeber nach der Haltelinie, - Wiederholungssignal für Linksabbieger auf die Dreiecksinsel (soweit vorhanden) verlegt.

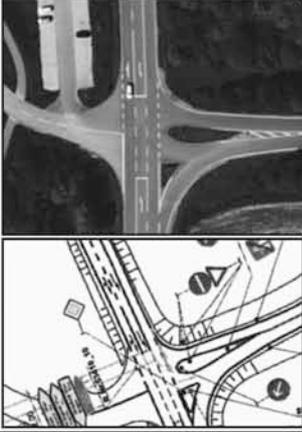
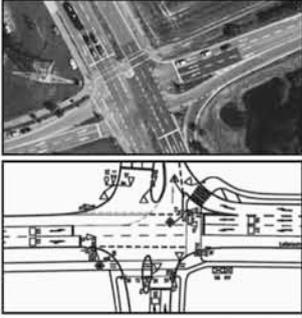
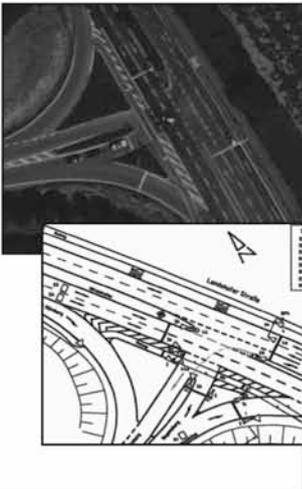
Tab. 20: Vorzugsvariante – AS mit LSA

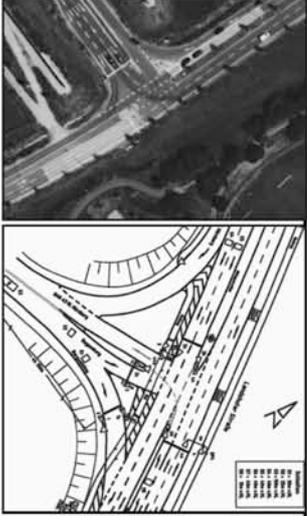
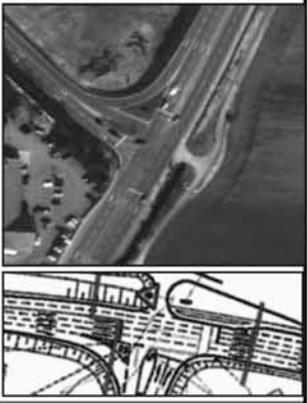
9 Literatur

- ADAC, Ressort Verkehr (März 2011): Falschfahrer auf Autobahnen. Von http://www.adac.de/_mmm/pdf/rv_sp_falschfahrer_1212_83112.pdf. abgerufen
- BIERWAS et al. (1981): Untersuchungen zur Verhinderung von Falschfahrten auf Autobahnen. In: Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Köln
- BLOKPOEL, A. & de NIET, M. (2000): Spookrijders en frontale botsingen op autosnelwegen; Omvang en ontwikkeling van de onveiligheid door het rijden in de verkeerde rijrichting in de periode t/m 1998. Leidschendam: SWOV.
- BRAAM, A. (2006): Statewide Study of Wrong Way Crashes on Freeways in North Carolina. Raleigh, N.C.: Carolina department of Transportation
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2012): Verkehr in Zahlen 2012/2013. Hamburg: DVV Media Group
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) (2009): Petition 498 – Sicherheit im Straßenverkehr – Geisterfahrer; Abschlussbegründung. Abgerufen am 06.05. 2014 von https://epetitionen.bundestag.de/petitionen/_2007/_07/_25/Petition_498.abschlussbegrueundungpdf.pdf
- COONER et al. (2004): Countermeasures for Wrong-Way Movement on Freeways: Overview of Project Activities and Findings. Texas Department of Transportation in cooperation with the U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration (FHWA)
- DESTATIS (2011): Regionaldatenbank. Von www.regionalstatistik.de. abgerufen
- DIK, R. (2011): Barrières lumineuses anticontresens, Vortrag zu „Les prises à contresens des routes à chaussées séparées: Connaitre, comprendre, agir, évaluer“. Bouguenais
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1993): Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS), Teil 2: Anwendung von Fahrbahnmarkierungen. Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (1993): Richtlinien für die Markierung von Straßen (RMS). Teil 1: Abmessungen und geometrische Anordnung von Markierungszeichen). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2008): Richtlinien für die Anlage von Autobahnen (RAA). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2010): Richtlinien für Lichtsignalanlagen (RiLSA). Köln: FGSV-Verlag
- Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) (2012): Richtlinien für die Anlage von Landstraßen 2012. Köln: FGSV-Verlag
- GERLACH, J. & SEIPEL, S. (2012): Schlussbericht: Falschfahrten auf Autobahnen
- HBS (2009): Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen Ausgabe 2001, Fassung 2009. Köln: FGSV Verlag
- Illinois Center For Transportation (2012): Investigation of contributing factors regarding wrong-way driving on freeways. Edwardsville
- Illinois Center For Transportation (2014): Guidelines for reducing wrong-way crashes on freeways
- KARHUNEN, M. (2003): Wrong way driving on motorway; frequency, reasons and prevention. Helsinki, Finnish National Road Administration
- LANGFORD, J., METHORST, R. & HAKAMIES-BLOMQVIST, L. (2006): Older drivers do not have a high crash risk – a replication of low milage bias, In: Accident Analysis and Prevention 39
- Ministerium für Verkehr und Infrastruktur Baden-Württemberg (MVI): Verkehrsminister Hermann ordnet zusätzliche Sicherheitsvorkehrungen gegen Falschfahrer an – Ursachenforschung vorantreiben. Abgerufen am 22. Juli 2013 von <http://www.mvi.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/114484/>
- National Transportation Safety Board (2012): Wrong-Way Driving – Special Investigation Report -NTSB/SIR12/01. Washington, D.C.: National Transportation Safety Board
- OLIVIER, F. & CONTREMOULINS, P. (2002): Dispositif anti-contresens de Maison-Brûlée sur l'autoroute A13

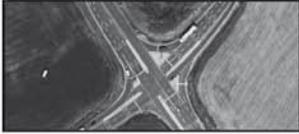
- PFLERGER et al. (2004): Herstellung eines Designs zur Verbesserung der Verkehrsführung bei Autobahn-, Schnellstraßen- und Bundesstraßenauffahrten. In: Heft 538, Strassenforschung. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 2004
- RINDE, P. E. (1978): Off-Ramp-Surveillance. Sacramento, CA: Department of Transportation
- ROBATSCH, K. (2000): Untersuchung zur Verhinderung von Geisterfahrten. In: Forschungsarbeiten aus dem Verkehrswesen, Band 108. Wien: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
- ROBATSCH, K. & HAGSPIEL, E. (2002): Geisterfahrer – Ursachen von Falschfahrten und entsprechende Maßnahmen. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Heft 48
- ROBATSCH, K., BREUSS, J. & OREAL, E. (2006): Analyse von Geisterfahrern – Analyse des Unfallgeschehens – Analyse von Maßnahmen. Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit (KfV)
- Sächsisches Staatsministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr (SMWA): Sicherheitsupgrade für Autobahnauffahrten. Abgerufen am 22. Juli 2013 von <http://www.medien-service.sachsen.de/medien/news/184423>
- SCARAMUZZA, G. & CAVEGN, M. (2006): Geisterfahrer: Unfallgeschehen - Interventionen, Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu, Pilotstudie R 0605. Bern, Schweiz
- SCHMIDT, M. (2012): Bewertung der Wirksamkeit von Falschfahrerwarntafeln und einer veränderten Markierung an Anschlussstellen zur Vermeidung von Falschfahrten auf Autobahnen – Zwischenbericht des Pilotversuchs in Bayern
- State of California, Department of Transportation (2010): California Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (California MUTCD). Sacramento
- SWOV (2009): SWOV Fact sheet Wrong-way driving, Institute for road safety research. Leidschendam, Niederlande: SWOV
- Texas Department of Transportation, Traffic Operations Division (TxDOT) (1974): Typical Standard Freeway Pavement Markings with Raised Pavement Markers: fpm (1) – 00A. Austin, Texas
- VOLLRATH, M., FOFANOVA, J. & MACIEJ, J. (2011): Ältere Autofahrer beim Linksabbiegen: eine Beobachtungsstudie im Realverkehr. In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit 4/2011. Braunschweig

Anhang 1 – Übersicht der ausgewählten modifizierten AS

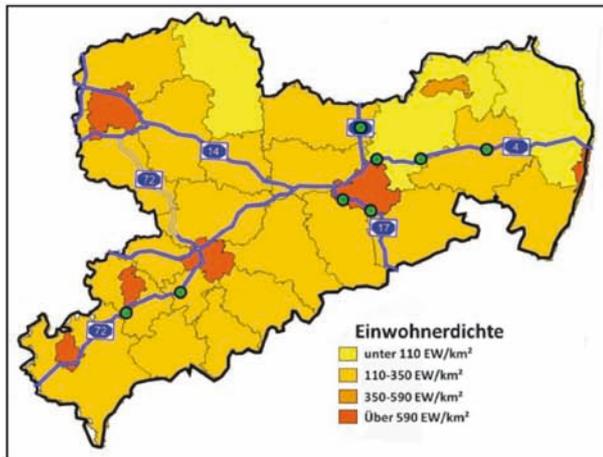
AS	BAB	allgemeine Form	Lageplan
BOGEN	BAB 3	Kreuzung ohne LSA	
REGENSBURG-OST	BAB 3	Kreuzung mit LSA	
REGENSBURG-WEINTING (NORD)	BAB 3	Eimmündung mit LSA	

MÜHLDORF-NORD (FR MÜ)	BAB 94	Eimmündung ohne LSA	
NEUÖTTING	BAB 94	Eimmündung ohne LSA	
MÜHLDORF-NORD (FR PA)	BAB 94	Eimmündung ohne LSA	
REGENSBURG-WEINTING (SÜD)	BAB 3	Eimmündung mit LSA	
NEUTRAUBLING (SÜD)	BAB 3	Eimmündung mit LSA	

Anhang 2 – Übersicht der ausgewählten RMS-konformen-AS

AS	BAB	allgemeine Form	Lageplan
STOLLBERG-NORD	BAB 72	Kreuzung mit LSA	
ZWICKAU-WEST	BAB 72	Kreuzung mit LSA	
THIENDORF	BAB 13	Kreuzung ohne LSA	
STOLLBERG -WEST	BAB 72	- Kreuzung ohne LSA	
DRESDEN-GORBITZ	BAB 17	Einmündung mit LSA	
PULSNITZ	BAB 4	Einmündung mit LSA	
OTTENDORF-OKRILLA	BAB 4	Einmündung ohne LSA	

HEIDENAU Sa.	BAB 17	Einmündung ohne LSA	
--------------	--------	---------------------	---



Anhang 3 – Optimiertes Design nach PFLEGER et al. (2004)



Anhang 4 – Kurzbeschreibung des Fahrsimulators



Die wesentlichen Merkmale des IVI-Fahrsimulators sind:

- Reales Fahrzeug: BMW 325i
- Force Feedback-Lenkrad (von FCS)
- Realistische Fahrdynamik
- Sphärische Projektionswand:
 - Radius 3,25m, 180° Sichtwinkel
 - Höhe: 2,60m, 50° Sichtwinkel
- Projektionssystem (frontal):
 - 3-kanalige Projektion mit 3 DLP-Projektoren, je 1280x1024 Bildpunkte, 3000 ANSI Lumen, Softedge-Blending
- 2 LCD-Displays als linker und mittlerer Rückspiegel
- Realistisches Soundsystem
- Einfach zu erstellende Terrains (virtuelle Umgebung)
- Anhand von Vergleichsfahrten mit Realität verifiziert

Anhang 6 – Versuchspersonenbefragung, Fragebogen A

-Einführungsinterview-

Versuchsperson: _____
 Datum: _____
 Zeit: _____

Fragen zur Person:

Alter: ____ Jahre

weiblich männlich

Beruf: _____

beschäftigt bei: _____

Führerschein seit ____ Jahren

Wie regelmäßig fahren Sie ein (eigenes oder fremdes) Fahrzeug?

- nie 1x pro Monat
 1x pro Woche mehrmals pro Woche
 täglich

Durchschnittliche Fahrtstrecke (km) pro Jahr:

- 0 km weniger als 5.000 km
 5.000-10.000 km 10.000-20.000 km
 mehr als 20.000 km

Verteilung der Fahrten:

____ % Autobahn ____ % Landstraße
 ____ % Stadt

Normalerweise gefahrenes Fahrzeug:

Typ: _____
 Baujahr: _____
 Hubraum: _____ ccm
 Leistung: _____ PS
 Schaltgetriebe Automatikgetriebe

Erfahrung mit Automatikgetriebe:

- keine sehr wenig
 wenig viel
 sehr viel

Tragen Sie beim Autofahren eine Brille?

- nein
 ja: spezielle Kurzsichtbrille
 spezielle Weitsichtbrille
 Universalbrille (inkl. Gleitsichtbrillen)

Einschätzung des eigenen Fahrverhaltens:

Ich fahre im Allgemeinen:

- sehr defensiv etwas defensiv
 normal sportlich
 etwas sportlich sehr sportlich

Anhang 7 – Versuchspersonenbefragung, Fragebogen B

-Nachbefragung-

Versuchsperson:

Datum:

Zeit:

Beurteilung der Simulatorfahrt

Aussage	trifft gar nicht zu	trifft wenig zu	teils-teils	trifft ziemlich zu	trifft völlig zu
1. Die Fahrt war anstrengend	<input type="checkbox"/>				
2. Ich fühlte mich während der ganzen Fahrt wohl	<input type="checkbox"/>				
3. Ich hatte mich nach kurzer Zeit an den Simulator gewöhnt	<input type="checkbox"/>				
4. Die Darstellungen der Landschaft und der Straßen waren realistisch	<input type="checkbox"/>				
5. Die simulierten Geräusche waren realistisch	<input type="checkbox"/>				
6. Das Aussehen anderer Fahrzeuge war realistisch	<input type="checkbox"/>				
7. Das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer war realistisch	<input type="checkbox"/>				
Sonstige Anmerkungen zur Simulatorfahrt:					

Beurteilung der Testsituationen

Sehen Sie sich die folgenden Linksabbiegesituationen, die während der Fahrt vorkamen, noch einmal an.

(Den Versuchspersonen werden Bilder der Testsituationen im DIN A4-Format vorgelegt)

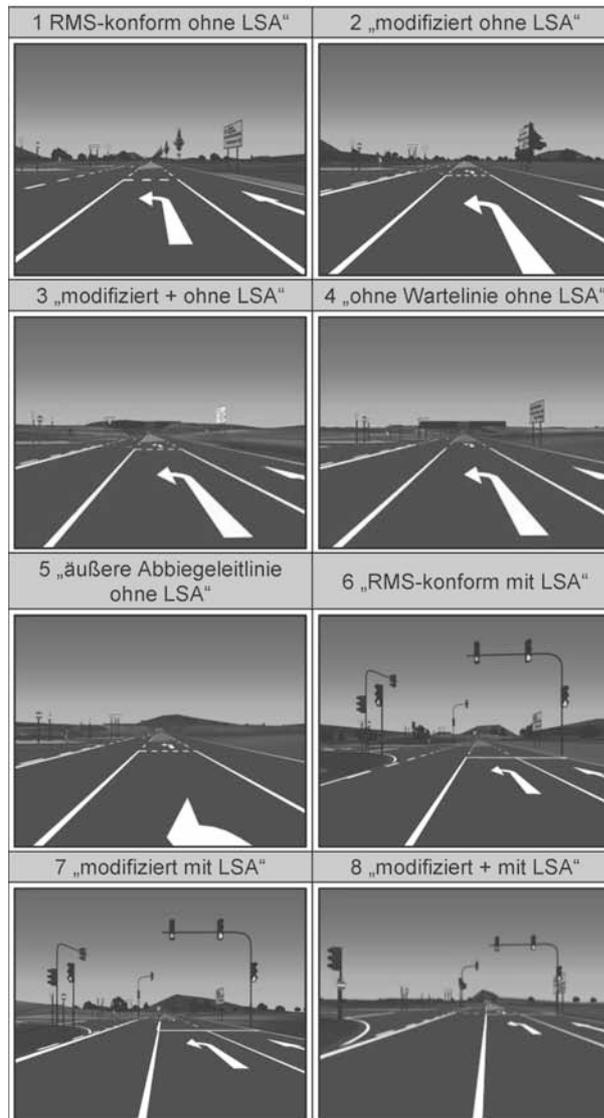
Ist Ihnen in den gezeigten Situationen etwas Besonderes aufgefallen?

Situation	keine Besonderheit	Besonderheiten
A	<input type="checkbox"/>	_____
B	<input type="checkbox"/>	_____
C	<input type="checkbox"/>	_____
D	<input type="checkbox"/>	_____

Waren die gezeigten Situationen einfach oder schwierig zu durchfahren?

Situation	einfach	etwas schwierig	sehr schwierig
A	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
B	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
C	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
D	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sonstige Anmerkungen zur Simulatorfahrt:			

Verwendete Bilder der Untersuchungsvarianten
(zum Fragebogen B):



Anhang 8 – Testdrehbuch

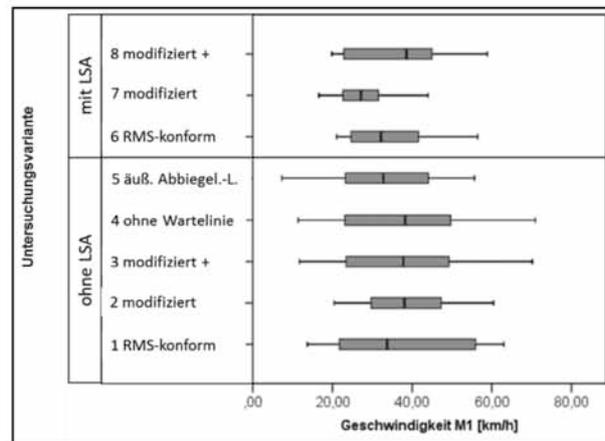
Zeit (hh:mm)	Aktivität	Dauer (hh:mm)
	Allgemeine Vorbereitung	
00:00	Einführungsinterview (Fragebogen A)	00:03
00:03	Allgemeine Testinstruktionen	00:02
0	Bekanntmachung mit dem Fahrzeug	
00:05	Einsteigen und Sitz einstellen	00:01
00:06	Instruktionen zur Bedienung des Fahrzeugs	00:02
	Gewöhnungsfahrt	
00:08	Instruktionen zur Gewöhnungsfahrt	00:02
00:10	Starten der Steuerung und Aufzeichnung	00:01
00:11	Gewöhnungsfahrt	00:07
00:18	Abfrage der Befindlichkeit	00:01
	-Abbruch bei Nichteignung-	
	Vorbereitung der Blickregistrierung	
00:19	Erstellen des FaceModels	00:05
	Testfahrt	
00:24	Instruktionen zur Testfahrt	00:01
00:25	Situationskonfiguration für 1. Testsequenz (Sequenz laden, Startpunkt setzen, starten)	00:03
00:28	Fahrt der 1. Testsequenz (Testsituation A+B)	00:12
00:40	Situationskonfiguration für 2. Testsequenz (Sequenz laden, Startpunkt setzen, starten)	00:03
00:43	Fahrt der 2. Testsequenz (Testsituation C+D)	00:12
00:55	Situationskonfiguration für 3. Testsequenz (Startpunkt setzen, starten)	00:01
00:56	Fahrt der 3. Testsequenz (Testsituation D+C)	00:12
01:08	Situationskonfiguration für 4. Testsequenz (Sequenz laden, Startpunkt setzen, starten)	00:03
01:11	Fahrt der 4. Testsequenz (Testsituation B+A)	00:12
	Nachbefragung	
01:23	Abschlussinterview (Fragebogen B)	00:07
01:30	Testende	

Anhang 9 – Geschwindigkeiten an Messpunkten

Messpunkt 1

Geschwindigkeit Messpunkt 1									
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Variante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Variante	1	1,00	0,11	0,04	0,37	0,03			
	2		1,00	0,38	0,66	0,39			
	3			1,00	0,29	0,90			
	4				1,00	0,30			
	5					1,00			
	6						1,00	0,59	0,30
	7							1,00	0,44
	8								1,00

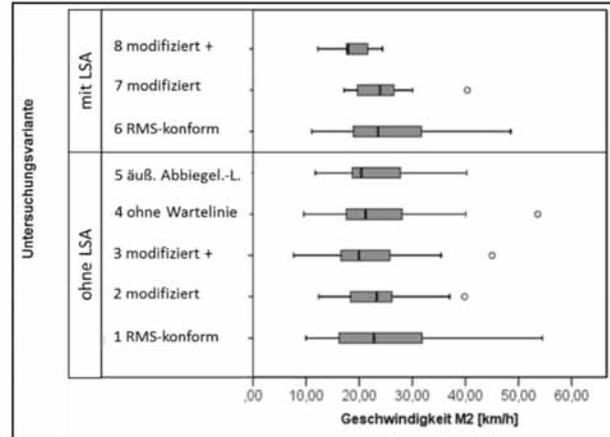
$p > 0,05$: Keine signifikanten Unterschiede
 $p \leq 0,05$: Signifikante Unterschiede (auf dem 5 %-Signifikanzniveau)
 $p \leq 0,01$: Sehr Signifikante Unterschiede (auf dem 1 %-Signifikanzniveau)



Messpunkt 2

Geschwindigkeit Messpunkt 2									
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Variante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Variante	1	1,00	0,13	0,06		0,21			
	2		1,00	0,53		0,83			
	3			1,00		0,45			
	4								
	5					1,00			
	6						1,00	0,52	0,07
	7							1,00	0,001
	8								1,00

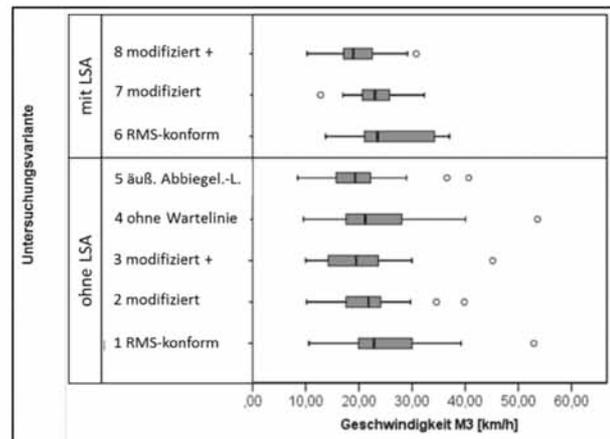
$p > 0,05$: Keine signifikanten Unterschiede
 $p \leq 0,05$: Signifikante Unterschiede (auf dem 5 %-Signifikanzniveau)
 $p \leq 0,01$: Sehr Signifikante Unterschiede (auf dem 1 %-Signifikanzniveau)



Messpunkt 3

Geschwindigkeit Messpunkt 3									
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Variante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Variante	1	1,00	0,04	0,02	0,37	0,04			
	2		1,00	0,59	0,44	0,68			
	3			1,00	0,26	0,94			
	4				1,00	0,33			
	5					1,00			
	6						1,00	0,20	0,007
	7							1,00	0,04
	8								1,00

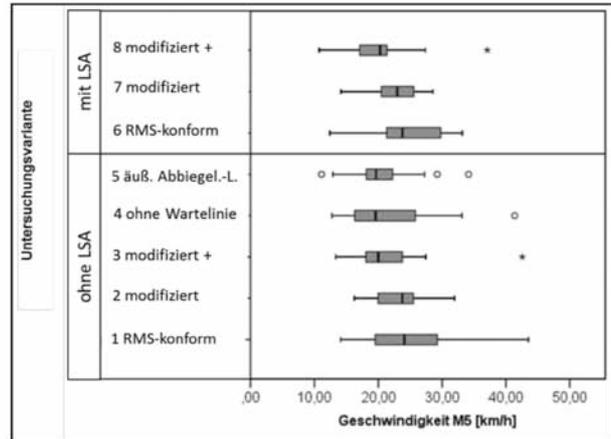
$p > 0,05$: Keine signifikanten Unterschiede
 $p \leq 0,05$: Signifikante Unterschiede (auf dem 5 %-Signifikanzniveau)
 $p \leq 0,01$: Sehr Signifikante Unterschiede (auf dem 1 %-Signifikanzniveau)



Messpunkt 4

Geschwindigkeit Messpunkt 4									
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Variante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Variante	1	1,00	0,02	0,02	0,29	0,02			
	2		1,00	0,69	0,33	0,69			
	3			1,00	0,24	0,99			
	4				1,00	0,24			
	5					1,00			
	6						1,00	0,50	0,02
	7							1,00	0,02
	8								1,00

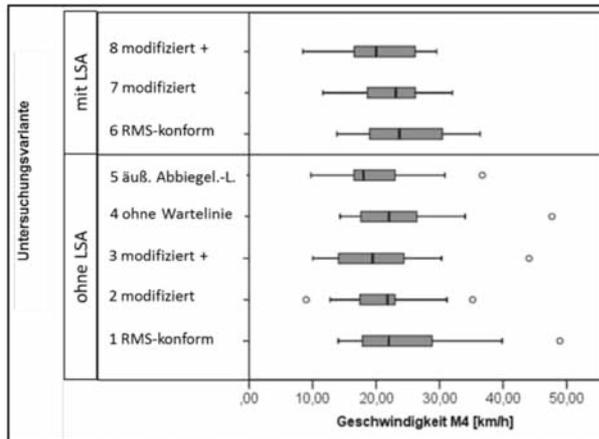
$p > 0,05$: Keine signifikanten Unterschiede
 $p \leq 0,05$: Signifikante Unterschiede (auf dem 5 %-Signifikanzniveau)
 $p \leq 0,01$: Sehr Signifikante Unterschiede (auf dem 1 %-Signifikanzniveau)



Messpunkt 6

Geschwindigkeit Messpunkt 6									
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Variante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Variante	1	1,00	0,09	0,49	0,052	0,18			
	2		1,00	0,19	0,4	0,80			
	3			1,00	0,07	0,36			
	4				1,00	0,35			
	5					1,00			
	6						1,00	0,69	0,39
	7							1,00	0,12
	8								1,00

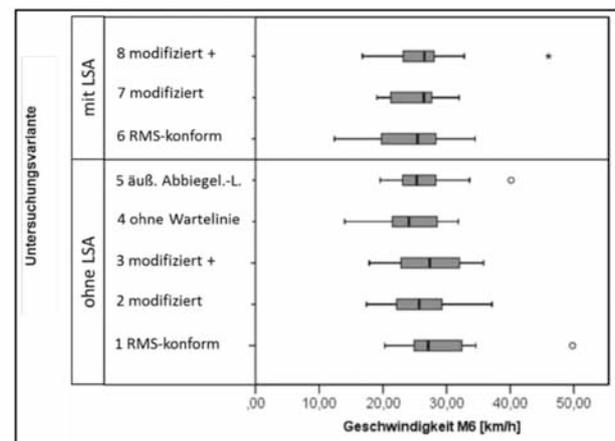
$p > 0,05$: Keine signifikanten Unterschiede
 $p \leq 0,05$: Signifikante Unterschiede (auf dem 5 %-Signifikanzniveau)
 $p \leq 0,01$: Sehr Signifikante Unterschiede (auf dem 1 %-Signifikanzniveau)



Messpunkt 5

Geschwindigkeit Messpunkt 5									
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Variante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Variante	1	1,00	0,09	0,045	0,20	0,051			
	2		1,00	0,42	0,99	0,45			
	3			1,00	0,56	0,91			
	4				1,00	0,61			
	5					1,00			
	6						1,00	0,35	0,06
	7							1,00	0,23
	8								1,00

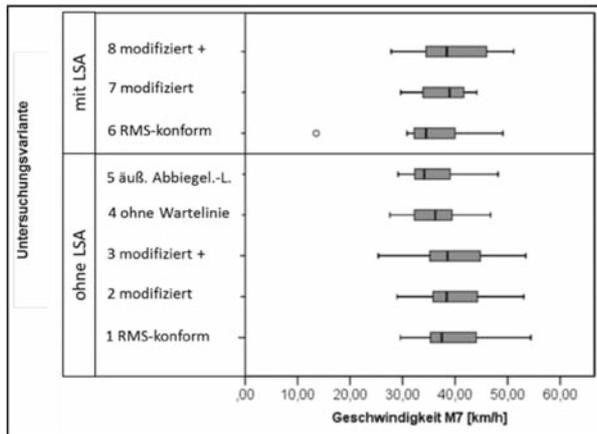
$p > 0,05$: Keine signifikanten Unterschiede
 $p \leq 0,05$: Signifikante Unterschiede (auf dem 5 %-Signifikanzniveau)
 $p \leq 0,01$: Sehr Signifikante Unterschiede (auf dem 1 %-Signifikanzniveau)



Messpunkt 7

		Geschwindigkeit Messpunkt 7							
Irrtumswahrscheinlichkeit p	Variante								
	1	2	3	4	5	6	7	8	
Variante	1	1,00	0,73	0,99	0,16	0,12			
	2		1,00	0,72	0,20	0,15			
	3			1,00	0,17	0,12			
	4				1,00	0,89			
	5					1,00			
	6						1,00	0,45	0,11
	7							1,00	0,18
	8								1,00

$p > 0,05$: Keine signifikanten Unterschiede
 $p \leq 0,05$: Signifikante Unterschiede (auf dem 5 %-Signifikanzniveau)
 $p \leq 0,01$: Sehr Signifikante Unterschiede (auf dem 1 %-Signifikanzniveau)



Anhang 10 – subjektive Beurteilung der Untersuchungsvarianten

Allgemeine Anmerkungen

Allgemeine Anmerkungen	Anzahl
Die Unterschiede der Markierungen und Beschilderungen sind während der Testfahrt nicht aufgefallen	40
Nur ohne/ mit Signal als Unterschied aufgefallen	6
War zu sehr mit dem Abbiegevorgang (Lenken durch die Kurve) selbst beschäftigt; keine Aufmerksamkeit auf Markierungen	3
Orientierung im Allgemeinen an dem blauen Pfeil (Ortsnamen)	7
Markierungen weniger zur Orientierung genutzt (sondern die Straßenführung)	1
Achte überhaupt nicht auf die Markierungen, sondern auf den Gegenverkehr	1
Die Abbiegeleitlinien sind während der Testfahrt aufgefallen	1

Variantenbezogene Anmerkungen

Anmerkungen zu Variante 1	Anzahl
Wartelinien bietet gute Orientierung	1
Wartelinie zu weit zurück (weg von der Einfahrt)	1
Wartelinie nicht unbedingt notwendig. Man fährt so weit vor, wie es geht	1
Linksabbiegepfeil zeigt nicht in die Abbiegerichtung	1
Linksabbiegepfeil zu weit zurück (weg von Einfahrt); evtl. irreführend	1
Vorfahrtszeichen in Richtung Auffahrt fehlen	1

Anmerkungen zu Variante 2	Anzahl
Abbiegeleitlinie hilfreich zur Orientierung	11
Der Pfeil vor der Wartelinie erleichtert die Orientierung	9
Die eingedrehten Schilder waren gut (zu sehen)	4
Die innere Abbiegeleitlinie ist besser zur Orientierung als die äußere	2
Eine durchgezogene Spurmarkierung (wie bei Kreuzungen) wäre evtl. hilfreicher als die Abbiegeleitlinie	1

Anmerkungen zu Variante 3	Anzahl
Abbiegeleitlinie hilfreich zur Orientierung	8
Der Pfeil vor der Wartelinie erleichtert die Einfahrt	5
Bake erleichtert die Einfahrt	5
Abbiegeleitlinie während der Testfahrt nicht aufgefallen	2
Wartelinie ist gut	1
Breitstrich in Ausfahrt ist gut	1
Die Abbiegeleitlinie wäre besser in Form einer Spurmarkierung (2 Linien)	1
Eingedrehte Schilder sind gut	1

Anmerkungen zu Variante 4	Anzahl
Fehlende Wartelinie ist schlecht- erschwert Orientierung	7
Eingedrehte Schilder sind hilfreich	4
Zusätzlicher Linksabbiegepfeil (vor Einfahrt) ist hilfreich	2
Die fehlende Wartelinie ist egal/ nicht entscheidend	2
Die durchgezogene Begrenzungslinie an der Ausfahrt könnte vor falschem Einfahren schützen	2
Wegen fehlender Wartelinie desorientiert beim Einbiegen deshalb „hinten herum“ eingefahren	1
Die fehlende Wartelinie ist etwas irritierend	1
Fehlende Wartelinie ist besser (weil man dann weiter nach vorne fährt)	1
Fehlende Wartelinie macht es klarer, übersichtlicher	1
Vorgelagerte Pfeile sind irreführend	1
Breitstrich in Zufahrt eher verwirrend	1

Anmerkungen zu Variante 5	Anzahl
Der Pfeil vor der Wartelinie ist gut (für die Orientierung)	9
Die Bake ist hilfreich für die Orientierung, besonders bei Dunkelheit und schlechter Sicht	7
Äußere Abbiegeleitlinie ist gut	3
Der Pfeil vor der Wartelinie ist nicht aufgefallen	2
Wartelinienanordnung ist gut („Vorwarnung“, „erhöht Aufmerksamkeit“)	2
Die äußere Abbiegeleitlinie bietet keine so gute Führung, wie die innere Abbiegeleitlinie	1
Die äußere Abbiegeleitlinie ist überflüssig	1
Die eingedrehten Schilder sind sehr gut	1
Die Bake bringt nicht viel	1
Wichtig ist, dass die Bake und der eingedrehte Pfeil gut zu sehen sind	1

Anmerkungen zu Variante 6	Anzahl
Vorgezogene LA-Wiederholungssignal verführt evtl. zu falschem Abbiegen	3
LA-Wiederholungssignal ist schlecht positioniert, weiter vorne wäre sinnvoller	3
Signale nicht gut erkennbar (wg. Auflösung)	2
Signale bei Rot überfahren, weil nicht wahrgenommen	1
Man muss gut aufpassen, damit man nicht falsch fährt	1
Haltlinie zu weit zurück, verleitet evtl zu zu frühem Einordnen	1
Seitliche Fahrstreifenbegrenzung sollte durchgezogen sein	1
LA-Wiederholungssignal ist gut	1
LA-Wiederholungssignal nicht gesehen	1
LA-Wiederholungssignal eigentlich nicht nützlich	1

Anmerkungen zu Variante 7	Anzahl
Vorgezogene LA-Wiederholungssignal ist schlecht positioniert (verleitet evtl. sogar zu falschem Einbiegen)	7
Abbiegeleitlinie ist gut zur Orientierung	6
Durchgezogene Linie (bis zur Abbiegeleitlinie) ist gut	2
Eingedrehte Schilder sind sehr gut	2
Zusätzlicher Richtungspfeil (vor Haltlinie) ist hilfreich	1
Man muss weiter vor fahren (ungewohnt)	1
Es ist schnell intuitiv verständlich, wo man hinfahren muss	1
LA-Wiederholungssignal ist gut	1

Anmerkungen zu Variante 8	Anzahl
LA-Wiederholungssignal besser positioniert als bei Situation 6,7	11
Haltlinie und Signal gut; man muss nicht auf den Gegenverkehr achten	1
Bake erleichtert die Einfahrt	1
Signale sind ziemlich weit vorne	1
Diese Variante ist übersichtlicher als die anderen (Signal-)Varianten)	1
Vorgezogene Haltlinie ist besser (als bei Var. 7)	1
Pfeil vor Haltlinie ist bei Signalregelung nicht erforderlich	1

Kriterienbezogene Zusammenstellung

Abbiegepfeil vor Wart-/ Haltlinie	Variante	Anzahl
Der Abbiegepfeil vor der Wart-/ Haltlinie erleichtert die Orientierung	2	9
	3	5
	4	2
	5	9
	7	1
	8	0

Innere Abbiegeleitlinie	Variante	Anzahl
Die innere Abbiegeleitlinie ist hilfreich für die Orientierung	2	11
	3	8
	7	6
	Gesamt	25
Die innere Abbiegeleitlinie ist besser zur Orientierung als die äußere	2	2
	3	
	7	
	Gesamt	2

äußere Abbiegeleitlinie	Variante	Anzahl
Die äußere Abbiegeleitlinie ist hilfreich	5	3
Die äußere Abbiegeleitlinie bietet weniger Führung als die innere		1
Die äußere Abbiegeleitlinie ist überflüssig		1

Fehlende Wartelinie	Variante	Anzahl
Fehlende Wartelinie ist schlecht, irritiert bzw. erschwert die Orientierung	4	7
Die fehlende Wartelinie ist egal/ nicht entscheidend		2
Fehlende Wartelinie ist besser (übersichtlicher)		2

Fahrstreifenbegrenzung in Zufahrt als Breitstrich	Variante	Anzahl
Durchgezogene Begrenzungslinie (Breitstrich) in Ausfahrt ist gut	3	1
	4	2
	5	
	7	
	8	
	Gesamt	3

Eingedrehte Schilder	Variante	Anzahl
Die eingedrehten Schilder sind gut, weil besser zu sehen	2	4
	3	1
	4	4
	5	1
	7	2
	8	
	Gesamt	12

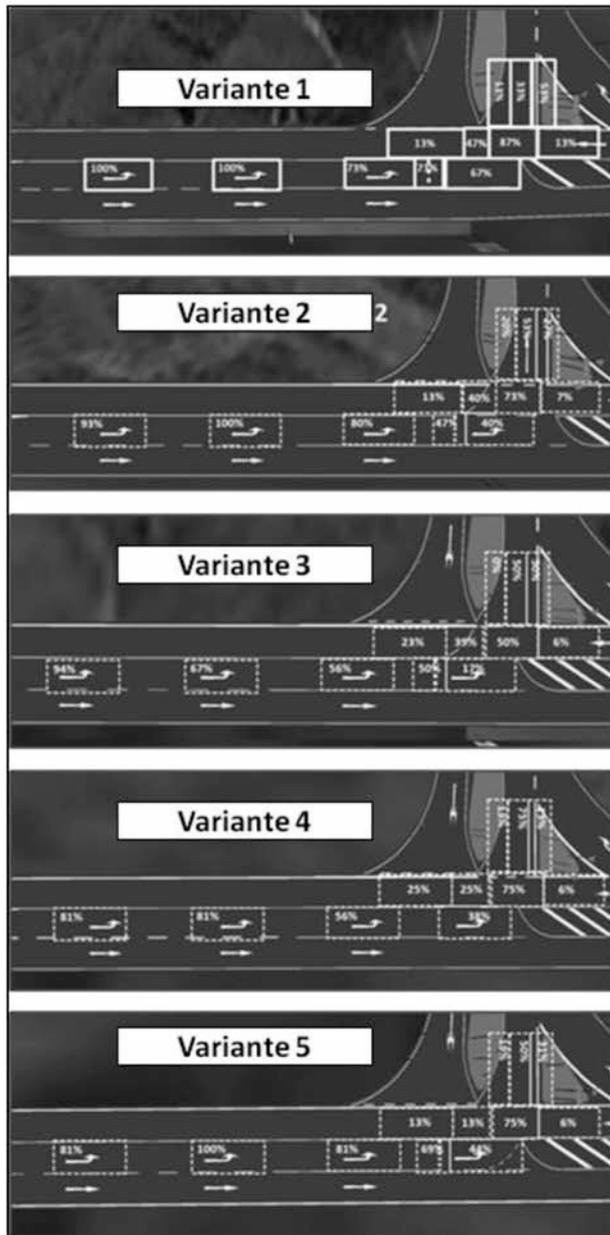
Leitplatte Z 626 (Bake)	Variante	Anzahl
Bake erleichtert die Orientierung bei der Einfahrt	2	4
	5	5
	8	1
	Gesamt	10
Die Bake ist gut besonders bei Dunkelheit/ schlechter Sicht	3	1
	5	2
	8	
	Gesamt	3

LA-Wiederholungssignal vor Ausfahrt	Variante	Anzahl
Das LA-Wiederholungssignal ist schlecht (zu weit zurück) positioniert)	6	3
	7	1
	Gesamt	4
Das LA-Wiederholungssignal verführt evtl. zu falschem (zu frühem) Abbiegen	6	3
	7	5
	Gesamt	8

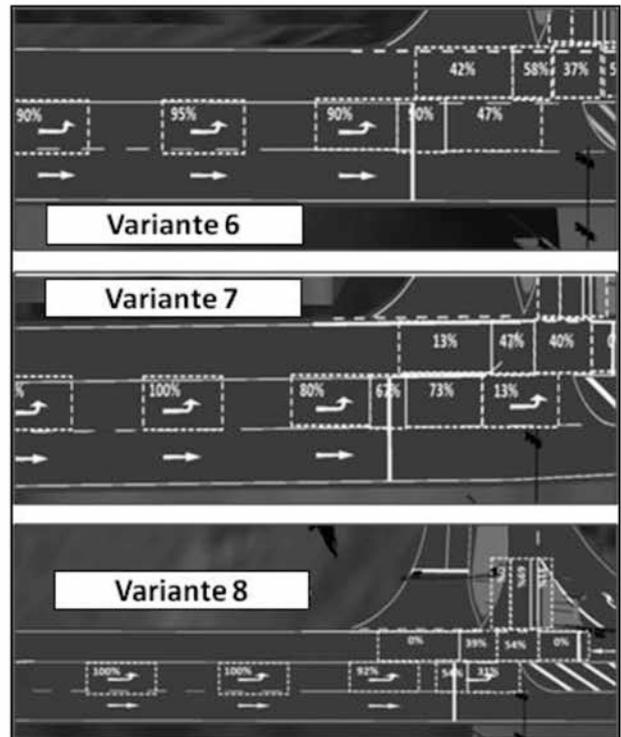
LA-Wiederholungssignal auf Dreiecksinsel	Testsituation	Anzahl
Die LA-Wiederholungssignal besser positioniert als bei Var. 6 bzw. 7	8	10

Anhang 11 – Blickuntersuchungen

Varianten ohne LSA

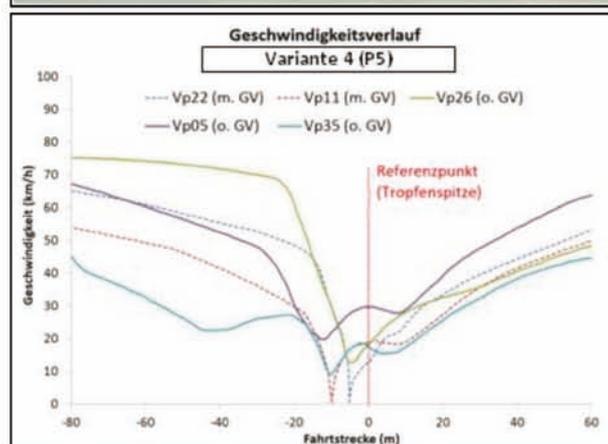
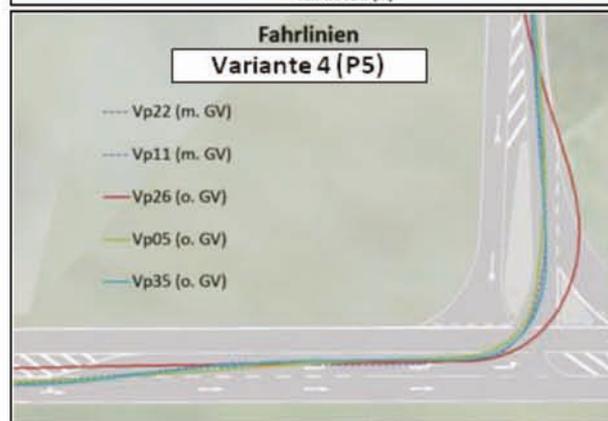
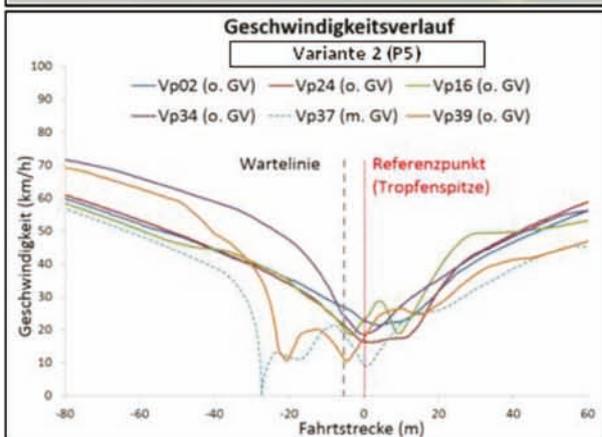
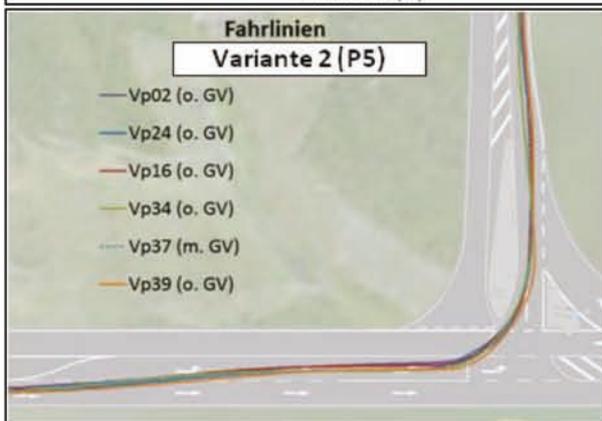
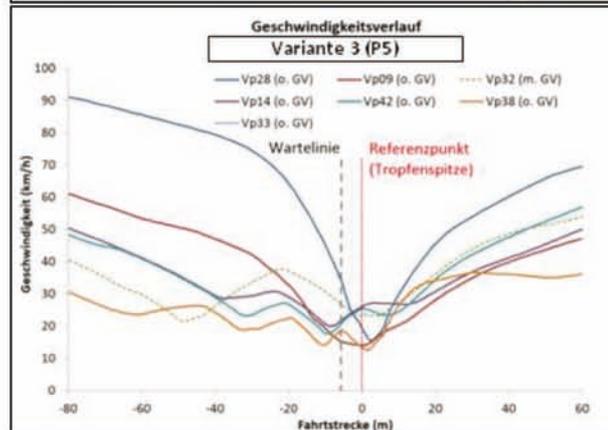
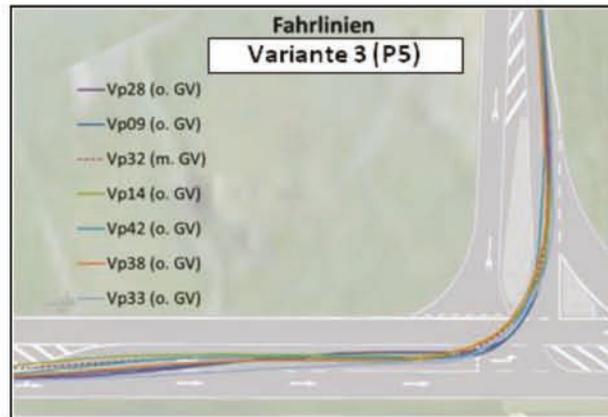
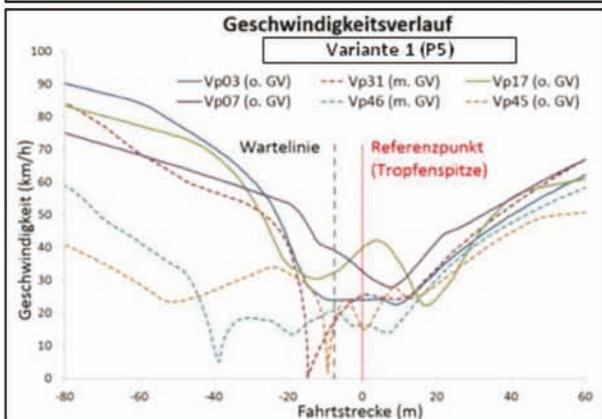
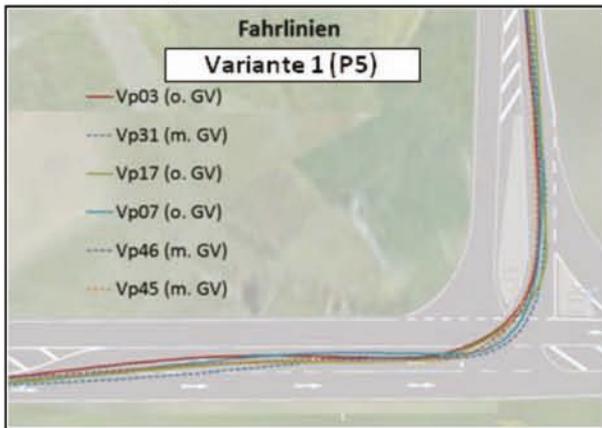


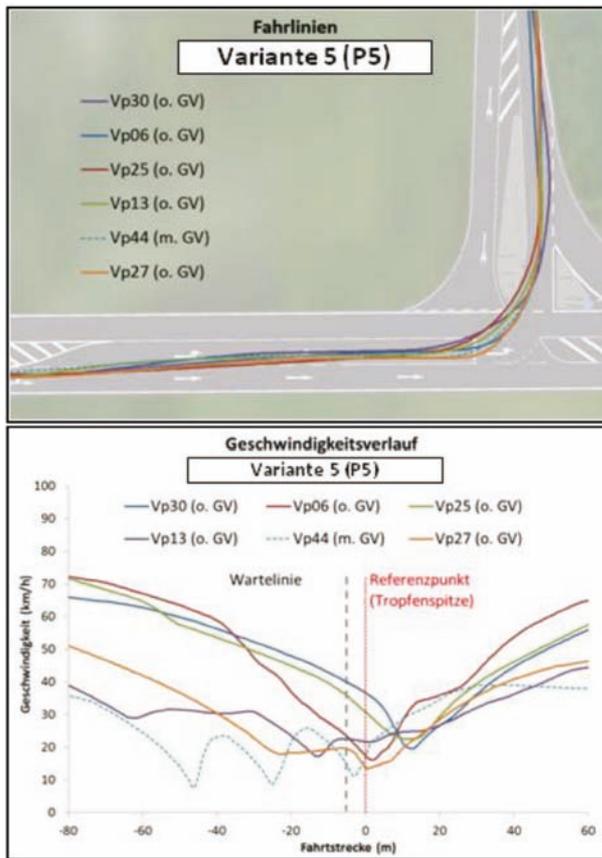
Varianten mit LSA



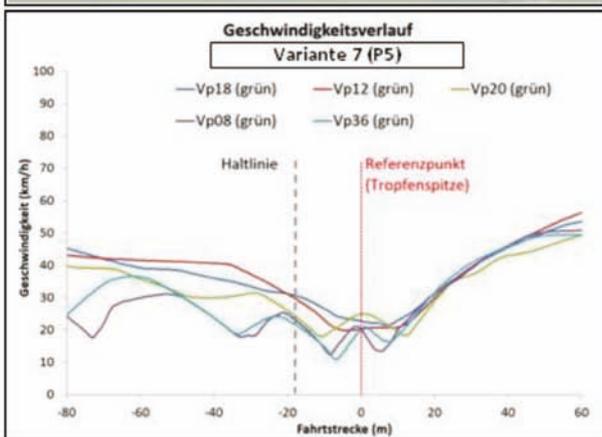
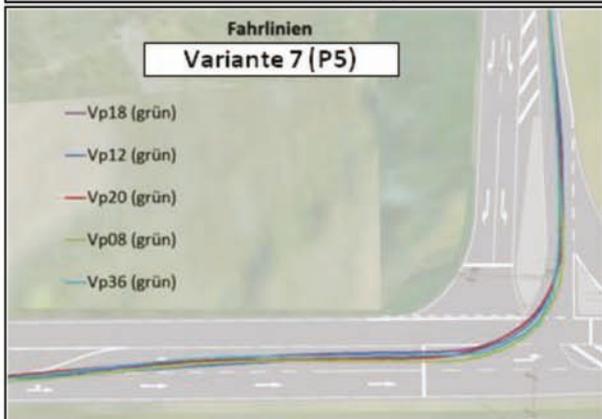
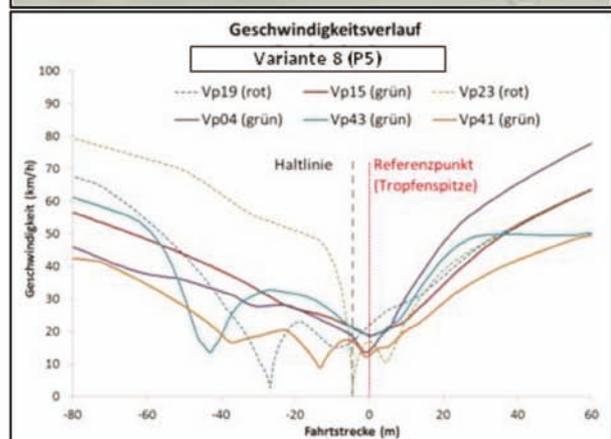
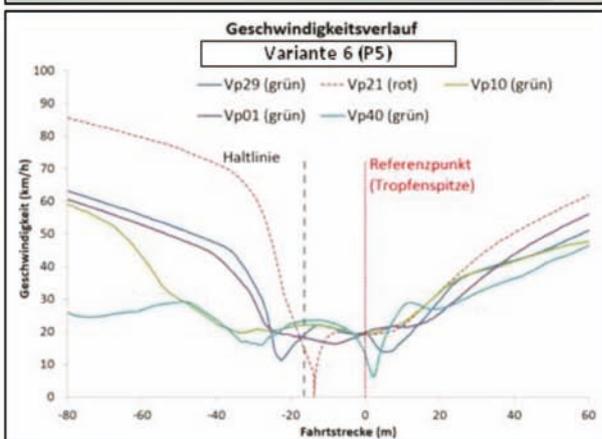
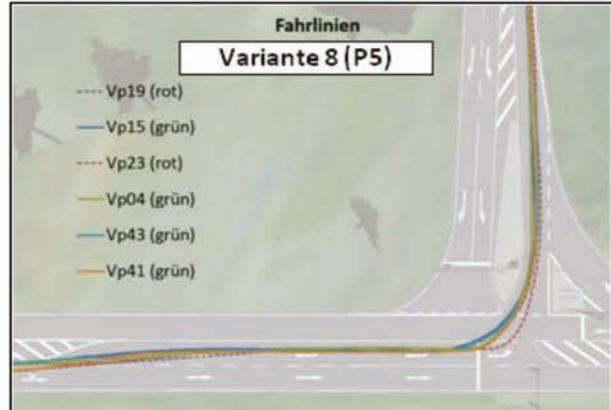
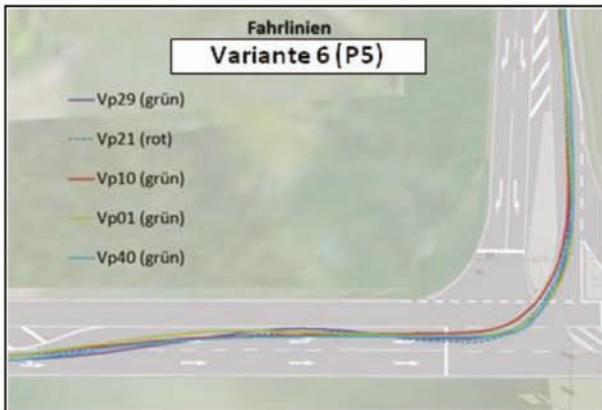
Anhang 12 – Geschwindigkeitsverlauf

Untersuchungsvarianten ohne LSA





Untersuchungsvarianten mit LSA



Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Verkehrstechnik“

2012

V 210: Schmale zweibahnig vierstreifige Landstraßen (RQ 21)
Maier, Berger € 18,50

V 211: Innliegende Linkseinfädelungstreifen an plangleichen Knotenpunkten innerorts und im Vorfeld bebauter Gebiete
Richter, Neumann, Zierke, Seebo € 17,00

V 212: Anlagenkonzeption für Meistereigehöfte – Optimierung von Arbeitsabläufen
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 213: Quantifizierung von Verkehrsverlagerungen durch Baustellen an BAB
Laffont, Mahmoudi, Dohmen, Funke-Akbiyik, Vieten € 18,00

V 214: Vernetzungseignung von Brücken im Bereich von Lebensraumkorridoren
Schmellekamp, Tegethof
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

V 215: Stauprävention auf BAB im Winter
Kirschfink, Poschmann, Zobel, Schedler € 17,00

V 216: Verbesserung der Verkehrssicherheit auf einbahnig zweistreifigen Außerortsstraßen (AOSI)
Lippold, Weise, Jährig € 17,50

V 217: Verbesserung der Bedingungen für Fußgänger an Lichtsignalanlagen
Alrutz, Bachmann, Rudert, Angenendt, Blase, Fohlmeister, Häckelmann € 18,50

V 218: Empfehlungen zum richtigen Aufbringen von Tausalzlösungen
Hausmann € 16,00

V 219: Bewältigung großer Verkehrsmengen auf Autobahnen im Winter
Roos, Zimmermann, Schulz, Riffel € 16,50

2013

V 220: Maßnahmen zur Bewältigung der besonderen psychischen Belastung des Straßenbetriebsdienstpersonals – Pilotstudie
Pöpping, Pollack, Müller € 16,00

V 221: Bemessungsverkehrsstärken auf einbahnigen Landstraßen
Arnold, Kluth, Ziegler, Thomas € 18,50

V 222: Aktualisierung des MLuS 02 – Erstellung der RLuS
Düring, Flassak, Nitzsche, Sörgel, Dünnebeil, Rehberger € 19,50

V 223: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2010
Fitschen, Nordmann € 16,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 224: Prüfung und Bewertung von Schutzeinrichtungen der Aufenthaltstufe H4b für den Einsatz auf Brücken – Teil 1 und 2
Bergerhausen, Klostermeier, Klöckner, Kübler € 19,00

V 225: Neue Technik für den Straßenbetriebsdienst – Teil 1: Neue Informations- und Kommunikationstechniken Teil 2: Autonomes Fahren für den Straßenbetriebsdienst
Holldorb, Häusler, Träger € 21,50

V 226: Bewertungsmodell für die Verkehrssicherheit von Landstraßen
Maier, Berger, Schüller, Heine € 18,00

V 227: Radpotenziale im Stadtverkehr
Baier, Schuckließ, Jachtmann, Diegmann, Mahlau, Gässler € 17,00

V 228: Sicherheitskenngrößen für den Radverkehr
Baier, Göbbels, Klemps-Kohnen € 15,50

V 229: Straßenverkehrszählungen (SVZ) mit mobilen Messsystemen
Schmidt, Frenken, Hellebrandt, Regniet, Mahmoudi € 20,50

V 230: Verkehrsadaptive Netzsteuerungen
Hohmann, Giuliani, Wietholt € 16,50

V 231: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2011
Fitschen, Nordmann € 28,50
Dieser Bericht ist sowohl als gedrucktes Heft der Schriftenreihe als auch als CD erhältlich oder kann außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 232: Reflexkörper und Griffigkeitsmittel in Nachstreumittelgemischen für Markierungssysteme
Recknagel, Eichler, Koch, Proske, Huth € 23,50

V 233: Straßenverkehrszählung 2010 – Ergebnisse
Lensing € 16,00

V 234: Straßenverkehrszählung 2010 – Methodik
Lensing € 17,50

2014

V 235: Dynamische Messung der Nachtsichtbarkeit von Fahrbahnmarkierungen bei Nässe
Drewes, Laumer, Sick, Auer, Zehntner € 16,00

V 236: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2012
Fitschen, Nordmann € 28,50
Die Ergebnisdateien sind auch als CD erhältlich oder können außerdem als kostenpflichtiger Download unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

V 237: Monitoring von Grünbrücken – Arbeitshilfe für den Nachweis der Wirksamkeit von Grünbrücken für die Wiedervernetzung im Rahmen der KP II – Maßnahmen
Bund-Länder Arbeitskreis
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden. Der Anhang ist interaktiv. Das heißt er kann ausgefüllt und gespeichert werden.

V 238: Optimierung der Arbeitsprozesse im Straßenbetriebsdienst – Sommerdienst
Schmauder, Jung, Paritschkow € 19,00

V 239: Dynamische Messung der Griffigkeit von Fahrbahnmarkierungen
Steinauer, Oeser, Kemper, Schacht, Klein € 16,00

V 240: Minikreisverkehre – Ableitung ihrer Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen
Baier, Leu, Klemps-Kohnen, Reinartz, Maier, Schmotz € 23,50

V 241: Rastanlagen an BAB – Verbesserung der Auslastung und Erhöhung der Kapazität durch Telematiksysteme
Kleine, Lehmann, Lohoff, Rittershaus € 16,50

- V 242: Bordsteinkanten mit einheitlicher Bordhöhe und Bodenindikatoren an Überquerungsstellen
Boenke, Grossmann, Piazzolla, Rebstock, Herrnsdorf, Pfeil € 20,00
- V 243: Nutzen und Kosten von Verkehrsbeeinflussungsanlagen über den gesamten Lebenszyklus
Balmberger, Maibach, Schüller, Dahl, Schäfer € 17,50
- V 244: Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2013
Fitschen, Nordmann € 28,50
- V 245: Überprüfung der Befahrbarkeit innerörtlicher Knotenpunkte mit Fahrzeugen des Schwerlastverkehrs
Friedrich, Hoffmann, Axer, Niemeier, Tengen, Adams, Santel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 246: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Verkehrssicherheit in Einfahrten auf Autobahnen
Kathmann, Roggendorf, Kemper, Baier
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 247: Befahrbarkeit plangleicher Knotenpunkte mit Lang-Lkw
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 248: Verkehrsnachfragewirkungen von Lang-Lkw – Grundlagentermittlung
Burg, Röhling
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- teile von Straßen in die systematische Straßenerhaltung als Voraussetzung eines umfassenden Asset Managements
Zander, Birbaum, Schmidt
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 257: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen
Ohm, Fiedler, Zimmermann, Kraxenberger, Maier Hantschel, Otto € 18,00
- V 258: Regionalisierte Erfassung von Straßenwetter-Daten
Hollдорf, Streich, Uhlig, Schäufele € 18,00
- V 259: Berücksichtigung des Schwerverkehrs bei der Modellierung des Verkehrsablaufs an planfreien Knotenpunkten
Geistefeldt, Sievers
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 260: Berechnung der optimalen Streudichte im Straßenwinterdienst
Hausmann € 15,50
- V 261: Nutzung von Radwegen in Gegenrichtung - Sicherheitsverbesserungen
Alrutz, Bohle, Busek € 16,50
- V 262: Verkehrstechnische Optimierung des Linksabbiegens vom nachgeordneten Straßennetz auf die Autobahn zur Vermeidung von Falschfahrten
Maier, Pohle, Schmotz, Knote, Nirschl, Erbsmehl € 16,00

2015

- V 249: Auswirkungen von Querschnittsgestaltung und längsgerichteten Markierungen auf das Fahrverhalten auf Landstraßen
Schlag, Voigt, Lippold, Enzfelder
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 250: Befahrbarkeit spezieller Verkehrsanlagen auf Autobahnen mit Lang-Lkw
Lippold, Schemmel
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 251: Einsatzbereiche und Einsatzgrenzen von Straßenumgestaltungen nach dem „Shared Space“-Gedanken
Baier, Engelen, Klemps-Kohnen, Reinartz € 18,50
- V 252: Standortkataster für Lärmschutzanlagen mit Ertragsprognose für potenzielle Photovoltaik-Anwendungen
Gündera, Barron, Henrichs, Jäger, Höfle, Marx, Peters, Reimer, Zipf € 15,00
- V 253: Auswirkungen von Lang-Lkw auf die Sicherheit und den Ablauf des Verkehrs in Arbeitsstellen
Baier, Kemper
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 254: Beanspruchung der Straßeninfrastruktur durch Lang-Lkw
Wellner, Uhlig
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 255: Überholen und Räumen – Auswirkungen auf Verkehrssicherheit und Verkehrsablauf durch Lang-Lkw
Zimmermann, Riffel, Roos
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- V 256: Grundlagen für die Einbeziehung der sonstigen Anlagen-

Alle Berichte sind zu beziehen im:

Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Tel. (0421) 3 69 03-53
Fax (0421) 3 69 03-48
www.schuenemann-verlag.de

Dort ist auch ein Kompletverzeichnis erhältlich.