

Abbiege- Assistenzsystem für Lkw

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 104

bast

Abbiege- Assistenzsystem für Lkw

Grundlagen eines Testverfahrens

von

Benjamin Schreck
Patrick Seiniger

Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 104

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 F1100.5114002:
Abbiegeassistenten für Lkw
Grundlagen für ein Testverfahren

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 0943-9307
ISBN 978-3-95606-171-4

Bergisch Gladbach, Mai 2015

Kurzfassung – Abstract

Abbiege-Assistenzsystem für Lkw

Abbiegeunfälle mit Kollisionen zwischen rechtsabbiegenden Güterkraftfahrzeugen und Fahrrädern haben in der Regel schwerwiegende Folgen für den ungeschützten Verkehrsteilnehmer. In der Vergangenheit wurde durch eine steigende Anzahl von Spiegeln das individuelle Sichtfeld des Lkw-Fahrers vergrößert und die Sicherheit für ungeschützte Verkehrsteilnehmer durch den Seitenunterfahrerschutz verbessert. Da Abbiegeunfälle trotz der Vielzahl an Spiegeln auch heute noch geschehen, gleichzeitig aber Fahrerassistenzsysteme Einzug in viele Fahrzeugklassen gehalten haben, liegt es nahe, derartige Systeme für die Verhinderung von Abbiegeunfällen zu nutzen. Um entsprechende Systementwicklungen fördern zu können oder aber auch Systeme vorschreiben zu können, sind Anforderungen und passende Testmethoden für Abbiegeassistenzsysteme erforderlich. Ziel der BAST war es, solche Anforderungen und ein mögliches Testverfahren hierfür zu entwickeln.

Ausgehend von Analysen des Unfallgeschehens wurden charakteristische Parameter und Begleitumstände von Unfällen zwischen Fahrrädern und rechtsabbiegenden Lkw identifiziert. Aus fahrdynamischen Überlegungen folgt bei den gegebenen Parametern, dass nur eine frühe, aber niederschwellige Fahrerinformation eine wirkungsvolle Assistenzfunktion zur Verhinderung der Unfälle sein kann. Für automatische Bremsungen gibt es bisher noch zu wenig Erfahrungen im Feld, und klassische, hochschwellige, aber sehr spät erfolgende Warnsignale würden durch die dann noch verstreichende Reaktionszeit keine rechtzeitige Bremsung des Lkw-Fahrers mehr hervorrufen.

Basierend auf dem identifizierten Parameterraum, der zum komfortablen Anhalten erforderlichen Zeit und einem geeigneten Kinematikmodell lassen sich die räumlichen Bereiche um den Lkw definieren, in dem eine Umfelderkennung den Fahrradfahrer detektieren können muss, damit das Informationssignal durch das Assistenzsystem an den Lkw-Fahrer rechtzeitig ausgegeben wird.

Aktuell wird davon ausgegangen, dass ein Abbiegeassistenzsystem, das die hier beschriebenen Prüfungen besteht, einen sehr positiven Einfluss auf das Unfallgeschehen zwischen rechtsabbiegenden Lkw und Fahrrädern haben wird.

Driver assistance system for right-turning

Turning maneuvers with collisions between commercial vehicles and bikes usually have serious consequences for the vulnerable road user. In the past, the truck driver's indirect field of view has been increased using increasing number of mirrors. Since on the one hand turning accidents still happen despite this multitude of mirrors and on the other hand driver assistance systems have found their way into many vehicle classes, it makes sense to use such systems for the prevention of turning accidents. In order to stimulate system development or in order to mandate systems, requirements and test methods suitable for these turning driver assistance systems are required. The aim of the Federal Highway Research Institute was to develop potential requirements and a test method.

Characteristic parameters and circumstances for accidents between bicycles and right-turning trucks were identified using accident analyses. Driving dynamics considerations for the given parameters suggest that only an early, but low-threshold driver information can be an effective assistance function for preventing this type of accident. For automatic braking, there is still too little experience in the field, and conventional warning systems that warn with a high intensity, but relatively late would due to the driver reaction time not be able to induce a braking manoeuvre with substantial benefit.

The combination of parameter space, the time required for comfortable stop and a suitable kinematic model allow for the definition of relevant regions around the truck in which bicycles need to be detected in order to give the information signal to the truck driver in time. Currently, it is assumed that a driver assistance system that passes the test setup will have a very positive impact on accident figures between right-turning trucks and bikes.

Inhalt

Abkürzungen	6	3.3.2 Anprallorte am Lkw	19
1 Einleitung und Zielsetzung	7	3.3.3 Sichtbehinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern	20
1.1 Ausgangssituation	7	3.3.4 Weitere Randbedingungen	20
1.2 Auftrag und Zielsetzung	7	3.3.5 Geometrie der Unfallstelle	21
1.3 Beteiligung Betroffener	7	3.4 Im Testverfahren zu prüfender Parameterraum	21
1.4 Methodik	7	4 Ableitung von Testfällen	21
2 Makroskopische Unfallanalyse und Ermittlung der Hauptunfall- typen	8	4.1 Relevante Parameter des Unfallgeschehens	21
2.1 Einordnung in das Gesamtunfall- geschehen	8	4.2 Bewertungskriterien	22
2.1.1 Beteiligung Radverkehr	8	4.3 Kinematikmodell der Unfallsituationen	23
2.1.2 Beteiligung Fußgänger	9	4.4 Sensorsichtbereiche	25
2.2 Abbiegeunfälle sowie Hauptunfall- typen zwischen Güterkraftfahrzeugen und Radverkehr	9	4.5 Testfälle	25
3 Mikroskopische Analyse der Rechtsabbiegeunfälle und Ermittlung von Unfallszenarien	12	5 Testdurchführung	27
3.1 Unfalldatenbank der Unfallforschung der Versicherer	12	5.1 Anforderungen an die Testdurchführung	27
3.1.1 Unfalltypen mit der Beteiligung Fußgängerverkehr	13	5.2 Mess- und Bewertungsgrößen	27
3.1.2 Unfalltypen mit der Beteiligung Radverkehr	13	5.3 Werkzeuge	28
3.1.3 Ermittlung der Unfallszenarien	13	5.4 Erforderliche Anpassungen der Serien-Dummybewegungsanlage	28
3.1.4 Analyse der Rechtsabbiege- unfälle	14	5.5 Versuchsaufbau	29
3.2 German In-Depth Accident Study	16	5.6 Erkennung stehender Radfahrer und Robustheit gegen Falsch- auslösungen	34
3.2.1 Struktur	16	6 Zusammenfassung und Ausblick	34
3.2.2 Analyse der Rechtsabbiegeunfälle	17	7 Literatur	35
3.2.3 Geschwindigkeitsverteilungen	17		
3.3 Weitere Quellen und Vergleich mit der Literatur	18		
3.3.1 Geschwindigkeiten und Fahrverhalten	18		

Abkürzungen

ADFC	Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club e. V.
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
DVR	Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V.
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.
GIDAS	German In-Depth Accident Study
Gkz	Güterkraftfahrzeug
GT	Getötete
KPA	Knotenpunktarm
Lkw	Lastkraftwagen
LSA	Lichtsignalanlage
LV	Leichtverletzte
NI	Niedersachsen
NW	Nordrhein-Westfalen
RP	Rheinland Pfalz
SL	Saarland
SV	Schwerverletzte
U(LV)	Unfälle mit Leichtverletzten
U(P)	Unfälle mit Personenschaden
U(SV)	Unfälle mit Schwerverletzten
UDB	Unfalldatenbank der Unfallforschung
UDV	Unfallforschung der Versicherer
UNECE	Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen
VDA	Verband der Deutschen Automobilindustrie e. V.
zGG	zulässiges Gesamtgewicht

1 Einleitung und Zielsetzung

1.1 Ausgangssituation

Unfälle unter gleichzeitiger Beteiligung von Lkw und Radfahrern¹ sind häufig folgenschwer. Abbiegeunfälle gehören dabei zu den schweren Radfahrernfällen. Besonders schwerwiegend sind die Folgen für den Radfahrer, wenn dieser in einer „Toten Winkel“-Situation mit einem Güterkraftfahrzeug kollidiert. Eine Hochrechnung (Potenzialabschätzung) auf das Bundesgebiet für das Jahr 2012 ergab, dass rund 640 Unfälle mit Personenschaden mit 23 getöteten und weiteren 118 schwerverletzten Radfahrern auf die Unfallsituation zwischen rechtsabbiegenden Güterkraftfahrzeugen und geradeausfahrenden Radfahrern, die in einem Zusammenhang mit dem „Toten Winkel“ eines Güterkraftfahrzeuges stehen können, zurückzuführen sind. Damit stellen diese Unfälle 1 % aller Radfahrernfälle sowie rund 6 % der insgesamt 406 getöteten Radfahrer im Jahre 2012. Die schweren „Toten Winkel“-Unfälle sind überwiegend geprägt von schweren Güterkraftfahrzeugen mit zulässigem Gesamtgewicht über 7,5 t sowie Sattelschleppern. Bei Unfällen zwischen rechtsabbiegenden Güterkraftfahrzeugen und Fußgängern treten für das Jahr 2012 rund 55 Abbiege-Unfälle mit Personenschaden innerorts mit einer möglichen „Toter Winkel“-Situation auf. Bei diesen Unfällen wurden ungefähr 4 Fußgänger getötet und weitere 16 Fußgänger schwer verletzt [SCHRECK & PÖPPEL-DECKER (2014)].

Die ungeschützten Verkehrsteilnehmer werden überrollt, ohne dass sie vorher vom Lkw-Fahrer wahrgenommen wurden. Derzeit werden Abbiegeassistenzsysteme diskutiert, die den Lkw-Fahrer beim Abbiegevorgang gezielt warnen, wenn ein Radfahrer übersehen werden könnte. Die Unfallforschung der Versicherer hat ex ante abgeschätzt, dass ein generischer, optimal funktionierender Abbiegeassistent (eingebaut in der gesamten Flotte), der mittels Sensorik die Bereiche vor und rechts neben dem Lkw überwacht, den Fahrer warnt und ggf. ein Anfahren des Lkw unterbindet, ca. 40 % der Lkw-Fußgänger bzw. Lkw-Radfahrer-Unfälle verhindern könnte [HUMMEL et al. (2011)].

Anforderungen an das Leistungsvermögen solcher Abbiegeassistenzsysteme bzw. ihre Wirksamkeit bestehen bisher noch nicht. Das Vorliegen solcher Anforderungen wäre jedoch Voraussetzung für eine mögliche Förderung von Systemen bzw. die Basis für einen verpflichtenden Einbau durch den Gesetzgeber.

1.2 Auftrag und Zielsetzung

Von Seiten des BMVI ist beabsichtigt, in 2015 einen Vorschlag für ein Testverfahren für Abbiegeassistenzsysteme bei der UNECE in Genf einzubringen.

Aus diesem Grund wurde die BAST vom BMVI beauftragt, ein entsprechendes Testverfahren auf Basis existierender Erkenntnisse und unter Berücksichtigung des Unfallgeschehens und des Stands der Technik zu entwickeln. Für ein Testverfahren für Abbiegeassistenzsysteme sind geeignete Testwerkzeuge zu definieren und zu entwickeln. Das Projekt ist zu beschränken auf Abbiegesituationen im unteren Geschwindigkeitsbereich, die insbesondere im innerstädtischen Verkehr auftreten.

1.3 Beteiligung Betroffener

Die Fakten zur Abbiegeassistenz bei Nutzfahrzeugen wurden bei den vom BMVI einberufenen runden Tischen in 2012 und 2014 mit den betroffenen Verbänden (u. a. ADFC, VDA, DVR, GDV) diskutiert.

Die Eckpunkte eines Testverfahrens wurden im September 2014 den Vertretern von VDA und VDIK vorgestellt und diskutiert.

1.4 Methodik

Die Entwicklung eines Testverfahrens für ein Sicherheitssystem gliedert sich in die Ableitung von Systemanforderungen aus dem Unfallgeschehen, die Definition von die Anforderungen möglichst realistisch abprüfenden Testfällen und die Beschreibung des Testablaufs. Für die Analyse des Unfallgeschehens kommen Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik, aus GIDAS (German In-Depth Accident Study) und der Unfalldatenbank der Unfallforschung der Versicherer zum Einsatz, ergänzend für weitere Details auch Luftbilder.

¹ In diesem Bericht erfolgt der besseren Lesbarkeit wegen keine geschlechtsneutrale Schreibweise. Die in dieser Arbeit gewählten Begriffe schließen jeweils alle Genderformen mit ein.

Die Definition von Testfällen erfordert die Identifikation relevanter, die jeweilige Situation beschreibender Parameter. Für ein Abbiegeassistenzsystem ist die Detektion des Fahrrads und damit Position des Fahrrads relativ zum Lkw relevant. Die Sichtbereiche, die für eine rechtzeitige Detektion erforderlich sind, werden anhand eines kinematischen Modells der Unfallsituationen bestimmt.

Im Rahmen des Testverfahrens abzuprüfende Testfälle ergeben sich dann aus der Forderung, die erforderlichen Sichtbereiche möglichst gut abzudecken. Für die Umsetzung des zu definierenden Testverfahrens werden existierende Standard-Dummies und Bewegungssysteme aus dem Bereich der Notbremssysteme für Pkw berücksichtigt.

2 Makroskopische Unfallanalyse und Ermittlung der Hauptunfalltypen

2.1 Einordnung in das Gesamtunfallgeschehen

2.1.1 Beteiligung Radverkehr

Im Jahr 2012 verunglückten laut der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik insgesamt 74.776 Radfahrer. Dabei wurden 406 getötete und 13.854 schwerverletzte Radfahrer im Straßenverkehr verzeichnet. Die folgenden Analysen basieren auf einer Auswertung der Einzeldaten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik, die von der Polizei erhoben

und der BAST von den Statistischen Landesämtern für Zwecke der Unfallforschung übermittelt werden. Die überblickartige Analyse (Tabelle 1 und Tabelle 2) erfolgte für das Unfalljahr 2012, welches als repräsentatives Unfalljahr angesehen werden kann. Die weiteren makroskopischen Analysen erfolgen für die Unfalldaten der Jahre 2008 bis 2012 [vgl. SCHRECK & PÖPPEL-DECKER (2014)].

Bei innerörtlichen Straßenverkehrsunfällen mit Personenschaden (U(P)) und unter Beteiligung eines Radfahrers wurden 81 % mit genau 2 Beteiligten, 16 % als Alleinunfall und 3 % mit 3 Beteiligten registriert (Tabelle 1).

Von den 55.417 U(P) mit genau 2 Beteiligten entfielen nur 6 % (n = 3.402) auf Unfälle zwischen Radfahrern und Güterkraftfahrzeugen² (Gkz) (vgl. Tabelle 2).

² Gkz = Lkw, Sattelschlepper, Zugmaschinen sowie Lkw mit Spezialaufbau, ohne Landwirtschaftliche Zugmaschinen.

2012	U(P)	Verunglückte Radfahrer		
		GT	SV	LV
Alleinunfall	10.640	65	3.328	7.294
genau 2 Beteiligte	55.417	167	7.880	46.673
> 2 Beteiligte	2.081	16	292	1.974
Insgesamt	68.138	248	11.500	55.941

Tab. 1: Unfälle unter Beteiligung von Radfahrern und Unfallfolgen für Radfahrer im Jahre 2012, innerorts [SCHRECK & PÖPPEL-DECKER (2014)]

2012	U(P)	Verunglückte Radfahrer		
		GT	SV	LV
Mofas und Mopeds	440	0	45	309
Motorräder	505	3	85	313
Pkw	41.475	86	5.659	35.762
Busse	472	6	68	320
Landw. Zugmaschinen und Sonderfahrzeuge	66	1	17	48
Schienefahrzeuge	156	9	52	80
Fahrräder	4.372	8	945	4.695
Fußgänger	3.570	3	259	1.600
Sonstige und unbekannte Gegner	959	1	152	794
Gkz und Sattelschlepper	3.402	50	598	2.752
Insgesamt	55.417	167	7.880	46.673

Tab. 2: Unfälle unter Beteiligung von Radfahrern und Folgen für Radfahrer im Jahre 2012, innerorts [SCHRECK & PÖPPEL-DECKER (2014)]

2012	Fahrrad und Gkz nach zGG mit...								
	<=7,5 t und o.A.			> 7,5 t und Sattelschlepper			Insgesamt		
	U(P)	Verunglückte Radfahrer		U(P)	Verunglückte Radfahrer		U(P)	Verunglückte Radfahrer	
		GT	SV		GT	SV		GT	SV
Fahrerunfall	58	0	13	18	1	3	76	1	16
Abbiege-Unfall	732	2	94	283	24	82	1.015	26	176
Einbiegen-Kreuzen	1.112	2	186	192	12	62	1.304	14	248
Überschreiten	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ruhender Verkehr	286	1	41	53	1	10	339	2	51
Längsverkehr	280	1	42	82	3	16	362	4	58
Sonstiger Unfall	255	3	38	51	0	11	306	3	49
Insgesamt	2.723	9	414	679	41	184	3.402	50	598

Tab. 3: Unfälle unter Beteiligung von Radfahrern und Folgen für Radfahrer nach Gkz und Unfalltyp im Jahre 2012, innerorts [SCHRECK & PÖPPEL-DECKER (2014)]

Sobald jedoch ein Gkz und ein Radfahrer unfallbeteiligt waren, zeigte sich eine hohe Unfallschwere. Bei den 3.402 U(P) dieser Kombination wurden 50 getötete und 598 schwerverletzte Radfahrer registriert. Damit entspricht die Unfallschwere ungefähr 15 GT bei 1.000 U(P). Die Unfallschwere ist fast 5-mal so hoch wie bei einem U(P) unter Beteiligung von Radfahrern mit genau 2 Beteiligten (3 GT bei 1.000 U(P)).

Die Tabelle 3 differenziert die U(P) nach Unfallfolgen zwischen Radfahrer und Gkz nach den Unfalltypen sowie dem zulässigen Gesamtgewicht (zGG). Von den 3.402 U(P) entfallen 38 % (n = 1.304) auf den Unfalltyp 3 (Einbiegen-Kreuzen Unfall³) und 30 % (n = 1.015) auf den Unfalltyp 2 (Abbiege-Unfall⁴). 2012 wurden dabei 26 getötete und 176 schwerverletzte Radfahrer registriert. Die schweren Güterkraftfahrzeuge (zGG über 7,5 t sowie Sattelschlepper) haben einen Anteil von 28 % (n = 283) an den Abbiegeunfällen.

2.1.2 Beteiligung Fußgänger

Bei Unfällen zwischen rechtsabbiegenden Gkz und Fußgängern treten für das Jahr 2012 rund 55 Abbiege-Unfälle mit Personenschaden innerorts mit einer möglichen „Toter Winkel“-Situation auf. Bei diesen Unfällen wurden ungefähr 4 Fußgänger getötet und weitere 16 Fußgänger schwerverletzt [SCHRECK & PÖPPEL-DECKER (2014)].

Aus der Unfallanalyse ergibt sich, dass die Anzahl der Abbiegeunfälle zwischen Lkw und Radfahrern die Abbiegeunfälle zwischen Lkw und Fußgänger deutlich überwiegt.

2.2 Abbiegeunfälle sowie Hauptunfalltypen zwischen Güterkraftfahrzeugen und Radverkehr

Eine detaillierte Analyse des dreistelligen Unfalltypencodes für den Zeitraum von 2008 bis 2012 soll das innerörtliche Unfallgeschehen zwischen Gkz und Radfahrer ermitteln. Mit dem dreistelligen Unfalltypenkatalog lassen sich Unfälle nach insgesamt 37 Abbiege-Situationen (Bild 1) unterscheiden. Um ausreichende Fallzahlen zu erhalten, wurde der 5-Jahreszeitraum 2008-2012 ausgewertet. Es wurde gefiltert nach U(P) mit genau 2 Beteiligten (Gkz und Radfahrer). In allen Bundesländern wurden 16.959 U(P) zwischen Gkz und Radfahrer registriert. Dabei wurden 277 getötete und 3.084 schwerverletzte und 13.598 leichtverletzte Radfahrer registriert.

³ Einbiegen-Kreuzen Unfälle werden durch einen Konflikt zwischen einem einbiegenden oder kreuzenden Wartepflichtigen und einem Vorfahrtberechtigten ausgelöst. Das gilt an Einmündungen und Kreuzungen, an Bahnübergängen sowie an Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten.

⁴ Abbiege-Unfälle werden ausgelöst durch einen Konflikt zwischen einem Abbieger und einem aus gleicher oder entgegengesetzter Richtung kommenden Verkehrsteilnehmer an Kreuzungen, Einmündungen, Grundstücks- oder Parkplatzzufahrten.

Linksabbieger	<p>20 Nachfolgender</p>	<p>201</p>	<p>202</p>	<p>203 Radfahrer vom Radweg</p>	<p>204 Spurwechsel zum Abbiegen</p>			209 unklar ob 201-204	
	<p>21 Gegenverkehr Fahrbahn</p>	<p>211</p>	<p>212</p>	<p>213</p>	<p>214 W</p>	<p>215</p>			219 unklar ob 211-215
	<p>22</p>	<p>221 F</p>	<p>222 F</p>	<p>223</p>	<p>224</p>	<p>225</p>			229 unklar ob 221-225
Rechtsabbieger	<p>23 Nachfolgender</p>	<p>231</p>	<p>232</p>	<p>233 Spurwechsel zum Abbiegen</p>				239 unklar ob 231-233	
	<p>24</p>	<p>241</p>	<p>242 F</p>	<p>243</p>	<p>244</p>	<p>245</p>		249 unklar ob 241-245	
<p>25 zwei Abbieger</p>	<p>251</p>	<p>252</p>						259 unklar ob 251-252	
<p>26 Abbieger-Wartepflichtiger</p>	<p>261 W</p>	<p>262 W sofern kein EK-Unfall</p>						269 unklar ob 261-262	
<p>27 Abbieger aus abkn. Vorfahrt</p>	<p>271</p>	<p>272 F</p>	<p>273 F</p>	<p>274 F</p>	<p>275 F</p>			279 unklar ob 271-272	
<p>28 Abbieger mit Pfeil-Lichtzeichen</p>	<p>281</p>	<p>282 F</p>	<p>283</p>	<p>284 F</p>	<p>285</p>	<p>286</p>		289 Art Verkehrsteilnehmer unklar	
sonstige Abbiege-Unfälle								299	
W = Wartepflicht									

Bild 1: Dreistellige Unfalltypencodes für Abbiegeunfälle [M Uko (2012)]

Dreistellige Unfalltypen sind in den Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik nicht für alle Bundesländer verfügbar. Eine Auswertung zur Vollständigkeit der Angaben für den Zeitraum 2008-2012 ergab, dass lediglich vier Länder (Niedersachsen (NI), Nordrhein-Westfalen (NW), Rheinland Pfalz (RP) und Saarland (SL)) eine fast 100%ige Vollständigkeit aufweisen. Die vier Länder haben in dem Zeitraum 5.728 U(P) zwischen Gkz und Radfahrer registriert. Dabei wurden 98 getötete und 1.034 schwerverletzte und 4.596 leichtverletzte Radfahrer verzeichnet. Die zugrundeliegende Unfallstruktur in den vier Ländern mit dreistelligem Unfalltyp ist mit dem übrigen Bundesgebiet vergleichbar und damit kann die differenzierte Analyse der 4 Bundesländer auch auf Deutschland übertragen werden. Die 4 Länder weisen in dem 5-Jahres-Zeitraum insgesamt 1.638 Abbiegeunfälle (29 % von 5.728) mit 57 getöteten und 305 schwerverletzten und 1.276 leichtverletzten Radfahrern auf.

Im Rahmen der differenzierten Analyse der Unfälle nach den dreistelligen Unfalltypencodes in den vier Bundesländern erfolgte eine Differenzierung der Gkz in drei Klassen nach zulässigem Gesamtgewicht. Die Klassen werden nach zGG wie folgt gewählt: alle Gkz, Gkz \leq 7,5 t und Gkz $>$ 7,5 t. Die Zuordnung der Lkw mit und ohne Anhänger und der übrigen Gkz mit unbekanntem zGG werden eher den „leichten Gkz“ (Gkz \leq 7,5 t) zugeordnet. Hingegen werden die Sattelschlepper mit unbekanntem zGG den „schwereren Gkz“ (Gkz $>$ 7,5 t) zugeordnet.

Die Diagramme in Bild 2 zeigen die Anzahl der Abbiegeunfälle nach den Unfallfolgen GT und SV, welche auch aufgrund der Filterung die Unfallfolgen der Radfahrer darstellen, differenziert nach dem dreistelligen Unfalltypencode.

Die Unfalltypen 232 und 243⁵ (Bild 3) decken 86 % (von 57) der getöteten, 66 % (von 305) der schwerverletzten und 60 % (von 1.276) der leichtverletzten Radfahrer bei Abbiegeunfällen zwischen Gkz und Radfahrer ab. Bei den Gkz über 7,5 t werden von den vorgenannten Typen 88 % (von 50) der getöteten, 83 % (von 139) der schwerverletzten und 78 %

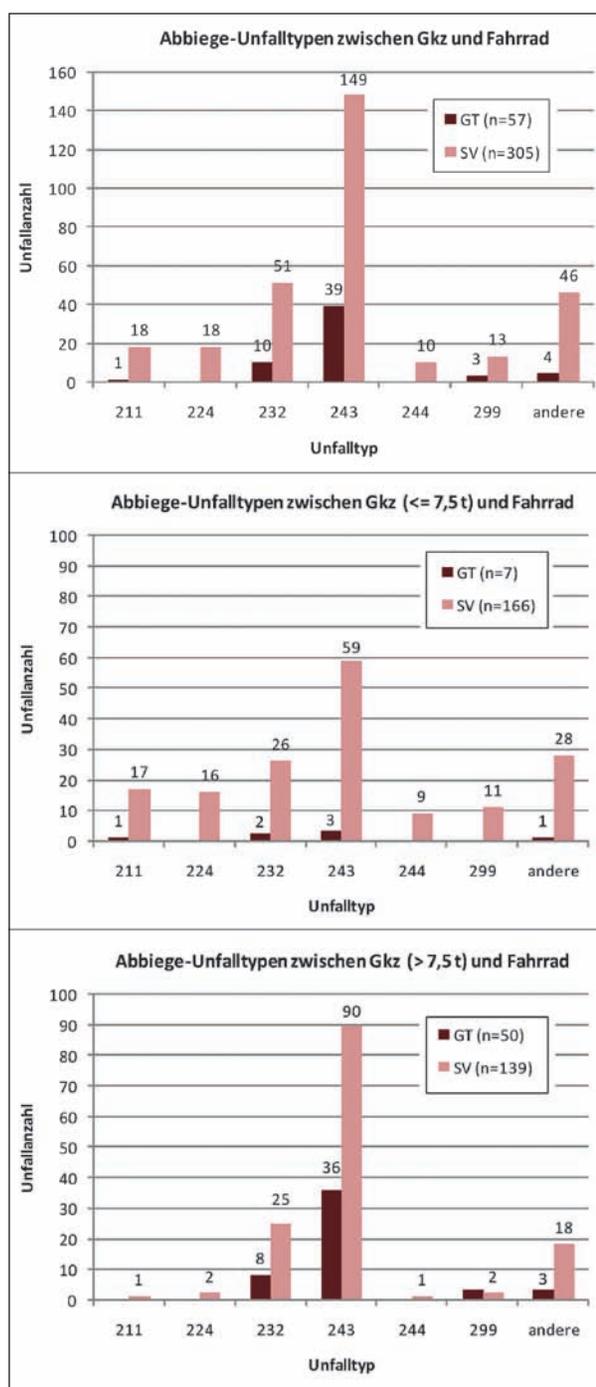


Bild 2: Häufigkeit der Abbiege-Unfalltypen und Folgen für Radfahrer nach Gkz, Gkz \leq 7,5 t und Gkz $>$ 7,5 t (2008-2012, NI, NW, RP, SL, innerorts)

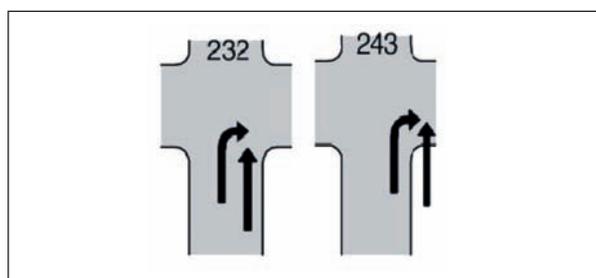


Bild 3: Unfalltypen 232 und 243 [M Uko (2012)]

⁵ Auch der Unfalltypcode 241 enthält Unfälle zwischen rechtsabbiegenden Lkw und Radverkehr, obwohl der Unfalltyp die Unfallsituation zwischen rechtsabbiegenden Fahrzeug und Fußgänger darstellt. Die Unfälle, welche offensichtlich falsch codiert sind, werden in der weiteren Analyse als Unfalltyp 243 weiter betrachtet.

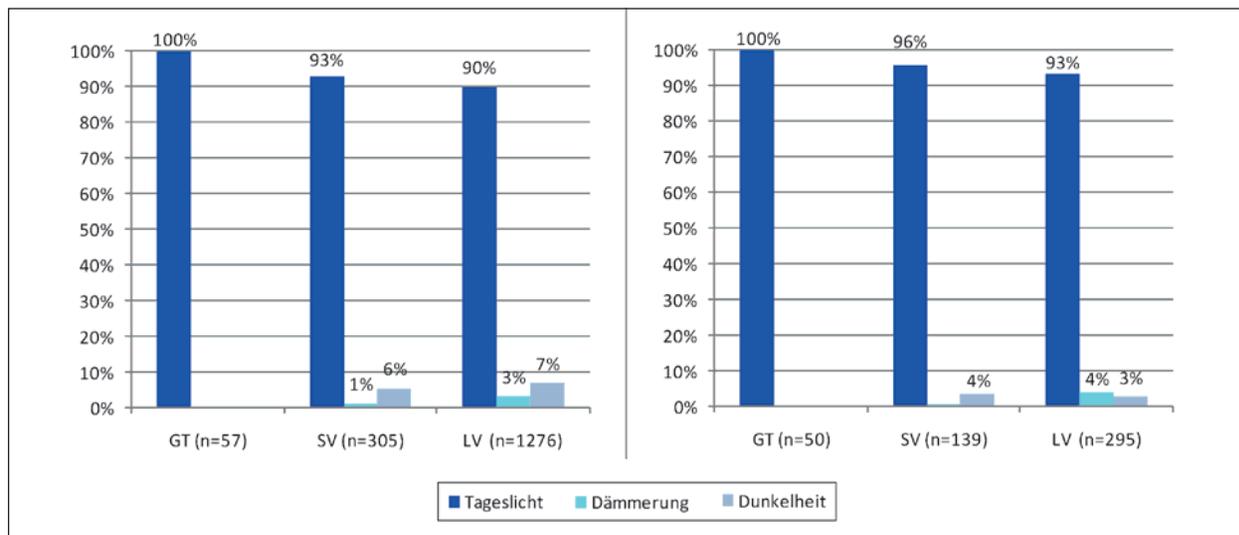


Bild 4: Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt und Unfallfolgen Radfahrer (2008-2012, NI, NW, RP, SL, innerorts), Links: Gkz, Rechts: Gkz > 7,5 t

(von 295) der leichtverletzten Radfahrer abgedeckt. Bei den Gkz unter 7,5 t werden 71 % (von 7) der getöteten, 51 % (von 166) der schwerverletzten und 55 % (von 981) der leichtverletzten Radfahrer abgedeckt. Weiterhin hat hier der Typ 211 im Vergleich zu allen Gkz sowie Gkz < 7,5 t einen höheren Anteil.

Eine Betrachtung der Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt ergab, dass die Abbiegeunfälle zwischen Gkz und Radfahrer ganz überwiegend bei Tageslicht geschahen (Bild 4).

Im Rahmen der weiteren Analyse wird sich aufgrund der vorliegenden Erkenntnisse und der Erkenntnisse aus dem laufenden BAST-Forschungsvorhaben „Toter Winkel – Konflikt zwischen rechtsabbiegenden Lkw und geradeausfahrendem Radverkehr“ auf Rechtsabbiegeunfälle zwischen Radfahrern (in gleicher Richtung fahrend) konzentriert. Der Einfluss von linksfahrenden Radfahrern auf das betrachtete Unfallgeschehen ist aufgrund der sehr geringen Unfallanzahl und -schwere vernachlässigbar. Dieser Fall ist wahrscheinlich aufgrund des besseren Sichtverhältnisses zwischen den Verkehrsteilnehmern deutlich seltener.

3 Mikroskopische Analyse der Rechtsabbiegeunfälle und Ermittlung von Unfallszenarien

Die mikroskopische Analyse der Unfälle basiert auf Daten der Unfalldatenbank der Unfallforschung der

Versicherer (UDB) und der German In-Depth Accident Study (GIDAS) sowie aus Ergebnissen des laufenden Forschungsprojektes FE 82.512/2010 [TU BERLIN (2014)].

3.1 Unfalldatenbank der Unfallforschung der Versicherer

Das Fallmaterial der UDB setzt sich aus den Schadenakten der Versicherer zusammen, die routinemäßig per Zufallsstichprobe aus dem Gesamtbestand aller Kraftfahrzeug-Haftpflichtschäden in Deutschland zum Zwecke der Unfallforschung gezogen werden. Es handelt sich um Fälle mit Personenschaden und einem Schadenaufwand von mindestens 15.000 Euro.

Der Inhalt der Schadenakten variiert von Fall zu Fall, setzt sich im Wesentlichen jedoch aus folgenden Informationsquellen zusammen:

- Verkehrsunfallanzeige,
- Aussagen von Beteiligten und Zeugen,
- Unfallrekonstruktionsgutachten,
- Schadengutachten,
- Bilder von der Unfallstelle und den Fahrzeugen,
- medizinische Berichte von Ärzten und Krankenhäusern mit Verletzungsbeschreibungen und stationäre Aufenthalte,
- Schriftverkehr zwischen den Anwälten und Gerichtsurteile.

Die Unfalldatenbank beinhaltet mit Stand November 2013 insgesamt 7.181 Unfälle. Dabei handelt es sich um 645 Unfälle mit Getöteten, 4.067 Unfälle mit Schwerverletzten und 2.461 Unfälle mit Leichtverletzten. Darunter befinden sich 229 Schadenfälle zwischen Lkw⁶ und ungeschützten Verkehrsteilnehmern.

3.1.1 Unfalltypen mit der Beteiligung Fußgängerverkehr

Unter den 229 Schadenfällen zwischen Lkw und ungeschützten Verkehrsteilnehmern entfallen 99 Fälle auf Lkw/Fußgänger-Kollisionen und dabei nur 9 auf Abbiegeunfälle, davon 3 Fälle mit linksabbiegender und 6 mit einem rechtsabbiegender Lkw. Diese Unfälle stellen einen geringen Anteil am Gesamtunfallgeschehen (vgl. Kapitel 2.1). Weiterhin sind aufgrund der geringen Stichprobe keine allgemeingültigen Ableitungen für Unfallszenarien abzuleiten. Für die Entwicklung des Testverfahrens für Abbiegeassistenzsysteme werden die Unfälle zwischen Lkw und Fußgängerverkehr nicht weiter analysiert.

3.1.2 Unfalltypen mit der Beteiligung Radverkehr

Unter den 229 Schadenfällen zwischen Lkw und ungeschützten Verkehrsteilnehmern entfallen 130 Fälle auf Lkw/Radfahrer-Kollisionen und darunter 49 Abbiegeunfälle.⁷ Davon entfallen nur 5 Fälle auf das Linksabbiegen, der Rest sind rechtsabbiegende Lkw.

Die Unfalltypen 232 und 243 decken bei der Betrachtung der Abbiegeunfälle zwischen Lkw und

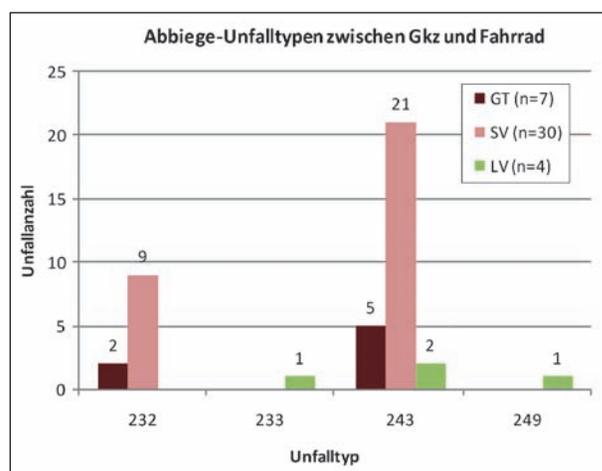


Bild 5: Häufigkeit der Rechts-Abbiege-Unfalltypen und Folgen für Radfahrer (Datenquelle: UDB UDV)⁸

Radfahrer rund 80 % (von 49) aller Unfälle ab (Bild 5). Dies ist vergleichbar mit den Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik (vgl. Kapitel 2.1). Für die weitere Analyse werden daher die insgesamt 41 Unfälle mit Radbeteiligung und rechtsabbiegender Lkw berücksichtigt. 39 dieser 41 Unfälle geschahen innerorts.

3.1.3 Ermittlung der Unfallszenarien

Im Rahmen der Untersuchung erfolgt eine detaillierte Analyse der Schadensakten der Unfälle. Ziel der Analyse ist die Ermittlung von Unfallszenarien, die das relevante Unfallgeschehen abdecken und die Grundlage für die Testfälle bilden.

Dabei erfolgt eine infrastrukturbezogene und betriebliche Analyse, u. a. hinsichtlich der Art des Knotenpunktes, des Vorhandensein einer Lichtsignalanlage, der Radverkehrsführungsform, Flächennutzung und potenzieller Sichtbehinderungen zwischen den Unfallgegnern (z. B. Bäume, Büsche, Werbetafeln, Straßenmöblierung, ruhender Verkehr etc.). Auch weitere Randbedingungen, wie z. B. der Straßenverlauf (Gefälle) und weitere Unfallumstände werden betrachtet. Dabei erfolgt eine örtliche Einzelfallanalyse unter Zuhilfenahme von Luftbildern. Ein besonders wichtiger Bestandteil der Analyse ist die systematische Analyse der Fahrtgeschwindigkeiten und Bewegungsarten der Verkehrsteilnehmer vor und während der Kollision.

Das Bild 6 zeigt vorab skizzenhaft die im Rahmen der Untersuchung ermittelten Unfallszenarien mit Abbiegegeschwindigkeiten und Spurverhalten der Lkw, dem Abstand der Verkehrsteilnehmer zueinander und mit weiteren infrastrukturellen Randbedingungen. Basierend auf diesen Informationen lässt sich eine grobe Klassifikation der Unfälle in vier unterschiedliche Szenarien durchführen.

⁶ Die amtliche Straßenverkehrsunfallstatistik (Kapitel 2) nutzt die Begrifflichkeit Gkz. Hingegen verwenden die nachfolgend genutzten Datenquellen den Begriff Lkw. Dieser stellt in der amtlichen Statistik nur eine spezielle Form eines Gkz dar. Da in den weiteren Datenquellen nur der Lkw als Begrifflichkeit genutzt wird, wird deshalb ab dem Kapitel 3 der Begriff Lkw verwendet.

⁷ Drei Abbiegeunfälle anderer Art, z. B. Unfalltyp 203 oder 27, wurden in der Auswertung ausgeschlossen.

⁸ Nach der Analyse der Unfälle kann der Unfall mit der Nummer 18 (Typ 233) dem Unfalltypencode 232 und Nummer 24 (249) dem Unfalltypencode 243 zugeordnet werden.

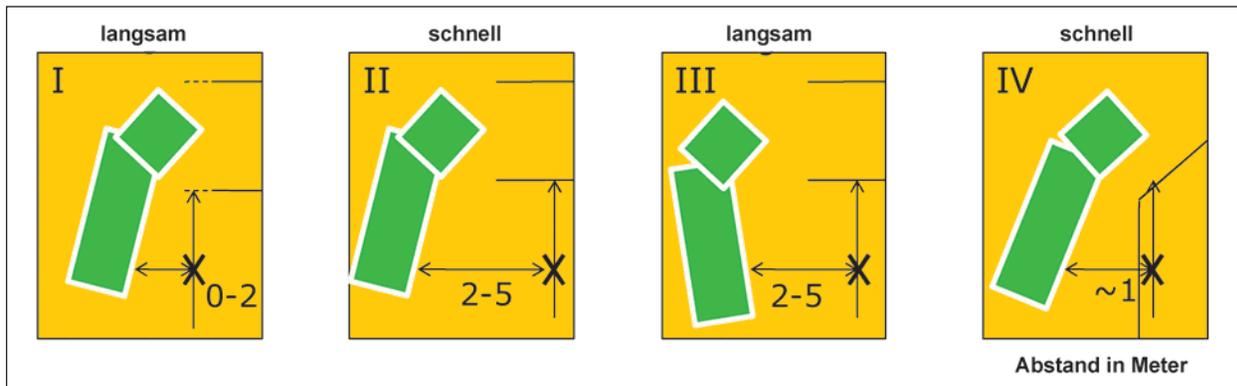


Bild 6: Unfallszenarien

3.1.4 Analyse der Rechtsabbiegeunfälle

Die 41 Unfälle ereigneten sich in 27 Städten. Dabei geschahen alleine 7 Unfälle in Berlin. Dies zeigt die flächenhafte Verbreitung der Unfälle über das Bundesgebiet. Die Analyse der Knotenpunktarten zeigt, dass 27 Unfälle an Kreuzungen, 9 an Einmündungen und 4 an Grundstückszufahrten registriert wurden. Es sind 24 Unfälle an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage (LSA) (LSA in Betrieb) und 17 an Knotenpunkten ohne LSA aufgetreten.

Im Knotenpunktbereich konnten lediglich 4 potenzielle Sichtbehinderungen (gering bzw. im Vorfeld) zwischen den Unfallgegnern analysiert werden. Bei 29 Unfällen sind keine Sichtbehinderungen vorzufinden und bei 8 Unfällen ist eine mögliche Sichtbehinderung nicht ermittelbar. Lediglich bei einem Unfall wurde Gefälle im Straßenverlauf festgestellt. Eine Betrachtung der Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt ergab, dass 37 Unfälle bei Tageslicht, 1 Unfall bei Dämmerung und 3 Unfälle bei Dunkelheit geschahen und die Verteilung, damit vergleichbar mit den Ergebnissen im Kapitel 2.2 sind. Bei 37 Unfällen (90 %) hat eine trockene und bei 4 Unfällen eine nasse/feuchte Witterung vorgelegen.

Das Fahrverhalten der Lkw vor der Kollision mit dem Radfahrer kann anhand der Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeit beurteilt werden. Bei 22 % der Unfälle hielt der Lkw vor dem Abbiegevorgang und bei knapp 77 % der Unfälle kollidierten dieser ohne einen verkehrsbedingten Halt (Bild 7).

Die Auswertung einer möglichen Bremsung des Lkw vor der Kollision (Bild 8) zeigt, dass der Lkw-Fahrer den Radfahrer voraussichtlich in 90 % der Fälle nicht wahrgenommen hat. Lediglich bei 2 Unfällen konnte eine Bremsung des Lkw vor der Kollision analysiert werden.

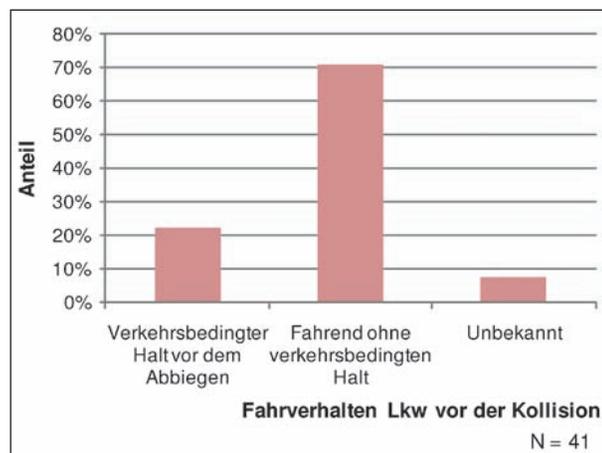


Bild 7: Fahrverhalten des Lkw vor der Kollision [Datenquelle: UDB UDV]

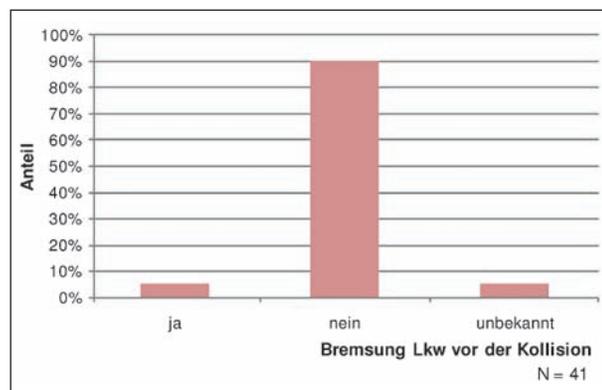


Bild 8: Bremsung Lkw vor der Kollision [Datenquelle: UDB UDV]

Betrachtet man das Fahrverhalten des Lkw in Bezug auf die Örtlichkeit (Bild 9) zeigt sich, dass bei Knotenpunkten mit und ohne LSA das Fahrverhalten vergleichbar ist. Deshalb lassen sich diesbezüglich keine differenzierten Folgerungen aus der Örtlichkeit ableiten.

Die Kollisionsgeschwindigkeit des Lkw (Bild 10) ist bei 27 % der Unfälle unbekannt, bei einem Anteil von

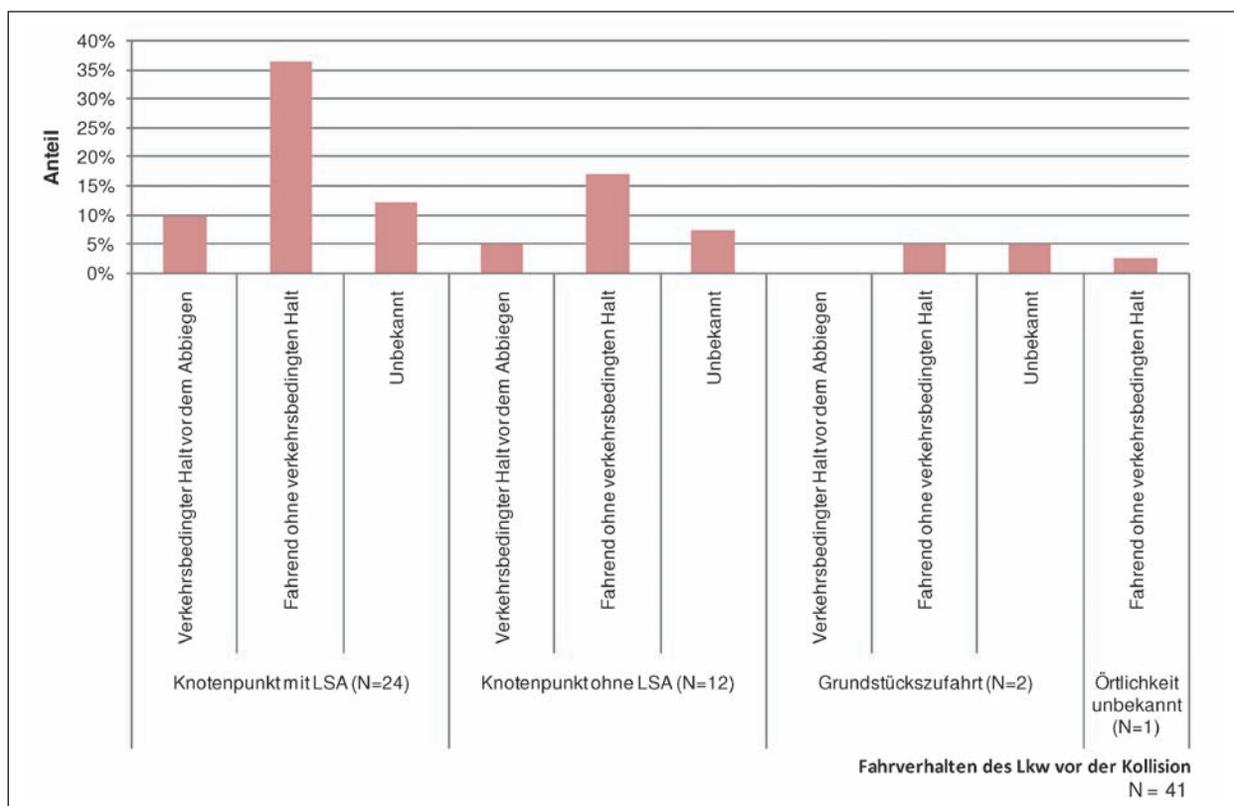


Bild 9: Fahrverhalten des Lkw vor der Kollision in Bezug auf die Örtlichkeit [Datenquelle: UDB UDV]

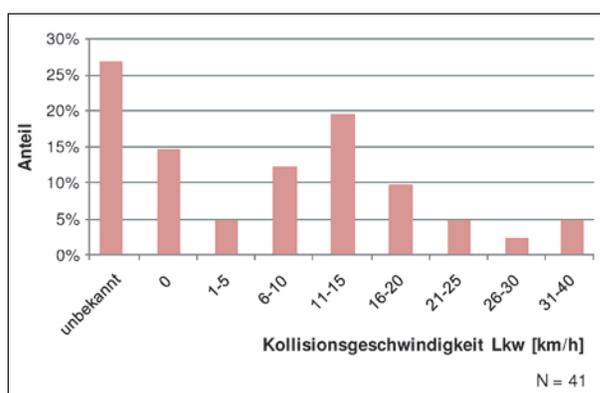


Bild 10: Kollisionsgeschwindigkeit des Lkw [Datenquelle: UDB UDV]

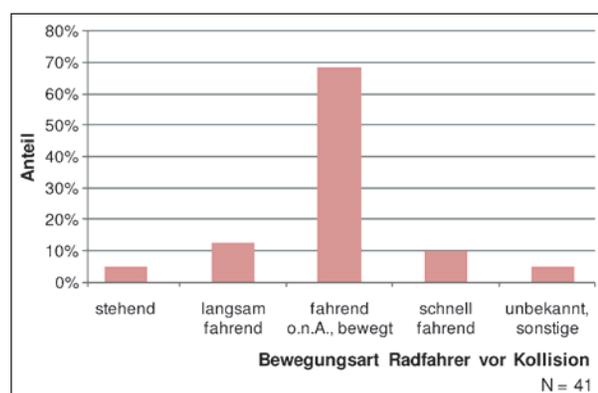


Bild 11: Bewegungsart Radfahrer vor der Kollision [Datenquelle: UDB UDV]

61 % der Unfälle (25 Unfälle) kollidieren die Lkw bis einschließlich 20 km/h und dabei sind knapp 15 % (6 Unfälle) mit einer Lkw-Kollisionsgeschwindigkeit von 0 km/h enthalten. Lediglich bei einem Unfallanteil von circa 12 % (5 Unfälle) beträgt die Lkw-Kollisionsgeschwindigkeit über 21 bis 40 km/h.

Die Bewegungsart der Radfahrer vor der Kollision (Bild 11) zeigt, dass bei 68 % aller Unfälle „fahrend“ (ohne nähere Angabe) bzw. „bewegt“ in der Datenbank erfasst wurde. Bei 12 % aller Unfälle war der Radfahrer langsam fahrend und bei knapp 10 % schnell fahrend (ohne nähere Differenzierung der

Geschwindigkeit). Bei zwei Unfällen stand der Radfahrer. Jedoch ist die Bewegungsart in der Datenbank hinsichtlich der Fahrgeschwindigkeiten der Radfahrer nicht weiter differenziert, um weitere Folgerungen in Hinblick auf ein mögliches Testverfahren abzuleiten.

Das Bild 12 zeigt die Positionen des Erstanstoßes des Radfahrers am Lkw bei 38 Unfällen. Bei 3 Unfällen erfolgte kein Anstoß. Bei 61 % der Unfälle findet der Anstoß im vorderen Bereich des Lkw (Position 1 bis 3) und bei 24 % der Unfälle im mittleren bis hinteren Teil des Lkw (Position 4 und 5) statt.

Tabelle 4 zeigt eine Auflistung der an den Unfällen beteiligten Fahrzeugarten inklusive deren Aufbau sowie der Anzahl mit einem Anhänger bzw. Sattelaufleger.

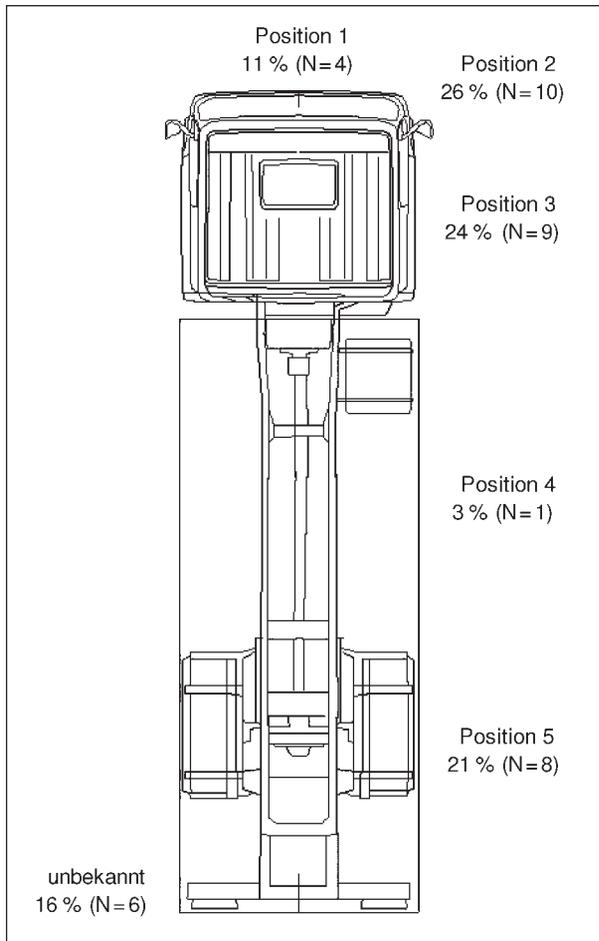


Bild 12: Anstoß Radfahrer an Lkw [Datenquelle: UDB UDV; Bild: DEKRA (2014)]

3.2 German In-Depth Accident Study

Zur Erweiterung der Erkenntnisse zu Geschwindigkeiten und potenziellen Sichtbehinderungen wird die GIDAS-Datenbank ausgewertet. Die Unfallerhebung in Rahmen von GIDAS wird durch die Unfallforschung Dresden und Hannover durchgeführt. Dabei werden Erhebungen in den jeweiligen Stadtgebieten sowie der umliegenden Kreise mit einem Umgebungsradius von 30 bis 40 km durchgeführt. Die Auswahl der Straßenverkehrsunfälle erfolgt nach einem Stichprobenverfahren. Es muss sich um einen Straßenverkehrsunfall mit Personenschaden handeln. Im Rahmen der GIDAS werden eine Vielzahl von Unfallmerkmalen aufgenommen. Hierzu zählen Umweltbedingungen, bauliche Besonderheiten, Straßengestaltung, Fahrzeugdeformationen, Anprallstellen von Insassen bzw. von weiteren Unfallbeteiligten, Crashinformationen und Kennwerte sowie Verletzungsmuster. Die Unfälle werden rekonstruiert, um auch Erkenntnisse zur Phase vor der Kollision zu erhalten. Pro Unfall werden durchschnittlich ca. 3.400 codierte Informationen gesammelt.

3.2.1 Struktur

In der GIDAS-Datenbank stehen derzeit 122 Abbiegeunfälle zwischen Lkw und Fahrrad zur Verfügung (Unfalldaten der Jahre 1999 bis 2014, Stand: November 2014). Diese liegen alle in der Ortslage innerorts. Die Analyse nach dem dreistelligen Unfalltypencode (Bild 13) zeigt, dass 79 (65 %) der Abbiegeunfälle dem Typ 243 und lediglich nur ein Unfall dem Typ 232 zugeordnet wurden.

Fahrzeugarten bzw.-aufbau	Unfälle		Anzahl Unfälle bei Fahrzeugart mit Anhänger/Sattelaufleger
	Anzahl	Anteil	
Sattelzugmaschine	12	29 %	11
Unbekannt	8	20 %	2
Koffer-, Kasten-, Tiertransport-Aufbau	4	10 %	0
Pritschen, Pritschen/Plane-, Getränke-Aufbau	4	10 %	1
Müllsammelaufbau	3	7 %	0
Wechseinrichtung mit Container/Wechselbehälter	3	7 %	2
Mulden-, Kipppritschen-, Hochbord-Aufbau	2	5 %	0
Silo-/Betonmisch-Aufbau	2	5 %	0
Tank-/Saug-Aufbau	2	5 %	0
Autotransportaufbau	1	2 %	1

Tab. 4: Anzahl Fahrzeugarten bzw.-aufbau sowie Anhänger/Sattelaufleger der Lkw am Unfallgeschehen [Datenquelle: UDB UDV]

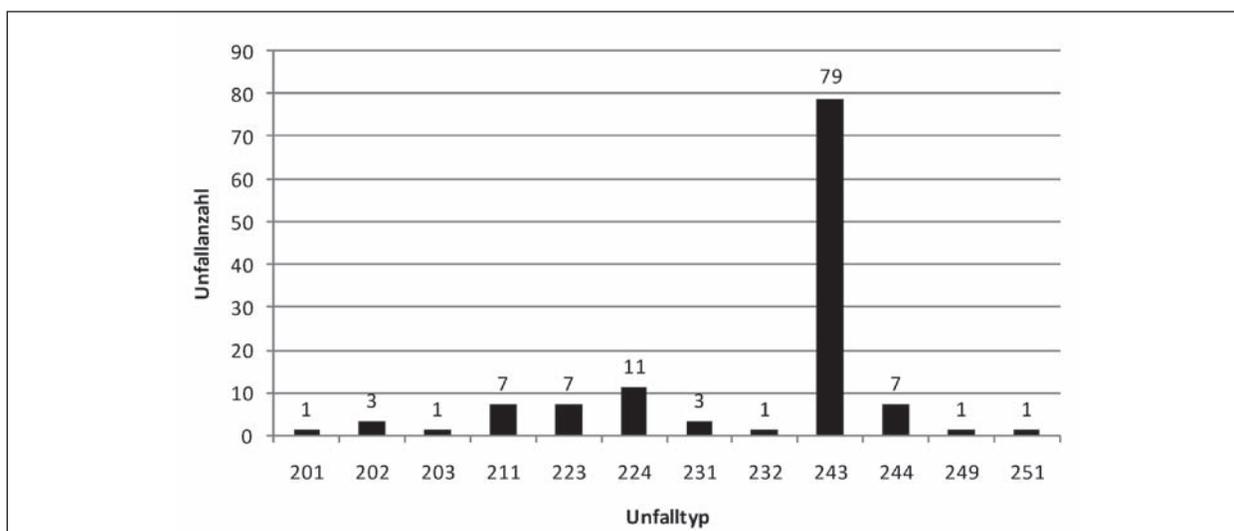


Bild 13: Häufigkeit der Abbiege-Unfalltypen zwischen Lkw und Fahrrad [Datenquelle: GIDAS]

Die Unfalltypen 232 und 243 decken bei der Betrachtung der Abbiegeunfälle zwischen Lkw und Radfahrer rund 66 % (80 Unfälle) aller 122 Abbiegeunfälle sowie ca. 65 % aller Unfälle mit schweren Unfallfolgen bei Abbiegeunfällen ab.

3.2.2 Analyse der Rechtsabbiegeunfälle

Die Analyse der Rechtsabbiegeunfälle (Unfalltypen beginnend mit 23 und 24: N = 91) nach dem zGG der Lkw zeigt, dass bei 39 % dieser Rechtsabbiegeunfälle „schwere“ Lkw (zGG > 7,5 t) beteiligt waren. Bei den 25 Rechtsabbiegeunfällen mit schweren Personenschäden waren mindestens 64 % „schwere“ Lkw beteiligt. Dies zeigt wiederum die besondere hohe Unfallschwere, wenn Lkw > 7,5 t zGG beteiligt sind. Weiterhin hat es sich erneut gezeigt, dass lediglich ein U(LV) mit dem Unfalltyp 244 und „schweren“ Lkw registriert wurde. Für die weiteren detaillierten Analysen werden 79 Unfälle verwendet.

Die Analyse der Knotenpunktarten zeigt, dass 48 Unfälle an Kreuzungen, 24 an Einmündungen und 7 an Grundstückszufahrten registriert wurden. Dabei sind 56 Unfälle an Knotenpunkten mit LSA aufgetreten.

Die Flächennutzung der verunfallten Radfahrer zeigt, dass sich 91 % (N = 72) der Radfahrer im Seitenraum befanden und lediglich 7 Radfahrer auf Fahrbahnniveau. Daraus kann jedoch nicht auf das Bundesgebiet übertragen werden, dass die Radverkehrsführungen im Seitenraum problematischer sind. Dies kann auch eine höhere Anzahl an Seitenraumführungen bzw. eine hohe Nut-

zungsintensität in Dresden und Hannover widerspiegeln.

Im Knotenpunktbereich konnten 6 schwere und 14 leichte potenzielle Sichtbehinderungen zwischen den Unfallgegnern identifiziert werden. Damit trat bei 28 % der Unfälle eine potenzielle Sichtbehinderung auf. Bei allen Unfällen zwischen „schweren“ Lkw (N = 35) und Radfahrern wurden bei 9 % (N = 3) leichte potenzielle Sichtbehinderungen festgestellt.

3.2.3 Geschwindigkeitsverteilungen

Fahrgeschwindigkeiten von Lkw und Fahrrad bestimmen die Bewegung von Lkw und Fahrrad relativ zueinander. GIDAS kennt dazu die Merkmale Kollisionsgeschwindigkeit und Ausgangsgeschwindigkeit, jeweils für Lkw und Fahrrad. Die Geschwindigkeiten werden anhand von Spurzeichnungen und Deformationen nachträglich bestimmt und können daher nicht exakt sein. Sie sind aber auf jeden Fall für die Identifikation von Parameterräumen ausreichend genau.

Die Geschwindigkeitsverteilung von Lkw und Rad für alle Unfälle aus GIDAS mit Typ 243 ist in Bild 14 dargestellt, die jeweilige Differenzgeschwindigkeit in Bild 15.

Es zeigt sich, dass die Ausgangsgeschwindigkeit der Lkw in 90 % der Fälle unter 30 km/h lag, die Ausgangsgeschwindigkeit des Fahrrads in 85 % der Fälle unter 20 km/h (Bild 14).

In etwa 40 % der Fälle ist die Ausgangsfahrgeschwindigkeit des Fahrrads größer als die des Lkw.

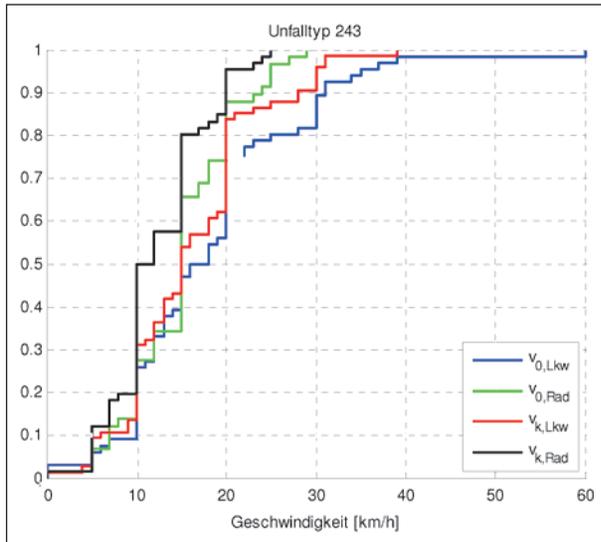


Bild 14: Absolute Geschwindigkeiten von Lkw und Fahrrad, dargestellt als kumulierte relative Häufigkeit als Funktion der Geschwindigkeit, Ausgangsgeschwindigkeit v_0 , Kollisionsgeschwindigkeit v_k [Datenquelle: GIDAS]

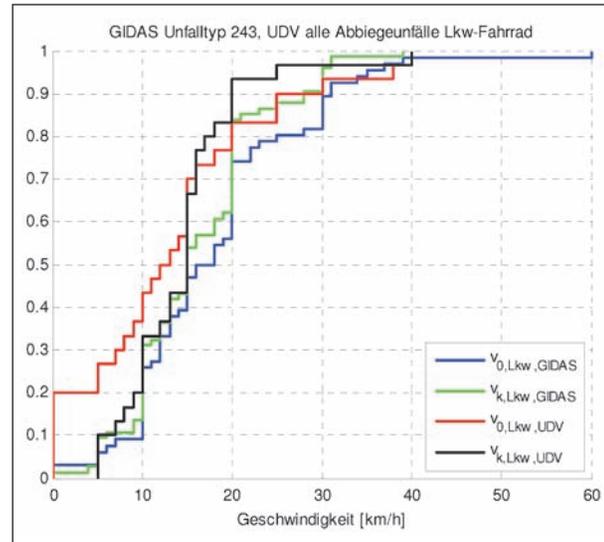


Bild 16: Vergleich Geschwindigkeitsdaten zwischen UDB UDV und GIDAS

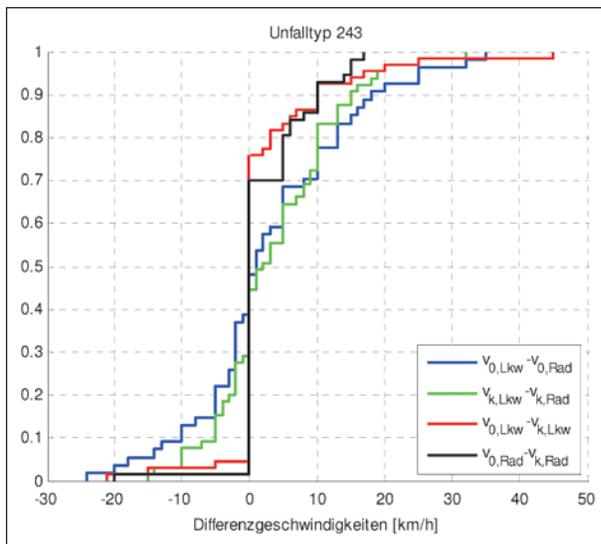


Bild 15: Differenzgeschwindigkeit zwischen Lkw und Fahrrad im jeweiligen Unfall [Datenquelle: GIDAS]

Wahrscheinlich ist, dass in Teilen dieser 40 % der Lkw im Vorfeld des Unfalls angefahren ist und seine Fahrgeschwindigkeit daher noch kleiner als die des sich von hinten nähernden Radfahrers war (Bild 15). In 65 % der Unfälle hat der Fahrradfahrer nicht gebremst, in 70 % der Lkw-Fahrer nicht.

Die Geschwindigkeitswerte aus den UDV-Daten (Bild 11) basieren im Wesentlichen auf Zeugenaussagen und Abschätzungen des Auswertenden und sind daher für eine Bestimmung des Parameter-raums weniger gut geeignet. Im Vergleich zeigt sich aber, dass keine Widersprüche zwischen den beiden Datenbanken bestehen (Bild 16).

3.3 Weitere Quellen und Vergleich mit der Literatur

Die Ergebnisse der Unfallanalyse werden mit den vorhandenen Erkenntnissen aus der Literatur verglichen. Dabei werden weitere Anforderungen an das Testverfahren aus der Literatur entnommen. Das Hauptaugenmerk des Vergleichs liegt hier insbesondere auf dem derzeit laufende BAST-Forschungsvorhaben „Toter Winkel – Konflikt zwischen rechtsabbiegenden Lkw und geradeausfahrendem Radverkehr“ (FE 82.512/2010) sowie dem Bericht „Kollisionen zwischen rechts abbiegenden Lkw und Fahrrädern – ein Update nach zehn Jahren“. Letzterer Bericht basiert auf einem Vergleich zwischen dem Unfallgeschehen 2000 bis 2011 (42 Unfälle mit rechtsabbiegenden Lkw mit Radfahrern), dem Unfallgeschehen aus der zweiten Hälfte der 90er Jahre: 38 Fahrrad-Lkw-Kollisionen und 7 Fußgänger-Lkw-Kollisionen (beide Gruppen jeweils aus der Sammlung der DEKRA-Unfallgutachten) sowie 41 Fahrrad-Lkw-Kollisionen und 4 Fußgänger-Lkw-Kollisionen aus den Jahren 1985 bis 1995 von der MHH [DEKRA (2014)]. Die Analyse der Unfälle vor dem Jahr 2004 wurde im Rahmen des BAST-Forschungsprojekts „Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw“ (FE 82.171/2000) [DEKRA (2014)] durchgeführt.

3.3.1 Geschwindigkeiten und Fahrverhalten

Die Kollisionsgeschwindigkeiten des Lkw und Radfahrers zeigen im Vergleich von Bild 17 mit der durchgeführten Analyse innerhalb dieses For-

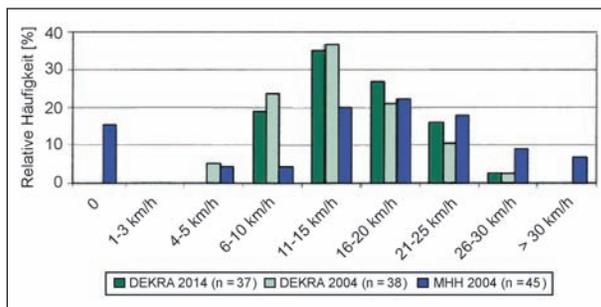


Bild 17: Kollisionsgeschwindigkeit Lkw [DEKRA (2014)]

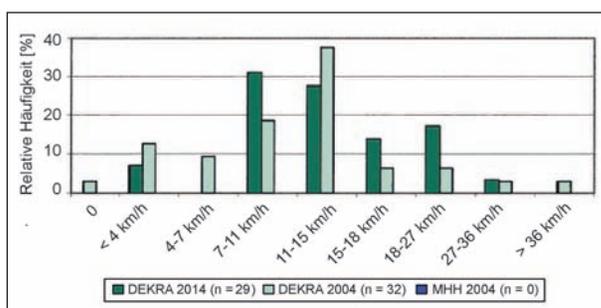


Bild 18: Kollisionsgeschwindigkeit Radfahrer [DEKRA (2014)]

schungsprojektes (Kapitel 3.2.3, Bild 10 und Bild 11) einen ähnlichen Anteilsverlauf. In 15 % der Unfälle wies der Lkw eine Geschwindigkeit von 0 km/h auf. Der höchste Anteil (ausgenommen ist der unbekannte Anteil) liegt bei 11 bis 15 km/h. Kollisionsgeschwindigkeiten über 30 km/h sind sehr selten.

Die Literatur liefert nicht die detaillierten Aussagen, die anhand von GIDAS-Daten gewonnen wurden. Es finden sich aber auch keine Widersprüche hierzu.

Eine wesentliche Erkenntnis der Unfalluntersuchung im FE 82.512/2010 war, dass bei diesem Unfallkollektiv die Fahrsituation mit einem gemeinsamen Halt keine Problematik darstellt, sondern dass eher beide Verkehrsteilnehmer ohne verkehrsbedingten Halt im Knotenpunktbereich aufeinandertreffen. Diese Erkenntnis deckt sich mit den Daten der UDB. In der UDB ist bei 15 % der Unfälle verzeichnet, dass der Lkw vor dem Abbiegevorgang gehalten hat. Hingegen zeigt die Analyse der DEKRA (Bild 19), dass 88 % bzw. ca. 50 % der Lkw vor dem Abbiegevorgang stehen. Die Schlussfolgerung daraus kann nur lauten, dass das Testverfahren auch den Fall des zunächst stehenden Lkw abdecken müsste.

Laut UDB bewegen sich 90 % der Radfahrer vor der Kollision, 5 % der Radfahrer stehen vor der Kollision. Zu den restlichen 5% ist keine Aussage mög-

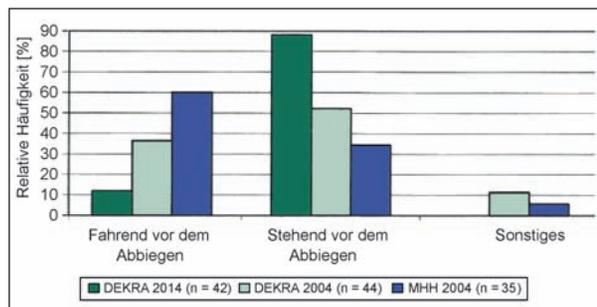


Bild 19: Pre-Crash-/Fahr-Verhalten des Lkw vor dem Abbiegevorgang [DEKRA (2014)]

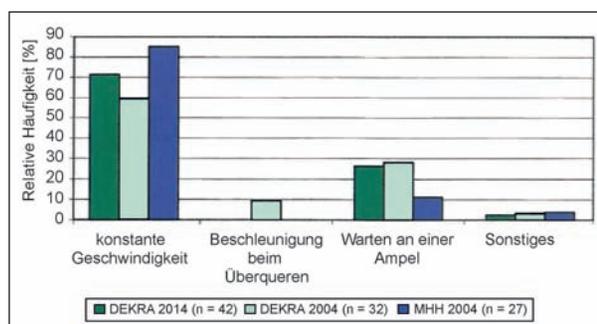


Bild 20: Pre-Crash-/Fahr-Verhalten des Radfahrers [DEKRA (2014)]

lich. In der Untersuchung der DEKRA beträgt der Anteil an stehenden Radfahrern um 26 % und 71 % der Radfahrer fahren im Vorfeld des Unfalls mit konstanter Geschwindigkeit.

Der Einfluss von möglichen höheren Geschwindigkeiten durch Elektrofahrräder wurde im Rahmen der Untersuchungen „Potenzielle Einflüsse von Pedelecs und anderen motorunterstützten Fahrrädern auf die Verkehrssicherheit unter besonderer Berücksichtigung älterer Radfahrer“ (FE 82.0533/2011) [ALRUTZ et al. (2014)] und in der „Pedelec-Naturalistic Cycling Study“ der UDV [UDV (2014)] untersucht. Es hat sich gezeigt, dass die Häufigkeit und der Ablauf kritischer Situationen von Pedelec 25-Fahrern derzeit mit denen der konventionellen Radfahrer vergleichbar sind. Laut dieser Studien nutzen überwiegend Senioren die Pedelecs 25. Senioren mit einem Pedelec 25 fahren nur 2 bis 4 km/h schneller als Senioren mit konventionellen Fahrrädern. Daraus ergeben sich keine besonderen Anforderungen an ein mögliches Testverfahren.

3.3.2 Anprallorte am Lkw

In Rahmen der DEKRA-Untersuchung wurden 88 % bzw. 78 % der Erstkontakte vom Radfahrer am Lkw im Bereich des Fahrerhauses registriert [DEKRA (2014)]. In der UDB (Bild 12) sind hinge-

gen nur 61 % der Erstkontakte im Bereich des Fahrerhauses verzeichnet. Es wurde in der UDB ein höherer Anteil (21 %) im hinteren Bereich der Fahrzeuge registriert.

Dennoch ist in allen Fällen der Kollisionspunkt ganz überwiegend im vorderen Bereich des Lkw zu finden. Insofern wird für die weitere Definition von Testparametern von einem Anprallpunkt bis etwa 6 m (= Länge der Zugmaschine beim Sattelzug) ausgegangen.

3.3.3 Sichtbehinderungen zwischen den Verkehrsteilnehmern

Im Rahmen der örtlichen Begehung von 343 unfalldäufigen Knotenpunktarmen (KPA) zwischen rechtsabbiegenden Lkw und geradeausfahrenden Radfahrern innerhalb des Forschungsprojekts zum Toten Winkel [TU BERLIN (2014)] wurde bei 46 %

der Unfälle bzw. bei 43 % der KPA eine potenzielle Sichtbehinderung festgestellt. Es erfolgte eine Einteilung in leichte (Grad 1) und schwere (Grad 2) Sichtbehinderungen (Bild 22). Bei 22 % der KPA wurde eine schwere Sichtbehinderung festgestellt.

Im Vergleich zum Kapitel 3.2.2 tritt eine hohe Anzahl an potenziellen Sichtbehinderungen auf. Hingegen hat die Analyse der GIDAS-Datenbank gezeigt, dass lediglich bei 9 % der Unfälle zwischen „schweren“ Lkw und Radfahrern eine leichte potenzielle Sichtbehinderungen festgestellt wurde. Im Rahmen der praktischen Erarbeitung des Testverfahrens sollen daher einzelne punktuelle Sichtbehinderungen einbezogen und erprobt werden.

3.3.4 Weitere Randbedingungen

Die Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt entsprechen laut der UDB bei 90 % der Unfälle Tageslicht.

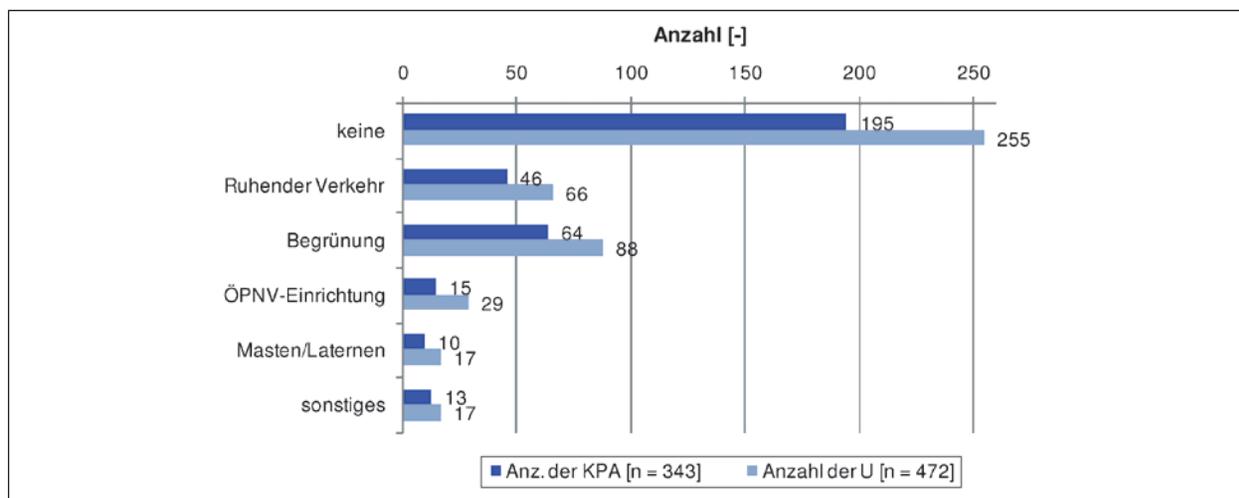


Bild 21: Potenzielle Sichtbehinderungen zwischen Lkw und Radfahrern (Berlin, Darmstadt, Magdeburg (alle: 2006-2010), Münster (2007-2011)) [TU BERLIN (2014)]



Bild 22: Potenzielle Sichtbehinderungen (Links: Grad 1, Rechts: Grad 2) am KPA [TU BERLIN (2014)]

Im Projekt FE 82.512/2010 [TU BERLIN (2014)] sind 92 % der Unfälle bei Tageslicht registriert.

Die Analyse der UDB hat gezeigt, dass bei 90 % der Unfälle eine trockene Witterung vorgelegen hat. Im Projekt FE 82.512/2010 traten 84 % der Unfälle bei trockener und 16 % bei nass/feuchter Witterung auf.

3.3.5 Geometrie der Unfallstelle

Exakte Werte für den Kurvenradius an der Unfallstelle sind in den Unfalldatenbanken nicht enthalten. Wären sie es, wäre dennoch nicht bekannt, welchen Kurvenradius der Lkw exakt gefahren ist.

Übliche Kurvenradien im innerstädtischen Bereich liegen zwischen 5 und 10 m. Im Fall von Dreiecksinseln (bauliche Berücksichtigung der Möglichkeit des Rechtsabbiegens vor einer Haltelinie) liegen die Kurvenradien deutlich höher.

Pragmatisch werden die relevanten Abbiegeradien daher zu 5, 10 und 25 m festgesetzt. Die Querschleunigung des Lkw soll in keinem Fall mehr als 3 m/s^2 betragen.

3.4 Im Testverfahren zu prüfender Parameterraum

Aus den dargestellten Analysen des Unfallgeschehens, der Literatur und anderer Quellen ergibt sich zusammenfassend folgender Parameterraum:

- Lichtverhältnisse zum Unfallzeitpunkt: ganz überwiegend Tageslicht,
- Unfälle meist bei trockenen Witterungsverhältnissen,
- Fahrgeschwindigkeiten Lkw bis 30 km/h, Rad bis 20 km/h,
- Kurvenradien (des kurveninneren Vorderrades) Lkw 5, 10 und 25 m.

4 Ableitung von Testfällen

Der Nutzen eines Abbiegeassistenzsystems für Lkw bezogen auf das Unfallgeschehen steigt mit steigender Deckung zwischen den durch das Testverfahren gesetzten Anforderungen (an das System) und den Verhältnissen in den Unfallsituationen.

Nachdem durch Kapitel 3.4 ein Parameterraum abgesteckt ist, in dem Abbiegeunfälle zwischen Lkw und Fahrradfahrer geschehen, gilt es daher, eine möglichst große Abdeckung dieses Parameter-raums durch möglichst wenige abzuprüfende Testfälle zu erreichen.

Aufgrund der noch fehlenden Erfahrung mit Abbiegeassistenz ist ein Einsatz von Notbremssystemen aus Sicherheitsgründen (mögliche fälschliche Auslösungen) zunächst nicht ratsam. Hochintensive Informationen (Warnungen) sind im Laufe einer Fahr-situation erst dann möglich, wenn mit hinreichender Sicherheit von einem Unfall ausgegangen werden kann. Andernfalls tendieren übliche Fahrer dazu, die Warnungen zu ignorieren oder das System zu deaktivieren.

Generell ist nach Informationen (hoch- oder niedrigschwellig) erst nach Ablauf einer Reaktionszeit („Schrecksekunde“) eine Fahrerreaktion zu erwarten. Diese Reaktionszeit ist in vielen Situationen deutlich länger als die zur Vermeidung des Unfalls erforderliche Zeitspanne – der Unfall kann dann trotz Warnung nicht vermieden werden.

Ein (niedrigschwellig) informierendes Assistenzsystem kann hingegen ausreichend früh aktiviert werden, da es den Fahrer unterstützt, statt ihm lästig zu sein. Ein solches Vorgehen stellt eine sinnvolle Lösung dar, sofern die Information dem Fahrer auf geeignete Weise zur Verfügung gestellt wird. Die Identifikation einer geeigneten Informationsübertragung ist nicht Teil dieser Arbeit.

Da Abbiegeassistenzsysteme verlässlich informieren sollen, ist eine wirkungsvolle Erkennung von Objekten erforderlich. Aus der Forderung nach Objekterkennung lassen sich die Anforderungen an die Sensorik in Bezug auf Sichtbereiche, Abstände und Detektionszeiten ableiten.

Die Definition relevanter Bereiche erfolgt über ein parametrisches Kinematikmodell des Lkw-Unfalls. Testfälle können darauf aufbauend dann so definiert werden, dass sie den relevanten Bereich mit möglichst wenig Tests möglichst gut abdecken.

4.1 Relevante Parameter des Unfallgeschehens

Ein Unfall zwischen Lkw und Fahrrad geschieht dann, wenn die Kollisionspartner zu einem Zeitpunkt am gleichen Ort sind, sich die Trajektorien

also in Raum und Zeit schneiden. In erster Näherung kann die Fahrradbewegung durch eine gerade Linie beschrieben werden. Die Bewegung des Lkws ist vereinfachend zweigeteilt: zunächst ist sie ebenfalls eine gerade und zur Fahrradbewegung parallele Linie, die dann aber in eine Abbiegebewegung (vereinfachend mit konstantem Radius angenommen) übergeht. Beide Trajektorien sollen sich zum theoretischen Kollisionszeitpunkt schneiden.

Aus der Unfallanalyse ist bekannt, dass Sichtbehinderungen eine untergeordnete Rolle spielen und Beeinträchtigungen durch schlechte Sicht (Wetter, Nacht) auch praktisch nicht auftreten. Sichtbehinderungen werden daher für die Definition eines Testverfahrens zunächst vernachlässigt.

Übliche Kurvenradien in den Unfallbeschreibungen liegen zwischen 5 und 10 m, in Situationen mit Dreiecksinsel⁹ (Abbiegen durch abknickende Straße vor der eigentlichen Kreuzung) auch bis zu 25 m.

Die Analyse der Unfalldaten zeigt, dass Fahrgeschwindigkeiten des Lkw über 30 km/h und des Fahrrades über 20 km/h nur sehr selten auftreten.

Ein ebenfalls relevanter Parameter zur Beschreibung der Fahrsituation ist die Querschleunigung des Lkw: Lkw sind nur bei passender Beladung in der Lage, Querschleunigungen größer als 3 m/s^2 zu fahren – liegt der Schwerpunkt zu hoch steigt die Kippgefahr. Bei der Festlegung von Fahrgeschwindigkeit und Kurvenradius muss daher die Querschleunigung als limitierender Einfluss berücksichtigt werden.

Der seitliche Überholabstand zwischen den Außenkanten von Kfz (ohne Spiegel) und Fahrradfahrer (Ellbogen) ist laut Messungen¹⁰ für Radverkehrrührungen im Mischverkehr auf knotenpunktfreier Strecke mindestens 1,00 m. Laut der Rechtsprechung werden mindestens 1,50 m als ausreichender Überholabstand angesehen. Bei Radwegen kann der Abstand aber auch bis zu 4,5 m betragen.

Die Bewegung beider Verkehrsteilnehmer in der Unfallsituation ist somit unter der Annahme konstanter Bewegung vollständig beschrieben durch die folgenden Parameter:

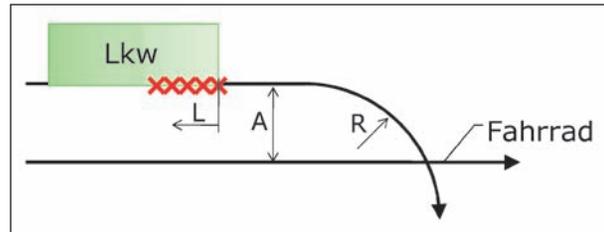


Bild 23: Geometrische Skizze der Parameter einer Unfallsituation

- Fahrgeschwindigkeit Lkw:
 $v_{\text{Lkw}} = 10, 20, 30 \text{ km/h}$,
- Fahrgeschwindigkeit Fahrrad:
 $v_{\text{Rad}} = 10 \text{ bis } 20 \text{ km/h}$,
- seitlicher Abstand der Fahrradtrajektorie zur Trajektorie der rechten Kante des Lkw (vor Beginn des Abbiegevorgangs):
 $A = 1,5 \text{ bis } 4,5 \text{ m}$,
- Kurvenradius des Abbiegevorgangs:
 $R = 5, 10, 25 \text{ m}$,
- Anprallstelle des Fahrrads am Lkw:
 $L = 0 \text{ bis } 6 \text{ m}$.

Eine Skizze der geometrischen Bedingungen ist in Bild 23 dargestellt.

4.2 Bewertungskriterien

Ziel eines informierenden Systems ist es, dem Fahrer eine Hilfestellung bei der Durchführung der Fahraufgabe zu geben. Die Information muss so rechtzeitig zur Verfügung gestellt werden, dass der drohende Unfall problemlos vermieden werden kann.

Der Unfall wird dann vermieden, wenn die Trajektorien von Lkw und Fahrrad sich nicht schneiden. Dafür muss der Abbiegevorgang entweder abgebrochen werden (Ausweichen), oder der Lkw muss vorher zum Stillstand kommen. Für die vergleichsweise geringen Lkw-Fahrgeschwindigkeiten ist ein vollständiger Stillstand des Lkw weit einfacher zu erreichen als ein Abbruch des Abbiegevorgangs durch Lenken.

Es wird daher erwartet, dass ein Abbiegeassistenzsystem die Information spätestens zu dem Zeitpunkt zur Verfügung gestellt hat, zu dem der Unfall rechnerisch noch vermieden werden kann.

Da die Warnung niedrigschwellig sein soll, ist eine Begrenzung der Warnzeit in Richtung zu frühe In-

⁹ Dreieckförmige Verkehrsinsel an plangleichen Knotenpunkten.

¹⁰ [OHM et al. (2014)]

formation nicht erforderlich. Um dennoch eine Auslegung mit Dauerinformation zu vermeiden und die Robustheit des Assistenzsystems zu verbessern erscheint es sinnvoll, die Nichtaktivierung bei Abwesenheit des Radfahrers oder bei Vorhandensein von üblichen Objekten (Laternenpfahl, Poller) zu prüfen.

Der Anhalteprozess des Lkw nach Bereitstellen der Gefahreninformation durch das Assistenzsystem gliedert sich in die Reaktionsphase (mit weiterhin konstanter Geschwindigkeit) und eine Bremsphase. In der Realität lässt sich die Bremsphase weiterhin unterteilen in die Betätigungszeit, Schwellzeit und Vollbremszeit.¹¹ Bei Vernachlässigung des Bremskraftaufbaus und pauschaler Verringerung der genutzten Längsverzögerung bleibt der Fehler wegen der geringen Geschwindigkeiten noch vernachlässigbar, die Transparenz der Modellierung nimmt aber zu.

Generell eignet sich die Rechengröße Time-To-Collision TTC für die Beschreibung der Pre-Crash-Phase von Unfällen.¹² TTC setzt den Abstand zweier Objekte in Bezug zur ihrer Relativgeschwindigkeit. Für konstante Bewegung ist TTC ein mit der Zeit abnehmendes Maß für die Dauer, bis der Abstand 0 wird.

TTC ist allgemein definiert als

$$TTC = \frac{d_{\text{Rel}}}{v_{\text{Rel}}}$$

mit dem relativen Abstand d_{Rel} und der relativen Geschwindigkeit v_{Rel} .

Für die Beschreibung der Zeit bis zum Eintritt des Unfalls ist die Beschreibung der TTC in Bezug auf den ortsfesten Kollisionspunkt, an dem sich die Trajektorien schneiden, geeignet.

Bei bekannter Ausgangsgeschwindigkeit beträgt die TTC (oder negative Zeit), zu der eine unfallvermeidende Bremsung beginnen muss

$$TTC_{\text{Anhalt}} = \frac{v}{2 \cdot a}$$

mit den Parametern Fahrgeschwindigkeit v und Verzögerung a .¹³

Während der Reaktionsphase ändert sich die Geschwindigkeit nicht. Eine konservative Abschätzung für die Dauer der Reaktionszeit ist 1,4 Sekunden, für die mögliche Verzögerung eines üblichen Lkw 6 m/s².

Daraus ergibt sich, dass die Information an den Fahrer spätestens erfolgt sein muss zu folgender TTC, bezogen auf den Kreuzungspunkt der Trajektorien:

$$TTC_{\text{Info}} = t_{\text{Reaktion}} + \frac{v_{\text{Lkw}}}{2 \cdot a_{\text{Lkw}}}$$

Gelingt es dem Assistenzsystem nicht, eine Fahrerinformation zu diesem Zeitpunkt gegeben zu haben, ist nicht von einem Nutzen des Assistenzsystems für Abbiegeunfälle auszugehen.

4.3 Kinematikmodell der Unfallsituationen

Mit den im Kapitel 3.4 definierten Parametern und dem in Kapitel 4.2 definierten Bestehenskriterium für den Test ist die Unfallvermeidungssituation vollständig definiert. Zur Ableitung geeigneter Testfälle ist eine zweidimensionale Beschreibung des erforderlichen Sichtfeldes für die Sensorik – wenn möglich mit einer Bewertung der Wichtigkeit bestimmter Bereiche des Sichtfeldes – notwendig.

Dafür müssen die jeweiligen Positionen von Lkw und Fahrrad für den Zeitraum vor Erreichen des spätmöglichsten Warnzeitpunktes in einem Koordinatensystem beschrieben sein, um daraus dann die relative Fahrradposition, bezogen auf einen Punkt an der rechten Seite des Lkws, z. B. die vordere Ecke (wie hier gewählt) oder einen anderen denkbaren Montageort eines Sensors berechnen zu können. Zur Vereinfachung werden beide Kollisionspartner als Punkte modelliert. Eine Skizze der Situation ist in Bild 24 dargestellt.

In der Skizze bedeuten die Bezeichnungen:

- R – Kurvenradius Lkw,
- A – Abstand der Trajektorien,
- B – Abstand des Einlenkpunktes vom Schnittpunkt der Trajektorien, bezogen auf die Koordinaten $y = 0$, $x = 0$ eines kartesischen Systems,
- d – Länge des Kreisbogens zwischen Einlenkpunkt und Schnittpunkt.

¹¹ [BREUER (1999), S. 228]

¹² [SEINIGER (2013), S. 9]

¹³ [SEINIGER (2013), S. 9]

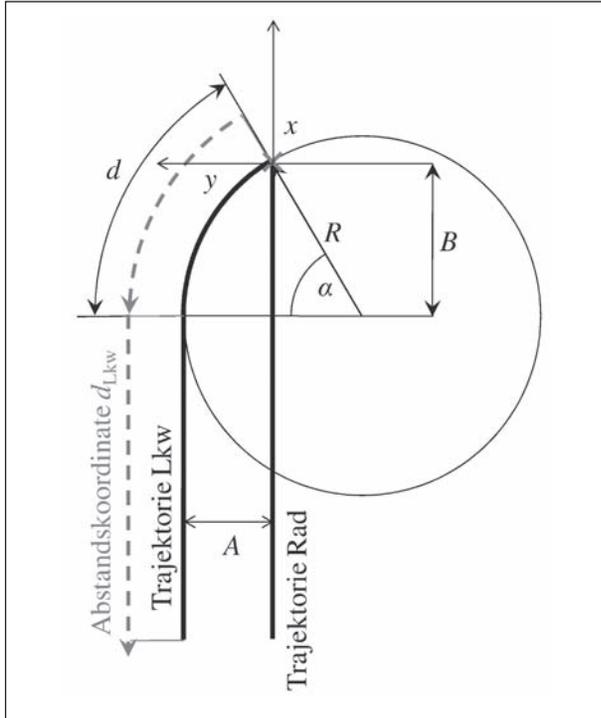


Bild 24: Skizze der Situation: Orte der Beteiligten und deren Trajektorien in einem kartesischen Koordinatensystem. Zu beachten ist die gekrümmte Laufcoordinate d_{Lkw} des Lkws (Bemaßung gestrichelt dargestellt)

Die Übertragung der Fahrradfahrer-Entfernungskordinate d_{Rad} in das kartesische Koordinatensystem erfolgt wie folgt:

$$\vec{x}_{Rad}(t) = \begin{bmatrix} x_{Rad} \\ y_{Rad} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -d_{Rad} \\ 0 \end{bmatrix}$$

Für die Übertragung der teilweise gekrümmten Lkw-Entfernungskordinate ist eine Fallunterscheidung notwendig. Zum Ende der Situation hin folgt der Lkw einem Kreisbogen:

$$\vec{x}_{Lkw} = \begin{bmatrix} x_{Lkw} \\ y_{Lkw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B + R \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} + \frac{d_{Lkw} - d}{R}\right) \\ A - R + R \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + \frac{d_{Lkw} - d}{R}\right) \end{bmatrix}_{d_{Lkw} < d}$$

Für Abstände größer als d , also vor dem Einlenk-punkt, wird die Transformation zu:

$$\vec{x}_{Lkw} = \begin{bmatrix} x_{Lkw} \\ y_{Rad} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -B - (d_{Lkw} - d) \\ A \end{bmatrix}_{d_{Lkw} \geq d}$$

mit den Größen:

$$d = \alpha \cdot R = R \cdot \arccos\left(\frac{R-A}{R}\right)$$

und daraus folgend:

$$B = R \cdot \sin(\alpha).$$

Endpunkt der Betrachtungen soll der Zeitpunkt sein, zu dem die Information spätestens erfolgt sein soll. Der Abstand des Lkw vom Kreuzungspunkt der Trajektorien auf seinem gekrümmten Pfad ist zu diesem Zeitpunkt

$$d_{Lkw} = \left(t_{Reaktion} + \frac{v_{Lkw}}{2 \cdot a_{Lkw}} \right) \cdot v_{Lkw}$$

Damit ist der Abstand des Fahrrades zum gleichen Zeitpunkt

$$d_{Rad} = \left(t_{Reaktion} + \frac{v_{Lkw}}{2 \cdot a_{Lkw}} \right) \cdot v_{Rad}$$

Da für Situationen, bei denen der Anprallpunkt des Fahrrades NICHT die vordere rechte Ecke ist, der Lkw über den Kreuzungspunkt hinaus fahren muss, ist der Abstand des Fahrrades zum gleichen Zeitpunkt:

$$d_{Rad} = \left(t_{Reaktion} + \frac{v_{Lkw}}{2 \cdot a_{Lkw}} \right) \cdot v_{Rad} + \frac{L}{v_{Lkw}} \cdot v_{Rad}$$

Für den Lkw kann dann angenommen werden, dass sich die Größe d_{Lkw} auf den Anprallpunkt am Lkw (Ecke minus L) bezieht.

Damit sind die Positionen von Lkw und Fahrrad zu jedem Zeitpunkt der kritischen Situation bekannt.

Der Kurswinkel des Massenpunkt-Lkws für $d_{Lkw} < d$ beträgt

$$\psi = \frac{d - d_{Lkw}}{R}$$

ansonsten ($d_{Lkw} \geq d$) ist er 0.

Da allerdings Kurvenradius und Radstand des Fahrzeugs in der gleichen Größenordnung liegen, kann die Fahrzeuggeometrie nicht vernachlässigt werden – der Betrag des geometrischen Schwimmwinkels ist nicht klein.

Bild 25 zeigt die Verhältnisse des Einspurmodells für schräglaufrige Fahrt. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Fahrzeuglängsachse um den geome-

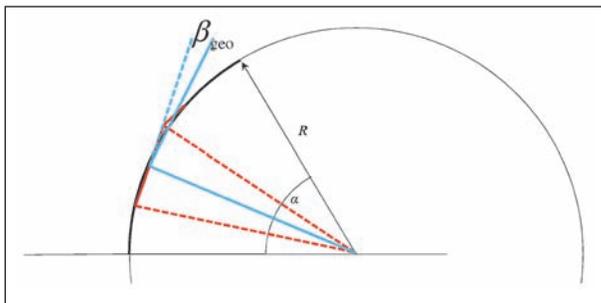


Bild 25: Verhältnisse des Einspurmodells für schräglaufrfreie Fahrt

trischen Schwimmwinkel β_{geo} nach Kurvenaußen gedreht ist.

Der geometrische Schwimmwinkel mit Berücksichtigung von Radstand l und Abstand Schwerpunkt-Hinterachse l_h ergibt sich zu

$$\beta_{geo} = \delta_{\text{Ackermann}} \cdot \frac{l_h}{l} = \frac{l_h}{l} \cdot \text{atan} \frac{l}{R},$$

und damit der im Massenpunktmodell anzuwendende Gierwinkel zu

$$\psi = \frac{d - d_{\text{Lkw}}}{R} - \frac{l_h}{l} \cdot \text{atan} \frac{l}{R}.$$

Dieser Gierwinkel wird bei der Definition der Sensor-Sichtbereiche berücksichtigt.

Diese Lösung gilt nicht für die Übergänge, bei denen die Vorderachse des Lkw bereits die Kreisbahn befährt, die Hinterachse aber noch nicht (vollständiges Befahren der Kreisbahn erst ab $\psi = l/R$). Für Übergangsbereiche wird ein linearer Anstieg des geometrischen Schwimmwinkels angenommen.

Nicht berücksichtigt wird die seitliche Verlagerung des Lkws (nach Kurvenaußen), die sich durch die Verdrehung ergibt. Unter der Annahme, dass die Vorderachse der gewünschten Kreisbahn folgt ist das aber zu vernachlässigen.

Zur Beurteilung der Schwierigkeiten für die Fahrzeugsensorik entscheidend sind Abstand und Winkel zwischen Lkw und Fahrrad. Diese Transformation erfolgt im Zuge der numerischen Lösung der Gleichungen. Zum Einsatz kommt ein MATLAB-Modell, das bei der BASt eingesehen beziehungsweise von der BASt zur Verfügung gestellt werden kann.

4.4 Sensorsichtbereiche

Die Kinematiksimulation liefert für jede einzelne Unfallsituation als Ausgabegröße die auf den Lkw bezogene Fahrradtrajektorie. Für die Identifikation erforderlicher Sichtbereiche ist die Darstellung im Polardiagramm als Abstand und Winkel sinnvoll. Erforderliche Sichtbereiche ergeben sich dann aus der Gesamtzahl aller Fahrradtrajektorien relativ zum Lkw.

Bild 26 zeigt in einem Raster mit den Feldgrößen 1 m und 1° für jedes Element die Häufigkeit des Aufenthaltes des Fahrrades als Summe aus allen denkbaren Parameterkombinationen (innerhalb der in Kapitel 4.1 festgelegten Grenzen). Die Bewegung beider Kollisionspartner ist für jeweils 4 Sekunden bis zum Versuchsende berechnet. Das Versuchsende ist der späteste mögliche Informationszeitpunkt.

Der erforderliche Sichtbereich nach vorne (relevant für die Unfallsituationen, in denen der Lkw schneller als das Fahrrad ist) ist eine schmale Keule mit der Breite des maximalen seitlichen Abstands. Der erforderliche Sichtbereich für Unfallsituationen mit schnellerem Fahrrad liegt hinter dem Lkw und ist durch die in vielen Unfallsituationen noch beginnende Kurvenfahrt ausgebeult. Für Fahrzeuggeometrien mit größerem geometrischen Schwimmwinkel verläuft die Ausbeulung breiter.

4.5 Testfälle

Da die Objektdetektion und -interpretation als wichtigste Eigenschaft eines Abbiegeassistenzsystems angesehen wird, zielt ein geeignetes Testverfahren darauf ab, diesen Systemteil anhand des Sichtbereichs mit möglichst wenigen Testfällen möglichst vollständig zu überprüfen.

Basierend auf den Wertebereichen prüfen die in Tabelle 5 dargestellten acht Testfälle den erforderlichen Sensorsichtbereich gut ab, ohne die Häufigkeit zu berücksichtigen. Die Trajektorien des Fahrrades für diese Testfälle sind in Bild 27 dargestellt.

Als Startbedingung wird für alle Testfälle ein Zeitraum 4 Sekunden vor Erreichen des Punktes der letzten Information vorgesehen.

Im Polardiagramm aus Bild 26 sind nun zusätzlich die Aufenthaltsbereiche des Fahrrades je Testfall

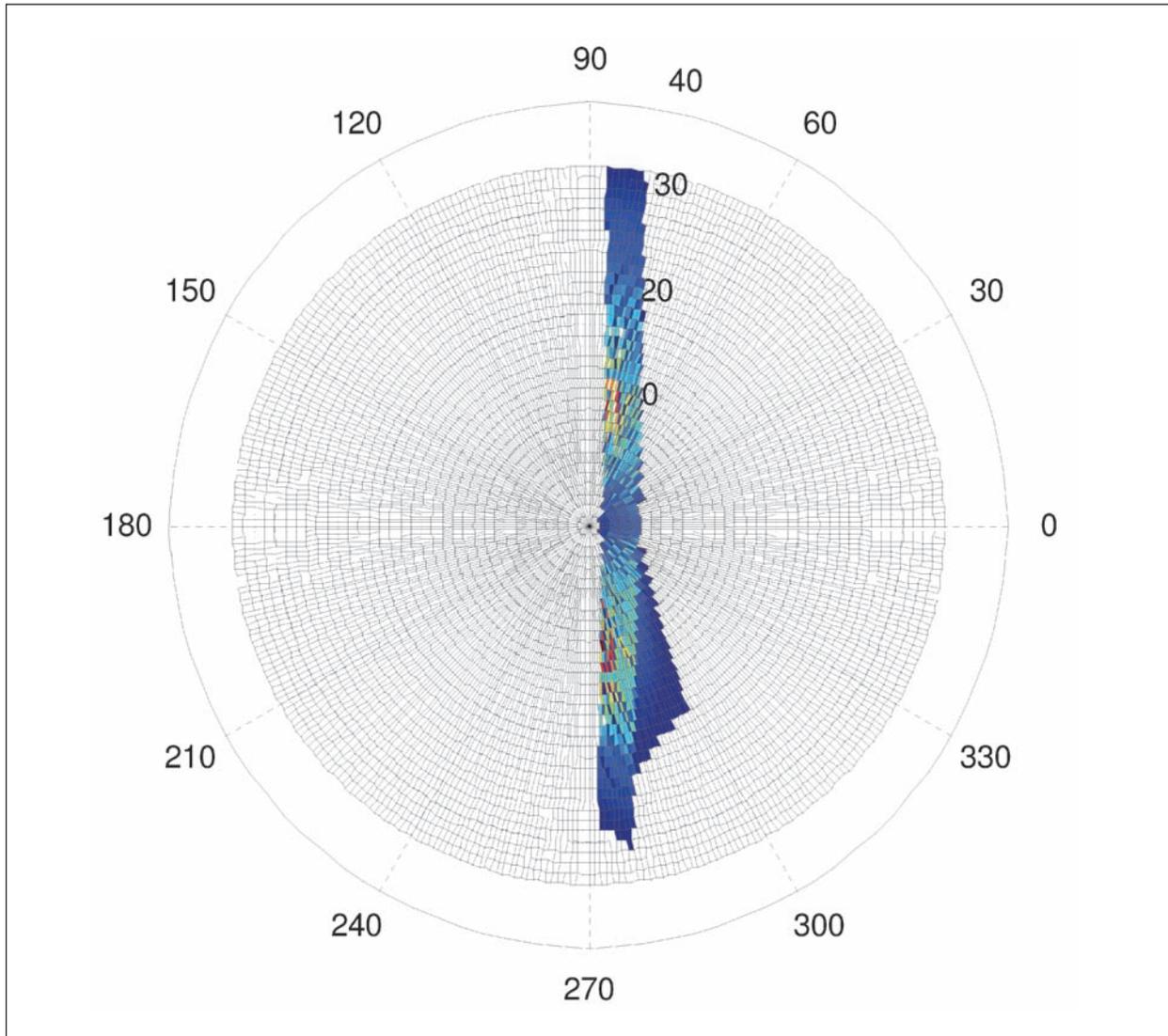


Bild 26: Aufenthaltsbereiche des Fahrrades nach Abstand und Winkel, summiert über alle möglichen Parameterkombinationen und bezogen auf die vordere rechte Ecke des Lkw. Die Farbkodierung läuft von Dunkelblau (wenige Fahrradsichtungen) über grün und gelb zu rot (viele Fahrradsichtungen)

ID	v_{Lkw} [km/h]	v_{Rad} [km/h]	R [m]	A [m]	Anprall [m]
1	10	20	5	1,5	6
2	10	20	10	4,5	6
3	10	20	10	4,5	3
4	10	20	10	1,5	0
5	10	10	5	4,5	0
6	30	10	25	4,5	0
7	30	20	25	1,5	6
8	20	10	10	3	0

Tab. 5: Testfälle

farblich hinzugefügt (Bild 27). Anhand von drei Testfällen (6, 7, 8) wird der Sichtbereich nach vorne geprüft. Der Bereich hinter dem Lkw einschließlich der Ausbeulung des Sichtbereichs wird durch vier Testfälle (1, 2, 3, 4) geprüft. Ein Testfall (5) prüft den Sichtbereich unmittelbar rechts neben dem Führerhaus – relevant für Unfallsituationen mit gleicher Geschwindigkeit von Lkw und Fahrrad.

Damit ist sichergestellt, dass sich unabhängig von der konkreten Auslegung des jeweiligen Algorithmus im Assistenzsystem das Fahrrad zu mindestens einem Zeitpunkt im gesamten erforderlichen Sichtbereich befindet.

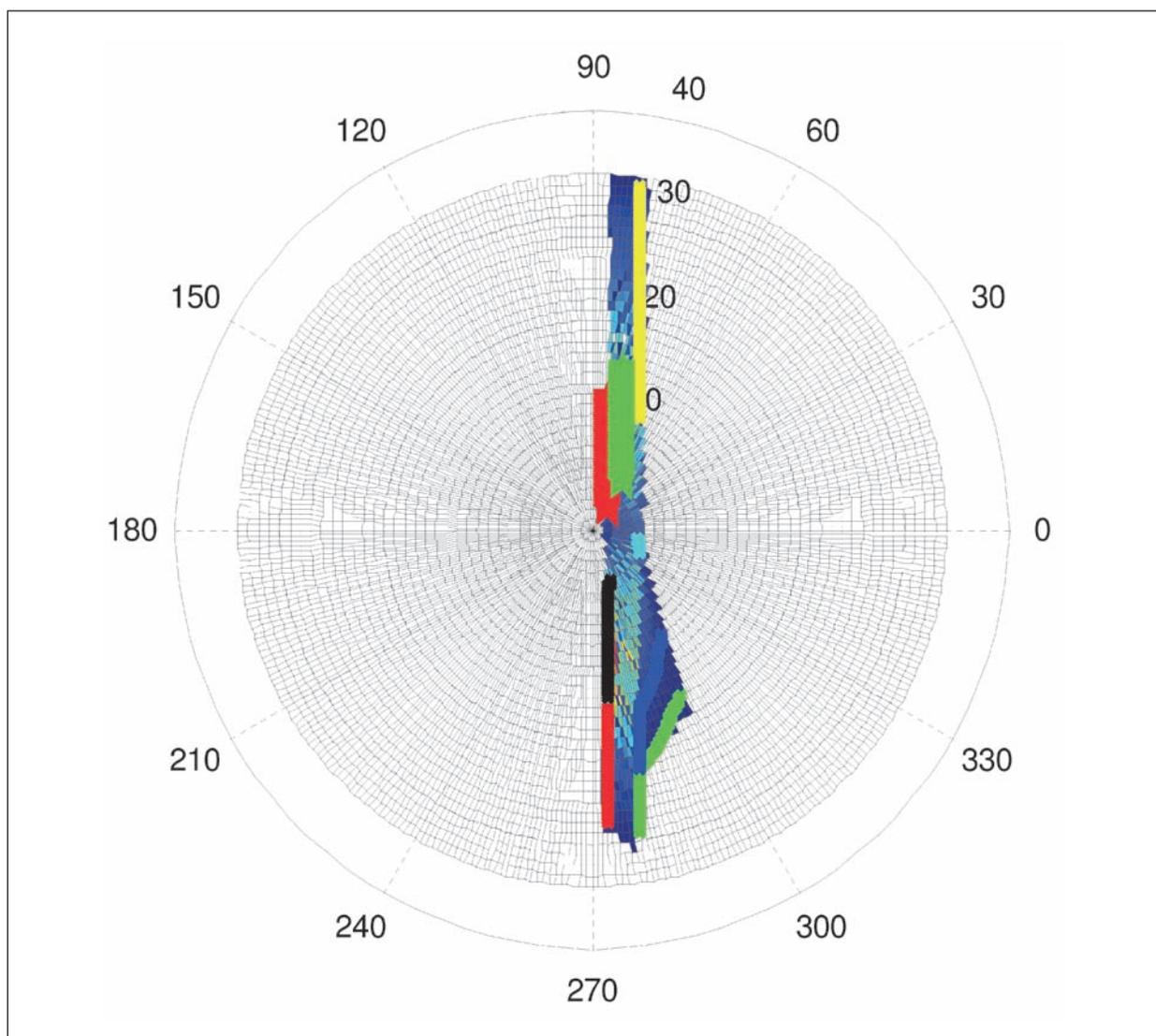


Bild 27: Testfälle, dargestellt im Bereich der summierten Fahrradtrajektorien. Zu beachten ist, dass teilweise (kleine Lkw-Geschwindigkeiten und große Abstände) der letztmögliche Informationszeitpunkt so liegt, dass der Lkw im Test in die Kurve hineinfahren muss

5 Testdurchführung

5.1 Anforderungen an die Testdurchführung

Ziel des Testverfahrens ist es, ein Abbiegeassistenzsystem für rechtsabbiegende Lkw auf Erfüllen der gesetzten Anforderungen zu prüfen. Die Situation eines drohenden Abbiegeunfalls muss dafür ausreichend realistisch nachgestellt werden. Es müssen weiterhin Messdaten aufgenommen werden, anhand derer die anforderungsgemäße Funktion des Assistenzsystems geprüft werden kann.

Die Prüfung eines Abbiegeassistenzsystems anhand des hier definierten Testverfahrens muss in einem angemessenen Zeitraum möglich sein.

5.2 Mess- und Bewertungsgrößen

Bei Abbiegeunfällen ist eine exakte Einhaltung des Ort-Zeit-Gesetzes erforderlich, da sich nur dann die Kollisionspartner in der geforderten Konstellation treffen. Bewertungsgröße dafür ist die Güte der Befahrung der Soll-Trajektorie und der Ist-Geschwindigkeiten von Lkw und Fahrrad.

Ein Test gilt dann als bestanden, wenn die Information durch das Assistenzsystem vor Versuchsende (festgelegt durch die TTC, bei der spätestens informiert werden muss) gegeben wird. Eine robuste Möglichkeit zur Dokumentation der Warnung ist z. B. die Videoaufzeichnung der Benutzerschnittstelle in Verbindung mit einer Referenz zum Zeitpunkt des Versuchsendes.

5.3 Werkzeuge

Wesentlicher Faktor für die erreichbare Realitätsnähe eines Testverfahrens ist das nutzbare Testobjekt.

Da bisher wenige konkrete technische Ausprägungen eines Abbiegeassistenzsystems existieren, kann die erforderliche Realitätsnähe nur bedingt beurteilt werden. Wesentliche Kriterien aus Sicht der Sensorik sind dabei die Form, optische Erscheinung (einschließlich beispielsweise Reflektoren) und die RADAR-Reflektion sowohl von Fahrrad als auch Radfahrer.

Da als Bewertungsgröße nur die Fahrerinformation herangezogen wird, kann die Bewegung beider Kollisionspartner zum spätestmöglichen Warnzeitpunkt beendet werden, sodass keine Kollision stattfinden wird. Daher spricht auch nichts gegen die Verwendung eines realen Fahrrads im Experiment. Denkbar wäre grundsätzlich auch ein menschlicher Versuchsfahrer auf dem Fahrrad, zweckmäßiger ist aber sicher die Nutzung einer Menschattrappe (Dummy).

Fußgängerdummies sind für den Test von Notbremsystemen von Pkws bereits vorhanden. Es wird erwartet, dass eine Adaption an einen Fahrradfahrer mit nur wenigen Anpassungen möglich ist.

Zur Versuchsdurchführung ist eine synchronisierte Bewegung von Lkw und Fahrrad anhand der in Kapitel 4.5 definierten Trajektorien notwendig. Zur Bestimmung des tolerierbaren Fehlers sind aber zunächst experimentelle Untersuchungen erforderlich.

Für Prüfungen von Fußgänger-Notbremsystemen in Pkw nach Euro-NCAP-Testverfahren wird eine Bewegungsanlage für den Fußgängerdummy genutzt. Diese Anlage kann die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs über mehrere Lichtschranken bestimmen und die Bewegung des Dummys daher sehr genau mit der Fahrzeugbewegung synchronisieren. Messtechnik im Fahrzeug ist dafür nicht erforderlich. Aus Kostengründen kann es sinnvoll sein, ein vereinfachtes Testwerkzeug aufzubauen und die genannte Bewegungsanlage nicht zu nutzen – für Machbarkeitsuntersuchungen und die Identifizierung des tolerierbaren Fehlers ist die Anlage aber ein geeignetes Werkzeug.

Das Fahrrad wird durch die Bewegungsanlage geführt, daher ist eine Überprüfung der Trajektorie

nicht erforderlich. Für die Überprüfung der Trajektorie des Lkw bietet sich eine Gasse aus Pylonen oder „Botts' Dots“ an, deren Verlassen optisch festgestellt werden kann.

Für die Auswertung erforderlich ist eine vom Abbiegeassistenzsystem unabhängige Aussage, ob der Lkw den Ort des spätestmöglichen Informationssignals bereits passiert hat. Denkbar dafür ist die Nutzung eines Lichtschrankensystems: dabei wird der Ort des spätestmöglichen Informationssignals auf der Fahrbahn durch einen Reflektor markiert, der bei Vorbeifahrt nahezu ohne Zeitverzug eine Lichtschranke auslöst. Diese Lichtschranke kann dann eine optische Markierung im Sichtfeld der Videokamera auslösen. Erscheint die optische Markierung nach Aktivierung der Fahrerinformation durch das Abbiegeassistenzsystem, dann genügt das Assistenzsystem den Anforderungen.

Zusammenfassend wird die Nutzung folgender Werkzeuge vorgeschlagen:

- Bewegungsanlage nach Euro-NCAP-Standard, z. B. 4a Engineering SurfBoard,
- Pylonengasse für die Solltrajektorie des Lkws,
- Reales Fahrrad in Verbindung mit Euro NCAP Pedestrian Target,
- Videokamera zur Aufnahme des Informationssignals,
- Lichtschranke als Referenz für den Ort der spätestmöglichen Warnung.

5.4 Erforderliche Anpassungen der Serien-Dummybewegungsanlage

Vorgeschlagen wird in einem ersten Schritt die Nutzung einer Dummy-Bewegungsanlage wie z. B. der Anlage von 4active Systems, Traboch, Österreich. Diese Anlage ist Stand der Technik und wird für die 2016 bei Euro NCAP startenden Fußgängerversuche genutzt werden.¹⁴ Sie ist allerdings ausgelegt für die Nutzung im kreuzenden Verkehr: Der Dummy bewegt sich in diesem Fall rechtwinklig zur Fahrtrichtung des zu prüfenden Fahrzeugs, siehe Bild 28.

¹⁴ <http://www.4activesystems.at/en/products/test-equipment/4activesb.html>



Bild 28: Dummy-Bewegungsanlage von 4active-Systems, aufgebaut zum Test von Fußgänger-Notbremssystemen. Zu erkennen ist in Bildmitte der Fußgängerdummy, der über Magnete mit einem Brett gekoppelt ist. Dieses Brett wird durch den ringförmigen Riemen bewegt. Der Antrieb des Riemens erfolgt durch einen Elektromotor im großen Kasten im Vordergrund, ein Gegenlager mit Riemenscheibe für die Führung des Riemens befindet sich im Hintergrund

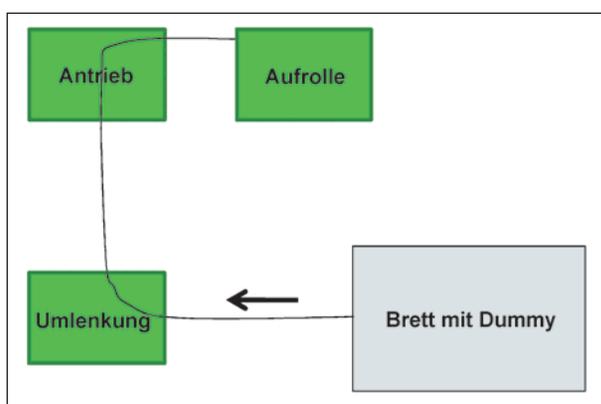


Bild 29: Konzept „einseitige Zugriemenführung“

Der maximale Verfahrensweg des Dummies beträgt bei dieser Konfiguration mit maximaler Riemenlänge (50 m) etwa 20 m. Das reicht nicht ganz für die hier vorgesehenen Testfälle aus. Weiterhin würde für die Testfälle eine Aufstellung in Längsrichtung erforderlich werden, und dann könnten verschiedene Anlagenteile (beispielsweise die Umlenklager) als Hindernisse die Sensorik des Assistenzsystems stören.

Um die hier beschriebenen Testfälle prüfen zu können, sind kleine Änderungen an der Anlage erforderlich, siehe Bild 29.

Eine Auftrennung des ursprünglich ringförmigen Riemens erlaubt bei gleicher Riemenlänge etwa den doppelten Verfahrensweg des Dummies, mit dem hier irrelevanten Nachteil, dass der Dummy dann nur noch in eine Richtung gezogen werden kann. Die Auftrennung verhindert auch, dass die Lkw-Sicht auf den Radfahrer gestört ist. Eine zusätzliche 90°-Umlenkung erlaubt das Aufstellen des Riemenantriebs außerhalb der Bewegungsrichtung des Dummies.

Zusätzlich ist eine Vorrichtung erforderlich, die das offene Ende des Riemens aufnimmt und im Ver-



Bild 30 Aufrollvorrichtung für das offene Ende des Riemens

suchsbetrieb abführt und verstaut, z. B. aufrollt (siehe Bild 30).

Die Anlage ist aktuell für die Aufnahme eines Fußgängerdummies ausgelegt. Eine Vorrichtung zur Aufnahme eines Fahrrades (bevorzugt mit drehenden Rädern) ist in der Konstruktionsphase. Die übrigen beschriebenen Anpassungen der Dummy-Bewegungsanlage sind bereits umgesetzt und zum Zeitpunkt der Berichtserstellung in der Verifikationsphase. Es wird damit gerechnet, dass die angepasste Bewegungsanlage mit Beginn des Jahres 2015 für Experimente zur Verfügung steht.

5.5 Versuchsaufbau

In Kapitel 4.5 sind Testfälle definiert, anhand derer die Funktion des Abbiegeassistenzsystems möglichst umfassend geprüft werden kann. Diese Testfälle definieren Trajektorien und Sollgeschwindigkeiten von Lkw und Fahrrad, die eine geforderte Kollisionskonstellation herbeiführen würden, würden beide Versuchspartner ihre Bewegung unbegrenzt fortführen. Da als Bewertungsgröße nur die Fahrerinformation herangezogen wird, kann die Bewegung beider Kollisionspartner aber zum spätestmöglichen Warnzeitpunkt beendet werden, sodass keine Kollision stattfinden wird.

Den Testaufbau für Testfall 1 zeigt Bild 31 (Lkw-Geschwindigkeit 10 km/h, Fahrradgeschwindigkeit 20 km/h, seitlicher Abstand 1,5 m, Kurvenradius 5 m). Dargestellt sind die Trajektorie des Lkw in schwarz und die Trajektorie des Fahrrades in rot. Anfangs- und Endpunkte sowie theoretischer Kollisionspunkt sind durch Kreuze markiert. Die Synchronisierung ist dann gewährleistet, wenn Fahrrad und Lkw zur gleichen Zeit und mit der geforderten Geschwindigkeit ihren jeweiligen Anfangspunkt (linke Kreuze) passieren und die Bewegung auf

diese Art fortsetzen. Der Ort des spätestmöglichen Informationssignals und damit des Versuchsendes ist der Beginn der gestrichelten Trajektorien. An diese Stelle wird der Lichtschrankenreflektor aufgestellt werden.

In den Diagrammen (Bilder 32 bis 38) sind zusätzlich die jeweiligen Versuchsparameter sowie die Relativposition zwischen Fahrrad und Sensorposition des Lkws (Winkel und Abstand) am jeweiligen Anfangs- und Endpunkt angegeben.

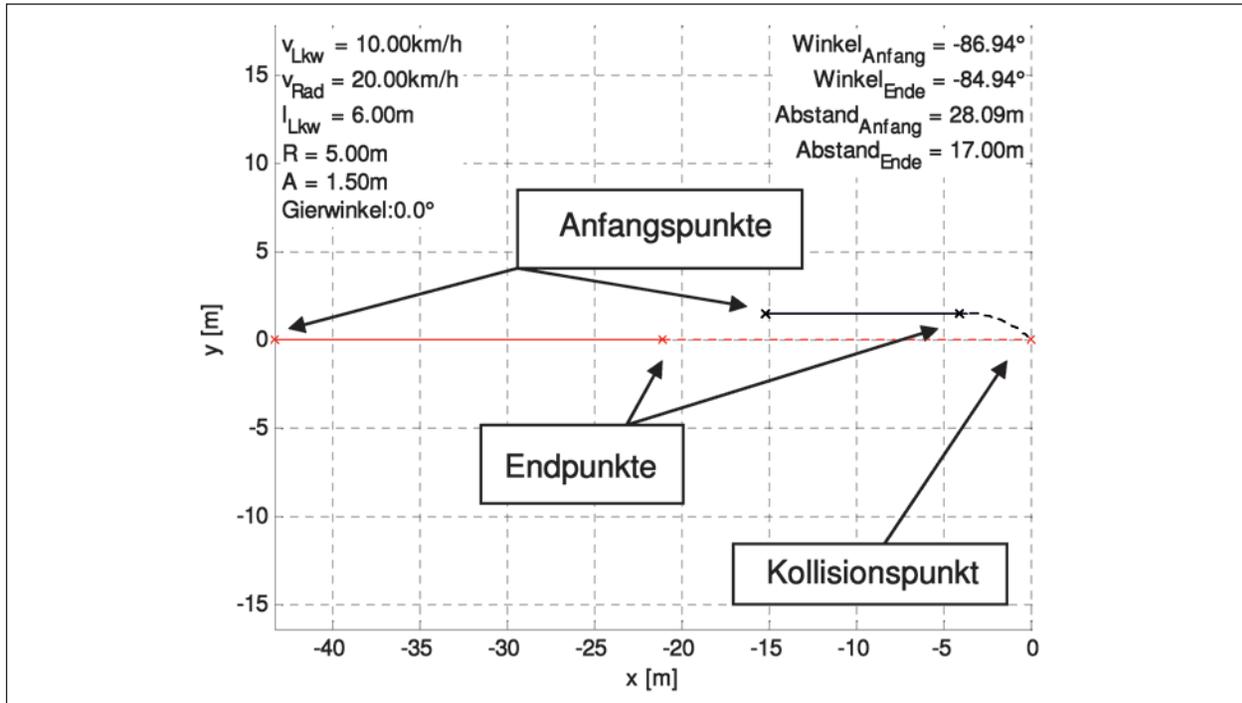


Bild 31: Skizze des Versuchsaufbaus mit Solltrajektorien für Lkw (schwarz) und Fahrrad (rot) für Testfall 1. Fahrtrichtung von links nach rechts, Kollisionspunkt zwischen Lkw und Fahrrad für den Fall fortgesetzter Bewegung am Ursprung des Koordinatensystems. Dargestellte Trajektorie des Lkw gilt für die vordere rechte Ecke des Fahrzeugs, für das Fahrrad für den vordersten Punkt des Vorderrades

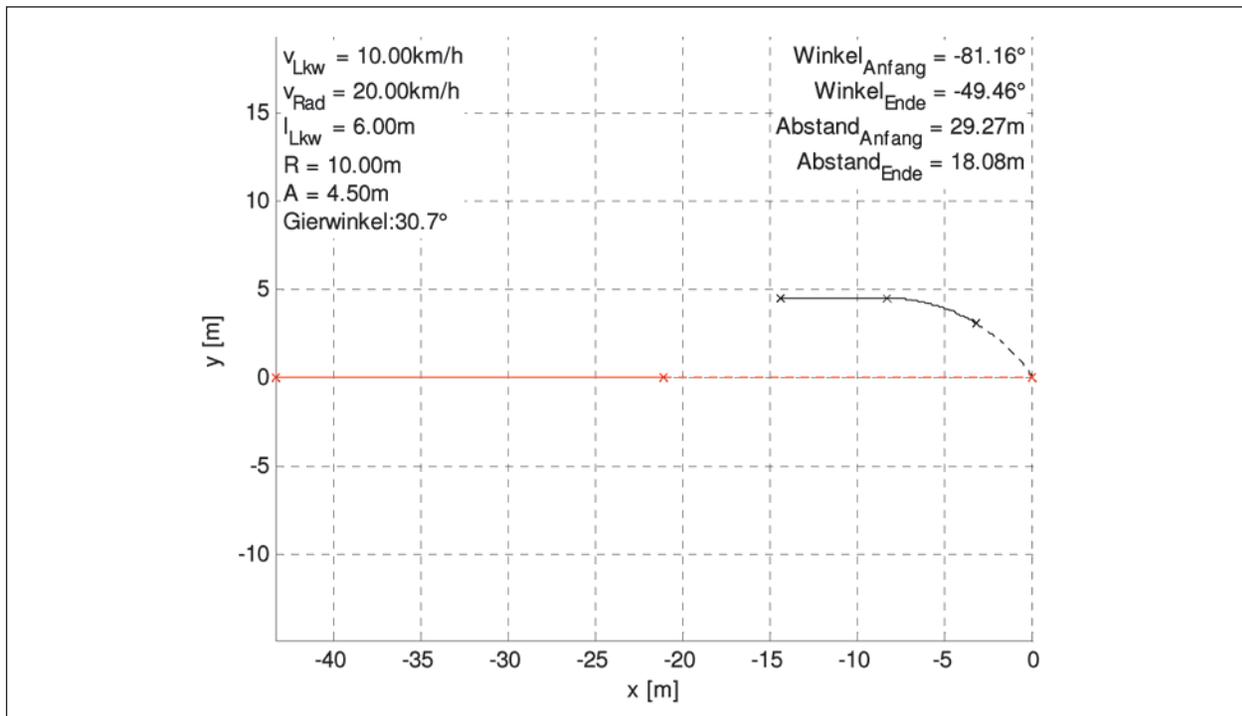


Bild 32: Testfall 2

Generell ist für die Durchführung der Fahrversuche ein maximaler Verfahrweg des Fahrrades von 22 m (zuzüglich Beschleunigungs- und Bremsweg) erforderlich. Die maximal erforderliche Ausdehnung des Versuchsgeländes beträgt 44 m (ausschließlich Be-

schleunigungs- und Bremsweg von Fahrrad und Lkw).

In Bild 32 bis Bild 38 ist der Versuchsaufbau für die übrigen Testfälle dokumentiert.

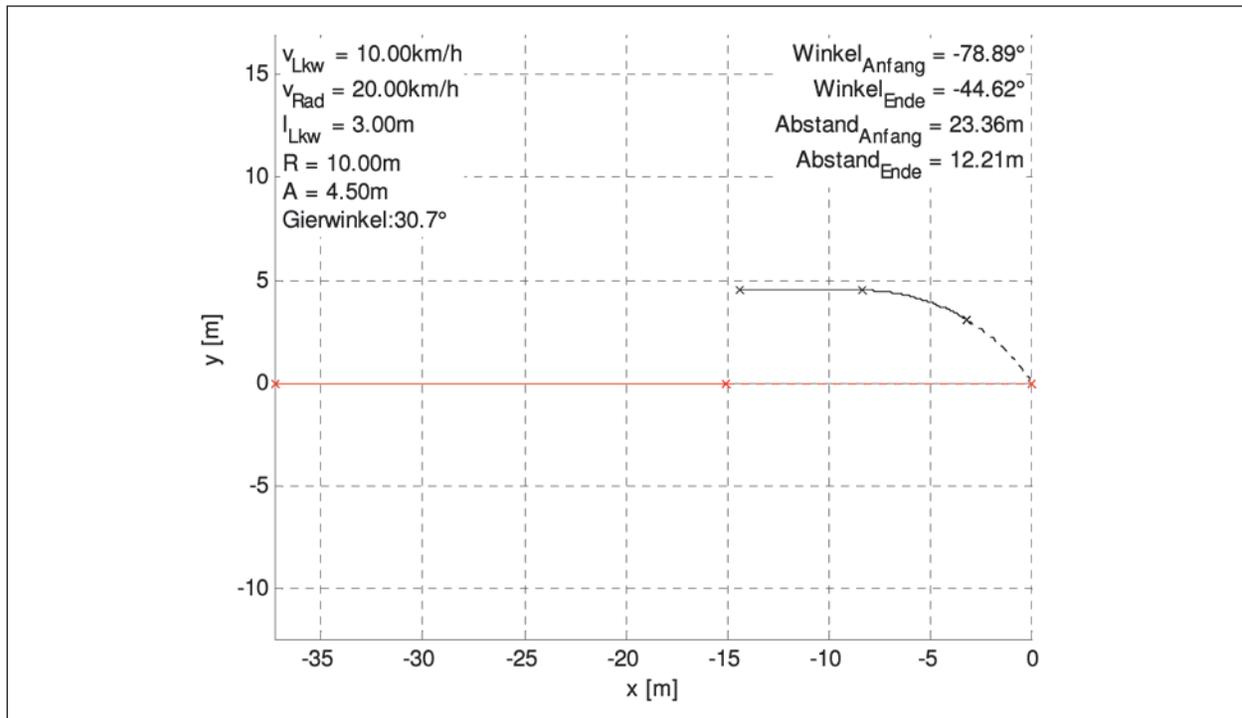


Bild 33: Testfall 3

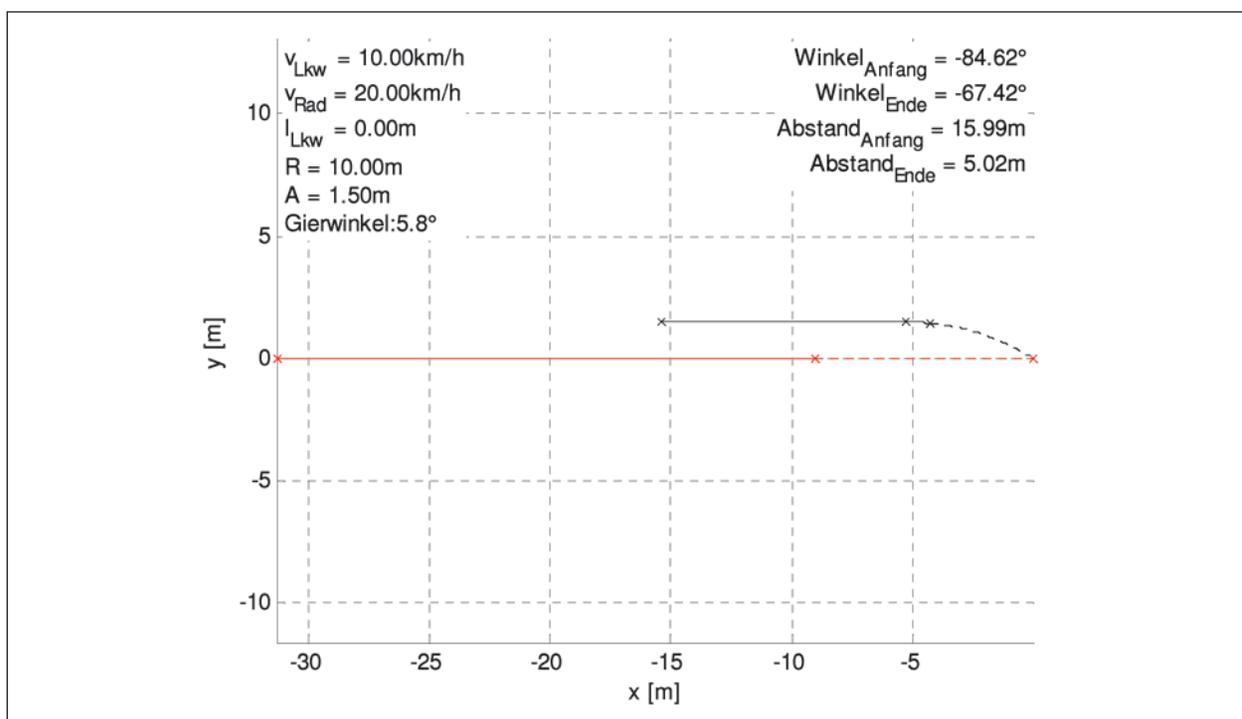


Bild 34: Testfall 4

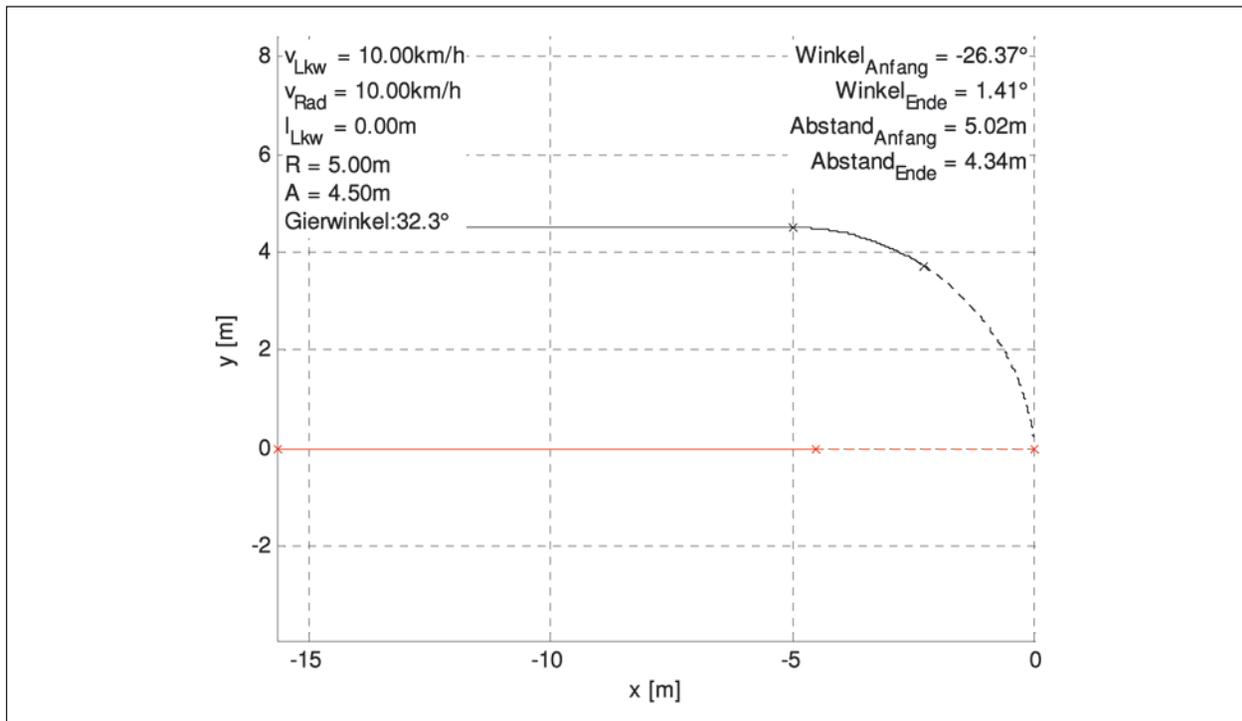


Bild 35: Testfall 5

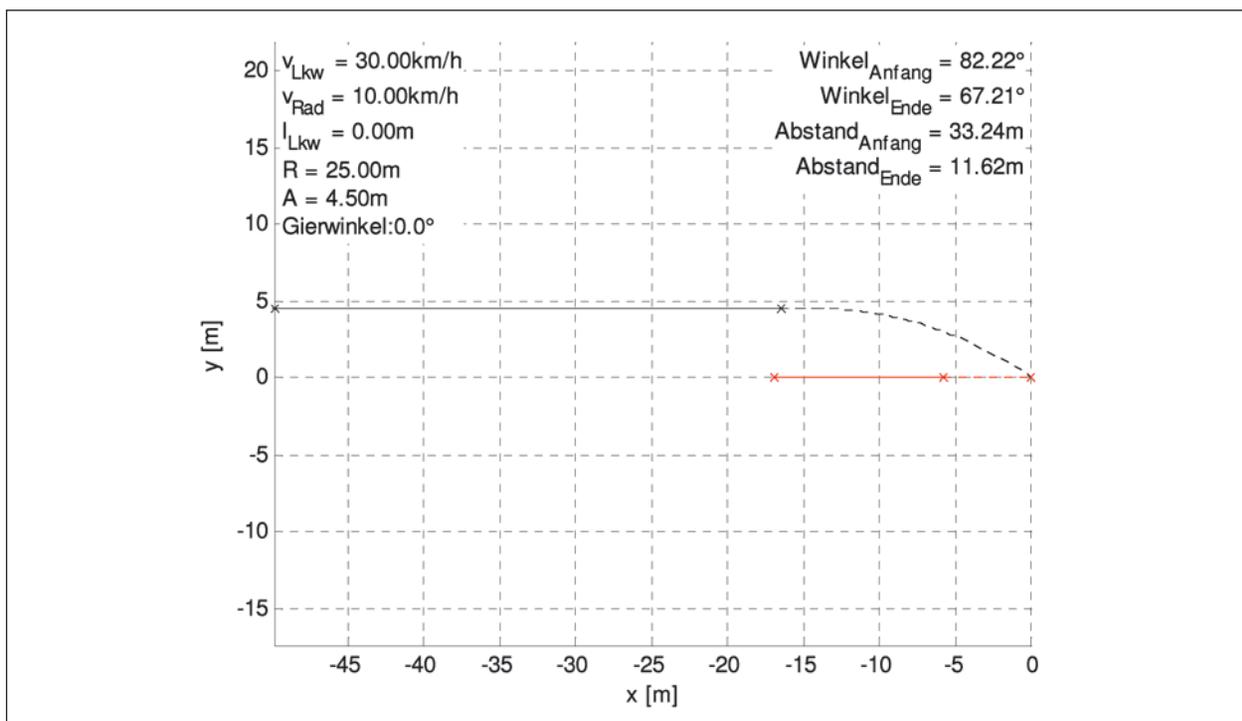


Bild 36: Testfall 6

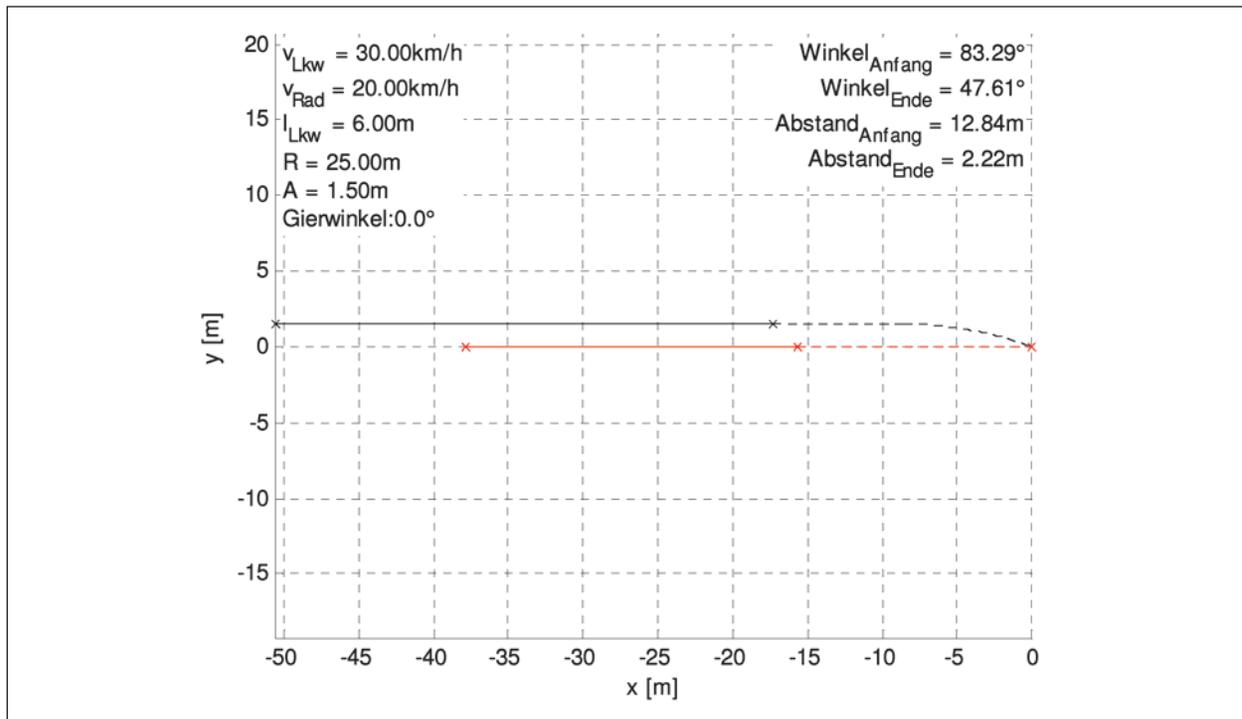


Bild 37: Testfall 7

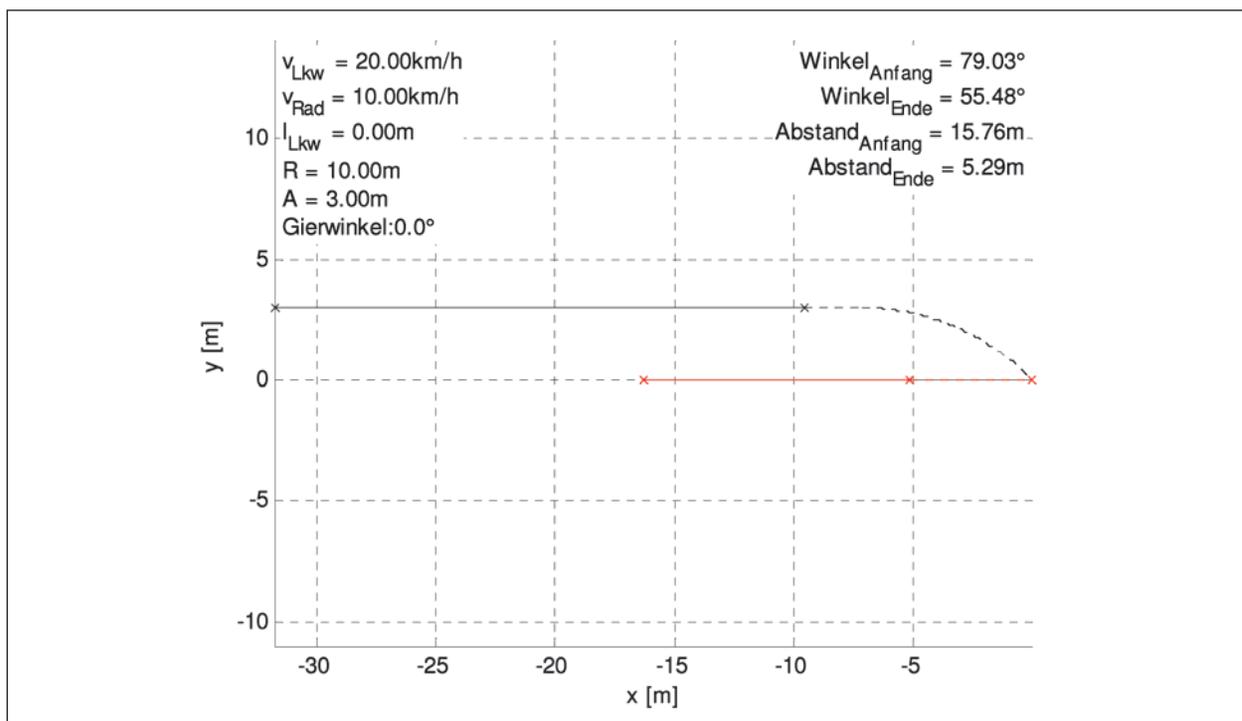


Bild 38: Testfall 8

5.6 Erkennung stehender Radfahrer und Robustheit gegen Falschauslösungen

Für ein robustes und das reale Unfallgeschehen abbildendes Testverfahren ist es erforderlich, über die hier definierten bewegten Ziele hinaus die Detektion von stehenden Objekten und die Unterscheidung zwischen stehenden Fahrrädern und anderen Objekten zu überprüfen.

Dafür wird vorgeschlagen, das Fahrrad (Richtig-Positiv-Tests) und andere Objekte wie zum Beispiel Poller und Straßenlaternen (Falsch-Positiv-Tests) in den Bereichen zu positionieren, die vom Lkw überfahren werden.

Für die exakte Definition dieser Tests sind aber praktische Versuche erforderlich, die für das Jahr 2015 geplant sind.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Abbiegeunfälle mit Kollisionen zwischen rechtsabbiegenden Lkw bzw. Gkz und Fahrrädern haben in der Regel schwerwiegende Unfallfolgen für den ungeschützten Verkehrsteilnehmer. In der Vergangenheit wurde durch eine steigende Anzahl von Spiegeln das Sichtfeld des Lkw-Fahrers vergrößert und die Sicherheit für ungeschützte Verkehrsteilnehmer durch den Seitenunterfahrschutz verbessert. Da Abbiegeunfälle trotz der Vielzahl an Spiegeln auch heute noch geschehen und Fahrerassistenzsysteme Einzug in viele Fahrzeugklassen gehalten haben, liegt es nahe, derartige Systeme für die Verhinderung von Abbiegeunfällen zu nutzen. Um entsprechende Systementwicklungen zu stimulieren, sind Anforderungen und passende Testmethoden für Abbiegeassistenzsysteme erforderlich. Ziel der BAST war es, Anforderungen und ein mögliches Testverfahren hierfür zu entwickeln.

Ausgehend von Analysen des Unfallgeschehens wurden charakteristische Parameter und Begleitumstände von Unfällen zwischen Fahrrädern und rechtsabbiegenden Lkw identifiziert. Die vorhandenen Daten zeigen, dass die Geschwindigkeiten der Lkw bis etwa 30 km/h und des Fahrrades bis etwa 20 km/h reichen. Die Bewegung von Lkw und Fahrrad verläuft zunächst parallel, der Abstand der Parallelbewegung liegt im Bereich 1,5 bis 4,5 m.

Über Kurvenradien gibt es keine expliziten Aussagen. Die Unfälle geschehen ganz überwiegend im innerörtlichen Raum, Kurvenradien (bezogen auf die Lkw-Innenseite) liegen daher zwischen 5 und 10 m, im Fall von Dreiecksinseln auch in der Nähe von 25 m. Sichtbehinderungen, die die Sicht des Lkw-Fahrers auf das Fahrrad erschweren, sowie schwierige Wetterbedingungen sind jeweils nur in einer sehr kleinen Teilmenge der Fälle vorhanden.

Aus fahrdynamischen Überlegungen folgt bei den gegebenen Parametern, dass nur eine frühe, aber niederschwellige Fahrerinformation eine wirkungsvolle Assistenzfunktion zur Verhinderung der Unfälle sein kann. Für automatische Bremsungen gibt es bisher noch zu wenig Erfahrungen im Feld, und klassische, hochschwellige, aber sehr spät erfolgende Warnsignale würden durch die dann noch erforderliche Reaktionszeit keine rechtzeitige Bremsung des Lkw-Fahrers mehr hervorrufen.

Basierend auf dem identifizierten Parameterraum, der zum komfortablen Anhalten erforderlichen Zeit und einem geeigneten Kinematikmodell lassen sich die räumlichen Bereiche um den Lkw definieren, in dem eine Umfelderkennung den Fahrradfahrer detektieren können muss, damit das Informationssignal durch das Assistenzsystem an den Lkw-Fahrer rechtzeitig ausgegeben wird. Innerhalb des Parameterraums können dann solche Parameterkombinationen als Testfälle herausgegriffen werden, die den notwendigen Sichtbereich der Umfelderkennung mit möglichst wenig Fällen möglichst vollständig abdecken.

Die Methodik zur Identifikation und die schließlich vorgeschlagen Testfälle sind in Kapitel 4 ausführlich dargelegt. Ein Vorschlag zur effizienten Durchführung der Fahrversuche unter Nutzung bereits vorhandener Werkzeuge ist in Kapitel 5 beschrieben.

Zur Steigerung der Robustheit ist vorgesehen, bei ergänzenden Versuchen die Systemreaktion auf statische Fahrräder (richtig-positiv: auf diese Objekte sollte eine Information erfolgen) und nicht relevante Objekte, z. B. Poller (falsch-positiv: auf diese Objekte sollte keine Information erfolgen) zu prüfen.

Daran anschließen muss sich eine Validierung der Tests mit an Lkw realisierten Abbiegeassistenzsystemen. Dabei ist auch zu prüfen, inwieweit das Testverfahren die Realität in Bezug auf richtig gegebene Warnungen widerspiegelt und in welchem Maße fälschlich gegebene Warnungen noch auftreten.

Aktuell wird davon ausgegangen, dass ein Abbiegeassistenzsystem, das die hier beschriebenen Prüfungen besteht, einen sehr positiven Einfluss auf das Unfallgeschehen zwischen rechtsabbiegenden Lkw und Fahrrädern haben wird.

7 Literatur

- [ALRUTZ et al. (2014)], ALRUTZ, D.; BOHLE, W.; HACKE, U.; LOHMANN, G.: Potenzielle Einflüsse von Pedelecs und anderen motorunterstützten Fahrrädern auf die Verkehrssicherheit unter besonderer Berücksichtigung älterer Radfahrer (FE 82.0533/2011), Schlussbericht, unveröffentlicht, Hannover, 2014
- [BREUER, B. (1999)]: Kraftfahrzeuge I. Skriptum zur Vorlesung an der TU Darmstadt. Darmstadt, 1999
- [DEKRA (2004)], NIEWÖHNER, W., BURG, A. F.: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft F 54, Bergisch Gladbach, 2004
- [DEKRA (2014)], RITTER, St.: Kollisionen zwischen rechts abbiegenden Lkw und Fahrrädern – ein Update nach zehn Jahren, Seite 296-305, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, September 2014
- [HUMMEL et al. (2011)], HUMMEL, Th.; KÜHN, M.; BENDE, J.; LANG, A.: Ermittlung des Sicherheitspotenzials auf Basis des Schadengeschehens der Deutschen Versicherer, Forschungsbericht FS 03, Unfallforschung der Versicherer, Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin, 2011
- [M Uko (2012)], FGSV: Merkblatt zur Örtlichen Unfalluntersuchung in Unfallkommissionen (M Uko), Ausgabe 2012, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln
- [OHM et al. (2014)]: Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen (FE 77.0496/2010), Schlussbericht, unveröffentlicht, Dresden, 2014
- [SCHRECK, B. & PÖPPEL-DECKER, M. (2014)]: Unfallgeschehen zwischen rechtsabbiegenden Güterkraftfahrzeugen und geradeausfahrenden Radfahrern, Seite 239-242, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 4. 2014
- [SEINIGER, P. et al. (2013)]: Anforderungen an das Testen von Fußgänger-Notbremssystemen – erste Ergebnisse von AsPeCSS und ADAC. 6. Tagung Fahrerassistenz, München, 28./29.11. 2013
- [TU BERLIN (2014)], RICHTER, Th. et al.: Toter Winkel – Konflikt zwischen rechtsabbiegenden Lkw und geradeausfahrendem Radverkehr (FE 82.512/2010), 2. Entwurf-Schlussbericht, unveröffentlicht, Berlin, 2014
- [UDV (2014)], Unfallforschung der Versicherer: Unfallforschung kompakt. Neues Risiko Pedelec? Forschungsbericht Nr. 46. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V., Berlin, 2014

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2004

F 45: Untersuchungen zur Abgasemission von Motorrädern im Rahmen der WMTC-Aktivitäten
Steven € 12,50

F 46: Anforderungen an zukünftige Kraffrad-Bremssysteme zur Steigerung der Fahrsicherheit
Funke, Winner € 12,00

F 47: Kompetenzerwerb im Umgang mit Fahrerinformations-systemen
Jahn, Oehme, Rösler, Krems € 13,50

F 48: Standgeräuschmessung an Motorrädern im Verkehr und bei der Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO
Pullwitt, Redmann € 13,50

F 49: Prüfverfahren für die passive Sicherheit motorisierter Zweiräder
Berg, Rucker, Bürkle, Mattern, Kallieris € 18,00

F 50: Seitenairbag und Kinderrückhaltesysteme
Gehre, Kramer, Schindler € 14,50

F 51: Brandverhalten der Innenausstattung von Reisebussen
Egelhaaf, Berg, Staubach, Lange € 16,50

F 52: Intelligente Rückhaltesysteme
Schindler, Kühn, Siegler € 16,00

F 53: Unfallverletzungen in Fahrzeugen mit Airbag
Klanner, Ambos, Paulus, Hummel, Langwieder, Köster € 15,00

F 54: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern an Kreuzungen durch rechts abbiegende Lkw
Niewöhner, Berg € 16,50

2005

F 55: 1st International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 3rd/4th September 2004 at Hannover Medical School € 29,00

2006

F 56: Untersuchung von Verkehrssicherheitsaspekten durch die Verwendung asphärischer Außenspiegel
Bach, Rüter, Carstengerdes, Wender, Otte € 17,00

F 57: Untersuchung von Reifen mit Notlaufeigenschaften
Gail, Pullwitt, Sander, Lorig, Bartels € 15,00

F 58: Bestimmung von Nutzfahrzeugemissionsfaktoren
Steven, Kleinebrahm € 15,50

F 59: Hochrechnung von Daten aus Erhebungen am Unfallort
Hautzinger, Pfeiffer, Schmidt € 15,50

F 60: Ableitung von Anforderungen an Fahrerassistenzsysteme aus Sicht der Verkehrssicherheit
Vollrath, Briest, Schießl, Drewes, Becker € 16,50

2007

F 61: 2nd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 1st/2nd September 2006 at Hannover Medical School € 30,00

F 62: Einfluss des Versicherungs-Einstufungstests auf die Belange der passiven Sicherheit
Rüter, Zoppke, Bach, Carstengerdes € 16,50

F 63: Nutzerseitiger Fehlgebrauch von Fahrerassistenzsystemen
Marberger € 14,50

F 64: Anforderungen an Helme für Motorradfahrer zur Motorradsicherheit

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

Schüler, Adolph, Steinmann, Ionescu € 22,00

F 65: Entwicklung von Kriterien zur Bewertung der Fahrzeugbeleuchtung im Hinblick auf ein NCAP für aktive Fahrzeugsicherheit
Manz, Kooß, Klinger, Schellinger € 17,50

2008

F 66: Optimierung der Beleuchtung von Personenwagen und Nutzfahrzeugen
Jebas, Schellinger, Klinger, Manz, Kooß € 15,50

F 67: Optimierung von Kinderschutzsystemen im Pkw
Weber € 20,00

F 68: Cost-benefit analysis for ABS of motorcycles
Baum, Westerkamp, Geißler € 20,00

F 69: Fahrzeuggestützte Notrufsysteme (eCall) für die Verkehrssicherheit in Deutschland

Auerbach, Issing, Karrer, Steffens € 18,00

F 70: Einfluss verbesserter Fahrzeugsicherheit bei Pkw auf die Entwicklung von Landstraßenunfällen

Gail, Pöppel-Decker, Lorig, Eggers, Lerner, Ellmers € 13,50

2009

F 71: Erkennbarkeit von Motorrädern am Tag – Untersuchungen zum vorderen Signalbild
Bartels, Sander € 13,50

F 72: 3rd International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference on 5th / 6th September 2008 at Hannover Medical School € 29,50

F 73: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern

Seiniger, Winner € 16,50

2010

F 74: Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrerverhalten

Vollrath, Briest, Oeltze € 15,50

F 75: Fehlgebrauch der Airbagabschaltung bei der Beförderung von Kindern in Kinderschutzsystemen

Müller, Johannsen, Fastenmaier € 15,50

2011

F 76: Schutz von Fußgängern beim Scheibenanprall II

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

Bovenkerk, Gies, Urban € 19,50

F 77: 4th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden. € 29,50

F 78: Elektronische Manipulation von Fahrzeug- und Infrastruktursystemen

Dittmann, Hoppe, Kiltz, Tuchscheerer € 17,50

F 79: Internationale und nationale Telematik-Leitbilder und IST-Architekturen im Straßenverkehr

Boltze, Krüger, Reusswig, Hillebrand € 22,00

F 80: Untersuchungskonzepte für die Evaluation von Systemen zur Erkennung des Fahrerzustands

Eichinger € 15,00

F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern

Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50

F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011

Lotz, Luks € 17,50

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe

Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50

F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen

Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00

F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis

Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer

Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50

F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes

Gehring, Zander € 14,00

F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit

Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50

F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit

Nuß, Eckstein, Berger € 17,90

F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik

Kroen € 17,00

F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung

Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren

Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50

F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen

Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50

F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung

Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50

F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw

Schönemann, Henze € 15,50

F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr

Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic

Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung

Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50

F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires

Hofmann, Dülsen € 16,50

2015

F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver

Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50

F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit

Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00

F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen

Süßmann, Lienkamp

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eines Testverfahrens

Schreck, Seiniger € 14,50

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.