

Schriftenreihe, Band 8

Hochschule  
Kempten

University of Applied Sciences



ADAC Stiftung & Hochschule Kempten (Hrsg.)

# Unfallforschung 2021

Symposium für Unfallforschung  
und Sicherheit im Straßenverkehr



Cuvillier Verlag Göttingen  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

ADAC Stiftung





# Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, Schriftenreihe

Band 8



# Hochschule für angewandte Wissenschaften Kempten, Schriftenreihe

Band 8

Herausgegeben von

ADAC Stiftung

Hochschule Kempten

Schriftenreihe, Band 8

**Hochschule  
Kempten**  
University of Applied Sciences



ADAC Stiftung & Hochschule Kempten (Hrsg.)

# Unfallforschung 2021

Symposium für Unfallforschung  
und Sicherheit im Straßenverkehr



**Cuvillier Verlag Göttingen**  
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag

**ADAC Stiftung**



## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen: Cuvillier, 2021

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2021

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2021

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-7369-7445-6

eISBN 978-3-7369-6445-7



## Inhaltsverzeichnis

PD Dr. Ellen Freiberger & Veronika Keppner

**SiFAR- Sicheres Fahrradfahren im Alter ..... 7**

Ernestine Mayer

**E-Scooter im Straßenverkehr: Unfallzahlen, Risikoeinschätzung, Wissensstand und Verhalten von E-Scooter-FahrerInnen im Straßenverkehr in Österreich ..... 15**

Ulrich Chiellino, Frank Hahn & Heike Lüben

**Rad- und eScooterfahrten – Auswirkung von Ablenkung und die sich daran anschließende Risikokommunikation ..... 29**

Veronika Bock, Isabella Ostermaier, Michael Hutter & Volker Sandner

**Potential von aktiven Sicherheitssystemen von Lkw und Transportern zur Vermeidung von Unfällen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern ..... 45**

Johannes Traxler, Michael Breiter & Philipp Zanitzer

**LKW Abbiegeassistent mithilfe KI Szenenverständnis ..... 61**

Nicolas Mellinger & Andreas Weißmann

**Fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit – das MARS Forschungsprojekt ..... 89**

Dr. Oliver Maier, Dr. Stefan Hattula, Stefan Schneider, Jörg Mönlich & Thomas Lich

**Verkehrssicherheit von Pedelecs und Lösungen zur Erhöhung der Fahrradsicherheit ..... 107**

Simone Saalman

**ADAC Tests zum Radfahren in Städten 2019 - 2020 ..... 135**

Sebastian Vock, Jonathan Stone, Ganesh Adireddy, Jeffrey Skvarce, Patricio Alva, Luis Beltran, Harald Feifel & Michael Wagner

**Intelligent Intersections: Increasing Traffic Efficiency and Safety for all Traffic Participants ..... 159**

Christian Vollrath, M.Sc., Maximilian Lange, M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Carsten Kühnel & Dipl.-Inform. Walpola Perera

**Verbesserung der Sicherheit für Betriebsdienstpersonal in Arbeitsstellen kürzerer Dauer ..... 169**

Pascal Breitlauch & Christian T. Erbsmehl

**Ein neuartiger Ansatz zur Energy Equivalent Speed (EES)-Berechnung sowie zur Stoßberechnung von Pkws mittels EES-Modellen ..... 189**

Isabella Ostermaier & Volker Sandner

**Auswirkungen neuer Sitzpositionen im Zuge des automatisierten Fahrens auf die Insassensicherheit ..... 205**



---

Markus Egelhaaf, Peter Rücker & Dr. med. Tim Heyne

**Re-Evaluation von Einsatztaktiken der Rettungsdienste und Feuerwehren an real deformierten batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV) ..... 217**

Anna Holzer, Thomas Wagner, Don DeVol, Helena Fels, Frank Musshoff & Matthias Graw

**Euphoria: Prävalenz von Neuen Psychoaktiven Substanzen (NPS) im Kontext von Fahreignungsbegutachtungen – Ein Zwischenbericht..... 229**





## **SiFAR- Sicheres Fahrradfahren im Alter**

PD Dr. Ellen Freiburger, Sportwissenschaftlerin & Gerontologin

Projektleitung SiFAR-Studie

Veronika Keppner, Dipl. Sportwissenschaftlerin

Projektkoordination SiFAR-Studie

Institut für Biomedizin des Alterns, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

### **1. Einleitung/Theoretischer Hintergrund**

Fahrräder und Fahrräder mit motorisierter Unterstützung (E-Bikes/Pedelecs) liegen im Trend. Der positive Effekt des Fahrradfahrens auf die Gesundheit wurde in diversen Studien unter Beweis gestellt (1,2) und die WHO initiiert Programme, um die Nutzung des Fahrrads noch weiter in der Gesellschaft zu etablieren (3). Die zunehmende Beliebtheit von Zweirädern in Deutschland spiegelt sich auch in steigenden Verkaufszahlen in den letzten Jahren wider. Im Vergleich zum Vorjahr wurden 2020 deutschlandweit 16,9 % mehr Fahrräder verkauft. Vor allem im Bereich von E-Bikes/Pedelecs kam es in den letzten Jahren, und insbesondere im Jahr 2020 mit einem Zuwachs von 60,9%, zu großen Umsatzsteigerungen (4). Eine Analyse des Rad- und Fußverkehrs im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur zeigt, dass die Hälfte aller E-Bikestrecken in Deutschland von Personen über 60 zurückgelegt werden (5).

Mobilität ist ein wichtiger Aspekt erfolgreichen Alterns (6). Im Zuge des demographischen Wandels in der westlichen Welt gewinnt sie nicht nur immer größere, gesellschaftliche Bedeutung, sondern spielt auch in Hinblick auf Selbstständigkeit und Lebensqualität für die Einzelperson eine wichtige Rolle (6,7). Zu Einschränkungen der individuellen Alltagsmobilität kommt es jedoch in Folge des biologischen Alterungsprozesses, der einen progressiven Verlust von körperlichen und geistigen Fähigkeiten impliziert. Gleichzeitig steigt das Krankheits- und Sterblichkeitsrisiko (8,9). Der altersbedingte Abbau von Muskulatur, Somatosensorik, Sehstärke und vestibularer Funktion wirkt sich negativ auf die posturale Stabilität aus (9). Zusätzlich erhöht der sukzessive Verfall kognitiver Fähigkeiten, wie des Aufmerksamkeitsvermögens (Dual-Task-Fähigkeit), der exekutiven Funktionen (Kontrollprozesse, zielgerichtete Handlungssteuerungen) und der Reaktionsgeschwindigkeit, das Sturzrisiko (10). Zusammengefasst steigt die Unfallgefahr, wenn extrinsische, komplexe, Anforderungen nicht adäquat durch krankheits- und/oder altersbedingt eingeschränkte, intrinsische Kompetenzen bewältigt werden können (11).

Dieses Verhältnis spiegelt sich auch in der Unfallstatistik wider. Gerade die älteste Kohorte der Fahrradfahrer zeigt zunehmendes Fehlverhalten in komplexeren Verkehrssituationen (s. Abbildung 1).



### Fehlverhalten der Fahrradfahrer inkl. Pedelecs Ursachen je 1000 Beteiligte

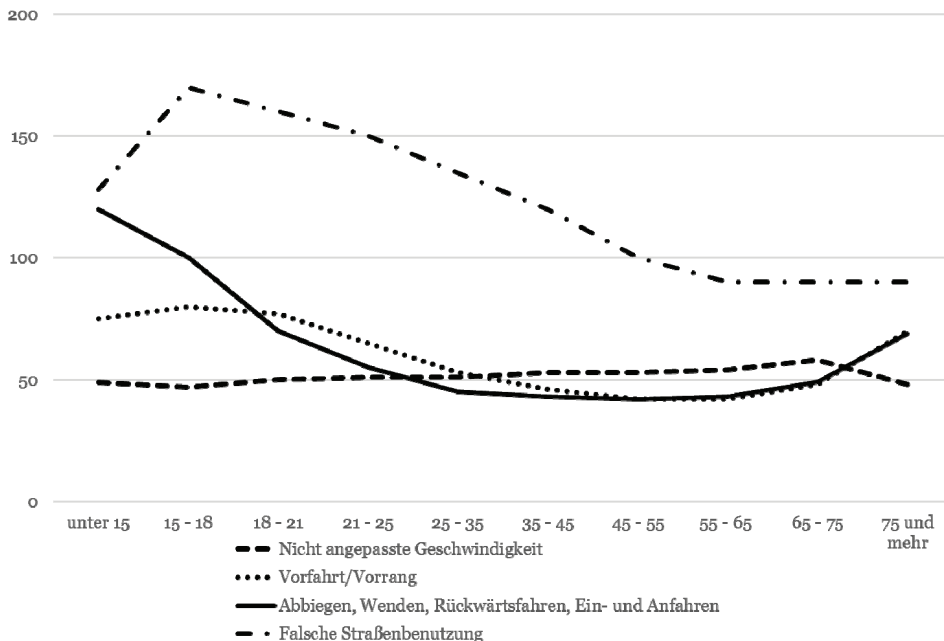


Abbildung 1: Häufigkeit des Fehlverhaltens der Fahrradfahrer im Verkehr (Altersgruppe + Fehlerkategorie)(12)

Das bevölkerungsbezogene Risiko der Senioren, mit einem Fahrrad zu verunglücken, ist seit 1980 um 80% gestiegen. Der Anteil der Senioren an allen Verkehrstoten hat im selben Zeitraum deutlich zugenommen. Jeder dritte Verkehrstote in Deutschland ist über 65 Jahren. 25% der im Straßenverkehr getöteten Senioren waren Fahrradfahrer (14).

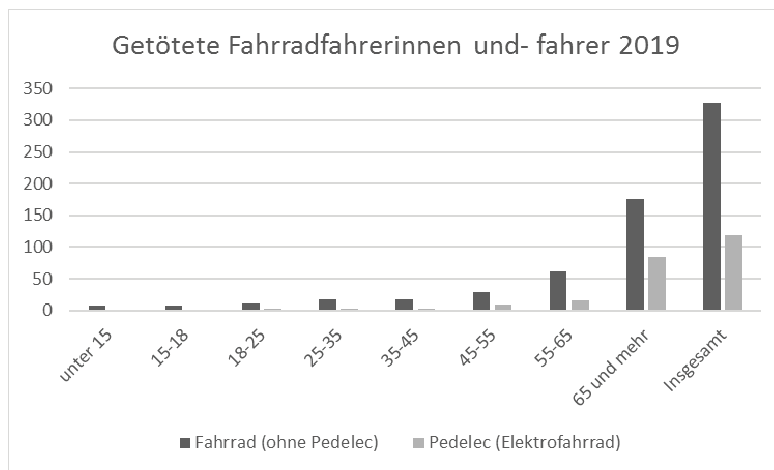


Abbildung 2: Getötete Fahrradfahrer/-innen 2019 nach Altersgruppen (13)



Zudem gehen Fahrradunfälle bei älteren Menschen ab 65 Jahren häufig mit leichten oder schweren Verletzungen einher. Besonders bei Pedelec-Fahrern treten häufiger schwerwiegendere Folgen auf (14). Im Jahr 2020 sank die Zahl der Verkehrstoten in fast allen Verkehrsbeteiligengruppen deutlich, jedoch wuchs die Zahl der Verkehrstoten bei den Pedelec-Fahrern im selben Zeitraum um fast 20% (15).

Um zur Prävention von Unfällen und deren Folgen beizutragen, sind gezielte Trainingsprogramme für ältere Menschen notwendig, die sicheres Fahrradfahren zum Ziel haben. Zwar konnten Telfer et al. nachweisen, dass Gruppenprogramme für Fahrradfahrer die Fähigkeiten und das Selbstvertrauen im Umgang mit dem Rad steigern (16), trotzdem mangelt es bislang an wissenschaftlich evaluierten Trainingskonzepten, die die Sicherheit des Fahrradfahrens als wesentlichen Baustein der Mobilität im Alter fördern.

## **2. Projekt**

### **2.1. Ziel**

Das Forschungsprojekt „Sicheres Fahrradfahren im Alter [SiFAR]“ zielt darauf ab, fahrradbezogene motorische Grundkompetenzen (z.B. Gleichgewicht, Kraft, Reaktionsfähigkeit, Fahrradfertigkeiten und -techniken) durch ein strukturiertes und progressives Trainingsprogramm bei älteren Menschen zu verbessern. Des Weiteren sollen Inhalte der Verkehrserziehung und Strategien zur Bewältigung komplexer Verkehrssituationen vermittelt werden, die zur Prävention von Unfällen beitragen können.

### **2.2. Zielgruppe und Rekrutierung**

Die Rekrutierung der Studienteilnehmenden (N=200) erfolgt über verschiedene Öffentlichkeitskanäle (Presse, Internet, Flyer, Fernsehbeitrag). Durch Kooperationen mit verschiedenen Vereinen (Deutscher Alpenverein, Post SV Nürnberg, Deutsche Mountainbike Initiative) sollen zusätzlich Teilnehmende gewonnen werden. Zusätzlich werden aus der bestehenden Probandendatenbank des Instituts für Biomedizin des Alterns (IBA) telefonisch Personen kontaktiert.

Eingeschlossen werden im Großraum Nürnberg lebende Teilnehmende ab 65 Jahren, die auf ein E-Bike/Pedelec umsteigen, wieder mit dem Fahrradfahren beginnen oder sich unsicher beim Fahrradfahren fühlen. Ausgeschlossen werden Langzeitradfahrende ohne subjektiv berichtete Einschränkungen oder Ängste beim Fahrradfahren. Personen mit Erkrankungen oder starken Seh- oder Hörbeeinträchtigungen, die gegen eine sichere Teilnahme an der Intervention sprechen, dürfen auch nicht an der Studie teilnehmen. Schließlich sind andere Faktoren, die eine regelmäßige und sichere Teilnahme verhindern können (z. B. längere Abwesenheit während der Interventionsphase, Alkoholismus) ebenfalls Ausschlusskriterien. Zudem ist die Bereitschaft einen Helm zu tragen, eine Grundvoraussetzung für die Teilnahme.

### **2.3. Studiendesign und -ablauf**

SiFAR ist eine randomisierte, kontrollierte Studie im Parallelgruppendesign. Die Teilnehmenden werden nach Geschlecht und Fahrradtyp in die Interventions- (IG) oder Kontrollgruppe (KG) randomisiert.



Die Intervention besteht aus einem dreimonatigem Trainingsprogramm, welches acht Einheiten à 60 Minuten umfasst und in Kleingruppen von erfahrenen Fahrradtrainern draußen durchgeführt wird (s. Abbildung 3).

1. Einheit	Fahrradcheck Auf- und Absteigen
2. Einheit	Vertiefung Auf- und Absteigen Bremsen / Bremsweg
3. Einheit	Vertiefung Bremsen/ Bremsweg Kurven fahren
4. Einheit	Vertiefung Kurven fahren Spurhalten/ Schmale Gasse
5. Einheit	Spurhalten/ Langsamfahrt Linksabbiegen/Schulterblick
6. Einheit	Vertiefung Linksabbiegen/Schulterblick
7. Einheit	Fahren mit geteilter Aufmerksamkeit (Dual-Task)
8. Einheit	Partnerübungen / Geschicklichkeitsübungen/ Anwenden des Gelernten

**Abbildung 3: 8 Kurseinheiten**

Die Kursleiter werden vor der Kursdurchführung im Rahmen einer Moderatorenschulung hinsichtlich des Kursmanuals geschult. Jede Kurseinheit hat einen thematischen fahrradspezifischen Schwerpunkt (z.B. Bremsen) und folgt einer einheitlichen Struktur: Gleichgewicht- und Kraftübungen (ohne Fahrrad), Vertiefung der vorangegangenen Einheit, Erlernen spezifischer Fahrtechniken, Reflexion und Austausch (s. Abbildung 4).

Gliederung	Inhalt	Beispiel	Dauer
Begrüßung	Anwesenheit, Befindlichkeit TN		5 Minuten
Übungen ohne Fahrrad	Kraft- und Gleichgewichtsübungen	Squats und Einbeinstand	10-15 Minuten
Übungen mit dem Fahrrad	Fahrradspezifische Fähigkeiten	Kurvenfahren in verschiedenen Geschwindigkeiten und Radien	35 Minuten
Verabschiedung	Besprechen des Heimtrainings (Übungsaufgaben)	Dauer von Strecken schätzen	5 Minuten

**Abbildung 4: Beispieleinheit**

Die Kontrollgruppe erhält in derselben Zeit drei Informationsmaterialien zu verschiedenen Themen (Veränderungen im Alter und fahrradspezifische Informationen inklusive Fahrrad- und Verkehrsregelkunde).

## 2.4. Assessments

Beide Gruppen nehmen zu Beginn und Ende des Interventionszeitraumes an Pre- (T0) und Posttestungen (T1) teil. Die Erhebung von soziodemographischen, funktionellen und psychologischen Merkmalen sowie Gesundheitsparametern wird am IBA durchgeführt. Zusätzlich findet eine Langzeitmessung (T2) 6-9 Monate nach Interventionsende statt, um Langzeiteffekte abbilden zu können.



### 2.4.1 Messung der Fahrradkompetenz

Die Messung der Fahrradkompetenz erfolgt in Form eines wissenschaftlich evaluierten Fahrradparcours (s. Abbildung 5), der sieben Station beinhaltet (Slalomfahrt, Langsamfahrt, Auf- und Absteigen rechts/links, Spurhalten, verkehrsgerechtes Linksabbiegen und Zielbremsen) (17).

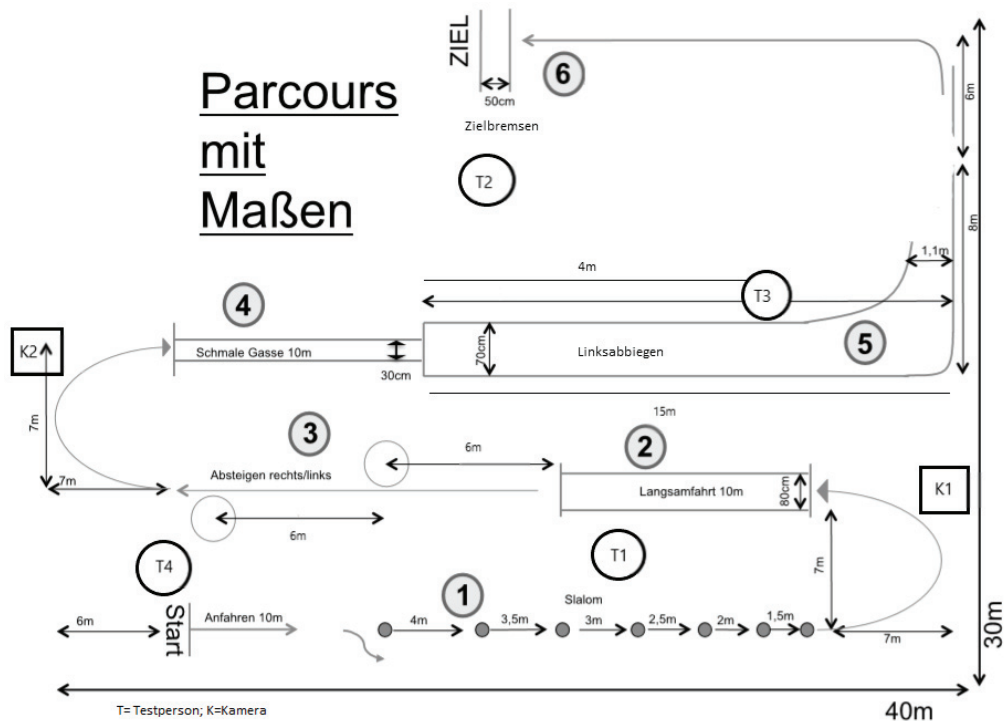


Abbildung 5: Fahrradparcours (adaptiert nach Hagemeyer & Bunte, 2014)

Die Anzahl der Fehler wird durch das Studienpersonal auf Protokollbögen dokumentiert und zusätzlich durch Videoaufzeichnung validiert. Zur Evaluierung eines Interventionseffektes werden lineare Regressionsanalysen mit den Fehlerdifferenzen als abhängige Variablen [absolute Differenz (Parcoursfehler T1-T0) sowie relative Differenz (Parcoursfehler (T1-T0)/T0)] und der Gruppenzugehörigkeit (IG/KG) als unabhängige Variable berechnet. Damit wird die Hypothese geprüft, dass die Teilnahme an der IG im Vergleich zur KG in einer signifikanten Reduktion der Parcoursfehler resultiert.

## 3. Stand des Projekts

Die Ergebnisse basieren auf einer Zwischenanalyse der ersten Erhebungswelle, für die aufgrund der Pandemie-Situation nur Daten von 25 Teilnehmenden (TN) generiert werden konnten. Die TN (48% weiblich) sind im Durchschnitt 74,6 Jahre alt, 56% besitzen ein Pedelec. 10 TN nahmen an der IG und 15 TN an der KG teil. Vorläufige Ergebnisse des Jahres 2020 zeigen eine Verringerung der Fehleranzahl beim Vergleich



KG und IG zugunsten der letzteren. Nichtsdestotrotz muss diese Tendenz aber noch in der Gesamtstichprobe bestätigt werden.

#### **4. Ausblick**

Im Jahr 2020 konnte trotz der Auswirkungen der Corona-Pandemie ein Kurszyklus durchgeführt werden, welcher jedoch zeitlich verzögert und mit weniger Teilnehmenden als ursprünglich geplant stattfand. Für das Jahr 2021 werden weitere Studienteilnehmende rekrutiert und es sollen weitere Kurszyklen durchgeführt werden, wobei auch in diesem Jahr mit Einschränkungen durch die bestehende Corona-Pandemie zu rechnen sein wird. Der Rekrutierungszeitraum für SiFAR wird Mitte 2022 abgeschlossen sein. Studienergebnisse werden mit dem Projektende im Dezember 2022 veröffentlicht werden.

Nach Abschluss der Studie könnte das SiFAR-Kurskonzept aufgrund des standardisierten Kurskonzeptes, welches leicht in englische Sprache übersetzt werden kann, und einem Train-the-Trainer-Vorgehen schnell einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden. SiFAR ist weder an örtliche noch an politische Gegebenheiten gebunden, sodass SiFAR gute Voraussetzungen für eine breite nationale und internationale Implementierung bietet. Das SiFAR-Kurskonzept bietet älteren Menschen die Möglichkeit, ihre Sicherheit im Straßenverkehr zu erhöhen, das Vertrauen in ihre Fahrfertigkeiten zu stärken und damit ihr Unfallrisiko zu verringern. Zudem kann es den Erhalt der Mobilität und Selbstständigkeit fördern - ein Aspekt, der im Zuge des demographischen Wandels große Bedeutung hat.



## 5. Quellen

1. Bassett D, Pucher J, Buehler R, Thompson D, Crouter S. Walking, Cycling, and Obesity Rates in Europe, North America, and Australia. *J Phys Act Health*. 2008; 5:795–814.
2. Zhao Y, Hu F, Feng Y, Yang X, Li Y, Guo C, u. a. Association of Cycling with Risk of All-Cause and Cardiovascular Disease Mortality: A Systematic Review and Dose–Response Meta-analysis of Prospective Cohort Studies. *Sports Med* . 2021; Verfügbar unter: <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01452-7>
3. WHO. WHO-NMH-PND-18.5-eng.pdf. Verfügbar unter: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272721/WHO-NMH-PND-18.5-eng.pdf>
4. ZIV. Eisenberger D. Fahrrad- und E-Bike-Markt 2018. :2.
5. Nobis C: Mobilität in Deutschland - MiD2019\_Analyse\_zum\_Rad\_und\_Fußverkehr.pdf. Verfügbar unter: [http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017\\_Analyse\\_zum\\_Rad\\_und\\_Fu%C3%9Fverkehr.pdf](http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fu%C3%9Fverkehr.pdf)
6. Freiburger E, Sieber CC, Kob R. Mobility in Older Community-Dwelling Persons: A Narrative Review. *Front Physiol* [Internet]. 2020;11. Verfügbar unter: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2020.00881/full>
7. Ferrucci L, Cooper R, Shardell M, Simonsick EM, Schrack JA, Kuh D. Age-Related Change in Mobility: Perspectives From Life Course Epidemiology and Geroscience. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2016; 71(9):1184–94.
8. Murman DL. The Impact of Age on Cognition. *Semin Hear*. 2015; 36(3):111–21.
9. Larsson L, Degens H, Li M, Salviati L, Lee Y il, Thompson W, u. a. Sarcopenia: Aging-Related Loss of Muscle Mass and Function. *Physiol Rev*. 2019; 99(1):427–511.
10. Segev-Jacobovski O, Herman T, Yogev-Seligmann G, Mirelman A, Giladi N, Hausdorff JM. The interplay between gait, falls and cognition: can cognitive therapy reduce fall risk? *Expert Rev Neurother*. 2011; 11(7):1057–75.
11. Callisaya ML, Blizzard L, Schmidt MD, Martin KL, McGinley JL, Sanders LM, u. a. Gait, gait variability and the risk of multiple incident falls in older people: a population-based study. *Age Ageing*. 2011; 40(4):481–7.
12. Destatis. Verkehrsunfälle - Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2019. 2020; 49.
13. Jeder siebte Mensch, der 2019 im Straßenverkehr ums Leben kam, war mit dem Fahrrad unterwegs. Statistisches Bundesamt. Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20\\_N049\\_46241.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2020/08/PD20_N049_46241.html)
14. Destatis. Verkehrsunfälle - Unfälle von Senioren im Straßenverkehr 2019. 2020;56.
15. Destatis. 10,6 % weniger Verkehrstote im Jahr 2020. Statistisches Bundesamt. Verfügbar unter: [https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21\\_084\\_46.html](https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/02/PD21_084_46.html)



- 
16. Telfer B, Rissel C, Bindon J, Bosch T. Encouraging cycling through a pilot cycling proficiency training program among adults in Central Sydney. *J Sci Med Sport Sports Med Aust.* 2006; 9:151–6.
  17. Bunte H, Hagemeister C. Training älterer Radfahrerinnen und Radfahrer. Förderung von posturaler Kontrolle, Beweglichkeit und Fitness bei älteren Radfahrerinnen und Radfahrern – Einfluss auf Verkehrsmittelwahl und Verkehrssicherheit. Abschlussbericht. 2017.





---

# **E-Scooter im Straßenverkehr: Unfallzahlen, Risikoeinschätzung, Wissensstand und Verhalten von E-Scooter-FahrerInnen im Straßenverkehr in Österreich**

Ernestine Mayer

Projektleiterin, Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV)

## **1. Einleitung und Ausgangslage**

E-Scooter prägen derzeit in vielen großen Städten Europas, so auch in Österreich und Deutschland, das Straßenbild und erfreuen sich zunehmender Beliebtheit. Dieser E-Scooter-Trend ist, nicht zuletzt durch das zunehmende Leih-E-Scooter-Angebot in den größeren Städten, auch in Österreich beobachtbar. Aufgrund ihrer vielen Vorteile – sie sind klein, relativ leicht, einfach zu nutzen und schnell – können sie als Verkehrsmittel vor allem für Kurzstrecken (z. B. als Last-Mile-Lösung für Innenstädte) gut eingesetzt werden. Dennoch wird das Thema E-Scooter recht kontroversiell diskutiert. Während die Befürworter den E-Scooter als klimafreundliche Alternative und innovative Lösung für städtische Verkehrsprobleme sehen und ihn als neues Fortbewegungsmittel loben, zeigen GegnerInnen des E-Scooters die negativen Seiten, wie etwa im Straßenraum behindernd abgestellte E-Scooter, Konflikte mit FußgängerInnen und RadfahrerInnen oder Entsorgungsprobleme, auf.

Mit der Zunahme der E-Scooter im öffentlichen Raum sind auch viele neue Fragestellungen im Hinblick auf deren Verkehrssicherheit entstanden. Beispielhaft angeführt werden können hierfür: Wo sollen E-Scooter fahren? Wie entwickelt sich das Unfallgeschehen? Welche Ursachen haben E-Scooter-Unfälle? Welche Maßnahmen können gesetzt werden, um die Verkehrssicherheit der E-Scooter-FahrerInnen selbst sowie der anderen VerkehrsteilnehmerInnen zu erhöhen? Welche Sicherheitstipps sollen E-Scooter-FahrerInnen mit auf den Weg gegeben werden?

Sowohl international als auch speziell für den deutschsprachigen Raum gibt es bislang nur vereinzelt Studien, die die Verkehrssicherheit von E-Scootern untersuchen und wichtige Grundlagendaten für die verkehrssicherheitsrechtliche Beurteilung dieses modernen Fortbewegungsmittels liefern. Deshalb hat das Kuratorium für Verkehrssicherheit (KFV) in den Jahren 2019 und 2020 eine umfassende E-Scooter-Studie durchgeführt.



## 2. Zielsetzung

Ziel der Forschungsarbeit war die Erhebung und Analyse von Grundlagendaten zum E-Scooter als Basis für die verkehrssicherheitsrechtliche Beurteilung des E-Scooters und die Ableitung von Maßnahmen und Empfehlungen für die sichere Integration des Trendverkehrsmittels in das bestehende Verkehrssystem.

## 3. Rechtssituation in Österreich

Seit dem 01.06.2019 (Inkrafttreten der 31. StVO-Novelle) werden E-Scooter in der österreichischen Straßenverkehrsordnung (StVO) als „Klein- und Miniroller mit elektrischem Antrieb“ bezeichnet und als „vorwiegend zur Verwendung außerhalb der Fahrbahn bestimmte Kleinfahrzeuge“ eingestuft. Damit sind E-Scooter keine Fahrzeuge im Sinne der StVO (sondern als „Kleinfahrzeuge“ vom Fahrzeugbegriff ausgenommen). Als Leistungsgrenzen für elektrische Klein- und Miniroller setzt die StVO eine höchstzulässige Leistung von 600 Watt und eine maximale Bauartgeschwindigkeit von 25 km/h fest. Aufgrund der festgesetzten Leistungsgrenzen und weil sie bereits den Fahrzeugbegriff nicht erfüllen, handelt es sich bei Klein- und Minirollern nicht um Kraftfahrzeuge nach dem österreichischen Kraftfahrzeuggesetz (KFG). Daher sind weder eine Typgenehmigung noch ein Kennzeichen oder eine Haftpflichtversicherung erforderlich.

Obwohl E-Scooter nicht als Fahrzeuge gelten, wurde mit der 31. StVO-Novelle festgelegt, dass E-Scooter-FahrerInnen die Verhaltensvorschriften für RadfahrerInnen zu beachten haben. E-Scooter dürfen daher auf Radfahranlagen oder auf der Fahrbahn verkehren; es gilt auch die Benützungspflicht von Radfahranlagen. Das Fahren auf Gehsteigen und Gehwegen ist verboten, es sei denn, der betreffende Gehsteig oder Gehweg wurde von der Behörde für E-Scooter freigegeben. Zudem gilt für BenutzerInnen von E-Scootern wie für RadfahrerInnen ein Alkohollimit von 0,8 Promille, eine Helmpflicht bis zum Alter von 12 Jahren sowie eine Pflicht zum Anzeigen geplanter Fahrtrichtungsänderungen mittels Handzeichen. Der Personentransport (Fahren zu zweit) ist bauartbedingt verboten. E-Scooter dürfen wie Fahrräder ohne Führerschein gefahren werden. Für ihre BenutzerInnen gilt ein Mindestalter von 12 Jahren; jüngere Kinder müssen entweder von einer mindestens 16-jährigen Person begleitet werden oder über einen Radfahrausweis verfügen. Letzterer kann ab einem Alter von 10 Jahren erworben werden, bei Besuch der 4. Schulstufe bereits ab 9 Jahren.

Hinsichtlich der Ausrüstung von E-Scootern trifft die StVO eigene, von den Fahrradvorschriften zum Teil abweichende Regelungen: Erforderlich sind eine wirksame Bremsvorrichtung, Rückstrahler nach vorne, hinten und zur Seite sowie bei Dunkelheit und schlechter Sicht ein weißes Licht vorne und ein rotes Rücklicht hinten.

## 4. Methodik

Zur Beantwortung der für die Verkehrssicherheit von E-Scootern relevanten Fragen wurden unterschiedliche Erhebungsmethoden angewandt. Im Zusammenhang mit den Inhalten dieses Artikels sind folgende Methoden von Bedeutung:



- 1) Analyse bestehender E-Scooter-**Unfalldaten** der Jahre 2015 bis 2020: Als Quelle wurden die Daten der KfV-Injury Database (Basis: persönliche Befragung von spitalsbehandelten PatientInnen in Österreich) und die in Medienberichten erwähnten E-Scooter-Unfälle in Österreich (Quelle: APA Online-Manager, allgemeine Google-Recherche) analysiert. Aus beiden Datenquellen gemeinsam stehen für die Analyse die Daten von 116 E-Scooter-Unfällen zur Verfügung, bei denen sich 116 E-Scooter-LenkerInnen und 3 E-Scooter-MitfahrerInnen verletzt haben.
- 2) **Befragung:** Im Juni 2019 wurden im Auftrag des KfV österreichweit insgesamt 501 E-Scooter-NutzerInnen und 598 E-Scooter-NichtnutzerInnen befragt. E-Scooter-NutzerInnen sind jene Personen, die bereits mindestens einmal einen E-Scooter verwendet haben. E-Scooter-NichtnutzerInnen sind demnach alle Personen, die noch nie mit einem E-Scooter gefahren sind. Die Befragung wurde österreichweit über ein Markt- und Meinungsforschungsinstitut online und zusätzlich persönlich vor Ort in Wien durchgeführt. Für beide Befragungsmethoden wurde derselbe Fragebogen verwendet. Der Mix aus den genannten Befragungsmethoden wurde gewählt, um eine möglichst hohe Grundgesamtheit an befragten Personen und damit gesicherte Aussagen zu erhalten. Die Themen der Befragung waren Häufigkeit und Zweck der E-Scooter-Nutzung, Gefährlichkeitseinschätzung für den E-Scooter, Kenntnis der rechtlichen Regelungen und Erfahrungen mit E-Scooter-(Beinahe)Unfällen und Konflikten sowie die Abstellproblematik von E-Scootern im öffentlichen Raum.
- 3) **Geschwindigkeitsmessung** von E-Scooter-FahrerInnen: Die Messung von E-Scooter-Geschwindigkeiten wurde an unterschiedlichen Standorten in Wien mittels Radarpistolen durchgeführt. Hierbei wurden vom KfV im Zeitraum Juni bis August 2019 die Geschwindigkeiten von insgesamt 909 frei und ungehindert fahrenden E-Scooter-NutzerInnen an mehr als 20 Standorten in Wien gemessen. Dabei wurden die Geschwindigkeiten beim Fahren auf unterschiedlichen Infrastrukturgegebenheiten (z. B. Radweg, Fahrbahn, Gehsteig) sowie die Annäherungsgeschwindigkeiten an Radfahrerüberfahrten erfasst. Die Geschwindigkeitsmessungen wurden an unterschiedlichen Erhebungstagen (Montag bis Freitag) durch geschulte MitarbeiterInnen durchgeführt; die Erhebungszeiten variierten von 7:00 bis 18:00 Uhr, sodass im Rahmen der Erhebung sowohl die Morgen-, Mittags- als auch Nachmittags- und Abendstunden berücksichtigt wurden.
- 4) **Beobachtung** des Verhaltens von E-Scooter-FahrerInnen im Wiener Straßenverkehr: Im Sommer 2019 wurden persönliche Beobachtungen von rund 1.500 E-Scooter-FahrerInnen in Wien durchgeführt. Bei der Beobachtung des Fahrverhaltens von E-Scooter-NutzerInnen wurden drei verschiedene Schwerpunkte gesetzt: die Untersuchung der Wahl der Infrastruktur (Radinfrastruktur, Gehsteig, Fahrbahn) vonseiten der E-Scooter-NutzerInnen, das Abbiegeverhalten und die Helmtragequote von E-Scooter-NutzerInnen. Alle Beobachtungen wurden direkt vor Ort im Straßenraum von geschultem Erhebungspersonal durchgeführt (keine Video-Beobachtung).



5) Standardisierte **Bremstests**: Um Unterschiede bei der Fahrdynamik – insbesondere hinsichtlich der Bremsverzögerung – von E-Scootern verschiedener Anbieter sowie im Vergleich zu herkömmlichen Fahrrädern zu untersuchen, wurden im Zeitraum November 2019 bis Jänner 2020 Bremstests mit fünf unterschiedlichen E-Scooter-Modellen sowie mit einem muskelkraftbetriebenen Fahrrad als Referenzfahrzeug durchgeführt. Die E-Scooter-Modelle wiesen verschiedene Bremssysteme bzw. eine Kombination dieser Bremsarten auf:

- elektrische Handbremse, Fußbremse (Reibung) und Fußbremse (Motor) (1 Modell)
- elektrische Handbremse und Fußbremse (Reibung) (1 Modell)
- Handhebelbremse links (2 Modelle)
- Handhebelbremse rechts (Vorderradbremse) und links (Hinterradbremse) (1 E-Scooter-Modell und Fahrrad)

Da die verwendeten E-Scooter zum Teil zwei unterschiedliche Bremsen aufwiesen, wurden zusätzliche Testvarianten mit nur einem von zwei verfügbaren Bremssystemen durchgeführt. Die Tests fanden bei trockenen Verhältnissen auf einem ebenen Geh- und Radweg sowie auf einer Rampe mit 5% Gefälle entlang des Wiener Donaukanals statt. Insgesamt wurden von 2 ProbandInnen (weiblich, ca. 60 kg und männlich, ca. 80 kg) 270 Testbremsungen durchgeführt. Die Messung der zurückgelegten Bremsstrecke erfolgte vom Punkt, an dem der Bremsvorgang eingeleitet wurde (Startlinie), bis zum Punkt des Fahrzeug-Stillstands in Dezimetergenauigkeit. Um die Bremssysteme bewerten zu können, wurde die Bremsverzögerung der einzelnen Testmodelle mit folgender Formel berechnet:

$$a = -\frac{v_0^2}{2 \Delta s}$$

wobei  $a$  die Bremsverzögerung in  $\text{m/s}^2$ ,  $v_0$  die Ausgangsgeschwindigkeit in  $\text{m/s}$  und  $\Delta s$  der zurückgelegte Weg in  $\text{m}$  beschreibt. Die Bremsverzögerung (negative Beschleunigung) gibt an, mit welcher Stärke ein Körper abgebremst wird (in  $\text{m/s}^2$ ). Dabei gilt: je höher die Bremsverzögerung, desto besser. Sie hängt jedoch nicht nur von den Bremsen und der Bereifung ab, sondern auch vom Zustand der Fahrbahn. Gemeinsam mit der gefahrenen Geschwindigkeit ist die Bremsverzögerung entscheidend für die Länge des Bremswegs.

## 5. Ergebnisse

Im Folgenden werden ausgewählte Studienergebnisse dargestellt, die wesentliche Aspekte der Verkehrssicherheit von E-Scootern und deren Sicherheitsproblematiken aufzeigen.

### 5.1. E-Scooter Unfallgeschehen in Österreich

Die genaue Anzahl an E-Scooter-Unfällen in Österreich kann mangels eindeutiger statistischer Erfassung in der amtlichen Verkehrsunfallstatistik (keine eigene Kategorie) und unter Annahme einer hohen Dunkelziffer



(ähnlich wie beim Radverkehr) nicht genannt werden. Aufgrund der beobachteten steigenden Unfallzahlen und der im Rahmen der Studie vorliegenden Ergebnisse zeigt sich jedoch ein starker Handlungsbedarf, um die Verkehrssicherheit der E-Scooter-FahrerInnen selbst sowie der anderen VerkehrsteilnehmerInnen zu erhöhen.

Auf Basis der für den Zeitraum 01.01.2015 bis 31.12.2020 in der KfV Injury Database Austria<sup>1</sup> (IDB Austria) erfassten 59 Unfälle mit E-Scootern und weiterer 57 in Medienberichten<sup>2</sup> erwähnter E-Scooter-Unfälle können folgende Tendenzen für das E-Scooter-Unfallgeschehen in Österreich abgeleitet werden: Der Großteil der verletzten E-Scooter-FahrerInnen ist männlich (75,6%) und tendenziell jünger (d. h. 65,0% unter 40 Jahre alt). E-Scooter-Unfälle ereignen sich vor allem bei Benützung von Infrastruktur für FußgängerInnen und RadfahrerInnen (51,3%), gefolgt von der Fahrbahn im Mischverkehr mit Kfz (36,3%). Die untersuchten E-Scooter-Unfälle sind mehrheitlich Alleinunfälle (64,7%) und auf das Selbstverschulden der E-Scooter-FahrerInnen zurückzuführen. Als Hauptunfallursachen können Unachtsamkeit und Ablenkung, Fehleinschätzung des Bodenbelags/der Bodenbeschaffenheit bzw. der Geschwindigkeit sowie allgemeines Fehlverhalten (z. B. Fahrt auf dem Gehsteig) festgestellt werden. Die am häufigsten verzeichneten Verletzungen bei E-Scooter-FahrerInnen sind Knochenbrüche, Abschürfungen/Prellungen und Sehnen- bzw. Muskelverletzungen.

## **5.2. Befragung von E-Scooter-NutzerInnen und E-Scooter-NichtnutzerInnen in Österreich**

Im Rahmen der Befragung konnten zahlreiche Erkenntnisse im Zusammenhang mit der Nutzung und zur Verkehrssicherheit von E-Scootern erhoben werden. Einige ausgewählte Ergebnisse werden hier hervorgehoben.

### **5.2.1 *Gefährlichkeitseinschätzung von E-Scootern***

Bei der Einschätzung der Gefährlichkeit des E-Scooters für unterschiedliche VerkehrsteilnehmerInnen nannten sowohl die E-Scooter-NutzerInnen als auch die E-Scooter-NichtnutzerInnen FußgängerInnen an erster Stelle: 71% der E-Scooter-NutzerInnen und 77% der E-Scooter-NichtnutzerInnen stufte den E-Scooter als sehr bis eher gefährlich für FußgängerInnen ein. Auffallend ist, dass sogar jede/r zweite E-Scooter-NutzerIn den E-Scooter für sich selbst als LenkerIn als sehr bis eher gefährlich einschätzt.

### **5.2.2 *Erfahrungen mit Konflikten, Beinahe-Unfällen und Unfällen***

17,0% der E-Scooter-NutzerInnen haben schon eine Situation erlebt, in der ihr E-Scooter nicht kontrollierbar war. Die drei am häufigsten genannten Ursachen für Unkontrollierbarkeit waren: Nässe (15,7%), Uner-

---

1 Die IDB Austria ist eine auf Interviews mit Unfallopfern in Krankenhäusern basierende Datenbank des KfV (Kuratorium für Verkehrssicherheit), die weit über die Zahlen und Daten der amtlichen Verkehrsunfallstatistik hinausgehende Informationen über das Unfallgeschehen in Österreich liefert. In den Interviews werden neben statistischen Daten (z. B. Alter, Geschlecht) zusätzlich Daten zur Unfall- und Verletzungsart, zu den am Unfall beteiligten Produkten und zum Unfallhergang erhoben. Auf Basis dieser zufällig ausgewählten, strukturierten Interviews erfolgen Hochrechnungen zum österreichweiten Unfallgeschehen unter Verwendung der österreichweiten Krankenhausstatistik.

2 Die E-Scooter-Unfalldaten aus Medienberichten wurden über eine Abfrage des APA-Online-Managers der Austria Presse Agentur ermittelt. Die Ergebnisse wurden durch eine Recherche in Online-Ausgaben ausgewählter Medien und einer allgemeinen Google-Recherche ergänzt.



fahrenheit (12,9%) und zu hohe Geschwindigkeit (11,4%). Weitere oft genannte Gründe waren Bremsversagen/technischer Defekt und Fahrbahnbeschaffenheit (abgesehen von Nässe).

Bei der Befragung berichtete jede/r siebente E-Scooter-NutzerIn (13,8%), mit seinem/ihrem E-Scooter bereits einen Konflikt mit einer/einem anderen VerkehrsteilnehmerIn erlebt zu haben. Bei den NichtnutzerInnen gaben 17,9% an, bereits einmal einen Konflikt mit einer/einem E-Scooter-FahrerIn erlebt zu haben. Die häufigsten Konflikte ereignen sich sowohl nach Angaben der E-Scooter-FahrerInnen als auch der anderen VerkehrsteilnehmerInnen zwischen E-Scooter-FahrerInnen und FußgängerInnen bzw. RadfahrerInnen.

Gleich wie bei den Konflikten hat jede/r siebente befragte E-Scooter-NutzerIn (13,0%) bereits einen Beinahe-Unfall mit einer/einem anderen VerkehrsteilnehmerIn erlebt. Bei den NichtnutzerInnen ist der Anteil etwas höher: 17,9% hatten bereits einen Beinahe-Unfall mit einem/einer E-Scooter-FahrerIn.

8,0% der befragten E-Scooter-NutzerInnen haben mit ihrem E-Scooter schon einmal einen Unfall mit einer/einem anderen VerkehrsteilnehmerIn gehabt. Fast jede/r zweite E-Scooter-FahrerIn, die/der bei der Befragung genauere Angaben machte, war beim Unfall zu Sturz gekommen (46,2%).

Die von den Befragten am häufigsten genannten Ursachen für Konflikte und (Beinahe)-Unfälle sind: Unachtsamkeit und Ablenkung, Verkehrsregelmisssachtungen und Vorrangverletzungen (z. B. E-Scooter fährt auf dem Gehsteig/in der Fußgängerzone, Vorrangverletzung durch RadfahrerIn), zu hohe Geschwindigkeiten, E-Scooter-FahrerIn im toten Winkel und zu geringe Sicherheitsabstände.

### **5.2.3 Kenntnis rechtlicher Regelungen**

Sowohl bei den E-Scooter-NutzerInnen als auch bei den E-Scooter-NichtnutzerInnen zeigte sich in der Befragung Aufklärungsbedarf bezüglich der Rechtsvorschriften im Zusammenhang mit E-Scootern. Dies wurde insbesondere hinsichtlich der gesetzlichen Helmpflicht für Kinder unter 12 Jahren sowie in Bezug auf die Altersgrenze, ab der man mit einem E-Scooter allein fahren darf<sup>3</sup>, ersichtlich: Die gesetzliche Helmpflicht für Kinder unter 12 Jahren kannten nur 28,2% der befragten E-Scooter-NutzerInnen und 32,1% der E-Scooter-NichtnutzerInnen; bezüglich der Altersgrenze waren es 24,6% der E-Scooter-NutzerInnen und 32,1% der E-Scooter-NichtnutzerInnen, welche die richtige Antwort wussten.

Hinsichtlich der Promillegrenze zeigte sich, dass zwar jeweils über 80% der befragten E-Scooter-NutzerInnen und NichtnutzerInnen wussten, dass es eine Promillegrenze gibt; von jenen Befragten, die dies wussten, kannte jedoch nur etwa ein Viertel die exakte Grenze von 0,8 Promille (26,5%). Darüber hinaus war jede/r fünfte E-Scooter-FahrerIn der Meinung, auch auf dem Gehsteig/Gehweg fahren zu dürfen (20,0%). Dies ist insbesondere problematisch, da bei der Nutzung der FußgängerInneninfrastruktur vermehrt Konflikte mit FußgängerInnen auftreten können.

---

<sup>3</sup> In Österreich ist bis zum Alter von 12 Jahren für das Alleinfahren ein Radfahrausweis erforderlich; ohne Radfahrausweis dürfen Kinder unter 12 Jahren nur unter Aufsicht einer mindestens 16-jährigen Begleitperson mit einem E-Scooter unterwegs sein.



### **5.2.4 Abstellorte für E-Scooter im öffentlichen Raum**

Auf öffentlichen Verkehrsflächen ungeordnet und andere VerkehrsteilnehmerInnen behindernd abgestellte E-Scooter werden – vor allem im Zusammenhang mit dem Leih-E-Scooter-Angebot – in den Medien und in Fachkreisen vielfach diskutiert. Im Rahmen der Befragung zeigte sich, dass es die Mehrheit der E-Scooter-NutzerInnen (61,6%) und noch mehr die E-Scooter-NichtnutzerInnen (74,5%) stört, wenn E-Scooter auf dem Gehsteig oder auf anderen Plätzen im Straßenraum ungeordnet abgestellt werden. Jede/r vierte E-Scooter-NichtnutzerIn (24,2%) berichtete, bereits einmal über einen abgestellten E-Scooter gestolpert oder beinahe gestolpert zu sein. Selbst zwei von drei NutzerInnen (66,8%) würden es befürworten, dass E-Scooter nur auf gekennzeichneten Abstellflächen bzw. Fahrradabstellanlagen abgestellt werden dürfen.

### **5.3. Geschwindigkeiten von E-Scooter-FahrerInnen in Wien**

Die 909 E-Scooter-FahrerInnen, deren Geschwindigkeit gemessen wurde, waren mit einem durchschnittlichen Tempo von 15,1 km/h unterwegs. Männer waren mit durchschnittlich 15,3 km/h etwas schneller unterwegs als Frauen, die durchschnittlich eine Geschwindigkeit von 14,5 km/h fuhren. 15% der gemessenen E-Scooter-FahrerInnen waren mit mehr als 20 km/h unterwegs, die höchste gemessene Geschwindigkeit betrug 31 km/h.

In der Annäherung an eine Radfahrerüberfahrt wurden die Geschwindigkeiten von 221 E-Scooter-FahrerInnen und 396 RadfahrerInnen gemessen. Beide Gruppen überschritten dabei die in Österreich für die Annäherung an nicht ampelgeregelte Kreuzungen gesetzlich erlaubten 10 km/h erheblich. Durchschnittlich fuhren E-Scooter-FahrerInnen 15,4 km/h, wenn sie sich einer Radfahrerüberfahrt annäherten. RadfahrerInnen waren mit 17,2 km/h durchschnittlich schneller unterwegs. 15% der E-Scooter-FahrerInnen fuhren in der Annäherung an eine Radfahrerüberfahrt schneller als 19 km/h, bei den RadfahrerInnen lag der Vergleichswert bei 23 km/h. Die jeweils höchste gemessene Geschwindigkeit betrug bei E-Scootern 25 km/h, bei RadfahrerInnen 35 km/h.

Mit einem zunehmenden E-Scooter-Anteil steigen auch insgesamt das Geschwindigkeitsniveau und die Inhomogenität der Geschwindigkeiten auf Radfahranlagen. Dies hat ebenso große Auswirkungen auf andere Verkehrsarten (Anstieg der Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Fuß- und Radverkehr) und die Infrastruktur (z. B. Notwendigkeit größerer Sichtweiten an Kreuzungen und bei Querungsstellen sowie einer Neudimensionierung des Verkehrsraums im Kurvenbereich von Radfahranlagen) und sollte aus verkehrsplanerischer Sicht verstärkt berücksichtigt werden, um zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit beizutragen.

### **5.4. Fahrverhalten von E-Scooter-FahrerInnen in Wien**

#### **5.4.1 Verhalten von E-Scooter-FahrerInnen bei der Wahl der Infrastruktur**

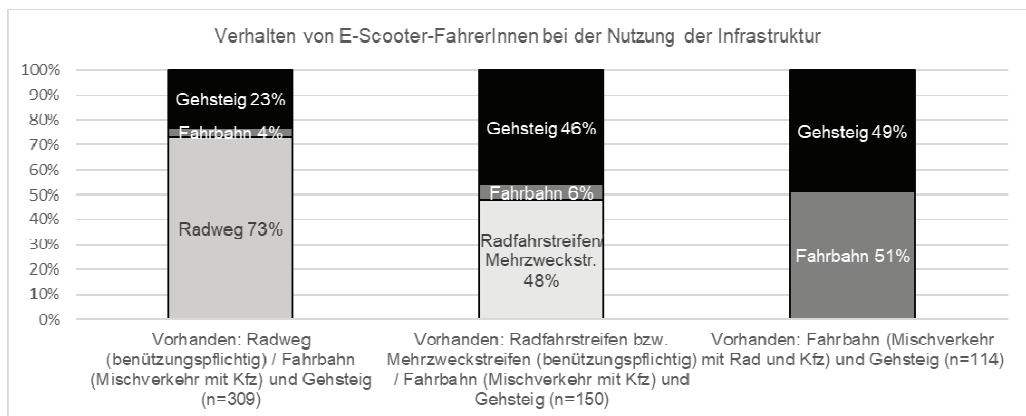
Bezüglich des Verhaltens von E-Scooter-NutzerInnen bei der Wahl der Infrastruktur zeigten sich je nach untersuchter Variante unterschiedliche Ergebnisse. Wenn ein Radweg, eine Fahrbahn und ein Gehsteig vorhanden waren, nutzten von den insgesamt 309 beobachteten E-Scooter-FahrerInnen 73% den Radweg,



23% verbotenerweise den Gehsteig und 4% fuhren trotz des Vorhandenseins einer benutzungspflichtigen Radfahranlage im Mischverkehr mit den Kfz.

Hatten E-Scooter-FahrerInnen einen Radfahr-<sup>4</sup> bzw. Mehrzweckstreifen<sup>5</sup>, eine Fahrbahn im Mischverkehr mit Kfz und einen Gehsteig zur Verfügung, so entschieden sich von den insgesamt 150 beobachteten E-Scooter-FahrerInnen 48% für den Radfahrstreifen bzw. Mehrzweckstreifen, jedoch fast genauso viele für den Gehsteig (46%). 6% der beobachteten E-Scooter-FahrerInnen fuhren trotz Vorhandenseins einer benutzungspflichtigen Radfahranlage im Mischverkehr mit Kfz.

An Standorten, an denen nur Fahrbahn und Gehsteig vorhanden waren, zeigte sich, dass von den insgesamt 114 beobachteten E-Scooter-FahrerInnen 51% korrekterweise auf der Fahrbahn fuhren, jedoch 49% verbotenerweise auf dem Gehsteig.



**Abbildung 1: Verhalten beobachteter E-Scooter-FahrerInnen bei der Nutzung der Infrastruktur nach unterschiedlichen untersuchten infrastrukturellen Varianten (Juni bis August 2019)**

### 5.4.2 Helmtragequote von E-Scooter-FahrerInnen

3% der insgesamt 1.507 in Wien beobachteten E-Scooter-FahrerInnen trugen einen Helm. Bei 1.266 E-Scooter-FahrerInnen konnte im Zuge der Beobachtungen festgestellt werden, ob sie mit einem privaten oder einem Leih-E-Scooter unterwegs waren: Die Helmtragequote war bei E-Scooter-FahrerInnen mit privatem E-Scooter mit 10% (n=186) deutlich höher als jene bei Leih-E-Scooter-FahrerInnen (2%, n=1.080). Die höhere Helmtragequote bei privaten E-Scootern ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass Leih-E-Scooter oftmals spontan genutzt werden und dementsprechend kein Helm zur Verfügung steht.

<sup>4</sup> Radfahrstreifen werden vom benachbarten Fahrstreifen mit Sperrlinie abgegrenzt, die nicht überfahren werden darf. Eine Ausnahme sind Mehrzweckstreifen.

<sup>5</sup> Mehrzweckstreifen werden mit unterbrochener Linie markiert und dürfen unter besonderer Rücksichtnahme auf die RadfahrerInnen von anderen Fahrzeugen befahren werden, wenn der angrenzende Fahrstreifen nicht breit genug ist oder wenn das Befahren durch Richtungspfeile für das Einordnen zur Weiterfahrt angeordnet ist. Er entspricht damit im Wesentlichen dem deutschen Schutzstreifen bzw. ähnelt dem Schweizer Radstreifen mit unterbrochener Linie.





### 5.4.3 Abbiegeverhalten von E-Scooter-FahrerInnen

Die Beobachtung der Abbiegevorgänge von 198 E-Scooter-FahrerInnen an 20 verschiedenen Kreuzungen in Wien zeigte, dass der Abbiegevorgang nur von einem/einer einzigen beobachteten FahrerIn vorschriftsmäßig durch ein Handzeichen angezeigt wurde. Etwa die Hälfte der beobachteten E-Scooter-FahrerInnen (51%) suchte beim Abbiegevorgang nur den Blickkontakt mit anderen VerkehrsteilnehmerInnen. 21% der E-Scooter-FahrerInnen unternahm beim Abbiegevorgang nichts zur Anzeige der Fahrtrichtungsänderung.

### 5.4.4 Personentransport auf dem E-Scooter

Im Zuge der in Wien durchgeführten E-Scooter-Beobachtungen wurde auch aufgezeichnet, wenn mehrere Personen gemeinsam auf einem E-Scooter fuhren. Bei 1.507 beobachteten E-Scooter-Fahrten fuhren in 48 Fällen verbotenerweise zwei Personen gemeinsam auf einem E-Scooter (3%).

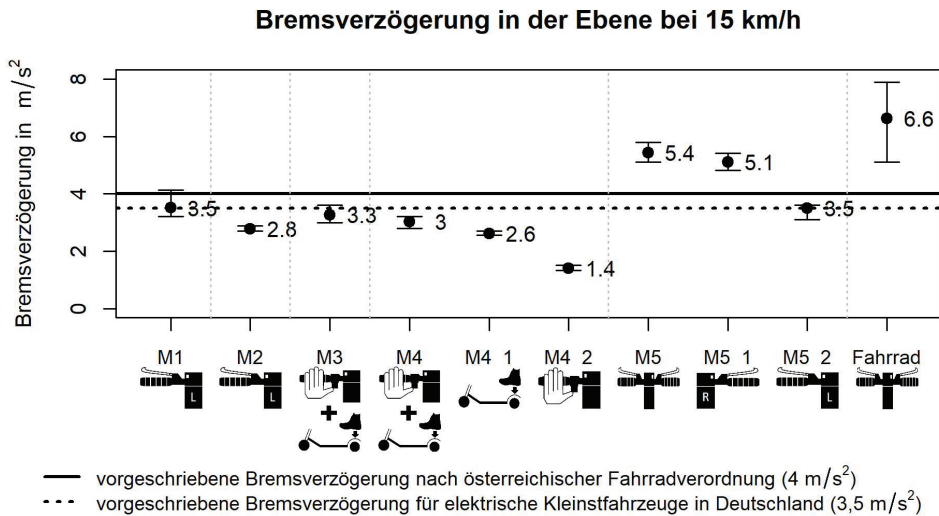
## 6. Bremstests mit E-Scootern

Die Ergebnisse der E-Scooter-Bremstests in der Ebene bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 15 km/h bis zum Stillstand zeigen hinsichtlich der Bremsverzögerung der einzelnen E-Scooter-Modelle und im Vergleich zum Fahrrad große Unterschiede. Grundsätzlich gilt: Je höher die Bremsverzögerung, desto besser.

Die beste Bremsverzögerung wurde mit einer beidseitigen Handhebelbremse erzielt (Bremsleistung wie beim Fahrrad): Der E-Scooter M5 mit zwei Handhebelbremsen hat eine durchschnittliche Bremsverzögerung von  $5,4 \text{ m/s}^2$ , das getestete Fahrrad hat die höchste Bremsverzögerung ( $6,6 \text{ m/s}^2$ ). Die alleinige Betätigung der rechten Handhebelbremse bei M5 bringt eine annähernd gleiche Bremsleistung ( $5,1 \text{ m/s}^2$ ) wie die Betätigung beider Bremsen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei diesem Modell bei der alleinigen Betätigung der Vorderradbremse die Hinterradbremse mitbetätigt wird. Diese beiden Fahrzeuge erreichen auch die in der österreichischen Fahrradverordnung vorgeschriebene Mindestbremsverzögerung von  $4,0 \text{ m/s}^2$  auf ebener Fahrbahn (die jedoch nicht für E-Scooter gilt). Alle anderen getesteten E-Scooter-Modelle bleiben unter diesem Grenzwert für Fahrräder.

Zwei getestete E-Scooter-Modelle sind nur mit einer Handhebelbremse ausgestattet. Modell 1 erreicht eine durchschnittliche Bremsverzögerung von  $3,5 \text{ m/s}^2$  und entspricht gerade den Anforderungen der in Deutschland für E-Scooter vorgeschriebenen Bremsverzögerung ( $3,5 \text{ m/s}^2$ ). Modell 2, das wie Modell 1 über eine Handhebelbremse verfügt, hat mit einem Durchschnittswert von  $2,8 \text{ m/s}^2$  eine deutlich schlechtere Bremsverzögerung. Der E-Scooter war zum Zeitpunkt der Tests in einem offensichtlich schlechteren Wartungszustand als Modell 1.

Modell 3 und 4 haben eine elektrische Handbremse und eine Fußtrittbremse. Bei Betätigung beider Bremsysteme wurde bei Modell 3 eine mittlere Bremsverzögerung von  $3,3 \text{ m/s}^2$  erreicht, bei Modell 4 lag der Vergleichswert bei  $3 \text{ m/s}^2$ . Der alleinige Test der elektrischen Handbremse (Drückbremse) ergibt eine in der Praxis nicht ausreichende Bremsverzögerung von  $1,4 \text{ m/s}^2$ .



**Abbildung 2: Bremsverzögerungen der getesteten E-Scooter-Modelle und des Fahrrads von 15 km/h auf 0 km/h in der Ebene (Jänner 2020)**

Im Vergleich aller Bremssysteme zeigt sich deutlich, dass die elektrische Handbremse als einziges Bremssystem ungeeignet ist und in der Ebene spät und im Gefälle gar nicht zum Stillstand des E-Scooters führte.

## 7. Sicherheitstipps für E-Scooter-FahrerInnen

Das KfV hat als Ergebnis der Untersuchungen Sicherheitstipps für E-Scooter-FahrerInnen erarbeitet. Es handelt sich hierbei um folgende konkrete Empfehlungen:

- Üben Sie den Umgang mit dem E-Scooter im verkehrsfreien Raum. Trainieren Sie vor der ersten Fahrt im Straßenverkehr das Bremsen, das Geben von Handzeichen, das Abbiegen, das Gleichgewicht-Halten und das Ausweichen vor Hindernissen.
- Schützen Sie Ihren Kopf mit einem Helm!
- Fahren Sie stets rücksichtsvoll und gefährden Sie andere VerkehrsteilnehmerInnen nicht.
- Halten Sie sich an die Verkehrsregeln und fahren Sie nicht alkoholisiert.
- Fahren Sie nicht auf Gehwegen und Gehsteigen.
- Seien Sie besonders aufmerksam im Kreuzungsbereich: Nähern Sie sich langsam der Kreuzung und seien Sie sich möglicher Gefahren durch abbiegende Fahrzeuge bewusst (Gefahr des "toten Winkels").
- Vermeiden Sie Ablenkungen, verzichten Sie beim Fahren auf Musik hören.
- Verwenden Sie das Mobiltelefon nicht während der Fahrt.
- Machen Sie sich sichtbar! Helle Kleidung und Reflektoren auf der Kleidung und am E-Scooter helfen Ihnen, besser gesehen zu werden. Schalten Sie bei Dunkelheit und schlechter Sicht das Licht Ihres E-Scooters rechtzeitig ein.
- Fahren Sie niemals zu zweit auf dem E-Scooter.
- Fahren Sie besonders vorsichtig bei Bodenebenheiten, Schienen und nassem Untergrund.



- Überprüfen Sie Leihgeräte vor deren Nutzung auf Verkehrstüchtigkeit und Bremsleistung.
- Vorsicht im Urlaub: Die gesetzlichen Regelungen für E-Scooter sind in Europa nicht einheitlich. Erkundigen Sie sich vor der Abreise, welche Regeln an Ihrem Reiseziel gelten.

Die erarbeiteten Sicherheitstipps für die E-Scooter-FahrerInnen selbst sollen im Zuge von Öffentlichkeitsarbeit an die Zielgruppe gebracht werden.

## 8. Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit mit E-Scootern

Die steigenden Unfallzahlen und die Ergebnisse der vorliegenden Studien zeigen, dass Handlungsbedarf gegeben ist, um die Verkehrssicherheit der E-Scooter-FahrerInnen selbst sowie der anderen VerkehrsteilnehmerInnen zu erhöhen. Aus Sicht des KFV ist es notwendig, ein Paket an Maßnahmen in unterschiedlichen Bereichen (Rechtsvorschriften, Bewusstseinsbildung und Ausbildung, Infrastruktur, Kontrollen und Sanktionen) in ExpertInnenkreisen zu diskutieren und ausgewählte Maßnahmen ehestmöglich umzusetzen.

Im Sinne der Verkehrssicherheit war es unabdinglich, dass der Gesetzgeber in Österreich im Jahr 2019 Bestimmungen für E-Scooter erlassen hat. Die aktuell geltende rechtliche Regelung, wonach E-Scooter-FahrerInnen die Verkehrsflächen für den Radverkehr benützen müssen, ist zu befürworten, da die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen E-Scooter-FahrerInnen und RadfahrerInnen in der Regel deutlich geringer sind als jene zwischen E-Scooter-FahrerInnen und FußgängerInnen.

Aufgrund der aktuellen, aus der Praxis gewonnenen Erkenntnisse wäre es jedoch ratsam, in gewissen Punkten **gesetzliche Korrekturen** vorzunehmen. Beispielsweise ist es für die Verkehrssicherheit wichtig, eine Glocke/Hupe als Vorrichtung zur Abgabe akustischer Warnzeichen verpflichtend vorzuschreiben. Darüber hinaus sollte die gesetzliche Regelung in puncto Bremsen geschärft werden: E-Scooter sollten verpflichtend mit zwei voneinander unabhängigen Bremsbetätigungseinrichtungen ausgestattet werden, von denen mindestens eine Bremse unabhängig vom elektrischen System des Fahrzeugs funktioniert. Mit den Bremsen ist eine Mindestbremsverzögerung von  $4 \text{ m/s}^2$  zu erreichen.

Überdies führt die derzeitige rechtliche Einstufung des E-Scooters als „vorwiegend zur Verwendung außerhalb der Fahrbahn bestimmtes Kleinfahrzeug“ bei gleichzeitiger Anwendung der Verhaltensvorschriften für RadfahrerInnen zu einer Reihe von Problemen (u.a. unklare Verhaltensbestimmungen gegenüber E-Scooter-FahrerInnen, eingeschränkte Befugnisse der Exekutive) und schafft nicht die erwünschte rechtliche Klarheit. Die rechtliche Einstufung sollte daher überdacht werden. Ziel sollte in jedem Fall sein, eindeutige Regelungen aufzustellen, die für VerkehrsteilnehmerInnen verständlich sind und von der Exekutive effizient vollzogen werden können. Sind in Zukunft, beispielsweise aufgrund technischer Entwicklungen oder neuer Erkenntnisse zur Verkehrssicherheit, Anpassungen der Regelungen erforderlich, sollen diese leicht umgesetzt werden können.

In Sachen **Bewusstseinsbildung** erscheint es insbesondere notwendig, E-Scooter-FahrerInnen hinsichtlich möglicher Gefahren und Risiken zu sensibilisieren, sie aber auch auf die geltende Rechtslage und die Bedeutung der Einhaltung von Verkehrsregeln hinzuweisen. Hier stehen insbesondere folgende Themen im Vordergrund: E-Scooter-Fahrverbot auf Gehsteigen, rechtzeitiges Anzeigen der Fahrtrichtungsänderung



durch ein Handzeichen, Verwendung eines Helmes, Geschwindigkeitswahl allgemein und speziell in der Annäherung an Radfahrerüberfahrten, richtiges Bremsen mit dem E-Scooter, Sichtbarkeit von E-Scooter bzw. E-Scooter-FahrerInnen, E-Scooter-Training im verkehrsfreien Raum und geltende Regelungen für E-Scooter-FahrerInnen.

Darüber hinaus ist es aber auch wichtig, die anderen VerkehrsteilnehmerInnen auf Gefahren und Risiken im Zusammenhang mit E-Scooter-FahrerInnen aufmerksam zu machen (z. B. Toter-Winkel-Unfälle).

In Bezug auf die **Infrastruktur** ist es wesentlich, geeignete Schritte gegen Toter-Winkel-Unfälle mit E-Scooter-FahrerInnen zu setzen und eigene Abstellflächen für E-Scooter zu schaffen.

**E-Scooter-Verleihanbieter** können durch die Berechnung der Miettarife nach der Entfernung (statt nach der Zeit) und Incentives für das Abstellen eines E-Scooters auf gekennzeichneten Abstellflächen einen wichtigen Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten.

**Kontrollen** von E-Scooter-FahrerInnen durch die Exekutive und eine entsprechende **Sanktionierung** sollen schließlich dazu beitragen, dass für die Verkehrssicherheit wichtige Verhaltensvorschriften besser eingehalten werden (z. B. Einhaltung des Fahrverbots auf Gehsteigen, Einhaltung der erlaubten Annäherungsgeschwindigkeit bei Radfahrerüberfahrten, kein „E-Scooter-Tuning“).

## 9. Ausblick und weiterer Forschungsbedarf

Da E-Scooter auch zukünftig ein wesentlicher Bestandteil der (urbanen) Mobilität sein werden, ist es von großer Bedeutung, deren Entwicklung und insbesondere die mit diesem Verkehrsmittel in Verbindung stehenden Verkehrssicherheitsaspekte im Auge zu behalten. Weiterer Forschungsbedarf besteht vor allem hinsichtlich des E-Scooter-Unfallgeschehens. Dafür ist es erforderlich, die E-Scooter-Unfälle in der Verkehrsunfallstatistik in einer eigenen Kategorie zu erheben und diese laufend hinsichtlich der Unfallursache etc. zu analysieren. Die Schaffung eigener E-Scooter-Abstellflächen und deren Auswirkungen auf die Sicherheit der VerkehrsteilnehmerInnen und die Nutzungshäufigkeit sind zu evaluieren. Zudem braucht es – gerade auch vor dem Hintergrund einer höheren Anfälligkeit von E-Scootern in puncto Unebenheiten – optimierte und gut instand gehaltene Oberflächen sowie weite Kurvenradien. Gerade auch vor dem Hintergrund der Vielzahl an neuen Pedelecs und E-Scootern und des damit zusammenhängenden Nutzungsdrucks auf Radfahranlagen ergibt sich die Notwendigkeit, diese entsprechend den in den Regelwerken beschriebenen Standards auch tatsächlich umzusetzen, wobei die Mindestwerte der RVS Radverkehr in Österreich zu erhöhen sind. Darüber hinaus ist die technische Entwicklung des E-Scooters als Fahrzeug (Reifengröße, Stabilität, Gewicht etc.) zu beobachten und bei Bedarf hinsichtlich der Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit zu analysieren. Es ist im Auge zu behalten, wie und in welche Richtung sich der E-Scooter-Trend entwickeln wird und wo dahingehend neben den genannten noch zusätzlich neue Forschungsschwerpunkte und -inhalte gesetzt werden müssen.



## 10. Quellen

Die Informationen in diesem Artikel wurden vorwiegend auf Basis der bereits veröffentlichten Daten in folgenden Quellen zusammengestellt:

Mayer, E. et al. (2020): *E-Scooter im Straßenverkehr. Unfallzahlen, Risikoeinschätzung, Wissensstand und Verhalten von E-Scooter-Fahrern im Straßenverkehr*. KfV – Sicher Leben. Band 24.

Mayer, E. et al. (2020): *Elektromobilität auf zwei Rädern: Herausforderungen an die Verkehrssicherheitsarbeit*. In: *Straßenverkehrstechnik*, 9/2020, S. 579-590.

Mayer, E. et al. (2020): *E-Scooter: Was bedeutet das neue Fortbewegungsmittel für die Verkehrssicherheit?* In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 66, 3/2020, S. 153-164.

Mayer, E. et al. (2019): *E-Scooter: Auswirkungen des Trends auf die Verkehrssicherheit*. In: *Zeitschrift für Verkehrsrecht*, 12/2019, S. 417-424.

### Weitere Quellen:

APA – Austria Presse Agentur: Onlinemanager. Abfrage von E-Scooter-Unfällen in Österreich 2015-2020. In: [www.aom.apa.at](http://www.aom.apa.at)

Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung – eKFV: Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr (Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung – eKFV) vom 6. Juni 2019 (BGBl. I S. 756).

Fahrradverordnung: Verordnung der Bundesministerin für Verkehr, Innovation und Technologie über Fahrräder, Fahrradanhänger und zugehörige Ausrüstungsgegenstände (Fahrradverordnung), BGBl. II Nr. 146/2001 zuletzt geändert durch BGBl. II Nr. 297/2013.

Kuratorium für Verkehrssicherheit: Injury Data Base (IDB) Austria 2015-2020.

StVO – Straßenverkehrsordnung (Österreich): Bundesgesetz vom 6. Juli 1960, mit dem Vorschriften über die Straßenpolizei erlassen werden (Straßenverkehrsordnung 1960 – StVO 1960), BGBl. Nr. 159/1960 zuletzt geändert durch BGBl. I Nr. 161/2020.

31. StVO-Novelle: Änderung der Straßenverkehrsordnung 1960 (31. StVO-Novelle), BGBl. I Nr. 37/2019.





---

# Rad- und eScooterfahrten – Auswirkung von Ablenkung und die sich daran anschließende Risikokommunikation

Ulrich Chiellino, Frank Hahn & Heike Lüben

ADAC e.V.

## 1. Zusammenfassung

Die erlebte Sorglosigkeit zahlreicher Verkehrsteilnehmer in Bezug auf den Faktor Ablenkung als Unfallursache im Straßenverkehr ist mittlerweile nicht nur bei der Nutzung von Pkw zu beobachten, sondern auch zunehmend bei Rad- und eScooterfahrern. Insofern gilt es, das Risikobewusstsein in der Zielgruppe zu schärfen und auf die Gefahrenlage hinzuweisen. Der ADAC hat in diesem Zusammenhang in Kooperation mit dem ÖAMTC 2020 eine Studie durchgeführt, die es ermöglicht, die Auswirkungen von ablenkenden Tätigkeiten nicht nur im Pkw sondern auch auf dem Rad oder dem eScooter zu dokumentieren und zu vergleichen. Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass die Fahrleistung der Probanden unter dem Einfluss von Nebenaufgaben stark beeinträchtigt wird und das obwohl zu Beginn der Testung ein hohes Leistungsvermögen mittels einer standardisierten Testbatterie zur Erfassung der Aufmerksamkeit und Konzentrationsfähigkeit attestiert werden konnte. Die Ergebnisse können zur Risikokommunikation in der (digitalen) Verkehrserziehung genutzt werden. Die Anforderungen bei der Gestaltung von (digitalen) Lehr- und Lernmedien werden von den Zielgruppen bestimmt. Was es in diesem Kontext zu beachten gilt, wird in einem Überblick dargestellt.

## 2. Einleitung

Ablenkung durch verkehrsfremde Tätigkeiten wird zunehmend als Unfallursache beobachtet. Das liegt an der limitierten Kapazität des Menschen, Informationen aufzunehmen und verarbeiten zu können. Nebenbeschäftigungen beeinflussen in vielfältiger Form das Verhalten im Straßenverkehr und können schnell zu kritischen Situationen führen - auch für Radfahrer und Fußgänger. Der ADAC sieht erhöhten Aufklärungs- und Sensibilisierungsbedarf. Musik hören, Telefonieren oder etwas Trinken: Die Versuchung ist groß, sich von der Fahraufgabe abzulenken. Nebentätigkeiten erscheinen als willkommene Abwechslung. Aber auch der wachsende Druck, ständig erreichbar zu sein, lenkt die Hand oft zum klingelnden Smartphone.

Dennoch werden durch Nebentätigkeiten Ressourcen gebunden, die nicht mehr zur Bewältigung der Fahraufgabe zur Verfügung stehen und in der Folge zu kritischen Verkehrssituationen führen (Chiellino, 2010)<sup>1</sup>.

Viele unterliegen dem Mythos des Multitaskings und so der Illusion, die Situation auch abgelenkt unter Kontrolle zu haben. Bereits 2015 hat der ADAC in Kooperation mit dem ÖAMTC die Auswirkungen von Nebenaufgaben untersucht und festgestellt, dass die subjektive Einschätzung der eigenen Leistungsfähig-

---

<sup>1</sup> Was können Fahrerassistenzsysteme im Unfallgeschehen leisten? Chiellino et al., Zeitschrift für Verkehrssicherheit 2010, S. 131-137



keit, mehr Aufgaben gleichzeitig bewältigen zu können mit den objektiven Messungen nicht zusammenpassen (Chiellino, 2015)<sup>2</sup>. Im Straßenverkehr werden etwa 90 Prozent der relevanten Informationen über visuelle Eindrücke aufgenommen. Wird der Blick also von der Straße abgewendet, können kritische Situationen nicht rechtzeitig wahrgenommen werden. Jedoch kann nicht alles, was gefährlich ist, verboten werden.

Der ADAC hat in einer nicht repräsentativen Beobachtung von bundesweit über 7000 jungen Radfahrern 2017 beobachtet, dass jeder Zehnte während des Fahrens einen Kopfhörer oder Ohrstöpsel in beiden Ohren trug. Verboten ist dies nicht, wer jedoch mit üblicher Lautstärke von 80 Dezibel Musik hört, bemerkt ein außerhalb des Blickfelds herannahendes Auto erst drei Meter hinter sich und hat praktisch kaum noch Reaktionszeit. Eine Sensibilisierung für Gefahren jeglicher Blickabwendung, auditiver und mentaler Ablenkung vom Verkehr sollte daher bereits in der frühen Verkehrserziehung sowie einer allgemeinen Risikokommunikation erfolgen.

### 3. Methoden

45 Probanden zwischen 20 und 35 Jahre absolvierten im Fahrsicherheitszentrum Teesdorf nahe Wien auf einer gesicherten Teststrecke verschiedene Fahraufgaben. Um Unterschiede bei der Durchführung identifizieren zu können, wurde eine Referenzrunde ohne ablenkende Tätigkeiten für jeden Teilnehmer dokumentiert. Dabei wird die Spurabweichung, die Geschwindigkeit und die Anzahl von Fahrfehlern (fehlende Handzeichen, Überfahren von Stoppschild etc.) erfasst. Eine Runde mit dem Fahrrad oder eScooter umfasst 620 m. Als Nebenaufgabe sollten die Fahrradfahrer das Licht einschalten, auf dem Smartphone eine Text-Nachricht lesen, sich nach einem Baum umdrehen, um daran Gegenstände zu erkennen, ein am Lenker angehängtes Objekt abnehmen und in die Jacke stecken, eine Wasserflasche aus der Halterung nehmen, daraus trinken und sie zurückstellen sowie im Ziel punktgenau anhalten. Die Aufgaben für die eScooter Teilnehmer sind dazu vergleichbar.

---

<sup>2</sup> *Ablenkung beim Autofahren. Eine überschätzte Gefahr? Chiellino et al., Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, VKU 2015, S.269-277.*





Abbildung 1: Übersicht zur Teststrecke

Tabelle 1: Sektorenübersicht, Fahrrad & E-Tretroller

Sektor	Länge	Startmarker	Stopmarker
Sektor 1	61m	Marker 1	Marker 2
Sektor 2	27m	Marker 2	Marker 3
Sektor 3	51m	Marker 3	Marker 4
Sektor 4	56m	Marker 4	Marker 5
Sektor 5	135m	Marker 5	Marker 6
Sektor 6	237m	Marker 6	Marker 7
Sektor 7	53m	Marker 7	Marker 1
<b>Gesamt</b>	620m		

Das Studienteam setzte sich aus den Kooperationspartnern der Med.UniWien, der Firma Neurotraffic, dem ÖAMTC, der ÖAMTC Fahrtechnik GmbH und dem ADAC e.V. zusammen.

### 3.1. Studienablauf

Zur Rekrutierung von Probanden wurden Testfahreraufrufe zur Durchführung von „Gleichgeschwindigkeitsfahrten“ auf diversen Social-Media-Plattformen in unterschiedlichen Bereichen (z.B. Ausbildungsstätten, Firmen, Vereine) abgesetzt. Ziel war es, 45 junge Testfahrer aus der Altersgruppe 20 bis 35 Jahre zu gewinnen, optimalerweise zu gleichen Anteilen weibliche und männliche Teilnehmer.



Ein- und Ausschlussbedingungen zur Teilnahme waren: eine gültige Fahrerlaubnis mindestens der Klasse B (Pkw), eine Mindestkilometerfahrleistung als Lenker im Jahr von fünftausend Kilometern, Fahrrad fahren zu können und dies auch öfters zu tun, der Altersbereich zwischen 20 bis 35 Jahre, keine chronischen Erkrankungen.

Knapp zwei Drittel (n=28) der Probanden entstammten dem Altersbereich 20-25 Jahren, 18% (n=8) waren am Testtag zwischen 25-30 Jahre alt, weitere 20% (n=9) waren 30-35 Jahre. Das Durchschnittsalter aller weiblichen Testpersonen lag bei 24,2 Jahren, das mittlere Alter der männlichen Studienteilnehmer bei 26,9 Jahren.

Nach der Ankunft der Probanden im Fahrtechnikzentrum wurden Befindlichkeitsfragebögen der MedUni Wien (Schlafprotokoll, Karolinska-Schläfrigkeitsskala), sowie ein allgemeiner Fragebogen zu Mobilitätsgewohnheiten (Fragebogen A) vorgelegt. Danach absolvierten die Probanden ihren ersten Wachheit-/Alertnesstest am Computer aus der TAP-M Testbatterie, welche bei Untersuchungen zur Aufmerksamkeitsprüfung im Straßenverkehr (von Zimmermann & Fimm, 2012)<sup>3</sup> im Einsatz ist. Die Testverfahren wurden jeweils unmittelbar vor Beginn der Testfahrten durchgeführt.

### **3.1.1 Aufgabenset Rad**

In der Versuchsbedingung „Fahrrad“ wurden die Probanden instruiert, möglichst gleichmäßige Fahrten bezüglich der Rundenzeit auf dem Testparcours zu absolvieren. Die Testrunden sollten sicher und zügig befahren werden. Es gab kein zu fahrendes Tempolimit; Sicherheitsblicke oder Handzeichen beim Richtungswechsel mussten getätigt und vorhandene Verkehrszeichen beachtet werden. Nach der Gewöhnungs- und Baseline-Runde gab es 2 Wertungsrunden mit angesagten Nebentätigkeiten. Die Aufgaben waren: Licht einschalten, WhatsApp-Nachricht lesen, Blick auf einem Baum befindliche Gegenstände, angehängten Würfel vom Lenker abnehmen, aus einer Flasche trinken. Schließlich sollte in der Fahrrad-Bedingung eine Zielbremsung am Ende der Strecke durchgeführt werden. Die Zielbremsung war erfolgreich, wenn die Person in einem vordefinierten Bereich das Fahrrad zum Stillstand brachte und die erste Stange abwarf ohne die weitere Stange abzuwerfen:

Abschließend wurde der Fragebogen C, welcher die subjektive Einschätzung der absolvierten Fahrradfahrt (E-Tretrollerfahrt) abgefragt hat und die Karolinska-Skala 3 final vorgelegt. Danach war die geforderte Mitarbeit für den gesamten Testablauf nach rund 90 Minuten für einen Probanden beendet.

### **3.1.2 Aufgabenset eScooter**

In der Versuchsbedingung „eScooter“ wurden die Probanden instruiert, möglichst gleichmäßige Fahrten bezüglich der Rundenzeit auf dem Testparcours zu absolvieren. Die Testrunden sollten sicher und zügig befahren werden. Es gab kein zu fahrendes Tempolimit; Sicherheitsblicke oder Fußzeichen beim Richtungswechsel mussten getätigt und vorhandene Verkehrszeichen beachtet werden. Nach der Gewöhnungs- und Baseline-Runde gab es 2 Wertungsrunden mit angesagten Nebentätigkeiten. Für E-Tretrollerfahrten

---

<sup>3</sup> Testbatterie zur Aufmerksamkeitsprüfung (TAP-M), Zimmermann & Fimm, 2012



wurde zwei ablenkende Aufgaben etwas abgewandelt, um mögliche gefährliche Situationen bei der Durchführung zu vermeiden: statt der Würfelabnahme musste kurz das rechte danach das linke Bein weggestreckt werden; auch sollte die Trinkflasche, die in der Halterung am Roller vorbereitet war, kurz gehoben und wieder in die Halterung zurückgestellt werden. Die Zielbremsung wurde vereinfacht und ohne Stangen präsentiert. Die Probanden sollten gezielt den E-Tretroller im markierten Bereich anhalten.

Abschließend wurde der Fragebogen C, welcher die subjektive Einschätzung der absolvierten Fahrradfahrt (E-Tretrollerfahrt) abgefragt hat und die Karolinska-Skala 3 final vorgelegt. Danach war die geforderte Mitarbeit für den gesamten Testablauf nach rund 90 Minuten für einen Probanden beendet.

### 3.2. Datenerhebung

Folgende Variablen wurden bei allen Fahrzeugarten erhoben:

- GPS: Zeit, Datum, Position, Geschwindigkeit
- Längsbeschleunigung, i.e. Beschleunigen und Bremsen
- Querbeschleunigung, i.e. Kurvenkräfte in Links- und Rechtskurven

Zusätzlich wurde das Fahrverhalten bei den Fahrradfahrern und bei den E-Tretrollerlenkern durch Beobachtungen von geschulten Instruktoren und Streckenposten auf dem gesamten Parcours durchgeführt. Die Fahrverhaltensbeobachter wurden im Vorfeld auf genau definierte Merkmale eingeschult, die es bei den Probanden während der Fahrten zu beachten und in eine Liste einzutragen galt. Ziel war es zu erfassen, ob ein Verhalten gezeigt wurde (= richtig gemacht) oder es ausgelassen und somit als „Fehler“ bewertet wurde.

Alle Probanden wurden im Vorfeld darüber informiert, dass bei Richtungswechseln oder beim Ausfahren aus dem Kreisverkehr z.B. Sicherungsblicke, Handzeichen zum Abbiegen/Verlassen getätigt werden müssen; ebenso galt es die nötigen Verhaltensweisen bei etwaigen Verkehrszeichen (z.B. Anhalten beim Stoppschild) lt. StVO richtig anzuwenden und zu zeigen.

Auch bei den Fahrrad- und E-Tretrollerfahrten war das kommunizierte Ziel an die Probanden, „Gleichgeschwindigkeitsfahrten“ zu absolvieren. Etwaige Fahrfehler wurden in Echtzeit, während der Proband auf dem Parcours unterwegs war, von Streckenposten in einer Liste erhoben. Dabei ging es darum, ob an bestimmten Positionen (z. B. links abbiegen und Einfahrt in ein Wegstück) Sicherungsblicke und Handzeichen, die bei einem Richtungswechsel nötig sind, auch durchgeführt wurden. In der „Basis- sowie in der Testfahrrunde“ wurden für alle kritischen Positionen am Parcours: Boxenausfahrt, Einfahrt Wegstück, Stoppschild, Ausfahrt Wegstück, Spureinhaltung Hütchenstrecke 1-4, Kreisverkehrausfahrt besonderes Augenmerk auf das Fahrverhalten gelegt.

Folgende Fehlerkategorien wurden je Streckenabschnitt erhoben:

- Boxenausfahrt, Ein- und Ausfahrt Wegstück: Fehler Sicherungsblick, Fehler Handzeichen
- Stoppschild: Fehler Anhalten



- Hütchenstrecken 1-4: Fehler Hütchen überfahren (Spurhaltung)
- Kreisverkehrsausfahrt: Fehler Sicherungsblick, fehlendes Handzeichen
- nur Fahrrad: Fehler Zielbremsung

Die generelle Einhaltung des Rechtsfahrgebotes wurden als eigene Rubik in der Verhaltensliste angeführt und ebenfalls durch die Echtzeitbeobachtung der Instruktoren bewertet.

## 4. Ergebnisse

Die statistischen Auswertungen wurden mit dem Statistikpaket IBM® SPSS® Statistics 23 durchgeführt. Die benützten statistischen Prozeduren bei der Auswertung der Fragebögen waren einerseits unabhängige Verfahren wie Mittelwertvergleiche zwischen den geschlechtsspezifischen oder Altersgruppen (t-Tests für unabhängige Stichproben bzw. Varianzanalysen), andererseits wurden Kreuztabellenanalysen (Chi<sup>2</sup>-Tests) zur Analyse von Antworthäufigkeiten eingesetzt.

Um mögliche statistisch bedeutsame Unterschiede der unterschiedlichen Ablenkungsreize festzustellen, wurden für die unter Punkt 1.4 genannten Fahrverhaltensvariablen Verfahren der Klasse der „Generalisierten Linearen Modelle“ (GLM) gewählt, die Vergleiche innerhalb von Personen zulassen und um Moderatorvariablen wie Geschlecht (GLM mit Geschlecht als Zwischensubjektfaktor) in der Auswertung berücksichtigen zu können.

Um unterschiedliche Fehlerraten, die aus den Beobachtungsbögen gewonnen wurden, zu ermitteln, kamen parameterfreie Tests (Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für gepaarte Stichproben) zur Anwendung.

In Summe hat sich gezeigt, dass unabhängig von der positiven Selbsteinschätzung der Teilnehmer die objektiv messbaren Veränderungen während der Fahrt unter ablenkenden Bedingungen deutlich zugenommen haben. Es kam bei Fahrten mit dem eScooter in der Folge zu Kontrollverlusten und sogar zum Sturz, die bei Fahrten im Realverkehr erhebliche Verletzungen verursacht hätten.

### 4.1. Ergebnisse Fahrrad: Aufgabe „Leuchte“ – Licht einschalten

Die erste Aufgabe bestand darin, eine links am Fahrradlenker montierte Leuchte einzuschalten (Druckknopfbetätigung). Die Instruktion zum Einschalten der Leuchte begann nach dem Einbiegen in ein Zwischen- Wegstück, unmittelbar vor dem Bereich des Verkehrszeichens „Stopp“. Für knapp 90% der Probanden gilt „keine Beleuchtung bei Dunkelheit“, bei Fahrrad- /E-Tretrollerfahrern im Straßenverkehr als „no go“. Das Fahrtempo nimmt beim Fahrradfahren beim „Knopfdrücken“ und Licht einschalten signifikant ab, d.h. der Lenker wird auffällig langsamer, braucht daher länger, um den Weg zu absolvieren, außerdem wird vor dem Verkehrszeichen signifikant verstärkt gebremst sobald eine Zusatzaufgabe zu tätigen war. 16% ist es nicht gelungen das Licht nach Aufforderung während des Fahrradfahrens einzuschalten. In der Testfahrrunde haben mehr Probanden (21%) das Stoppschild missachtet und nicht angehalten (in der Baselineunde ohne „Licht- Einschaltaufforderung“ sind 10% ohne Anhaltung beim Stoppschild weitergefahren).



#### 4.2. Ergebnisse Fahrrad: Aufgabe „Würfel“

Bei dieser Nebenaufgabe wurden die Probanden instruiert, einen am Lenker hängenden Gegenstand (Würfel) anzunehmen und in die Jackentasche zu stecken. Der Verlauf war charakterisiert durch die Ausfahrt aus dem Kreisverkehr und führte in weiterer Folge auf einen geraden Streckenabschnitt: Die Instruktion zur Würfelabnahme begann noch im Bereich des auslaufenden Kreisverkehrs. Für knapp  $\frac{3}{4}$  der Probanden war diese Aufgabe die schwierigste und erlangte somit Platz 1. Das Einstecken eines Gegenstandes in die Jackentasche, vorab das Hantieren damit (am Lenker an einer Schnur hängender größerer Würfel) forderte unsere Probanden stark. Das Manipulieren mit einem am Lenker sich bewegenden Objekt während der Fahrradfahrt, verlangsamt signifikant das Fahrtempo, verlängert somit die Zeit in einem bestimmten Fahrbereich. Rund 20% der Probanden konnten die Aufgabe nicht ausführen.

#### 4.3. Ergebnisse Fahrrad: Aufgabe „Smartphone“ (Nachricht lesen)

Aufgabe war ein Smartphone aus der Jackentasche zu nehmen und die WhatsApp-Nachricht zu lesen. (In der zweiten Ablenkungsrunde wurde auf derselben Strecke die Aufgabe „Flasche“ ausgeführt.) Der Streckenabschnitt folgte auf eine leichte Linkskurve ein Hügel, gefolgt von einer 180 Grad- Linkskehre: Die Instruktion „Smartphone herausnehmen und „WhatsApp lesen““ begann noch im Bereich des auslaufenden Kreisverkehrs. Signifikant niedriger war das Fahrtempo der Probanden bei der Ablenkungsaufgabe, im Vergleich zur Basisrunde ohne Ablenkung. Die Aufgabe mit dem Smartphone war stark fordernd, sodass sie das Tempo am Fahrrad auffällig reduzieren mussten. 16% konnten die Aufgabe „Whats App“ mit dem Smartphone - nicht durchführen. Als mehrheitliches no-go beantworteten  $\frac{3}{4}$  der Probanden das Hantieren mit dem Smartphone bei Fahrradfahren.

#### 4.4. Ergebnisse Fahrrad: Aufgabe „Wasserflasche“

Eine weitere Aufgabe der Probanden war, während der Fahrradfahrt eine Wasserflasche aus der Fahrradflaschenhalterung zu nehmen, einen Schluck zu trinken und die Flasche wieder zurückzustellen (Wasserflaschen mit Sporttrinkventil, ohne Schraubverschluss). Diese Aufgabe wurde auf dem gleichen Streckenabschnitt wie die Aufgabe „Smartphone -Whats App“ Aufgabe absolviert. Bei dieser Aufgabe benötigten die Probanden ebenso signifikant mehr Fahrzeit als im gleichen Streckenabschnitt ohne Trinkaufgabe. Niedrigeres Fahrtempo ergibt eine längere Sektoren-Durchfahrtsdauer. Keine Auswirkungen auf die Längs- oder Querführung des Fahrrads waren ersichtlich. Alle Probanden haben diese Aufgabe durchgeführt. Diese Aufgabe erreichte Rang 2 (hinter dem „Würfel“) im persönlichen Schwierigkeitsranking. „Trinken während der Fahrt“ gilt allgemein bei 17 % der Probanden als absolutes no-go, 44% bewerteten dies als „wenig störend“ beim Radeln/Rollern; knapp 30% sehen darin „kein störendes“ Fehlverhalten. „Essen“ hingegen finden mehr als die Hälfte der Probanden als no-go und absolut störend beim Fahrrad-/E-Tretrollerfahren; „Rauchen“ finden dabei knapp 60% als no-go.

#### 4.5. Ergebnisse Fahrrad: Aufgabe „Gegenstände“

Hierbei mussten die Probanden sich während der Fahrt links umblicken und zwei Gegenstände (Banane, Luftballon), die an einem Baum angebracht waren rasch erkennen. Der Bereich war gekennzeichnet durch



eine weitläufige Rechtskurve, die Instruktion sich umzudrehen und Dinge am Baumstamm zu erblicken, erfolgte zu Beginn des Sektors: Bei dieser Tätigkeit fand weder eine Manipulation mit einem Gegenstand noch eine hohe kognitive Beanspruchung statt, somit zeigten sich in fahrdynamischer Hinsicht keinerlei Auswirkungen.

Die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsparameter waren aus statistischer Perspektive bei Referenz- als auch Testrunde stabil.

Diese Aufgabe zeigte allerdings die höchste „Nichtlösungsanzahl“, knapp 1/3 der Probanden hat sich nicht umgeblickt. Sich umzudrehen und Informationen zu erfassen (z.B. Rückblick, ob sich ein Mitverkehrsteilnehmer annähert bzw. ein Sicherheitsblick nach hinten in einer Abbiegesituation) muss zum Standardrepertoire aller Fahrradfahrer gehören. Es dient dem Selbstschutz zur Verhinderung von Unfällen.

#### **4.6. Ergebnisse Fahrrad: Aufgabe „Zielbremsung“**

Als letzte - allerdings nicht ablenkende - Aufgabe wurden die Probanden dazu angehalten, eine exakte Zielbremsung auszuführen. Dazu musste der Proband das Fahrrad relativ punktgenau und „dosiert“ zum Stillstand bringen (siehe Abbildung 2). In der Basisrunde (ohne Aufgaben) konnten alle Probanden dosiert bremsen und folglich punktgenau anhalten. Dies ist in der Testfahrrunde nach einige Ablenkungsaufgaben nicht allen Probanden gelungen, 11% scheiterten bei der Zielbremsübung.

#### **4.7. Ergebnisse Fahrrad: Beobachtungsbogen - aufgabenspezifische Fehler**

In dem Beobachtungsbogen der Instrukturen wurde neben der (erfolgreichen) Absolvierung der Aufgaben ebenso erfasst, ob die Probanden Sicherungsblicke und Handzeichen an jeweils kritischen Stellen ausführten oder ob das Verkehrszeichen „Stopp“, sowie das Rechtsfahrgebot eingehalten wurde. Wenn dies nicht der Fall war, wurde jedes Mal ein entsprechender Fehler registriert. Unterlassenes Anhalten beim Stoppschild (21% haben nicht angehalten), weniger gut dosiertes Zielbremsen (11% konnten nicht zielgenau stehenbleiben) und eine deutliche Zunahme bei unterlassenen Abbiege-Handzeichen bei Ein-Ausfahrten, sowie die Verlangsamung des allgemeinen Fahrtempos sind die auffälligsten Veränderungen bzw. Hinweise auf einen möglichen Einfluss von ablenkenden Störungen, die sich negativ auf die eigene Verkehrssicherheit und die Kommunikation zu Mitverkehrsteilnehmern beim Fahrradfahren auswirken können.

#### **4.8. Fahrrad: Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen**

Laut Eigeneinschätzung der Probanden nach Absolvierung aller Fahrradrunden, hinsichtlich der Ähnlichkeit der beiden Rundenzeiten (Basisfahrzeit vs. Testfahrrundenzeit), führten sie an eher zwei sehr ähnliche Rundenzeiten gefahren zu sein. Auch nannten sie, dass es ihnen eher leicht gefallen ist, zwei eher zeitgleiche Runden zu absolvieren.

Die objektiven erfassten Rundenzeitdaten können die subjektive Einschätzung nicht unterstützen. In der Testfahrrunde mit Ablenkungen wurde signifikant mehr Fahrzeit zur Absolvierung der Fahrstrecke benötigt.



Die allgemeine erfasste Fehlerrate in der Testfahrrunde unterscheidet sich nicht signifikant zur Baseline ohne Ablenkungen, dennoch sind spezielle Unterschiede in der Art der Fehler unter Ablenkungsbedingungen erkennbar: weniger Handzeichen beim Ein-Ausfahren, geringere Bereitschaft anzuhalten bei „Stopp“, weniger „Sensitivität“ bei einer Zielbremsung.

Befragt nach den schwierigsten drei Aufgaben wurde mit 73% die Würfelaufgabe an erster Stelle genannt. Einen Gegenstand während der Fahrt vom Lenker zu nehmen und diesen in eine Jackentasche einzustecken erfordert hohe Augen-Hand Koordinationsleistung bei gleichzeitiger Balanceeinhaltung und Kontrolle der Lenkstabilität. Annähernd gleich schwer, auf Platz 2 wurde die „Trinkaufgabe“ angeführt. Auch dabei sind die zuvor genannten Fähigkeiten vonnöten. Auf dem dritten Platz wurde das „Lichteinschalten“ genannt.

Interessanterweise hat keiner der Probanden die „Whats App“ Aufgabe mit dem Smartphone unter die drei schwierigsten Aufgaben gereiht. Möglicherweise sind die Probanden das Handling mit dem Smartphone gewohnt, dass ihnen beim Fahrradfahren diese Tätigkeit als nicht schwer erscheint. Somit haben sie die für sie eher „ungewöhnlicheren“ anderen Aufgaben als schwieriger eingestuft.

Bei „rot“ die Ampel zu queren gilt als absolutes „no go“ und erreichte 100% Zustimmung aller Probanden; gefolgt von „ohne schauen“ über die Kreuzung zu radeln (95%) und „keine Beleuchtung“ bei Dunkelheit zu haben (89%), auch erreichte „Kinder ohne Helm“ zu befördern 82% „no go“ Zustimmung.

Interessantes Detail: 88% der Probanden stimmten bei der Frage mit „ja“ zu, dass Fahrradfahrer / E-Tretrollerlenker eine freiwillige Basisausbildung, eine Art kurze „Fahrradprüfung“ (z.B. mit Informationen über die wichtigsten Verkehrs- u- Verhaltensregeln) absolvieren sollten.

Auch hatten 95% der Probanden als Fahrradfahrer noch keinen Fahrradunfall; diejenigen die bereits einen Unfall hatten, waren nach eigenen Angaben bei einem Alleinunfall selbst für ihr Missgeschick verantwortlich (z.B. Tasche ist am Fahrrad verrutscht, beim Richtigplatzieren verunfallt).

Auf die Frage, wann über den Tag verteilt möglicherweise mehr Fahrradfahrer abgelenkt unterwegs sind, antworteten 1/3 der Probanden mit „eher abends“ (26% in der Nacht, 21% eher nachmittags), eher mittags wählten nur 5% aus.

## **4.9. Ergebnisse E-Tretroller**

Die Versuchspersonen, die den Testparcours mit dem E-Tretroller zu bewältigen hatten, mussten sehr ähnliche ablenkende Aufgaben lösen wie die Teilnehmer der Stichprobe „Fahrrad“.

### ***4.9.1 Ergebnisse E-Tretroller: Aufgabe Leuchte***

Analog zur Fahrrad-Bedingung „Leuchte“ war die erste Aufgabe eine links am Lenker montierte Leuchte (durch einfaches Drücken auf eine Taste) einzuschalten. Hinsichtlich der persönlichen Schwierigkeitsrangliste wurde die „Licht“ Aufgabe von 71% der E-Tretrollerfahrern auf 3. Rang gereiht. Die Probanden benötigten beim „Licht einschalten“ signifikant mehr Fahrzeit (waren länger unterwegs) als in der Referenzrunde, demgemäß konnte eine signifikant geringere Durchschnittsgeschwindigkeit gemessen werden. Auffällig war, dass nach dem Anhalten (Stopptafel) und Einschalten der Leuchte, die maximale Beschleunigung sig-



nifikant stärker ausfiel als in der Referenzrunde. Dieses Ergebnis deutete darauf hin, dass die Probanden eventuell versuchten, die Zeit, die durch das Einschalten der Leuchte „verloren“ ging, zumindest subjektiv wieder wettzumachen in dem der E-Tretroller nach dem Anhalten stärker von der Kreuzung (weg)beschleunigt wurde. 11% der Probanden konnten nach Aufforderung das Licht am E-Tretroller nicht einschalten. Auch bei den E-Tretrollerfahrern zeigt sich in der Testrunde nach der „Licht“ Aufgabe, dass sie im Vergleich zur Basisfahrrunde, signifikant langsamer unterwegs waren. Nach dem „Lichteinschalten“ wurde für die Weiterfahrt am Parcours signifikant stärker beschleunigt im Vergleich zur Baselinerunde.

#### **4.9.2 Ergebnisse E-Tretroller: Aufgabe „Bein“ (abwechselnd kurz ein Bein heben)**

Ein Spezifikum für die Teilnehmer der Gruppe der E-Tretroller-Fahrer war die Aufgabe „Bein“. Hierbei sollten die Probanden nach Anweisung des Instructors kurz während der Fahrt abwechselnd das eine, dann das andere Bein heben. Die Aufgabe wurde in der zweiten Ablenkungsrunde durchgeführt. In dem Streckenabschnitt wurde eine sanfte Linkskurve, die dann in eine Rechtskurve übergang befahren, dabei wurde die Fahrspur von Leitkegeln am Kurveneingang begrenzt:

Die Instruktion „Bein heben“ begann vor dem Erreichen der Leitkegelführung.

Diese Übung hat subjektiv keine Schwierigkeit verursacht, kein Proband reihte diese Aufgabe unter die drei schwierigsten Dinge während der Rollerfahrt.

Demgegenüber wurde während dieser Tätigkeit ersichtlich, dass sich das abwechselnde Wegstrecken eines Beins sowohl auf Längs- als auch Querführung des Rollers insofern auswirkte, als dass die „Sanftheit“ des Fahrstils beeinträchtigt wurde.

Die zeigte sich auch anhand der Maximalwerte der Kurvenkräfte: sowohl in der Links- als auch der Rechtskurve wurden während des Manövers signifikant höhere Werte gemessen. Der beobachtbare Fahrstil zeigte sich dadurch „akzentuierter“. Die dadurch vermutlich entstehende Instabilität hat signifikante Auswirkungen auf die „Gleichmäßigkeit/Sanftheit“ des Fahrstils.

Auch wurde dieser Fahrsektor mit der „Beinübung“ signifikant langsamer in der Testfahrrunde durchfahren als ohne Ablenkungen in der Baselinerunde. 21% der Probanden konnten diese Aufgabe nicht lösen.

#### **4.9.3 Ergebnisse E-Tretroller: Aufgabe „Smartphone“**

Anschließend hatten die Teilnehmer der E-Tretrollergruppe die Aufgabe, ein Smartphone aus der linken Jackentasche zu nehmen und die WhatsApp-Nachricht zu lesen, die am Mobiltelefon geschrieben war.

Der Vergleich der Daten der Baseline-Runde mit der Ablenkungsrunde offenbart hochsignifikante Unterschiede in fast allen beobachteten fahrdynamischen Aspekten. Alle fahrdynamischen Daten waren signifikant unterschiedlich zu den Fahrten ohne Smartphone-Ablenkungen. Durch die Manipulation mit dem Smartphone brauchten die Probanden deutlich länger den Streckenabschnitt zu durchfahren; dementsprechend ergab sich auch eine signifikant niedrigere Durchschnittsgeschwindigkeit.





Sehr deutlich fielen die Unterschiede bei Betrachtung der Kurvenkräfte nach beiden Seiten auf (Quer- und Längsführung des E-Tretrollers), da beispielsweise die durchschnittliche erreichte Maximalquerkraft unter Ablenkung um mehr als Doppelte (im Vgl. zur Basisrunde) erhöht war. Die Ergebnisse, die die Fahrdynamik betreffen zeigen, dass die Manipulation mit dem Smartphone deutliche Auswirkungen auf den Fahrstil haben.

Auch in der subjektiven Wahrnehmung wurde diese Aufgabe von den Probanden als die Schwierigste eingestuft (95%). Das Hantieren mit dem Smartphone in einer Hand, die jedoch zur Lenkung und Stabilisierung des Rollers und zur Balance des Gewichtes nötig ist, zeigt hochriskante Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit der E-Tretrollerfahrer.

Die offene Frage, welche Nebentätigkeiten beim Lenken eines E-Tretrollers besonders ablenkend sind, wurde von den Probanden nach der Fahrt eindeutig mehrheitlich mit: „Smartphone, Handy“ beantwortet. Für 52% der Probanden war die Aufgabe „Smartphone aus der Jackentasche nehmen und eine Nachricht darauf lesen“, zu schwierig bzw. wurde die Aufgabe nicht ausgeführt.

#### **4.9.4 Ergebnisse E-Tretroller: Aufgabe „Wasserflasche“**

Die Aufgabe „Wasserflasche“ bestand darin, selbige aufzunehmen und lediglich kurz über den Kopf zu halten. Die Aufgabe „Wasserflasche“ belegte Platz 2 in der Schwierigkeitshierarchie.

Knapp 80% bewerteten diese Aufgabe, obwohl die Halterung der Flasche direkt auf der Lenkstange befestigt und leicht erreichbar war (im Gegensatz zur Fahrradwasserflaschenhalterung), als sehr schwierig.

Die Wasserflasche während der Tretrollerfahrt zu nehmen und kurz zu heben stellte enorme Fahrdynamikänderungen zwischen der Basisrunde und der Testfahrrunde dar. Jegliche Fahrdaten waren signifikant verändert: stärkere Kurvenkräfte, mehr Querbeschleunigung, höhere Beschleunigungswerte, große Instabilität. Die Probanden waren stark gefordert die Balance, Stabilität und die gesamte Kontrolle über das Fahrzeug nicht zu verlieren. Leider kam bei dieser Aufgabe ein Proband zu Sturz.

#### **4.9.5 Ergebnisse E-Tretroller: Aufgabe „Gegenstände“**

Auch in der E-Tretrollergruppe mussten die Teilnehmer ihre Aufmerksamkeit auf Gegenstände richten, die einen „Rückblick“ erforderten. Gegenstände, die an einem soeben passiertten Baum, der nahe am Fahrbahnrand stand, angebracht waren sollten optisch erfasst werden. Dazu mussten die Teilnehmer ihren Blick zurückwenden um die beiden Gegenstände wahrnehmen zu können.

Diese Aufgabe stellte anscheinend keine Schwierigkeiten in der persönlichen Schwierigkeitsskala dar, denn kein Proband reihte diese „Baum-Blick Aufgabe“ unter die ersten drei schwierigen Aufgaben. Dies ist insofern interessant, als dass diese Aufgabe von 35% der Teilnehmer nicht gelöst wurde.

Es wurde unter der „Baum-Blick“ Ablenkungsbedingung eine geringere mittlere Geschwindigkeit, sowie eine geringere Maximalgeschwindigkeit festgestellt. Die benötigte Zeit im Streckenabschnitt war unter der ablenkenden Bedingung signifikant länger. Als statistisch bedeutsam instabiler bezüglich der Fahrzeugquerführung nach links, für sowohl Maxima als auch Standardabweichung der Querkraft. Dies dürfte auf



dem vergleichsweisen kurzen Streckenabschnitt durch Kopf- und Rumpfdrehbewegungen nach links rückwärts ausgelöst worden sein, die sich in weiterer Folge in einer Instabilität des E-Tretrollers ausdrückte.

Sich während der Fahrt umzudrehen und den Blick schräg nach hinten zu lenken, um an einem Baum zwei befindliche Gegenstände zu erblicken wurde von 35% des Samples nicht bzw. nicht richtig ausgeführt.

Das bloße Umdrehen, um kurz schräg nach hinten zu blicken verursacht große Balance und Lenkschwierigkeiten.

Nachdem man jedoch während einer Rollerfahrt ab und zu Sicherheitsblicke schräg zur Seite, bzw. beim Richtungswechsel sich auch nach hinten kurz umdrehen muss, stellen diese Erkenntnisse hinsichtlich starker Instabilität in der Fahr- und Lenkdynamik große Probleme hinsichtlich Verkehrssicherheit und Unfallvermeidung dar.

Hier sei erwähnt, dass unser Parcours weder Fahrbahnebenheiten wie Schienen, Kanalgitter, Kopfsteinpflaster, Niveauunterschiede auf der Fahrbahn durch Fahrbahnmängel etc., keinen Streusplitt oder Verunreinigungen ebenso wie auch keine anderen Mitverkehrsteilnehmer oder zu beachtende Verkehrslichter oder Verkehrszeichen beinhaltet hatte, was jedes für sich genommen auch wieder eine weitere Herausforderung an E-Tretroller darstellen könnte. Außerdem könnte auch Niederschlag oder eine nasse Fahrbahn zusätzlich, auch ohne Ablenkungen, eine Fahrdynamikänderung begünstigen.

#### **4.9.6 Ergebnisse E-Tretroller: Beobachtungsbogen - aufgabenunspezifische Fehler**

Identisch zur Bedingung „Fahrrad“ kam auch bei der Bedingung „E-Tretroller“ der Beobachtungsbogen zum Einsatz. Damit wurden Sicherungsblicke, Handzeichen, Anhalten bei der Stopptafel und das allgemeine Rechtsfahrgebot das an kritischen Stellen durchgeführt werden sollte, erfasst. Ein entsprechender Fehler wurde bei Nichtausführung registriert.

Der statistische Vergleich der Gesamtfehleranzahl zeigte keine Unterschiede. Die höhere Gesamtfehleranzahl der Ablenkungsrunde (Fehlerschnitt von 2,32) im Vergleich zur Referenzrunde ohne Ablenkungen (Fehlerschnitt von 1,42) ist zumindest als auffällig zu betrachten, nicht zuletzt vor dem Hintergrund des Vergleichs dieser Statistik mit der Bedingung „Fahrrad“, wo die mittleren Gesamtfehler beider Runden annähernd gleich waren.

Die Betrachtung der Fehlerverteilung nach Probanden offenbarte, dass dieselbe Anzahl von Personen in keiner der beiden Untersuchungsbedingungen Fehler machte, konkret von  $n=8$  Probanden, 0 Fehler in beiden Runden. Erkennbar unterschiedlich war jedoch die Verteilung von Personen die z.B. 5 oder mehr Fehler machten, was unter der Basisrunde lediglich bei einer Person vorkam, in der Ablenkungsrunde jedoch bei 4 Testpersonen zu beobachten war.

Unvorhergesehenerweise kam es bei der Bedingung „E-Tretroller“ leider bei einigen Probanden – trotz aller Vorsichtsmaßnahmen – zu Stürzen. Bemerkenswert war dabei, dass es in der Basisrunde zu einem Sturz kam, unter der Ablenkungsbedingung jedoch zu 3 Stürzen. Die höhere Anzahl an Stürzen kann ebenfalls als Hinweis der zusätzlichen Belastung durch die ablenkenden Aufgaben interpretiert werden.



#### 4.10. E-Tretroller: Zusammenfassende Bewertung und Empfehlungen

Das Fahren mit einem E-Tretroller, kann für manche schon ohne ablenkende Zusatzaktivitäten eine Herausforderung an sich sein. Es wirkt so einfach, leicht und wenig anstrengend und kann plötzlich ziemlich fordernd werden, sobald man Nebenaufgaben während der Fahrt durchführt.

Aufgrund der hohen Instabilität des Rollers an sich, wegen der kleinen Räder, des schmalen Lenkers, des relativ engen und kurzen Trittbretts und der dennoch starken Beschleunigungskräfte, des hohen möglichen Fahrtempos und „Fun-Faktors“, können bereits kleine Fahr- und Bedienungsunsicherheiten und mangelnde Routine oder Fitness, gepaart mit geringem Risikobewusstsein, rasch zum Sicherheitsproblem werden. Auch kann ein mangelndes Balancegefühl und eine falsche Tempowahl bereits ohne ablenkende Tätigkeiten oder Infrastrukturmängel zu Fahrdynamikauffälligkeiten, Stürzen oder Unfällen führen.

Schon allein die Unsicherheit bei der Selbsteinschätzung nach den absolvierten Fahrten, ob man annähernd ähnliche Rundenzeiten gefahren ist, zeigt, dass die Probanden aufgrund ihrer „Fahr-Probleme“ die Einschätzungssicherheit verloren haben könnten.

Die Probanden in der E-Tretroller-Gruppe waren sich sehr unschlüssig, man konnte keine klare Antwort geben, ob man in der Ablenkungsrunde eher „gar keine ähnliche Rundenzeit“ (0%) oder eher eine „sehr ähnliche Rundenzeit“ (100%) im Vergleich zur ungestörten Basisrunde absolvieren konnte (Gruppenmittelwert lag bei 50%).

Ebenso war die Einschätzung, ob es einem „sehr leicht“ oder „sehr schwer“ gefallen ist, ähnliche Rundenzeiten absolviert zu haben, nicht möglich. Der Mittelwert der Gruppe betrug 54% (0% bedeutete: es war sehr leicht – 100% bedeutete: sehr schwer, gleiche Rundenzeiten zu absolvieren). Im Vergleich zu den Fahrradfahrern, konnten die E-Tretrollerprobanden keine klare Tendenz, keine sichere Einschätzung hinsichtlich persönlicher Runden-Gleich-Zeit und einer Schwierigkeitsbewertung zeigen.

Befragt man die E-Tretrollerfahrer nach einer möglichen Tageszeit, in der mehr Leute abgelenkt im Straßenverkehr mit dem E-Tretroller/Fahrrad unterwegs sind – so meinten die Probanden, dass vormittags oder mittags kaum E-Tretroller-/Fahrradfahrer abgelenkt unterwegs sind. 50% der Probanden legten einen klaren Schwerpunkt auf die Nachmittagszeit, weitere 25% abends und 20% in den Nachtstunden.

Jene Probanden, die mit dem Fahrrad teilgenommen haben, sind der Meinung, dass auch vormittags abgelenkte Radler und Rollerfahrer unterwegs sind (16% stimmten dem zu), viel mehr jedoch abends abgelenkt radeln oder rollern (32%) oder sogar nachts abgelenkt unterwegs sind (26%).

Auch die E-Tretrollerprobanden sind zu einem hohen Grad (84%) der Meinung, dass man als E-Tretrollerlenker eine freiwillige Basisausbildung, eine Art kurze „Fahrradprüfung“ absolvieren sollte. (Fahrradfahrende Probanden waren zu 88% dieser Meinung).

Hinsichtlich der Auswahl an diversen störenden Fehlverhaltensarten stellte sich heraus, dass zu 100% das Missachten der roten Ampel auf Platz eins, zu 95% „ohne zu schauen über eine Kreuzung zu fahren“ auf Platz 2 und mit 89% „keine Beleuchtung bei Dunkelheit“ auf Rang 3 absolute „no-go“ Spitzenreiter bei Fahrrad- u- E-Tretrollerlenker sind. Hohe „das ist egal“-Werte zeigten sich bei „Fahrradfahren mit Anhänger“.



nger“, „ohne Helm zu fahren“, „zu schnell fahren“, oder „bei wartenden/stehenden Pkw durchzuschlängeln“.

## 5. Risikokommunikation

Eine Sensibilisierung für Gefahren jeglicher Blickabwendung, auditiver und mentaler Ablenkung vom Verkehr sollte daher bereits in der frühen Verkehrserziehung sowie einer allgemeinen Risikokommunikation erfolgen. Hier bieten digitale Medien völlig neue Gestaltungsmöglichkeiten und neue Interaktionsprozesse für Lernende und geben den Umsetzern von Mobilitätsbildungs- und Verkehrserziehungsangeboten die Möglichkeit, ohne zusätzlichen Arbeitsaufwand, Verkehrserziehung als Fernlehre während der Pandemie-Lage zu unterstützen und darüber hinaus den Verkehrsunterricht durch zusätzliche digitale Medien und Methoden zu erweitern.

Neben dem Ausdruck E-Learning existieren verschiedenste andere Ausdrücke, wie beispielsweise computerbasiertes Lernen, Onlinelernen oder multimediales Lernen. Da die Begriffsbestimmung des E-Learning noch keine allgemein anerkannte Definition erbracht hat, wird versucht, E-Learning durch verschiedene Facetten zu beschreiben: Multimedialität, Multimodalität, Multicodalität und Interaktivität. Dabei unterscheidet man zwischen zeitunabhängigen E-Learning-Einheiten (asynchron) und E-Learning-Einheiten, bei denen sich Lehrende und Lernende zur gleichen Zeit an verschiedenen Orten befinden (synchron), um eine direkte Kommunikation zu ermöglichen.

Durch E-Learning-Formate / -Aktivitäten lassen sich unterschiedliche Medien wie beispielsweise Plan-Spiele und Quiz-Anwendungen, Erklärvideos oder auch Podcasts kombinieren. Diese sind sehr flexibel sowie modular einsetzbar. Dadurch kann eine hohe Aktualität und auch eine individuelle Zusammenstellung erreicht werden. Digitale Anwendungen erlauben neue Übungsformate, können selbst ausgewertet werden und geben ein individuelles sofortiges Feedback und sollten im Idealfall auch die Kommunikation bei Rückfragen ermöglichen. Das Lerntempo kann selbst bestimmt werden und die Lerninhalte lassen sich individuell auf die eigenen Bedürfnisse zusammenstellen und anpassen. Allerdings erfordert E-Learning neben technischen Voraussetzungen vor allem ein hohes Maß an Selbstdisziplin. Die Motivation und die Kompetenz, sich selbstständig neue Inhalte anzueignen, sind für den Lernerfolg unerlässlich.

Stellt man die digitale Vermittlung der Lerninhalte der Interaktion und dem direkten Austausch des Teams bei Präsenzs Schulungen gegenüber, bieten sich gerade in der Verkehrserziehung die besten Möglichkeiten in der Kombination dieser Lernformen, das sogenannte „Blended Learning“. „Blended Learning“ verknüpft Vorteile beider Lernformen durch gemeinsames Lernen in abwechselnden E-Learning und Präsenzphasen.

Blended Learning wird am fiktiven Beispiel eines ADAC Fahrradtrainings für Kinder dargestellt: Verkehrsregeln und Verkehrszeichen können durch animierte, einfache Spiele oder Bildmaterial im Selbststudium erlernt werden.

Das Erkennen von Gefahrensituationen durch kurze Videoclips sowie das Aneignen von theoretischen Verhaltensweisen an Kreuzungen, lassen sich durch Spiele / Quizze digital vermitteln.



Bei praxisorientierten Präsenzs Schulungen können die Teilnehmenden Fahrtechniken im Schonraum mit geschultem Fachpersonal trainieren und intensivieren. Das durch E-Learning erworbene Wissen zur Risikerkennung lässt sich dann in der Praxis vertiefen und das erlernte und erworbene Wissen in der Verkehrsrealität anwenden. Blended Learning bietet dabei einen ganzheitlichen Ansatz zur Sensibilisierung sowie Stärkung der eigenen Risikokompetenz.

Ziel der Verkehrserziehung ist es, sicherheitsrelevante Verhaltensweisen zu erlernen, zu trainieren und zu intensivieren, das Gefahrenbewusstsein für jede Altersgruppe zu schulen und die Grenzen der eigenen Handlungsfähigkeit erlebbar zu machen. Hierfür können unterschiedliche Werkzeuge zum Einsatz kommen. Auch digitale Anwendungen als Möglichkeit zur Entwicklung neuer Lehr- und Lernprozesse sind denkbar.

E-Learning bietet dabei viele Vorteile und Potenziale im theoretischen Unterricht. Gerade auch im Bereich der Selbsteinschätzung. Im virtuellen Umfeld können komplexe Situationen gefahrlos simuliert werden und dabei die eigene Leistungsfähigkeit bei der Bewältigung von Aufgabenstellungen gut erfasst werden. Die Rekonstruktion der Ereignisse und das Erkennen der eigenen Grenzen bezogen auf die Wahrnehmung helfen, eine selbstkritische Reflexion zu ermöglichen. Beim Erlernen und Verbessern von Fahrtechniken / Einüben von Verhaltensweisen kommt E-Learning jedoch an seine Grenzen und stellt keinen adäquaten Ersatz zu Präsenzveranstaltungen / Trainings dar.

Daher bietet sich besonders „Blended Learning“ in der Verkehrserziehung an, denn hierbei werden die Vorteile praktischer Übungen in Präsenz mit den spezifischen Vorteilen elektronischer Medien in der Theorie verknüpft. Ziel sollte daher die Entwicklung pädagogischer Konzepte zum zielgruppen- und bedarfsge rechten Einsatz elektronischer Medien in der Verkehrserziehung sein.

Die Bedeutung der Ansprache durch die Peers in Zusammenhang mit der Risikokommunikation wird in einer Studie der Bundesanstalt für Straßenwesen (Baumann, 2019)<sup>4</sup> herausgestellt, so dass neben der Frage nach dem passenden Kommunikationskanal auch die Rolle des Senders für den Empfänger von Botschaften zu berücksichtigen gilt.

## 6. Diskussion

Das Einschätzen von Risiken bestimmt unser Verhalten nicht nur im Straßenverkehr. Das Sicherheitsbewusstsein richtet sich somit an der Wahrnehmung der eigenen Kompetenzen, den persönlichen Erlebnissen und der Fähigkeit Gefahren zu erkennen aus. Die Anzahl der tödlich Verunglückten Radfahrer ist mittlerweile zu knapp einem Drittel der Kategorie „Alleinunfall“ zuzuordnen (Destatis 2019)<sup>5</sup>. Die Ursachen dafür sind vielfältig. Übermut, der wachsende Anteil von Pedelecs, Alkoholisierung aber auch der Faktor Ablenkung sind in diesem Kontext zu nennen. Für eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr ist es daher unerlässlich, ein angemessenes „Gefahrenbewusstsein“ zu entwickeln und beizubehalten. Gerade Routinetä-

---

<sup>4</sup> Einfluss gleichaltriger Bezugspersonen (Peers) auf das Mobilitäts- und Fahrverhalten junger Fahrerinnen und Fahrer, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (292), Baumann et al., 2019

<sup>5</sup> Fachserie 8 Reihe 7 2019, Statistisches Bundesamt (Destatis), 2020; eigene Berechnung



tigkeiten verleiten dazu, sich unterfordert zu fühlen und führen zu Fehlern, die im Straßenverkehr tödliche Folgen haben können.

Das Ziel der Verkehrserziehung muss insofern sein, das Gefahrenbewusstsein für jede Altersgruppe zu schulen und die Grenzen der eigenen Handlungsfähigkeit erlebbar zu machen. Hierfür können unterschiedliche Werkzeuge zum Einsatz kommen. Auch digitale Anwendungen zur Entwicklung neuer Lehr- und Lernprozesse sind denkbar. Hierbei können unterschiedliche Medienformate kombiniert und sehr flexibel sowie modular eingesetzt werden. Dadurch kann eine hohe Aktualität und auch eine individuelle Zusammenstellung erreicht werden. Digitale Anwendungen erlauben neue Übungsformate und können selbst ausgewertet werden. Auch das Lerntempo kann selbst bestimmt werden. Solche Angebote sollten jedoch eng mit praxisorientierten Angeboten verzahnt werden und diese ergänzen. Zudem müssen digitale Angebote auch die Kommunikation bei Rückfragen ermöglichen.

Ablenkungen während einer Fahraufgabe, egal ob beim Auto-, beim Fahrrad- oder E-Tretrollerfahren gehen zu Lasten der Verkehrssicherheit, schwere Unfälle können daraus resultieren. Die Risiken sind bekannt, aber nicht allen Verkehrsteilnehmern gleich bewusst. Insofern gilt es die Risikokommunikation zu verstärken, neue Methoden in der Verkehrserziehung zu implementieren und die Bedeutung der Peers dabei zu integrieren. Der ADAC wird im Rahmen seiner Möglichkeiten hierzu seinen Beitrag leisten, heute und in der Zukunft.



---

## Potential von aktiven Sicherheitssystemen von Lkw und Transportern zur Vermeidung von Unfällen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern

Veronika Bock

Masterandin, ADAC e.V.

Isabella Ostermaier

Unfallforschung, ADAC e.V.

Michael Hutter

Unfallforschung, ADAC e.V.

Volker Sandner

Leiter Fahrzeugsicherheit, ADAC e.V.

### 1. Einleitung

Ausgehend vom Jahr 1999 reduzierten sich bis 2019 in Deutschland die Verkehrsunfälle mit Personenschaden um 24 Prozent auf 300.143 Unfälle. Gleichzeitig zeigt der Rückgang von den im Straßenverkehr Getöteten um 61 Prozent und Schwerverletzten um 40 Prozent gegenüber dem Jahr 1999 [1], dass sich die stetige Weiterentwicklung der Fahrzeug- und Verkehrssicherheit positiv auf das Unfallgeschehen auswirkt. Während jeder dritte Unfall von einem Pkw-Fahrer verursacht wird, tragen Fahrer von Güterkraftfahrzeugen (GkFz) bei lediglich 6 Prozent die Hauptschuld [2]. Jedoch nahm der Unfall für 18 Prozent der Verunglückten bei Unfällen, die durch GkFz verschuldet wurden, einen schweren bis tödlichen Verlauf. Von den 23.103 Personen, die bei diesen Unfällen beteiligt waren, wurden im Jahr 2019 insgesamt 331 Menschen getötet (11 Prozent aller Verkehrstoten) und 3.730 Menschen schwer verletzt (6 Prozent aller Schwerverletzten) [2],[3]. Unter Berücksichtigung des hohen Bestandes von rund 3,5 Mio. zugelassenen Lkw inklusive Sattelzugmaschinen und Kraftomnibussen [4], die gemeinsam 2019 eine jährliche Fahrleistung von über 91,6 Mrd. km erbrachten [5], besteht bei GkFz noch großes Potential, sowohl die Unfallfolgen zu mindern, als auch den Unfall vollständig zu vermeiden.

Deshalb hat der ADAC einige Verbraucherschutzprojekte durchgeführt, um zu untersuchen, wie die Sicherheit von GkFz mit passiven und aktiven Systemen erhöht werden könnte. Neben den passiven Sicherheitssystemen, die die Aufgabe haben, die Unfallfolgen zu reduzieren und damit die Verletzungsschwere zu senken, haben aktive Systeme das Potential, das Unfallereignis an sich zu vermeiden und die Unfallschwere zu mindern. Im Fokus der Projekte standen neben der passiven Sicherheit vor allem die Fahrerassistenzsysteme. Ein Schwerpunkt wurde auf die Transporter (Lkw bis 3,5 t zGG) gelegt, da diese 2019 allein 53 Prozent der von GkFz verschuldeten Unfälle verursachten [3]. Dabei verunglückten 25 Fußgänger und Radfahrer tödlich, 384 wurden schwer verletzt und 1959 leicht verletzt [2].

17 Prozent der Verletzten bei Unfällen mit Personenschaden, bei denen ein Lkw mit zGG bis 3,5 t beteiligt war, waren Fahrradfahrer oder Fußgänger [2]. Diese Unfälle könnten mit Hilfe eines Notbremsassistenten mit Fußgänger- und Radfahrerererkennung adressiert werden.



Neben Unfällen mit kleineren Lkw erhalten vor allem die Unfälle zwischen ungeschützten Verkehrsteilnehmern (Vulnerable Road User - VRU) und schweren Lkw besondere Aufmerksamkeit, da diese häufig tödlich für die VRU enden. Im Jahr 2019 starben 78 Fahrradfahrer und Fußgänger bei Verkehrsunfällen, bei denen ein Lkw mit einem zGG größer als 3,5 t, eine Sattelzugmaschine oder ein Bus hauptverantwortlich war. Schwerverletzt wurden außerdem 401 Menschen und weitere 1418 wurden leicht verletzt [2]. Für beteiligte VRU kann das hohe Fahrzeuggewicht der Güterkraftfahrzeuge und die bauformbedingte eingeschränkte Sicht der Lkw-Fahrer im Nahbereich besonders gefährlich werden. Ein Drittel aller vom Lkw verursachten Unfälle sind laut der Unfallforschung der Versicherer (UDV) Abbiegeunfälle, bei denen der Lkw-Fahrer einen Radfahrer oder Fußgänger im Toten Winkel seines Fahrzeugs übersieht [6]. Ein Abbiegeassistent, der den Fahrer auf eine mögliche Kollision hinweist, könnte diese Art von Unfällen verhindern oder deren Folgen minimieren.

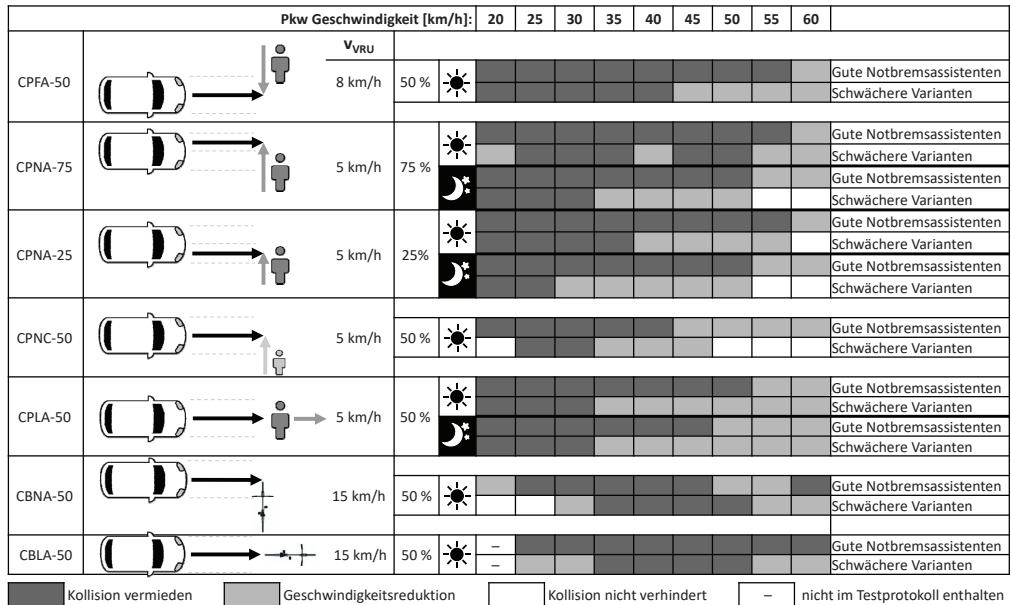
Um zu untersuchen, welche der derzeit auf dem Markt angebotenen Lkw-Abbiegeassistenten den Lkw-Fahrer am besten bei seiner Fahraufgabe unterstützen können, führte der ADAC in den letzten Jahren weitere Verbraucherschutzprojekte durch. Die Aufgabe der Projekte lag darin, die Wirksamkeit von Abbiegeassistenzsystemen zur Unfallvermeidung zu ermitteln. Als Folge dessen wurde ein Testumfang auf Basis der Vorgaben der UNECE-Richtlinie 151 entwickelt [15], um das reale Unfallgeschehen abzubilden und die Funktionalität von Abbiegesystemen zu überprüfen.

## 2. Vergleich der Notbremsassistenten für Lkw bis 3,5 t und Pkw

Aufgrund des hohen Unfallvermeidungspotentials eines Notbremsassistenten (Autonomous Emergency Breaking System – AEBS) wird dieser ab Mitte 2022 im Zuge der General Safety Regulation (GSR) für alle neuen Lkw-Modelle bis 3,5 t zGG verpflichtend. Ab 2024 müssen die Notbremsassistenten laut GSR Kollisionen im Längsverkehr mit Fußgängern und Radfahrern vermeiden können. [9] Im Rahmen des Euro NCAP Verbraucherschutzprogramms werden neue Pkw-Modelle hinsichtlich ihrer Fahrzeugsicherheit bewertet, um durch eine sukzessive Anpassung der Anforderungen an den Stand der Technik die Sicherheit im Straßenverkehr für den Verbraucher zu erhöhen. Bereits seit 2016 beinhalten die Euro NCAP Protokolle für Pkw eine Beurteilung der serienmäßig verbauten Notbremsassistenten mit Fußgänger- und Radfahrererkennung sowohl im Längsverkehr als auch im kreuzenden Verkehr [8]. Während für Lkw über 8 t Notbremsassistenzsysteme für die Zulassung seit November 2018 verbindlich vorgeschrieben sind, gibt es derzeit für Transporter keine Regulierung zum verpflichtenden Verbau von Notbremsassistenten oder anderen sicherheitsrelevanten Fahrerassistenzsystemen. 2020 hat der ADAC als Folge daraus ein Verbraucherschutzprojekt durchgeführt, mit Hilfe dessen die Unfallvermeidung von Notbremsassistenten, welche heute schon in Transportern verfügbar sind, eruiert werden soll. Um die Testergebnisse des Projektes mit der Performance von Notbremsassistenten, die derzeit in Pkw serienmäßig verbaut werden, vergleichen zu können, werden in einem ersten Schritt die Ergebnisse der Euro NCAP-Bewertungen aus dem Jahre 2019 vorgestellt. Abbildung 1 zeigt, welche Testszenarien der AEB-Tests mit Fußgänger und Radfahrererkennung durchschnittlich von gut (Erfüllungsgrad: 95 Prozent) und weniger gut (Erfüllungsgrad: 37 Prozent) bewerteten Notbremsassistenten bewältigt werden konnten. Es wird deutlich, dass gut bewertete AEB-Systeme



bei Tageslicht im Geschwindigkeitsbereich von 20 km/h bis 60 km/h fast alle Kollisionen mit einem Erwachsenen Fußgänger oder Radfahrer vermeiden können. Bei Dunkelheit können die Systeme die Kollision zwar nicht in allen Testfällen verhindern, aber die Kollisionsgeschwindigkeit deutlich reduzieren und damit die Unfallschwere mindern.



**Abbildung 1: Vergleich der Euro NCAP Ergebnisse der Notbremsassistenten mit Fußgänger- und Radfahrererkennung zwischen Systemen mit guter und schwächerer Performance aus dem Jahr 2019**

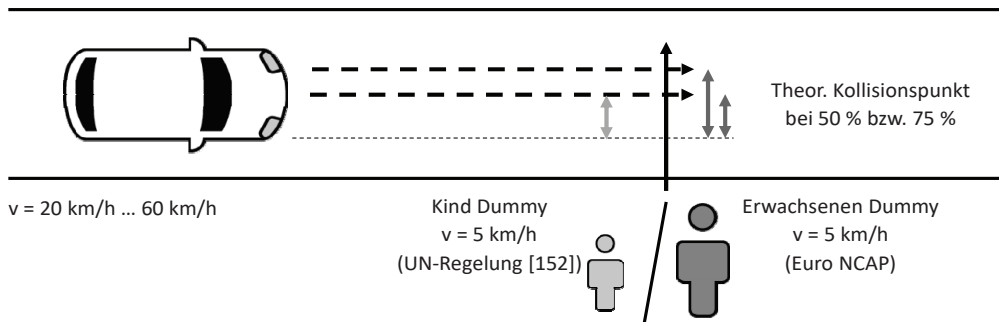
Auffällig ist, dass selbst die besseren Systeme Schwierigkeiten haben ein von rechts die Straße querendes Kind rechtzeitig zu erkennen. Während diejenigen Fahrzeuge, die die Euro NCAP Tests weniger gut abgeschlossen haben, Kollisionen mit querenden Fußgängern bei Tageslicht teilweise noch vermeiden können, nimmt die Erkennung bei Dunkelheit rapide ab. So kann z.B. ein Zusammenstoß mit einem von rechts die Straße überquerenden Fußgänger mit geringer Überdeckung bei 30 km/h nicht mehr verhindert werden. Auch wenn die Notbremsassistenten von Pkw nicht in allen Testfällen eine Kollision mit einem VRU verhindern können, so erkennen die Systeme mit einer guten Performance bei allen Testfällen den Fußgänger oder Radfahrer als solchen und reduzieren die Aufprallgeschwindigkeit und somit auch die Verletzungsschwere.

Im Rahmen des ADAC Verbraucherschutzprojektes „Transporterunfälle“ wurde getestet, ob das im Testfahrzeug verbaute Notbremsassistentensystem bei unterschiedlichen Testgeschwindigkeiten einen kreuzenden Fußgänger sowie einen vorausfahrenden Radfahrer rechtzeitig erkennt und eine Notbremsung einleiten kann. Diese Tests wurden sowohl im vollbeladenen Zustand als auch bei einem Testgewicht durchgeführt, welches das Leergewicht des Fahrzeugs plus das Gewicht des Fahrers und der Messtechnik beinhaltet. Mittels eines Wassertanks auf der Ladefläche des Transporters wurde das maximal zulässige Gesamtge-



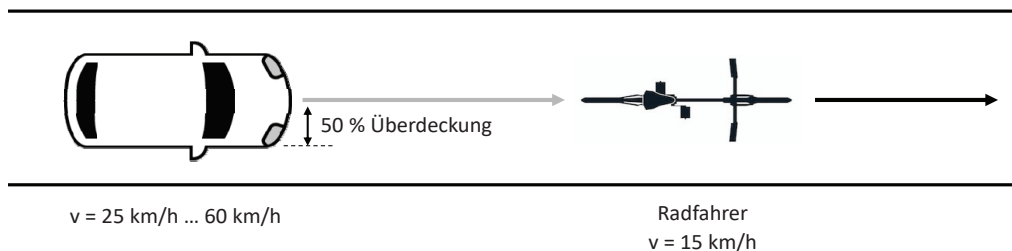
wicht von 3.500 kg erreicht. Die Grundlage des Testumfangs waren die zukünftigen gesetzlichen Vorgaben der UNECE-Regelung Nr. 152 und zusätzlich ausgewählte Tests aus dem Euro NCAP Protokoll für Pkw.

Entsprechend der UN-Regelung fährt der Transporter auf einen von rechts nach links mit 5 km/h die Straße querenden Fußgänger zu (vgl. Abbildung 2). In diesem Testszenario wird ein Dummy verwendet, der ein sieben Jahre altes Kind repräsentiert. Die Trajektorien des Fahrzeugs und des Dummys treffen sich bei 50 Prozent der Fahrzeugbreite. Die Testgeschwindigkeit des Fahrzeugs liegt zwischen 20 km/h und 60 km/h, wobei im voll beladenen Zustand eine Kollision bis zu einer Geschwindigkeit von 40 km/h vermieden werden muss. Entspricht der Beladungszustand dem Testgewicht muss das AEB-System das Testfahrzeug auch bei einer Geschwindigkeit von 42 km/h bis in den Stillstand verzögern, ohne mit dem Dummy zu kollidieren.



**Abbildung 2: Testszenario für Notbremsassistenten mit Fußgängererkennung nach Euro NCAP und der UNECE-Regelung Nr. 152**

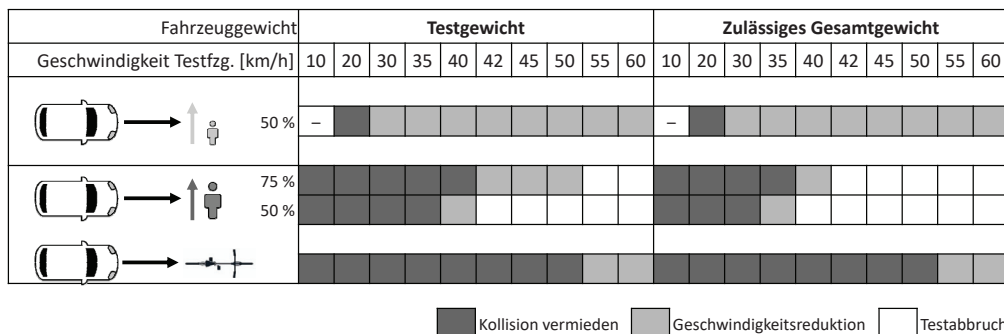
In den Euro NCAP Tests wird ein Dummy, welcher einen Erwachsenen abbildet, eingesetzt. Dieser überquert die Straße von rechts nach links mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h und trifft bei einer lateralen Überdeckung von 50 Prozent bzw. 75 Prozent auf das Testfahrzeug. Zusätzlich zum querenden Fußgänger beinhaltet das Euro NCAP Protokoll auch ein Testszenario mit einem Radfahrenden. Wie in Abbildung 3 ersichtlich fährt der Radfahrer mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h in Flucht mit der Fahrzeuglängsachse. Das Testfahrzeug nähert sich im Geschwindigkeitsbereich von 25 km/h bis 60 km/h dem Radfahrer an, wobei das AEB-System den Radfahrer detektieren und eine Kollision verhindern soll. Im Gegensatz zur UN-Regelung wird im Euro NCAP Verbraucherschutzprogramm der Beladungszustand des getesteten Fahrzeugs nicht variiert, sondern wird während der Versuche konstant auf dem definierten Testgewicht gehalten.



**Abbildung 3: Testszenario für Notbremsassistenten zur Erkennung vorausfahrender Radfahrer nach Euro NCAP**



Die Ergebnisse des getesteten Transporter-Notbremsassistenten zur Vermeidung von Kollisionen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern sind in Abbildung 4 zusammengefasst. Das Assistenzsystem kann Kollisionen mit einem Radfahrer, der in Fahrtrichtung fährt, zuverlässig bis zu einer Fahrzeuggeschwindigkeit von 50 km/h verhindern. Bei 55 km/h und 60 km/h wird zwar die Fahrzeuggeschwindigkeit reduziert, jedoch kann ein Zusammenprall nicht vermieden werden. Zudem zeigt ein Vergleich des Beladungszustandes, dass der Transporter im vollbeladenen Zustand bereits bei geringeren Geschwindigkeiten keine rechtzeitige Bremsung mehr veranlassen kann. Bei der Erkennung eines kreuzenden Fußgängers werden im Vergleich zu den Ergebnissen der Pkw-Tests (Abbildung 1) Performanceunterschiede deutlich. Bei den Tests der Assistenzsysteme für Pkw wurde bereits ersichtlich, dass die Notbremsassistenten ein von rechts die Straße überquerendes Kind nicht bei allen Testgeschwindigkeiten rechtzeitig erkennen können. Das im Transporter verbaute Notbremssystem konnte dagegen lediglich eine Kollision bei 20 km/h verhindern, bei allen höheren Geschwindigkeiten konnte nur die Aufprallgeschwindigkeit verringert werden. Die weiteren Testergebnisse lassen sich mit den Leistungen eines weniger gut bewerteten Notbremsassistenten für Pkw vergleichen.



**Abbildung 4: Ergebnisübersicht der Transporter-Tests von Notbremsassistenten zur Erkennung von VRU über die Testgeschwindigkeit**

Das Projekt „Transporterunfälle“ hat aufgezeigt, dass die in Transportern verbauten Notbremsassistenten vor allem im vollbeladenen Zustand Defizite aufweisen.

Neben dem ADAC-Projekt führte Euro NCAP 2020 ein groß angelegtes Verbraucherschutzprojekt durch, um die aktive und passive Sicherheit von Transportern zu untersuchen. Im Rahmen dieses Projektes wurden 19 Transporter-Modelle, die knapp 98 Prozent der 2019 in Europa verkauften Fahrzeuge dieser Klasse abdecken [9], auch hinsichtlich der Funktionalität ihrer Notbremsassistenten mit Fußgänger- und Radfahrererkennung auf Basis des Euro NCAP Protokolls beurteilt. Im Gegensatz zur Euro NCAP Bewertung von Pkws, bei der die geringste Sicherheitsausstattung betrachtet wird, wurde bei den Transportern die höchste Sicherheitsausstattung, die in einem europäischen Land gegen Aufpreis erhältlich ist, abgeprüft. Die 19 getesteten Modelle von Lkw bis 3,5 t sowie die Testergebnisse deren Notbremsassistenten zur Fußgänger- und Radfahrererkennung kann der Tabelle 1 entnommen werden.



**Tabelle 1: Ergebnisübersicht der Notbremsassistenten zur Fußgänger- und Radfahrererkennung des Euro NCAP Projekts zur Sicherheit von Transportern**

Marke & Model	Zulässiges Gesamtgewicht	AEB - Fußgänger	AEB - Radfahrer
Volkswagen Transporter T6	3,0 t	73%	82%
Ford Transit	3,5 t	90%	86%
Mercedes-Benz Vito	3,0 t	53%	76%
Ford Transit Custom	2,9 t	82%	29%
Mercedes-Benz Sprinter	3,5 t	56%	85%
Peugeot Expert	3,1 t	48%	-
Volkswagen Crafter	3,5 t	-	-
Opel Vivaro	3,1 t	44%	-
Citroën Jumpy	3,1 t	48%	-
Toyota PROACE	3,1 t	41%	-
Peugeot Boxer	3,5 t	-	-
Citroën Jumper	3,5 t	-	-
Iveco Daily	3,5 t	-	-
FIAT Ducato	3,5 t	-	-
Renault Master	3,5 t	-	-
Nissan NV400	3,5 t	-	-
Renault Trafic	2,8 t	-	-
Opel Movano	3,5 t	-	-
FIAT Talento	2,8 t	-	-

Im Gegensatz zu anderen Fahrerassistenzsystemen (z.B. Spurhalteassistent und Notbremsassistent auf Fahrzeuge) sind Notbremsassistenten mit Fußgängererkennung bei weniger als der Hälfte der getesteten Transporter (gegen Aufpreis) erhältlich. Die Verfügbarkeit unterscheidet sich zusätzlich noch je nach Verkaufsland. Über einen Notbremsassistenten zur Erkennung von Radfahrern verfügen lediglich ein Viertel der Lkw bis 3,5 t bei maximaler Sicherheitsausstattung. Bei denjenigen Transportern, die sowohl einen Notbremsassistenten mit Fußgängererkennung als auch einen mit Fahrraderkennung enthalten, sind die Qualitätsunterschiede sehr hoch. So kann beispielsweise der Ford Transit in den Tests nahezu alle Kollisionen mit ungeschützten Verkehrsteilnehmern vermeiden, während der Opel Vivaro nicht einmal die Hälfte der Testszenarien mit einem querenden Fußgänger erfolgreich meistern kann. Zudem ist die Leistungsfähigkeit einzelner Systeme, die in einem Transporter verbaut sind, sehr divergent. Der Ford Transit Custom erreicht z.B. bei den Fußgänger AEB-Tests 82 Prozent, bei den Fahrrad AEB-Tests dagegen nur 29 Prozent. Am zuverlässigsten waren die Notbremsassistenten dennoch beim Ford Transit, sie konnten 90 Prozent der abgeprüften Fußgänger-Szenarien und 86 Prozent der getesteten Radfahrer-Szenarien erfolgreich bewältigen.

Obwohl die Bewertung von neuen Pkw nach Euro NCAP mit der serienmäßig verbauten Sicherheitsausstattung durchgeführt wird und nicht, wie bei den Transportern, mit der höchsten Ausstattungsvariante, schnitten die meisten AEB-Systeme zur Fußgänger- und Radfahrererkennung von Transporter sehr viel schlechter ab. Ein Grund dafür ist die Anbringung der Sensoren an der Windschutzscheibe, die bei einem Transporter geometrisch bedingt höher ist. Dadurch verändert sich der Öffnungswinkel und der Bereich vor dem Fahr-

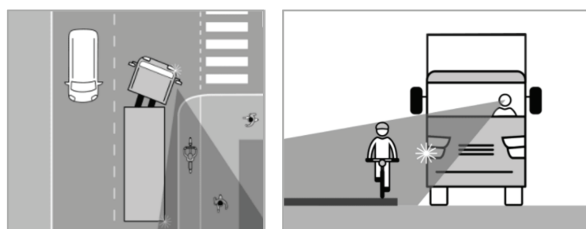


zeug ist schlechter einsehbar als bei einem Pkw. Besonders im vollbeladenen Zustand kamen die Notbremsassistenten nicht mehr rechtzeitig zum Stillstand. Neben dem Fahrzeugzustand werden auch bei Pkw keine Umwelteinflüsse wie Schnee oder Glätte betrachtet, die das Bremsen zusätzlich beeinflussen. Einige wenige Notbremsysteme für Lkw bis 3,5t (z.B. Ford Transit) belegen jedoch, dass es möglich ist, den Fahrern von Transportern leistungsfähige Notbremsassistenten zur Verfügung zu stellen.

Die Projekte des ADAC und Euro NCAP aus dem Jahr 2020 zeigen, dass bereits heute zuverlässige Notbremsassistenten zur Erkennung von ungeschützten Verkehrsteilnehmern auf dem Markt verfügbar sind. Auch wenn der Wirkungsbereich der Systeme noch ausbaufähig ist, sollten diese vor der verpflichtenden Ausstattung ab 2024 in heutigen Transportern verbaut werden. In Hinblick auf die zunehmende Nachfrage nach Lieferdiensten kann so der Verkehr in Städten für alle Verkehrsteilnehmer sicherer gemacht werden.

### 3. Lkw-Abbiegeassistent

Abbiegeassistenzsysteme für Gkfv sollen primär Lkw- und Bus-Fahrer dabei unterstützen, den nicht einsehbaren rechten Bereich, den sogenannten Toten Winkel, ihres Fahrzeugs zu überwachen (vgl. Abbildung 5). Sobald sich ein ungeschützter Verkehrsteilnehmer in diesem Gefahrenbereich befindet, erhält der Fahrer vom Abbiegeassistenten eine Information (respektive in kritischen Situationen eine Warnung) und kann daraufhin eine Bremsung einleiten, die dadurch einen schweren bis tödlichen Unfall vermeidet. In Zukunft wird dieser Bremsvorgang zusätzlich durch einen Notbremsassistenten übernommen werden können.



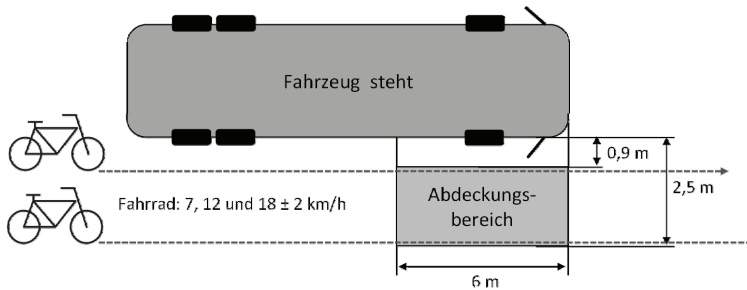
**Abbildung 5: Wirkbereich eines Lkw-Abbiegeassistenten zum Schutz von VRU**

Obwohl der Tote Winkel von Nutzfahrzeugen ein hohes Unfallpotential für ungeschützte Verkehrsteilnehmer darstellt, besteht derzeit keine verpflichtende Ausstattung von Lkw/Bussen mit Abbiegeassistenzsystemen. Auf europäischer Ebene müssen jedoch ab 2022 alle neuen Fahrzeugtypen und ab 2024 alle neu zugelassenen Lkw über einen Abbiegeassistenten verfügen, welcher die Anforderungen der UNECE-Regelung Nr. 151 entspricht. Da diese Ausstattungs Vorschrift nur für neue Fahrzeuge gilt, unterstützt das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) die Nachrüstung von Bestandsfahrzeugen mit Lkw-Abbiegeassistenten finanziell. Damit ein auf dem Markt verfügbares Abbiegeassistenzsystem förderfähig entsprechend den Anforderungen des BMVI ist, muss es über eine Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) verfügen.

Die Anforderungen für eine ABE beinhalten neben statischen Tests auch einen Falsch-Positiv-Test. Bei ersteren steht der Lkw, während der Fahrradfahrer mit jeweils drei verschiedenen Geschwindigkeiten und Abständen durch den vorgegebenen Abdeckungsbereich fährt (Abbildung 6). Die Testfälle gelten als be-

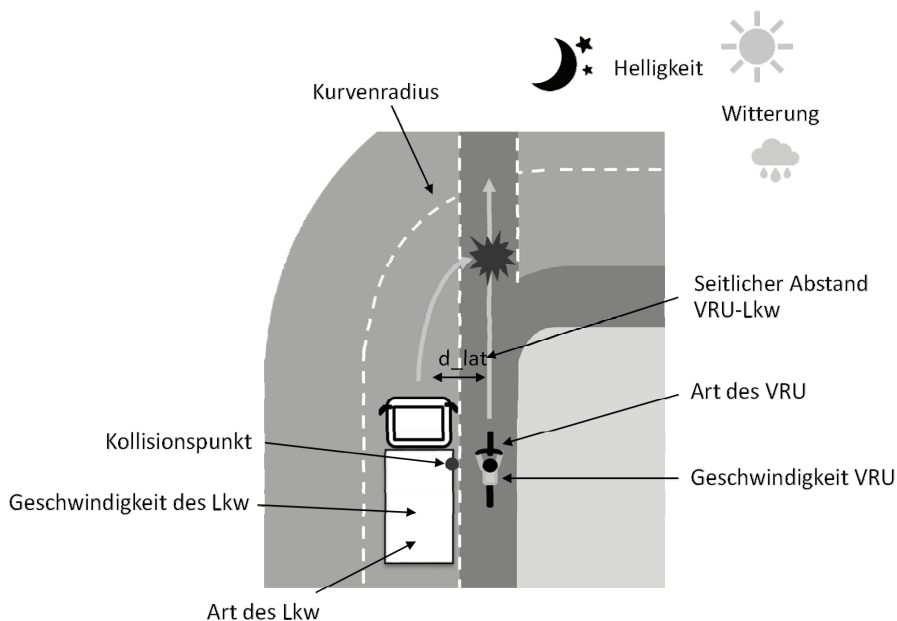


standen, wenn der Lkw-Fahrer eine Signalisierung erhält, sobald sich ein VRU im Abdeckungsbereich befindet. Beim Falsch-Positiv-Test fährt der Lkw durch einen Korridor aus Verkehrsleitkegel und darf weder auf die Leitkegel noch auf ein aufgestelltes Geschwindigkeitsbegrenzungs-Schild warnen [10]. Dadurch soll gewährleistet werden, dass der Lkw-Fahrer nur gezielt bei einer Gefahr informiert beziehungsweise gewarnt wird.



**Abbildung 6: Abdeckungsbereich des Abbiegeassistenzsystems nach den Vorgaben des BMVI [10]**

Der ADAC testete bereits Anfang 2019 einige auf dem Markt verfügbare Nachrüstsysteme [11]. Bei dem Projekt wurde deutlich, dass einige Systeme, die eine ABE erhalten haben, bereits einen größeren Wirkbereich haben und damit das Schutzzpotential von VRU erhöhen. Als Folge dessen wurde ein Testumfang für nachrüstbare Systeme aufbauend auf den Vorgaben der UNECE-Regelung Nr. 151 entwickelt. Mithilfe dieser Tests, die das spezifische Unfallgeschehen von Lkw-Abbiegeunfällen im realen Straßenverkehr abbilden, soll das Unfallvermeidungspotential aktuell auf dem Markt verfügbarer Abbiegeassistenten geprüft werden. Hierbei bewegt sich ein ungeschützter Verkehrsteilnehmer mit konstanter Geschwindigkeit auf einem Fußgänger- oder Radweg. Währenddessen fährt ein Lkw parallel dazu, bis dieser rechts abbiegen möchte. Als Folge kreuzen sich die Trajektorien von VRU und Lkw sowohl räumlich als auch zeitlich und es kommt zu einer Kollision. In Abbildung 7 sind alle Parameter der Verkehrsteilnehmer, Infrastruktur und Umwelt, die einen Einfluss auf das beschriebene Unfallgeschehen haben können, dargestellt.



**Abbildung 7: Einflussfaktoren auf das Unfallszenario "Lkw-Abbiegeunfall"**

Auf Basis des realen Unfallgeschehens unterteilt sich der erarbeitete Testumfang in fünf Tests:

- Statische Tests
- Dynamische Tests
- Überprüfung des Warnsignals
- Falsch-Positiv-Tests im realen Straßenverkehr
- Tests zur Fehlererkennung im System

Mithilfe von **statischen Tests** soll überprüft werden, welche ungeschützten Verkehrsteilnehmer der Abbiegeassistent erkennt (vgl. Abbildung 8). Besonders bei klassifizierenden Systemen, die zwischen einem statischen Objekt (z.B. einem Werbeplakat) und einem VRU unterscheiden können, soll überprüft werden, ob auch VRU mit einem anderen Bewegungsmuster als ein Radfahrer detektiert werden können. Bei einem Inliner oder E-Scooter, mit linearer Bewegung, fehlt z.B. das typische Bewegungsmuster als Erkennungsmerkmal. Ebenso kann die Beinbewegung eines Fußgängers mit Kinderwagen von der Sensorik nicht von allen Richtungen eingesehen werden, weshalb anhand der Tests überprüft werden soll, ob der Fahrer früh genug durch das System informiert wird. Zudem sollte ein zuverlässiger Abbiegeassistent auch eine Kollision mit dem voraus geschobenen Kinderwagen verhindern. Bei einem Rollstuhlfahrer könnte zusätzlich die sitzende Position die Erkennung erschweren. Übliche Bewegungsgeschwindigkeiten der einzelnen VRU wurden anhand einer Literaturrecherche ermittelt (Abbildung 8).



**Abbildung 8: Merkmalsausprägungen der ungeschützten Verkehrsteilnehmer bei den Lkw-Abbiegeassistentzests**

Aus der Kombination der Verkehrsteilnehmer, ihren Geschwindigkeiten und zwei unterschiedlichen seitlichen Abständen zum Lkw resultiert eine Testmatrix, die auszugsweise in Tabelle 2 dargestellt ist.

**Tabelle 2: Auszug aus dem Testumfang der statischen Tests des Lkw-Abbiegeassistenten zur Überprüfung der rechtzeitigen Erkennung unterschiedlicher ungeschützter Verkehrsteilnehmer**

Test-Nr.	$v_{LKW}$ [km/h]	Art VRU	$v_{VRU}$ [km/h]	$d_{lat}$ [m]	LPI [m]	Blinker
1.3.1	0	Fahrrad	18,5	1	-7,19	mit
1.3.2	0	Fahrrad	18,5	1	-7,19	ohne
1.3.3	0	Fahrrad	18,5	4,25	-7,19	mit
1.3.4	0	Fahrrad	18,5	4,25	-7,19	ohne
...	...	...	...	...	...	...
1.6.1	0	Fußgänger	5	1	-1,94	mit
1.6.2	0	Fußgänger	5	1	-1,94	ohne
1.6.3	0	Fußgänger	5	4,25	-1,94	mit
1.6.4	0	Fußgänger	5	4,25	-1,94	ohne
...	...	...	...	...	...	...
1.10.1	0	E-Scooter	20	1	-7,78	mit
1.10.2	0	E-Scooter	20	1	-7,78	ohne
1.10.3	0	E-Scooter	20	4,25	-7,78	mit
1.10.4	0	E-Scooter	20	4,25	-7,78	ohne

Während mit den statischen Tests überprüft wird, welche Arten von VRU das Assistenzsystem erkennen kann, soll mit Hilfe der **dynamischen Tests** untersucht werden, ob das System dies auch bei unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten bewältigen kann. Die dynamischen Tests werden ausschließlich mit einem Fahrradfahrer durchgeführt, um den Testumfang zu reduzieren und da Unfälle mit höheren VRU-Geschwindigkeiten häufig schwerer ausfallen aufgrund des zusätzlichen Bremswegs des Fahrradfahrers. Zusätzlich decken die Radfahrerszenarien stellvertretend den gesamten Geschwindigkeitsbereich von 7 km/h bis 30 km/h ab. Im Versuchsaufbau fahren sowohl das Testfahrzeug als auch der Radfahrer gera-

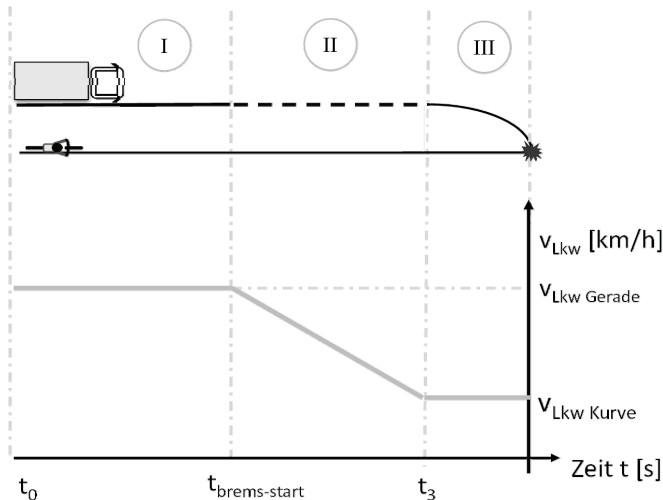




deaus auf zueinander parallelen Trajektorien mit konstanter Geschwindigkeit. Die Geschwindigkeiten des Testfahrzeugs und des Radfahrers sowie der laterale Abstand zwischen den Trajektorien wird variiert. Es wird dabei ausschließlich überprüft, ob die Information rechtzeitig erhalten wird.

Für die Erstellung eines Testumfangs für die dynamischen Szenarien lag die Aufgabe darin, die möglichen Einflussparameter auf das Unfallszenario zu identifizieren, zu bestimmen und zu variieren. Für die Bewertung jedes einzelnen Testszenarios wird der späteste Zeitpunkt für eine rechtzeitige Information (Last Point Of Information – LPI) ermittelt. Für die Berechnung des LPI wurde die Kurvenfahrt eines Lkw vereinfacht, indem z.B. das Ausscheren des Lkw in gegenläufige Richtung vor dem Abbiegevorgang nicht berücksichtigt wird. Der Abbiegevorgang und der Geschwindigkeitsverlauf des Lkw wurden in drei Abschnitte unterteilt (Abbildung 9).

Es wurde angenommen, dass der Lkw mit einer konstanten Geschwindigkeit auf die Kurve zu fährt, im Anschluss mit einer konstanten Verzögerung abbremst, um dann mit einer konstanten Geschwindigkeit um die Kurve zu fahren. Zum Zeitpunkt  $t = 0$  findet die Kollision statt.



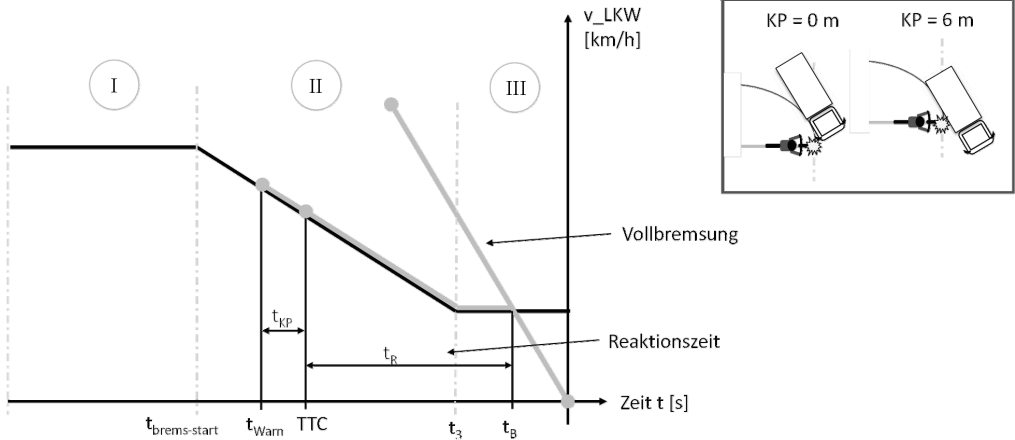
**Abbildung 9: Modellierung der Lkw-Trajektorie beim Abbiegeunfall anhand von drei Abschnitten**

Da 2019 alle Abbiegeunfälle, bei denen ein VRU durch Fehlverhalten eines Gkfs schwer bis tödlich verletzt wurde, im innerstädtischen Bereich stattfanden [3], wurde die Ausgangsgeschwindigkeit des Lkw (Abschnitt I) auf folgende Geschwindigkeiten festgesetzt: 30 km/h, 40 km/h und 50 km/h. Anhand von 74 Kurvenfahrten mit sechs unterschiedlichen Lkw, deren zulässiges Gesamtgewicht 7,5 t bzw. 40 t betrug, wurden durchschnittliche konstante Lkw-Kurvengeschwindigkeiten ermittelt. Die Lkw durchfuhren dabei 13 verschiedene Kreuzungen mit Kurvenradien zwischen 8 m und 23 m. Die dabei gewonnenen Daten bilden die Basis zur Auslegung der Lkw-Geschwindigkeit in Abschnitt III. Dazwischen wird in Abschnitt II eine konstante Verzögerung angenommen, um von der Ausgangsgeschwindigkeit auf die Kurvengeschwindigkeit abzubremesen.



Der gesamte Weg, den beide Verkehrsteilnehmer bis zur Kollision zurücklegen, ist nicht nur von der Fahrgeschwindigkeit, sondern auch vom Kurvenradius und dem seitlichen Abstand zwischen VRU und Lkw abhängig. Ausgehend von den baurechtlichen Vorgaben der Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen [12] und den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen [13] wurden die Kurvenradien und der laterale Abstand zwischen Lkw und Radfahrer festgelegt: Anhand von zwei verschiedenen Abständen zwischen den beiden Verkehrsteilnehmern soll so überprüft, ob das System sowohl im Nahbereich (1 m) als auch bei größerer Entfernung (6 m) den ungeschützten Verkehrsteilnehmer rechtzeitig detektieren kann. Befinden sich beispielsweise zwischen Radweg und Lkw-Fahrspur Schrägparklücken für Pkw, liegt der laterale Abstand zwischen Fahrradfahrer und Lkw bei 6 m. Zudem kann in einem nächsten Schritt anhand dieser Testkonfiguration auch abgeprüft werden, ob der Abbiegeassistent trotz Sichtverdeckung durch parkende Fahrzeuge den VRU erkennen kann. Um den LPI zu bestimmen, wurde ausgehend von der Kollision eine Rückwärts-Simulation durchgeführt. Um einen Zusammenstoß mit dem Radfahrenden vermeiden zu können, wird davon ausgegangen, dass der Lkw mit maximaler Verzögerung bis zum Stillstand abbremst. Zusätzlich zur Vollbremszeit  $t_b$  gilt es die Reaktionszeit (inkl. Bremsschwellzeit)  $t_r$  zu berücksichtigen, die der Lkw-Fahrer benötigt, um die Gefahrensituation als solche zu identifizieren und die Bremse zu betätigen. Aufbauend auf der Abbildung 9 wurden die Größen  $t_b$  und  $t_r$  in Abbildung 10 dargestellt. Für die Reaktionszeit wurden 2,2 s festgelegt, wobei davon eine Sekunde dafür dient, dem Fahrer die Möglichkeit zu geben, das Informationssignal zu überprüfen. Die Zeit bis zur Kollision (Time To Collision – TTC) berechnet sich aus der Addition der Reaktionszeit und der Bremszeit des Lkw bis zum Stillstand.

Des Weiteren zeigen reale Abbiegeunfälle, dass der VRU nicht ausschließlich direkt an der Front, sondern auch im hinteren rechten Bereich des Lkw mit diesem kollidieren. Am häufigsten befindet sich der Kollisionspunkt 0 - 6 m hinter der Lkw-Front [14]. Die benötigte Zeit  $t_{kp}$ , damit der Lkw entsprechend früher zum Stillstand kommt, wird auf Basis des Weges berechnet, der bei einem Kollisionspunkt größer als 0 m zurückgelegt wird. Bei der Berechnung des Zeitpunkts der Warnung  $t_{Warn}$ , an welchem der Lkw-Fahrer spätestens eine Signalisierung erhalten muss, um eine Kollision zu verhindern, gilt es daher auch die Zeit  $t_{kp}$  zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 10).



**Abbildung 10: Bestimmung des Warnzeitpunkts unter Berücksichtigung der Bremszeit, Reaktionszeit und des Kollisionspunkts**

Eine Kombination aus den zuvor vorgestellten Parametern, die einen Einfluss auf das Abbiegeszenario haben, ergibt eine umfangreiche Liste an Testszenarien. Mit unterschiedlichen Filtern wurde diese Liste an Szenarien reduziert und 13 Testkonfigurationen ausgewählt, von denen drei mit einer Sichtverdeckung wiederholt werden. Außerdem wird jede Variante einmal mit und einmal ohne eingeschaltetem Richtungsanzeiger geprüft. Der angegebene Kurvenradius und Kollisionspunkt wurden für die Berechnung der Lkw-Testgeschwindigkeit und die Bestimmung des LPI benötigt. Ein negativer LPI liegt hinter der Fahrzeugfront und ein positiver LPI vor der Front des Lkw. Einen Auszug der entstandenen Testmatrix zeigt Tabelle 3.

**Tabelle 3: Auszug aus der Testmatrix der dynamischen Versuche des Lkw-Abbiegeassistenten**

Test-Nr.	$v_{LKW}$ [km/h]	$v_{Fahrad}$ [km/h]	$d_{lat}$ [m]	Kurvenradius	Kollisionspunkt	Sichtverdeckung	LPI [m]	Blinker
2.1.9	30	18,5	1	15	6	-	2,7	mit
2.1.10	30	18,5	1	15	6	-	2,7	ohne
2.1.11	12,2 (12)	30	1	22	0	-	-14,46	mit
2.1.12	12,2 (12)	30	1	22	0	-	-14,46	ohne
...	...	...	...	...	...	...	...	...
2.2.7	28	12	6	8	6	mit	2,5	mit
2.2.8	28	12	6	8	6	mit	2,5	ohne
2.2.9	10	18,5	6	15	3	-	-10,55	mit
2.2.10	10	18,5	6	15	3	-	-10,55	ohne
2.2.11	10	18,5	6	15	3	mit	-10,55	mit
2.2.12	10	18,5	6	15	3	mit	-10,55	ohne
2.2.13	17,9 (18,5)	18,5	6	8	0	-	-5,41	mit
2.2.14	17,9 (18,5)	18,5	6	8	0	-	-5,41	ohne
2.2.15	17,9 (18,5)	18,5	6	8	0	mit	-5,41	mit
2.2.16	17,9 (18,5)	18,5	6	8	0	mit	-5,41	ohne

Im Fokus der dynamischen Tests steht ein Informationssignal, welches den Lkw-Fahrer darauf aufmerksam macht, dass sich ein ungeschützter Verkehrsteilnehmer im Toten Winkel befindet. Entsprechend der



UNECE-Regelung Nr. 151 müssen die Lkw-Abbiegeassistenten zudem über ein Warnsignal verfügen, welches hinsichtlich seiner Signalgebung klar vom Informationssignal unterschieden werden kann. Im Gegensatz zum Informationssignal soll das Warnsignal nur ausgegeben werden, wenn eine potenzielle Kollision z.B. aufgrund sich schneidender Trajektorien von VRU und Lkw bevorsteht. [15]

Um das **Warnsignal** abzu prüfen, werden 24 Testszenarien durchlaufen, bei denen die Trajektorien des Lkws und des Radfahrenden nicht parallel verlaufen, sondern sich in Folge eines Abbiegevorgangs des Lkws kreuzen. Im Nachgang kann bewertet werden, ob das Lkw-Abbiegeassistenzsysteme lediglich informiert oder gewarnt hat und ob die Warnung rechtzeitig erfolgt ist. Innerhalb der Testszenarien wird die Fahrgeschwindigkeit des Lkws und des Fahrrads, der Kollisionspunkt sowie der laterale Abstand zwischen den beiden Fahrspuren variiert. Die ersten Tests zur Überprüfung des Warnsignals zeigten, dass die Aktivierung einer Warnung lediglich an einen bestimmten Lenkwinkel bzw. an einen aktiven Richtungsanzeiger gekoppelt wird. Bei der Triggerung einer Warnung in Bezug auf einen bestimmten Lenkwinkel erfolgt diese zu spät, da sich dann der Lkw schon im Abbiegevorgang befindet. Im anderen Fall erhält der Lkw-Fahrer keine Warnung, wenn er den Abbiegevorgang ohne aktivierten Richtungsanzeiger durchführt.

Neben den unterschiedlichen Szenarien auf der Teststrecke wird mit jedem Abbiegeassistenten auch eine **Fahrt im realen Straßenverkehr** auf einer vorausgewählten Route absolviert. Im Fokus dieser Fahrt steht die Überprüfung, ob das Abbiegeassistenzsystem fälschlicherweise auf statische Objekte (z.B. Begrünung, Leitplanken, Pkw) warnt. Mit Hilfe dieser Tests ist es möglich, die Akzeptanz der Lkw-Fahrer hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Systeme zu bewerten. Bei häufigen Fehlauflösungen verliert der Fahrer das Vertrauen in das System und dadurch verringert sich auch das Wirkpotential der Abbiegeassistenzsysteme.

Entsprechend der Anforderungen der UNECE-Regelung und der Förderrichtlinien des BMVI soll anhand der **Tests zur Fehlererkennung** überprüft werden, ob das System eine Signalisierung ausgibt, sobald es nicht mehr voll funktionsfähig ist. Im Rahmen der Testszenarien wird überprüft, ob der Fahrer bei einer Verschmutzung der Sensoren oder einer fehlenden Spannungsversorgung eine Fehlermeldung erhält. Erkennt das System seine Grenzen nicht korrekt, ist es möglich, dass der Fahrer auf die volle Betriebsfähigkeit des Systems vertraut und keine Information bei einem ungeschützten Verkehrsteilnehmer im Toten Winkel erhält.

Im Rahmen eines laufenden Verbraucherschutzprojektes des ADAC wird das Unfallvermeidungspotential derzeit auf dem Markt verfügbarer Lkw-Abbiegeassistenten auf Basis des vorgestellten Testumfangs bewertet. Die ersten Tests zeigten, dass der Detektionsbereich der Systeme seitlich begrenzt ist und z.B. Radfahrende in einem Abstand von bis zu 6 m nicht erkannt werden. Ein Grund hierfür ist, dass die Systemhersteller mit einer begrenzten seitlichen Reichweite auf die Förderrichtlinien des BMVI (seitlicher Abdeckungsbereich: 0,9 - 2,5 m) eingehen und eine geringe Anzahl an Fehlauflösungen erzielen. Eine weitere Möglichkeit, Fehlauflösungen zu vermeiden, liegt darin, den Lkw-Fahrer nur dann zu warnen, wenn sich ein Radfahrender in Fahrtrichtung bewegt. Als Folge dessen konnten einige der getesteten Systeme den VRU nicht detektieren, wenn dieser vom Lkw überholt wird oder dieser bei gleicher Geschwindigkeit neben dem Lkw fährt. Die Durchführung des vorgestellten Testumfangs verdeutlichte, dass die meisten



Abbiegeassistenten zwar die Förderrichtlinien des BMVI erfüllen können, jedoch viele Szenarien aus dem realen Unfallgeschehen nicht im Wirkungsbereich der Lkw-Abbiegeassistenzsysteme liegen.

## 4. Zusammenfassung

Eine Analyse der Unfallstatistik in Deutschland zeigte, dass Lkw bis 3,5 t zGG in Bezug auf Fußgänger und Radfahrer ein hohes Unfallrisiko aufweisen. Als Folge dessen wurden Notbremsassistenten mit VRU-Erkennung für die Klasse der Transporter getestet und deren Leistung mit aktuellen Pkw-Assistenzsystemen verglichen. Die Ergebnisse demonstrierten die im Vergleich zu in Pkw verbauten Systemen geringe Performance der getesteten Assistenzsysteme. Darüber hinaus gehören Notbremsassistenzsysteme nur bei einem sehr kleinen Teil der am Markt verfügbaren Transportern zur Serienausstattung.

Die Untersuchung von Unfällen mit Beteiligung von Lkw über 3,5 t ergab, dass Abbiegeunfälle besonders schwere Folgen für die involvierten ungeschützten Verkehrsteilnehmer nach sich ziehen. Deshalb wurde ein umfangreiches Testprotokoll auf Basis von realen Verkehrsunfällen entwickelt, um nachrüstbare Lkw-Abbiegeassistenten hinsichtlich deren Unfallvermeidungspotential zu prüfen. Erste Ergebnisse auf Basis des erstellten Testumfangs zeigten, dass derzeit auf dem Markt verfügbare Abbiegeassistenzsysteme zwar die Förderrichtlinien nach BMVI erfüllen, jedoch nur einen kleinen Teil der im realen Verkehrsgeschehen auftretenden kritischen Situationen adressieren können.

Unterschiedliche aktive Sicherheitssysteme, wie Notbrems- und Abbiegeassistenten haben in den einzelnen Gewichtsklassen der Lkw ein hohes Unfallvermeidungspotential und könnten die Fahrer von Gkz bei ihrer Fahraufgabe unterstützen und helfen schwere Unfälle zu vermeiden.

Es gibt noch große Unterschiede zwischen den Systemen, besonders zwischen Fahrerassistenzsystemen für Lkw und Pkw, darum ist es ratsam, Sicherheitssysteme in Lkw dem heutigen Standard von Pkw anzupassen. Notbrems- und Abbiegeassistenten sollten besonders bei gewerblich genutzten Lkw aufgrund der hohen Fahrleistung serienmäßig verbaut werden. Zudem sollten nachrüstbare Abbiegeassistenzsysteme stetig weiterentwickelt werden, um einen Großteil der kritischen Situationen im realen Straßenverkehr abzudecken und damit ihr Sicherheitspotential voll ausschöpfen zu können.

## 5. Literatur

- [1] **Statistisches Bundesamt (Destatis)** (2021). Straßenverkehrsunfälle mit Personenschaden, Getöteten, Schwer- und Leichtverletzten: Deutschland, Jahre, Straßenklasse, Ortslage. <https://www-genesis.destatis.de/genesis//online?operation=table&code=46241-0003&bypass=true&levelindex=0&levelid=1620041840247#abreadcrumb> (08.04.2021)
- [2] **Statistisches Bundesamt, (Destatis)** (2020). Verkehr – Verkehrsunfälle 2019. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, Fachserie 8 Reihe 7.
- [3] **Statistisches Bundesamt (Destatis)** (2020). Unfälle von Güterkraftfahrzeugen im Straßenverkehr 2019. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.



- [4] **Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)** (2020). Der Fahrzeugbestand im Überblick am 1. Januar 2020 gegenüber dem 1. Januar 2019. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt.
- [5] **Kraftfahrt-Bundesamt (KBA)** (2020). Verkehr in Kilometern (VK). Zeitreihe Jahre 2014 - 2019. Flensburg: Kraftfahrt-Bundesamt.
- [6] **Unfallforschung der Versicherer (UDV)** (2016). Viele Lkw-Radfahrer-Unfälle könnten vermieden werden – Schwere Lkw sollten mit Abbiegeassistenten ausgerüstet werden – Neue UDV-Studie. Berlin: Gesamtverband der deutschen Versicherer (GDV).
- [7] **ADAC e.V. Test und Technik** (2020). Information zu neuen Fahrzeugsystemen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (General Safety Regulation 2019). München: ADAC e.V.
- [8] **Euro NCAP Zeitachse**, (2015). Euro NCAP erweitert Sicherheitsbewertung mit Fußgänger-AEB-Systemen. <https://www.euroncap.com/de/euro-ncap/zeitachse/euro-ncap-erweitert-sicherheitsbewertung-mit-fussgaenger-aeb-systemen/> (15.04.2021)
- [9] **ADAC e.V.**, (2020). Euro NCAP-Test: Wie sicher sind Transporter? <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistenzsysteme/euro-ncap-transporter-vergleich/> (15.04.2021)
- [10] **Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)** (2018). Empfehlungen zu technischen Anforderungen an Abbiegeassistenzsysteme für die Aus- und Nachrüstung an Nutzfahrzeugen mit einer zulässigen Gesamtmasse > 3,5 Tonnen und Kraftomnibussen mit mehr als 9 Sitzplätzen einschließlich Fahrerplatz zur Erteilung einer Allgemeinen Betriebserlaubnis für Abbiegeassistenzsysteme. Bonn: Verkehrsblatt-Amtlicher Teil Nr. 149, Heft 19.
- [11] **ADAC e.V.** (2019). Lkw-Abbiegeassistenten im Vergleich. <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistenzsysteme/lkw-abbiegeassistent/> (15.04.2021)
- [12] **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)**, Arbeitsgruppe Straßenentwurf (2006). Richtlinie für die Anlage von Stadtstraßen – RAST. Köln: FGSV Verlag.
- [13] **Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV)**, Arbeitsgruppe Straßenentwurf (2010). Empfehlungen für Radverkehrsanlagen – ERA. Köln: FGSV Verlag.
- [14] **Schreck, B.; Seiniger, P.**; (2015). Abbiege-Assistenzsystem für Lkw. Grundlagen eines Testverfahrens. Bergisch Gladbach: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen Fahrzeugtechnik, Heft F 104.
- [15] **United Nations Economic Commission for Europe (UNECE)** (2020). UN Regulation No. 151 – Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles. <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp29/wp29regs/2020/R151e.pdf> (20.04.2021)



## LKW Abbiegeassistent mithilfe KI Szenenverständnis

Johannes Traxler Geschäftsführung, EYYES GmbH	Michael Breiter Entwicklungsleitung, EYYES GmbH	Philipp Zanitzer Projektleitung, EYYES GmbH
---	---	---

### 1. Projektbeschreibung

#### 1.1. Ausgangslage / Problemstellung

Mit einer nach wie vor hohen Anzahl an Unfalltoten hat der Einzug der LKW Abbiegeassistenten eine Verbesserung für Personen und Radfahrer gebracht. Die positive Grundidee eines Assistenten, der vor Personen und Radfahrern im toten Winkel warnen soll, wird allerdings überschattet von der hohen Anzahl an Fehlalarmen der bestehenden Systeme. Durch fehlendes Szenenverständnis bzw. Auswertelogik ist eine Unterscheidung zwischen gefährdeten Personen und Personen, die es nicht sind (da allgemeines Objekt, Geschwindigkeit, Richtung von Person) oft nicht ausreichend möglich und treibt eine Desensibilisierung der Fahrer voran, sodass der Assistent seinen Nutzen verlieren könnte. Personen, die durch ihr Verhalten (Geschwindigkeit, Richtung) nicht gefährdet sind oder auch allgemeine Objekte (bewegte Sträucher,...) werden als häufigster Alarmgrund gesehen. Eine Alarmierung auf tatsächlich gefährdete Personen/Radfahrer bietet einen tatsächlichen Mehrwert für die Fahrer.

Die Anforderungen an LKW Abbiegeassistenten sind sowohl durch die Prüfvorschrift „Allgemeinen Betriebserlaubnis (ABE) nach § 22 StVZO und zu Prüfungen Nr. 149, Verkehrsblatt (VkB), Heft 19-2018 des BMVI, Deutschland“ als auch die seit 2020 gültige UN ECE R151 für die Integration in Neufahrzeugen definiert. Die ABE für die Nachrüstung von bestehenden LKW mit einem Abbiegeassistent stand bei diesem Projekt im Vordergrund, da dies auch kommerziell der Eintrittsmarkt ist. Die Weiterentwicklung in Richtung der UN ECE R151 mit den wesentlich größeren Detektionsbereichen und damit verbundenen Komplexität wurde in der Entwicklung bereits mit berücksichtigt, jedoch nicht gleich mit umgesetzt. Grund dafür ist, dass es für die UN ECE R151 keine allgemeine Betriebserlaubnis gibt und daher eine Zulassung pro Fahrzeugtype erfolgen muss. Dies kann EYYES als Kleinunternehmen nicht voreilend durchführen, sondern es wird erst mit einem Umsetzungsprojekt durch einen OEM sinnvoll machbar sein.

Generell muss bei der UN ECE R151 auch noch mit betrachtet werden, dass die geforderten Detektionsbereiche von bis zu 30m neben dem Fahrzeug und 7m vor dem Fahrzeug in 4,25m Entfernung quer zum Fahrzeug für einen sinnvollen Einsatz eine entsprechendes Szenenverständnis benötigt. D.h. ohne dass die Algorithmik des Systems erkennt ob eine Kollisionsgefahr besteht und z.B. nur eine Präsenz meldet ist das System für den Fahrer unbrauchbar. Während einer Fahrt im innerstädtischen Bereich würde jedes System de facto ununterbrochen Radfahrer und Personen die sich in dieser großen Entfernung befinden melden. Dies war auch eine der wesentlichen Anforderungen des Marktes die bei dem Entwicklungsprojekt zum „CAREYE SAFETY ANGLE“ (CSA) von EYYES zu den wesentlichsten Innovationen geführt haben.



## 1.2. Ziel

Es wird/wurde untersucht, wie eine bildbasierte KI in ein echtzeitfähiges System integriert werden kann, um somit ein hochqualitatives Szenenverständnis erreichen zu können. Das dadurch erklärte Ziel ist die Reduktion der Fehlalarmhäufigkeit in Hinsicht auf tatsächliche Gefährdung von Personen und Radfahrern und die Anwendung eines hochperformanten KI-Gesamtsystems.

Mit dem System soll es möglich sein einerseits die geltenden Vorschriften als auch die zukünftigen zu erfüllen. Die erste Stufe beinhaltet klar die für eine Allgemeine Betriebserlaubnis notwendigen Anforderungen. Die Plattform soll bereits von Beginn an so konzipiert sein, dass auch die UN ECE R151 in weiterer Folge damit erfüllbar sein wird.

## 1.3. Vorgehensweise / Methodik

Es wurde ein bildbasiertes Verfahren gewählt, da dieses eine flächige Analyse der Umgebung des LKW ermöglicht und einen hohen Informationsgehalt aufweist. Ein neuartiges Verfahren auf Basis von künstlichen neuronalen Netze (KNN) mit vielen Schichten "Deep Learning" genannt, wurde eingesetzt. Die hohe Robustheit von KNN resultiert aus der Invarianz gegenüber Objektformen gleicher Kategorie und Umwelteinflüssen. Damit sind die KNN konventionellen Bildverarbeitungsmethoden bei weitem überlegen und können mit vergleichbaren Sensoren wie RADAR oder LIDAR konkurrieren.

Es wurde ein Verfahren der „Object Detection“ ausgewählt, da dies einen guten Kompromiss aus Informationsgehalt, Verarbeitungsgeschwindigkeit und Machine Learning Aufwand bildet. Durch die Information, welche Objekte sich wo im Bild befinden, kann die KI vor schwächeren Verkehrsteilnehmern im Abdeckungsbereich warnen. Die größte Herausforderung eines Abbiegeassistenten besteht darin, die benötigte hohe Sensitivität zu erreichen, ohne dass die Spezifität zu gering wird. Es wurden eigene Trainings- und Testdaten durch reale Aufnahmefahrten akquiriert. Der „Detector“ wurde für die beiden Objektklassen Person und Fahrrad trainiert. Das System ist dadurch in der Lage, sowohl vor Radfahrern als auch vor Fußgängern zu warnen, wenn es zu einer gefährlichen Situation kommt. Es wurde streng darauf geachtet, dass Trainingsdaten und Testdaten sich nicht überschneiden. Da kein „Detector“ frei von falsch Positiv und falsch Negativ Meldungen ist, wurde das KNN auf Sensitivität optimiert. Um eine hohe Spezifität zu erzielen, wurde ein Trackingverfahren nachgeschaltet. Das Tracking-by-Detection Verfahren ermittelt den zeitlichen Verlauf, also die Objektbewegung im Bild. Führt die Relativbewegung zu einer Entfernung des Objekts vom Fahrzeug, kann keine gefährliche Situation entstehen. Bei sich nähernden oder sich parallel bewegenden Fußgängern/Radfahrern ist das System in der Lage zu warnen.

## 2. Technologie

### 2.1. Sensorik und Abdeckungsbereiche

Die Technologien die für die Erfüllung der Anforderungen in Frage kommen können in

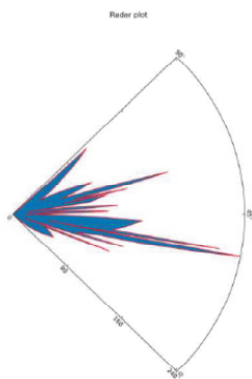
- Aktive (RADAR, LiDAR, Ultraschall)





- Passive (Videokamera)

Unterschieden werden. Bei den aktiven Sensoren sendet der Aktor eine elektromagnetische oder akustische Welle aus und misst über Laufzeit und Reflexionsmuster die Präsenz von Objekten. Über nachgelagerte Algorithmen wird aus den Einzelmessergebnissen über die Laufzeit der Abstand und auch die Bewegung relativ zum Fahrzeug gemessen. Diese Sensoren sind davon abhängig, welches Reflexionsverhalten bzw. Querschnitt das angestrahlte Objekt liefert. D.h. die Oberfläche bzw. auch die optischen/elektromagnetischen Eigenschaften spielen hier eine wesentliche Rolle. Darüber hinaus verfügen die Sensoren auf Grund der möglichen Auflösung über kein Szenenverständnis. D.h. sie können nicht unterscheiden, ob sich z.B. ein Radfahrer hinter einer geparkten Autoreihe bewegt oder ob es sich um eine Hauswand mit Fenstern handelt, durch welche immer wieder Objekte erkannt werden. Ebenso ist keine Klassifizierung nach Lichtmast, Personen, Hydranten, Poller zuverlässig möglich, weil die Auflösung dafür nicht ausreicht.



**Abbildung 1: Beispielbild einer FMCW Radarsignalantwort**

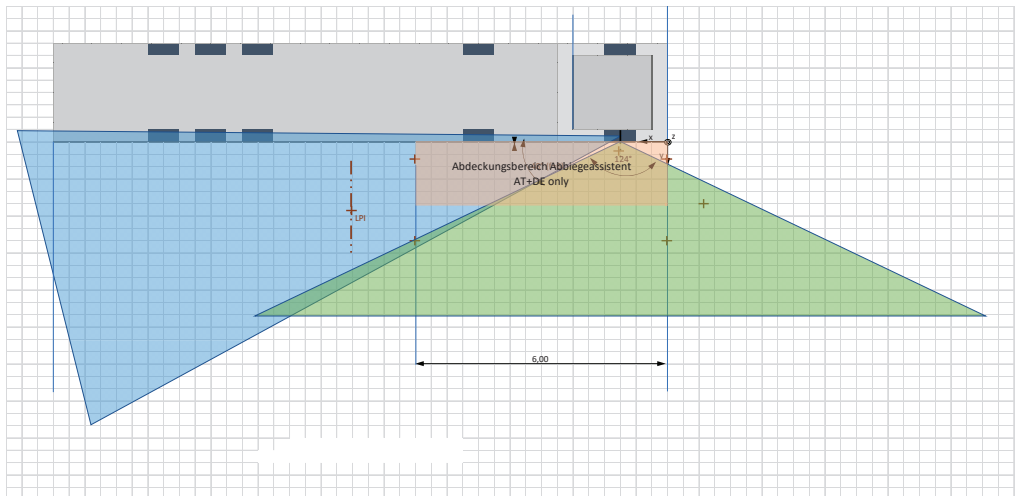
Bei Kamerasensoren wird das von den Objekten reflektierte Licht von einem photoempfindlichen Sensor eingefangen und in ein elektrisches Signal gewandelt. Der wesentliche Unterschied ist, dass die Kamera mit einem Bild die gesamte Umgebung abbildet und somit auch sie Szenen erkennbar macht. Die Kamera sendet jedoch nicht aktiv Licht aus, weshalb sie von anderen Lichtquellen (Sonne, Scheinwerfer, Straßenbeleuchtung etc.) abhängig ist. Alternativ gibt es auch Infrarotkameras, die im fernen Infrarotbereich (8 – 15  $\mu\text{m}$  Wellenlänge) die abgestrahlte Wärme von Objekten aufnehmen können. Diese sind jedoch aus Kostengründen für den Anwendungsfall LKW Abbiegeassistenten derzeit nicht weiter unter Betracht gezogen worden.

Die im konkreten Fall eingesetzten Kamerasensoren sind nach dem Stand-der-Technik neueste Modelle von Full-HD Kamerasensoren mit 1920x1200 Bildpunkten und einem High-Dynamic-Range Verhalten. D.h. sie haben eine Bittiefe pro Bildpunkt von  $\geq 12$  Bit und daher sind sie besonders lichtempfindlich und liefern auch bei Dämmerungssituationen bzw. hohen Lichtschwankungen exzellente Bilder. Trotzdem gibt es Situationen, wo die Kamera nicht mehr ausreichend Informationsgehalt im Bild liefert. In diesen Fällen



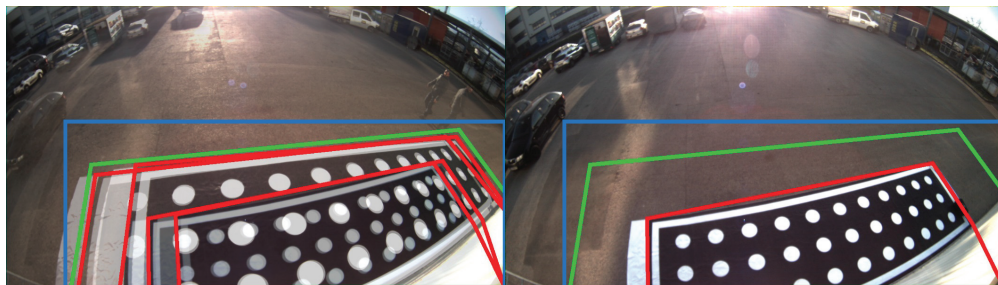
muss dann eine integrierte Algorithmik das System gezielt deaktivieren bzw. den Fahrerinnen informieren, dass keine zuverlässige Funktion mehr möglich ist.

Im Rahmen des Entwicklungsprojektes CSA wurde auf Kamerasensoren gesetzt, weil sie die Möglichkeit bieten komplexe Situationen, wie der Erkennung von Radfahrern und Radfahrerinnen hinter geparkten Autoreihen oder Kreuzungssituationen, gut zu erfassen. Entscheidend ist für eine optimale Erfassung des Überwachungs- bzw. Gefahrenbereichs, dass die richtige Brennweite und Montageposition mit Spielraum für unterschiedliche Fahrzeugtypen gefunden wird. Dazu wurde im Rahmen des Projektes eine Lösung für den LKW Abbiegeassistenten laut „Allgemeinen Betriebserlaubnis (ABE) nach § 22 StVZO und zu Prüfungen Nr. 149, Verkehrsblatt (VkBt.), Heft 19-2018 des BMVI, Deutschland“ (kurz KBA) als auch für die neue UN ECE R151 betrachtet. In der Abbildung 2 ist dieser Unterschied erkennbar. Während die KBA Version einen 1,6x6m breiten Bereich neben der rechten Fahrzeugfront fordert, ist der Bereich für die UN ECE R151 von 30m hinter dem Fahrzeug bis zu 7m vor dem Fahrzeug in einem Abstand von 4,25 m abzudecken.



**Abbildung 2: Übersicht Abdeckungsbereiche KBA Nr. 149 (orange) und UN ECE R151**

Im ersten Schritt wurde mit einer Detektionskamera der KBA Bereich als Primärziel definiert. Dafür wurden bereits zwei Systemvarianten TASET001 und mit April 2021 auch die Weiterentwicklung TASET002 entsprechend den Prüfvorschriften vom technischen Dienst erfolgreich überprüft.



**Abbildung 3: Geforderter Abdeckungsbereich (rot) und verwendeter überwachter Bereich (blau/grün) für verschiedene Kameramontagepositionen überlagert (links) und für eine konkrete Montageposition in 3,8m Höhe und 1,8m hinter der Fahrzeugfront (rechts).**

Da sich der sichtbare Bereich mit der Montageposition der Kameras am Fahrzeug verändert, wurden Kalibrierungen für verschiedene Montagepositionen am Fahrzeug durchgeführt. Das System wurde schließlich für die großzügigste Auslegung der möglichen Montagepositionen parametrieren, um die Installation durch den Endkunden zu vereinfachen und Parametrierfehler zu umgehen. Dies bedeutet jedoch, dass der durch das System überwachte Bereich für gewöhnlich größer ist als der geforderte Abdeckungsbereich, was zu Warnung vor Objekten führen kann, die sich außerhalb des geforderten Abdeckungsbereiches befinden. In Abbildung 3 wird dieser Einfluss gezeigt: Um alle Montagepositionen abzudecken wird der überwachte Bereich im schlimmsten Fall stark vergrößert.

Für die Abdeckung des UN ECE R151 Bereichs (siehe Abbildung 2) sind mehrere Sensoren erforderlich. Mit einem einzigen Sensor (unabhängig von der Art des Sensors) können die benötigten Auflösungen (= Mindestfläche des kleinsten Objektes das noch automatisch erkannt werden muss [11]) bzw. Öffnungswinkel nicht mehr erreicht werden. Im Fall des CSA sind zwei Kameras dafür geplant. Der benötigte Überwachungsbereich führt zu Herausforderungen, speziell bei der Relevanz der Meldungen.

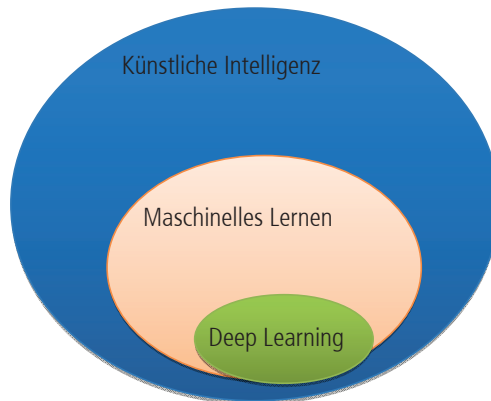
Es muss laut UN ECE R151 ein Radfahrer bereits in einer Entfernung von 7m vor dem Fahrzeug gemeldet werden. Man denke an Kreuzungssituationen, wo die gegenüberliegenden Gehsteige oft nur < 5m entfernt und keine Kollisionsgefahr besteht. Auch die Meldung eines Radfahrers in der Entfernung von 30m hinter der Fahrzeugfront wird im täglichen Straßenverkehr zu sehr häufigen, korrekten, aber nutzlosen Meldungen führen. Diese Anforderungen führen zu der Notwendigkeit, dass das System den Radfahrer zumindest in einem Abstand von > 10m vor und 40m hinter dem Fahrzeug detektiert um zuverlässig das Bewegungsprofil bestimmen zu können. Ansonsten kommt es speziell im innerstädtischen Bereich zu enorm häufigen Meldungen, weil sich oft Radfahrer in einem solchen Abstand bewegen werden.

Diese Rahmenbedingungen waren die Ursache für die Entwicklung des KI-Szenenverständnisses für den CSA. Nur damit sehen die Experten von EYES eine Chance eine robuste und für den täglichen Einsatz brauchbare Lösung für die Erhöhung der Sicherheit von Radfahrerinnen und Radfahrern als auch eine Unterstützung für Lenkerinnen und Lenker anzubieten.

## 2.2. Künstliche Intelligenz



Das Forschungsgebiet der Künstliche Intelligenz besteht aus mehreren Teilbereichen (siehe Abbildung 4), wobei maschinelles Lernen sicherlich einer der wesentlichsten davon ist. Dabei geht es darum Muster oder Strukturen durch adaptive Parameter bzw. Matrizen unterstützt von entsprechenden Optimierungsalgorithmen so gut als möglich zu „erlernen“, um diese in weiterer Folge wiederzuerkennen und einen Ähnlichkeitswert auszugeben.



**Abbildung 16: Übersicht Künstliche Intelligenz**

Allein der Gedanke an die Möglichkeit eine in vielen Bereichen des täglichen Lebens, in der Wirtschaft, oder in der Wissenschaft jederzeit einsetzbare mit der menschlichen Denkleistung vergleichbare „künstliche Intelligenz“ schaffen zu können fasziniert schon lange die Menschheit und bringt sie dazu, sich mit diesem hochinteressanten Wissensgebiet zu beschäftigen.

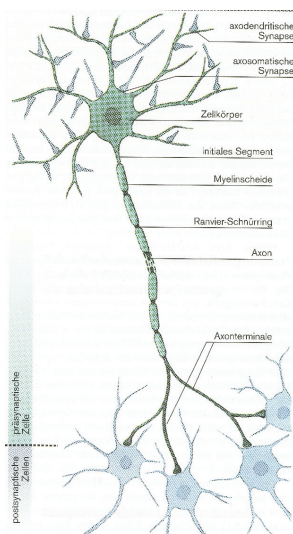
Seit den 1950er Jahren haben sich unterschiedlichste mathematische Lösungsansätze für diese Aufgabenstellung entwickelt. Ein Teilgebiet dieser Entwicklung bilden die künstlichen neuronalen Netze. Dieses Untergebiet des „Machine Learning“, versucht durch mathematische Funktionen die Eigenschaften von biologischen neuronalen Netzen (siehe Abbildung 5) zu imitieren. Der Denkansatz, dass man die Funktionen des menschlichen Gehirnes modellhaft in einzelne Verarbeitungsschritte (Algorithmen) zerlegt und diese mit Hilfe der Methoden der Mathematik und Physik nachempfendet, bildet die Grundidee der in vielen Medien bereits zitierten „künstlichen Intelligenz“.

Seit 2009/2010 sind diese durch eine neue Methode, dem „Deep-Learning“ reicher geworden. Dabei waren die eigentlichen Algorithmen gar nicht neu. Die erste Umsetzung eines künstlichen Neurons wurde bereits in den 60er Jahren des 20ten Jahrhunderts mit analoger Technologie durchgeführt (siehe Abbildung 6). Das erste Perceptron wurde 1957 von Frank Rosenblatt entwickelt. Damals war schon die Meinung, dass innerhalb weniger Jahre der erste Computer gehen, sprechen, sehen, schreiben und sich selbst reproduzieren wird können. Das dies zu optimistisch war denn erst heute, also 63 Jahre später werden die ers-



ten vier Schritte erreicht. Von einer Reproduktion im Sinne von evolutionärer Weiterentwicklung sind wir noch weit entfernt.

Neu an Deep-Learning ist jedoch, dass Trainingsdaten in einem Umfang zur Verfügung gestanden sind, welcher wenige Jahre zuvor noch undenkbar gewesen wäre. Mit Millionen Bilddaten mit einer entsprechenden „Grundwahrheit“, d.h. Trainingsinformationen für das Neuronale Netz, und Rechenleistungen die entsprechende Trainingsläufe in realistischen Zeiträumen ermöglichten zeigten, dass die zuvor geglaubten Grenzen der Neuronalen Netze nur durch zu wenig Trainingszyklen und Trainingsdaten bedingt waren.



**Abbildung 5: Abbildung eines biologischen Neurons**

Als wesentliche Innovation des Deep-Learning kann die Verwendung von immer „Tiefer=Deep“ werden den Netzen angesehen werden. Während bis dahin wenige Schichten an Neuronen die gelebte Praxis waren, wurden die Architekturen der Neuronalen Netze um immer mehr Schichten erweitert und es wurde festgestellt, dass die Qualität der Detektionsergebnisse damit immer mehr steigt. Dies war ein wesentlicher Durchbruch, denn bei den vorherigen Modellen ging man immer davon aus, dass die Netze beim Training übertrainiert werden und dann nicht mehr besser werden. Damit war auch die Grundlage für die dann folgende 10-jährige Aufholjagd der „Deep-Neural-Networks“ in unterschiedlichsten Anwendungsgebieten.

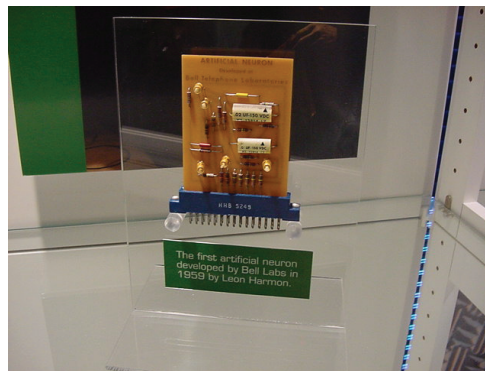
Allgemein sind die Neuronalen Netze also Optimierungsverfahren, welche durch Erlernen von Informationen in der Lage sind ähnliche Muster wiederzuerkennen. Das bedeutet jedoch, dass für eine zuverlässige und sichere Funktion des Neuronalen Netzes auch ausreichend Information oder in Nachrichtentechnischen Worten gesprochen, der Signal-Rausch-Abstand, ausreichend sein muss. Für die Videotechnik ist dies eine einfach zu verstehende Grundlage, denn wenn man als Mensch in dem Bild das gesuchte Objekt oder die Information nicht mehr erkennen kann, dann wird dies auch kein Algorithmus schaffen.

Als Ziel der „Machine Learning“ Experten Weltweit steht das „generalisierte“ Künstliche Intelligenz (Artificial general intelligence – AGI). Es handelt sich dabei um eine hypothetische Intelligente Maschine mit der



Fähigkeit jede intellektuelle Aufgabe, die ein Mensch lösen kann, zu lösen. Eine solche Maschine wird den „Turing Test“, ein Test bei dem ein Mensch mit einer Maschine und einem Menschen kommuniziert und feststellen muss wer von den Beiden eine Maschine ist, bestehen. Bis dato wird eine solcher Grad an Intelligenz nicht erreicht. Nimmt man die Anzahl der Neuronen des leistungsfähigsten Neuronalen Netzes besitzen 16 Millionen Neuronen, was in etwa der Leistungsfähigkeit eines Froschs entspricht. Dieses Netz läuft den leistungsfähigsten Supercomputern. Um einen Vergleich mit dem menschlichen Gehirn zu ziehen, entspricht dies in Etwa 0,016%. Man sieht also, der zu einer „generalisierten“ Künstliche Intelligenz ist noch weit.

Anwendungsmöglichkeiten für künstliche Intelligenz gibt es in den verschiedensten wissenschaftlichen und industriellen Disziplinen. Erwähnt seien an dieser Stelle die medizinische Technik, die Messtechnik und die Sicherheitstechnik. Je nach Einsatzgebiet für die Mustererkennung werden speziell geeignete Detektoren, welche die Informationen für den jeweiligen Algorithmus aufnehmen, benötigt. Diese unterschiedlichen Aufnahmeverfahren werden auch „bildgebende Verfahren“ genannt. Sie können sowohl optische, akustische als auch atomare Eigenschaften des zu beobachtenden Objektes oder Raumes zur Aufnahme heranziehen.



**Abbildung 6: Bild des ersten künstlichen Neurons**

Prinzipiell gibt es keine Beschränkung auf welche Art von Daten Tiefe Neuronale Netze angewandt werden. Am bekanntesten sind jedoch die Anwendungen im Bereich „Computer Vision“ und Spracherkennung wo Fahrerassistenzsysteme in heutigen Kraftfahrzeugen bereits auf Deep-Learning aufsetzen oder Dienste wie SIRI<sup>1</sup> oder ALEXA<sup>2</sup> bereits große Verbreitung erreicht haben. Die Entwicklung hört hier jedoch nicht auf und jedes Jahr kommen neue Techniken und mathematische Funktionen hinzu die weitere Verbesserungen ermöglichen.

### 2.3. Embedded Deep Learning

Die herausragenden Qualitäten der Erkennung und auch Stabilität von KNN stellt die Technologie jedoch auch vor Herausforderungen. Ein großes neuronales Netz benötigt im Durchschnitt für die Verarbeitung

<sup>1</sup> Copyright von APPLE Inc.

<sup>2</sup> Copyright von AMAZON Inc.



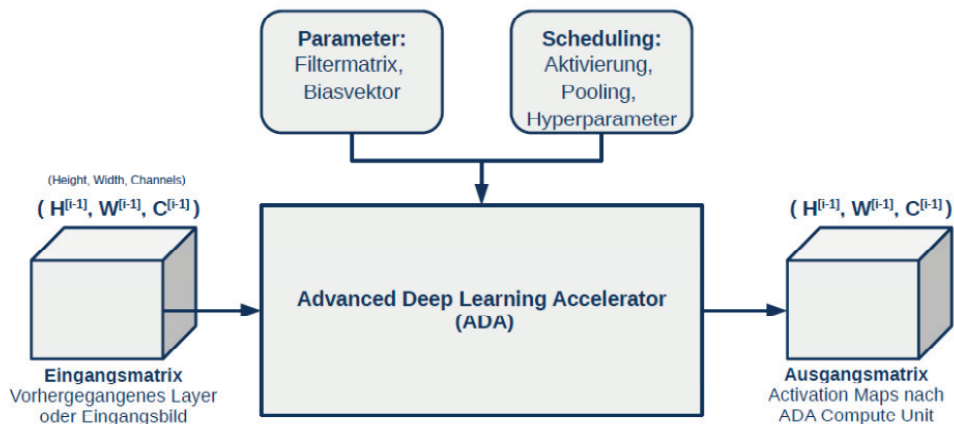
eines einzigen Bildes mit einer Auflösung von 416x416 Bildpunkten 100x10<sup>9</sup> Rechenoperationen. Die meisten davon sind Multiplikationen und Additionen. Eine solche Menge von Berechnungsschritten ist jedoch selbst für Hochleistungsprozessoren noch immer eine Aufgabe. Im Zusammenhang mit mobilen Anwendungen ist es natürlich noch viel schwieriger, entsprechende leistungsfähige Systeme von der Energieversorgung bis hin zur Kühlung in Fahrzeuge zu integrieren.

Deshalb hat sich speziell seit 2018 der Markt der so genannten „Deep-Learning-Accelerator“ (DLA) entwickelt. Dabei wird versucht die Rechenoperationen einerseits von energieaufwändigen Gleitkommaoperationen in Fixkommaoperationen zu konvertieren ohne große Qualitätseinbußen (Loss) in Kauf nehmen zu müssen. Andererseits wird durch unterschiedlichste Ansätze der Verarbeitungsprozess so weit als möglich parallelisiert, um mit weniger Frequenzen bzw. elektrischer Verlustleistung ähnliche Verarbeitungsgeschwindigkeiten zu erzielen.

DLA lassen sich zunächst in zwei Kategorien teilen. Die erste Kategorie umfasst alle Hardwarebeschleuniger, die für den Trainingsprozesse geeignet sind. Hierfür verfügen diese über zusätzliche Funktionalitäten, die für die Backpropagation benötigt werden. Dabei handelt es sich um ein Verfahren zum Trainieren von KNN, bei dem basierend auf der Abweichung zwischen einem berechneten Wert und dem erwarteten Wert Anpassungen an den Parametern des KNN vorgenommen werden. Derartige Beschleuniger, wie etwa Googles Tensor Processing Unit (TPU) [7] und die Deep Learning Unit von Wave Computing [5], sind meist für die Anwendung in großen Rechenzentren konzipiert. Dabei steht vor allem ein hoher Datendurchsatz von mehreren tausend Bildern pro Sekunde im Fokus des Designs. Dieser Datendurchsatz wird meistens auf Kosten einer hohen Leistungsaufnahme erzielt.

Die zweite Kategorie umfasst die Hardwarebeschleuniger, die für die Verwendung mit bereits trainierten Netzen gedacht sind. Anders als die Beschleuniger der ersten Kategorie verfügen diese nicht über die Funktionalitäten, die für die Backpropagation benötigt werden. Dadurch ergibt sich für Hardwarebeschleuniger dieser Kategorie schlankeres, kompakteres Design. Hardwarebeschleuniger dieser Kategorie finden überwiegend in mobilen Geräten Anwendung. Die Leistungsaufnahme sollte möglichst gering sein, wobei gleichzeitig die Datenrate hoch genug sein muss, um zeitkritische Aufgaben erfüllen zu können.

EYYES hat eine eigene Lösung für einen DLA entwickelt. Dieser so genannte „Advanced Deep-Learning Accelerator“ (ADA) ist ein Beschleuniger der zweiten Kategorie. Er verfügt über separate Module für die Berechnung von Convolutional, Activation und Pooling Layer. Dabei können das Convolutional Modul und das Pooling Modul unabhängig von den anderen Modulen angesteuert werden. Lediglich das Activation Modul kann nur in Kombination mit dem Convolutional Modul aktiviert werden. Das Convolutional Modul setzt sich aus acht einzelnen Convolutional Einheiten zusammen, von denen jede einen Kanal eines Filters berechnet. Die Anzahl der Convolutional Einheiten ist parametrierbar und prinzipiell unbeschränkt. Auf das Convolutional Modul folgt ein Caching Modul, in dem die Ergebnisse des Convolutional Moduls für Filter mit mehr als acht Kanälen zunächst zwischengespeichert und später zusammengefasst werden. Die zusammengefassten Daten werden an das Activation Modul übergeben.



**Abbildung 7: Ein- und Ausgänge der ADA Compute Unit**

Durch die maximal parallelisierte Verarbeitung ist es möglich mit einem leistungssparenden FPGA mit nur 100 MHz Taktfrequenz bis zu  $10^{12}$  INT8 Rechenoperationen pro Sekunde zu verarbeiten. Die Innovation besteht dabei in der Art und Weise wie die Daten durch den ADA Kern miteinander für Faltungs-, Additions- und Vergleichsoperationen verschränkt werden. Deshalb ist es auch möglich mit einem Gerät mit einem Leistungsverbrauch von nur 2W pro Videokamera eine Applikation wie den LKW Abbiegeassistent mit Deep-Learning zu realisieren.

## 2.4. Objektdetektion

Objektdetektion beschreibt die Funktion, Informationen über Ort und Art eines Objektes im Bild zu erkennen. Als Objekt kann dabei jede Entität angesehen werden, also z.B. Personen, Tiere, Fahrzeuge, Gegenstände. Objektdetektion bildet einen wichtigen Grundbaustein für das Szenenverständnis aus Kamerabildern, stellt jedoch gleichzeitig ein schwieriges Problem der Computer Vision dar. Durch Deep Learning konnten jedoch seit 2013 große Erfolge erzielt werden. Wichtige Errungenschaften sind Neuronale Netze wie „Region based CNN“ (R-CNN) [13] oder „Single Shot Detector“ (SSD) [14], jedoch stellt der erhöhte Berechnungsaufwand dieser Methoden eine nicht zu unterschätzende Hürde dar. Das Neuronale Netz „Yolo v3“ [15] stellt einen sehr guten Kompromiss aus Qualität und Laufzeitverhalten vor, während „Tiny Yolo v3“ [15] mit deutlich weniger Rechenoperationen auskommt und in der Literatur ordentliche Ergebnisse liefert, die jedoch deutlich unter der State-of-the-Art liegen. Wir haben eine ähnliche Architektur entworfen, trainiert und für den Anwendungsfall Abbiegeassistent optimiert, die die Laufzeitperformanz eines Tiny Yolo v3 mit der Qualität eines Yolo v3 für die Detektion von Personen und Fahrrädern vereint.

### 2.4.1 Training der Objektdetektion

Mit der Entwicklung der tiefen KNN für Training und Qualitätsoptimierung wurde auch die Miniaturisierung erforscht. Die Mittel zur Reduktion der benötigten Speicherbandbreiten, der Anzahl an Rechenoperationen und der Nutzung von Fixkommaoperationen spielt dabei eine wesentliche Rolle. Methoden wie Pruning [9] sind zusätzlich wichtig, um unwesentliche Teile des KNN zu entfernen. Für eine Realisierung einer mobilen





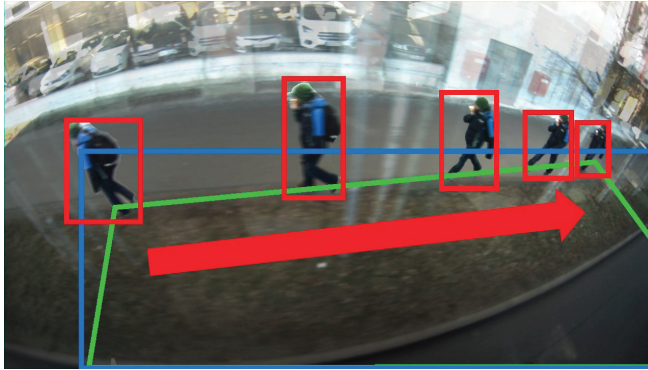
Applikation für Fahrzeuge auf DLA, wie sie in Abschnitt 2.3 beschrieben sind, müssen sämtliche Methoden angewandt werden um den Rechenaufwand für die Berechnung der Aufgabe des KNN um einen Faktor 10 oder mehr zu reduzieren. Dies ist EYYES mit der Entwicklung des EYYESNET gelungen.

Obwohl für den Fall Abbiegeassistenten optimiert, wurde im Training möglichst diverses Bildmaterial verwendet, um den Detektor robust gegenüber Veränderungen zu machen. Der Fokus bei der Akquise neuen Bildmaterials lag dennoch in der Perspektive in der die Kamera von zwischen 2m und 4m Höhe auf die Bodenebene herabschaut, da diese Perspektive in üblichen Bilddatenbanken deutlich unterrepräsentiert ist, aber im Abbiegeassistenten zum Einsatz kommt. Durch Data Augmentation wurde im Training das verfügbare Bildmaterial zufällig verfremdet, um Overfitting zu umgehen und eine höhere Robustheit gegenüber Störeinflüssen zu erzielen. Neben Helligkeits- und Auflösungsvariationen wurden auch Bildrotationen um bis zu +/- 45° augmentiert, die der Verzerrung eines Fischaugenobjektivs im Randbereich ähnlich sind. Das Training hat in zwei Schritten stattgefunden: Zuerst wurde das neuronale Netz mit mit 64764 Bildern vortrainiert, wobei allgemeines Bildmaterial zum Einsatz kam. In diesem Schritt werden vor allem die ersten Layer des Feature Extractor Netzes definiert. Anschließend wurde ein Fine-Tuning Training mit 15459 Bildern durchgeführt, bei dem vermehrt Bildmaterial für den Anwendungsfall „Abbiegeassistent“ zum Einsatz kam. In diesem Schritt werden vorwiegend die hinteren Layer des neuronalen Netzes erlernt. Für die Validierung und Identifikation der finalen Trainingsiteration, bei der noch kein Overfitting stattfand, wurden 6953 Bilder verwendet, die nicht im Trainingsprozess eingesetzt wurden. Die Generalisierung und Verwendbarkeit für den Abbiegeassistenten wurde mit einem vom Training vollständig unabhängigen Testdatensatz aus Abbiegeassistentenaufnahmen geprüft. Die erzielte Trainingsqualität wird in Kapitel 3 dargestellt. Gezielt akquirierte Aufnahmen zeigen die geforderte Funktionalität nach KBA. Zusätzliche Aufnahmen unter erschwerten Bedingungen zeigen Funktionalitäten nach UN-ECE R151.

Im Abbiegeassistenten „TASET“ von EYYES der Produktgruppe CSA wird eine eigens entwickelte KI-Beschleuniger Plattform eingesetzt, um Transparenz zu ermöglichen und das Thema funktionale Sicherheit in der eigenen Hand zu haben.

## 2.5. Tracking

Objektdetektion allein reicht nur für die Erkennung, dass sich eine Person oder ein Radfahrer an einer Stelle im Bild befindet. Dies ist zwar ausreichend für einen Abbiegeassistenten um die KBA Anforderungen zu erfüllen, indem die Präsenz von Personen/Radfahrern im Abdeckungsbereich den Fahrer warnt. Jedoch führt dies selbst bei perfekter Detektorqualität noch zu unnötig vielen Warnungen, da sich Personen häufig im Abdeckungsbereich aufhalten können, auch wenn im Abbiegefall keine kritische Situation vorliegt. In Abbildung 8 ist ein solcher Fall beispielhaft dargestellt. Ähnliche Situation treten oft auch näher am Fahrzeug auf, so z.B. bei Personen/Radfahrer, die auf dem Gehweg an einer Ampel stehen und unbewegt warten.



**Abbildung 8: Zeitlich überlagerte Bilder einer unkritischen Situation: Das Fahrzeug überholt eine Person, die sich im Abdeckungsbereich befindet. Die Relativbewegung der Person führt von der Fahrzeugfront weg.**

Eine hohe Falsch-Positivrate im Alltag kann jedoch zu einer Belastung des Fahrers und zu einem Vertrauensverlust in den Abbiegeassistenten führen, der wiederum zu einem erhöhten Risiko in echten Gefahrensituationen führt. Stattdessen sollte ein optimaler Abbiegeassistent nur dann warnen, wenn es zu einer kritischen Situation kommen kann, d.h. wenn die relative Objektbewegung im zeitlichen Verlauf einer Abbiegesituation zur Kollision führen kann. Die Erkennung der relativen Objektbewegung im zeitlichen Verlauf wird in der Computer Vision als „Tracking“ bezeichnet. Eine kritische Situation kann im Fall des EYES CarEye Safety Angle genau genommen dann auftreten, wenn sich ein Objekt zum Bildrand links oder unten links bewegt. Beispiele für solche Objekt-Trajektorien sind in Abbildung 9 dargestellt.

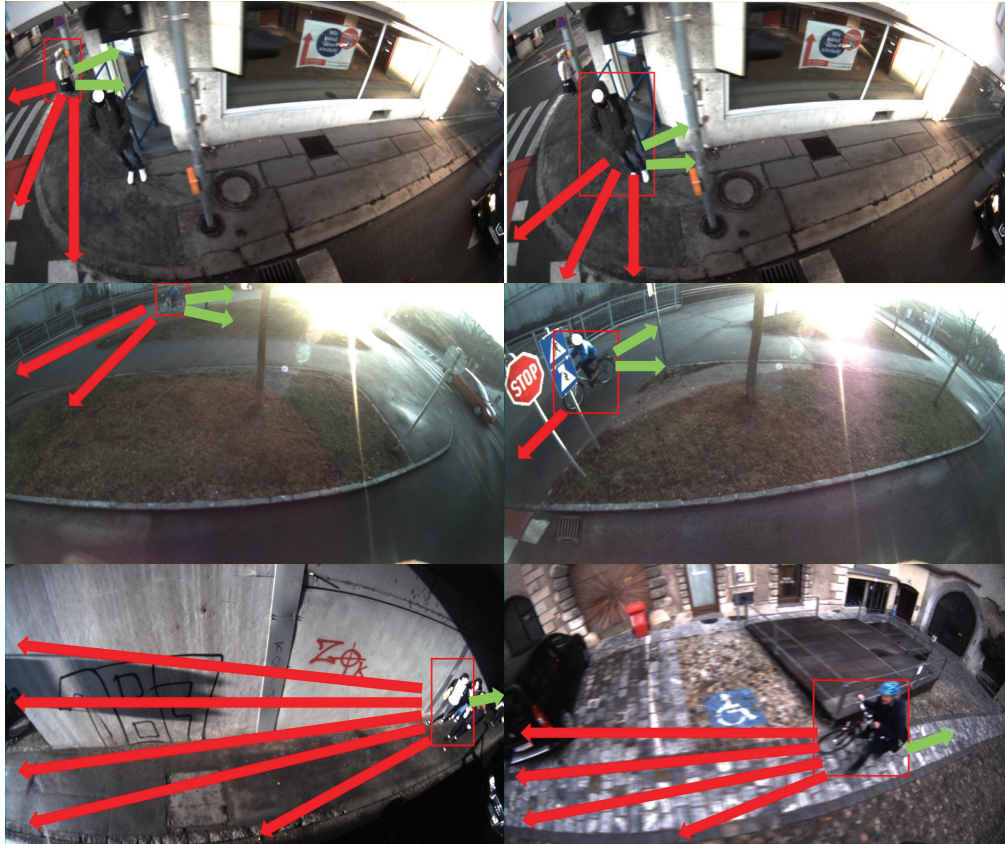


Abbildung 9: Beispiele für Objekt-Trajektorien die zu kritischen (rot) und unkritischen (grün) Situationen führen.



Abbildung 10: Kritischer Bereich (rot), der während des Abbiegevorgangs eine Rolle spielt.

Aus der Objekttrajektorie und dem Bildbereich bei durch die Eigenbewegung im Abbiegevorgang durchquert wird, wurden Gefahrenzonen ermittelt. Der Bereich, der für einen Abbiegevorgang von Bedeutung ist, wird in Abbildung 10 rot hervorgehoben. Hierbei wird ein geringer Kurvenradius angenommen. Bei Bekanntheit des tatsächlichen Kurvenradius könnte theoretisch der Bereich auch dynamisch adaptiert wer-



den. Außerdem könnte der Bereich im zeitlichen Verlauf eines Abbiegevorgangs unterschiedlich variiert werden. Wir verwenden jedoch jederzeit den großzügigen Gesamtbereich, um die höchstmögliche Sicherheit zu erhalten. Führt die Vorhersage der Objektbewegung aus der Objekt-Trajektorie in einer Zeitspanne von 3 Sekunden in den kritischen Bereich, so wird im Falle eines Abbiegevorgangs sofort vor dem Objekt gewarnt. Beim Tracking gibt es mögliche Risiken, die behandelt werden müssen.

1. Fehler im Tracking: Objekte werden im zeitlichen Verlauf falsch zueinander zugeordnet oder einzelne Detektionen/Zuordnungen fehlen
2. Trajektorie liegt zu spät vor
3. Trajektorien sind zu ungenau und führen zu falschen Vorhersagen der Objektbewegung
4. Objekte verändern ihre Bewegungsrichtung
5. Zeitliche Betrachtung ist zu optimistisch oder ungenau

Um diese Risiken zu vermindern, wurden alle Verarbeitungsschritte möglichst großzügig dimensioniert. Die Trajektorien werden von Bild zu Bild über die Detektionen aufgebaut und ausgebaut. Liegen dabei Mehrdeutigkeiten vor, sodass nicht sicher entschieden werden kann, welche Detektionen in zwei Bildern zueinander gehören, werden mehrere mögliche Trajektorien erstellt. Sämtliche Grenzwerte wurden großzügig ausgelegt, um keine Objektzuordnungen bei schnellen Relativgeschwindigkeiten zu übersehen. Auch die Vorhersage der zukünftigen Objektpositionen wurde möglichst großzügig ausgelegt. Zum einen wird die bekannte Objektbewegung verstärkt, sodass das Objekt als schneller angenommen wird als bis zu dem Zeitpunkt bekannt. Zum anderen werden mehrere Vorhersagen für eine Trajektorie erstellt, um die tatsächliche Bewegungsrichtung sicherer abzudecken. Auch der Vorhersagezeitraum wurde großzügiger ausgelegt, als es in der Minimalbetrachtung nötig wäre. Der Algorithmus ist so ausgelegt, dass er bereits nach zwei Detektionen eines Objektes eine Trajektorie schätzt. Alle diese Maßnahmen tragen dazu bei, eine möglichst hohe Sensitivität zu erhalten und keine Sicherheitsrisiken einzugehen, die durch Ungenauigkeit und Messfehler in der Detektion oder dem Tracking auftreten können.

## 2.6. Qualitätskriterien

Die Erkennung von Ereignissen mit einem Detektor kann als binärer Klassifikator angesehen werden, der insgesamt vier Fälle unterscheidet [10]:

- **richtig positiv ( $r_p$ ):**  
Ein Ereignis wird korrekt erkannt.
- **richtig negativ ( $r_n$ ):**  
Eine „Einheit“, welche kein Ereignis darstellt, wird nicht als Ereignis klassifiziert.
- **falsch positiv ( $f_p$ ):**  
Eine Meldung wird generiert, obwohl kein offensichtlich zutreffendes Ereignis stattgefunden hat
- **falsch negativ ( $f_n$ ):**  
Ein stattgefundenes Ereignis wird nicht erkannt, es wird keine Meldung generiert

Für die Beurteilung der Detektionsgüte sind die folgenden Kriterien relevant.



- Die **Richtigpositivrate** (auch: „Sensitivität“, „Detektionsrate“, „Trefferquote“, „Recall“) gibt den Anteil der korrekt als positiv klassifizierten Ereignisse an der Gesamtheit der tatsächlich positiven Ereignisse an (z. B. eine vorhandene Störung wird richtig erkannt).

$$\frac{r_p}{r_p + f_n}$$

- Die **Spezifität** ist definiert durch das Verhältnis der richtig-negativ erkannten Störungen und Ereignisse zur Summe der richtig-negativ und falsch-positiv klassifizierten Störungen und Ereignisse.

$$\frac{r_n}{r_n + f_p}$$

- Die **Falschpositivrate** (auch: „Fehlalarmrate“) ist der Anteil an „Einheiten“, die fälschlicherweise eine Meldung auslösen. (z. B. eine Meldung wird generiert, obwohl keine Störung vorliegt)

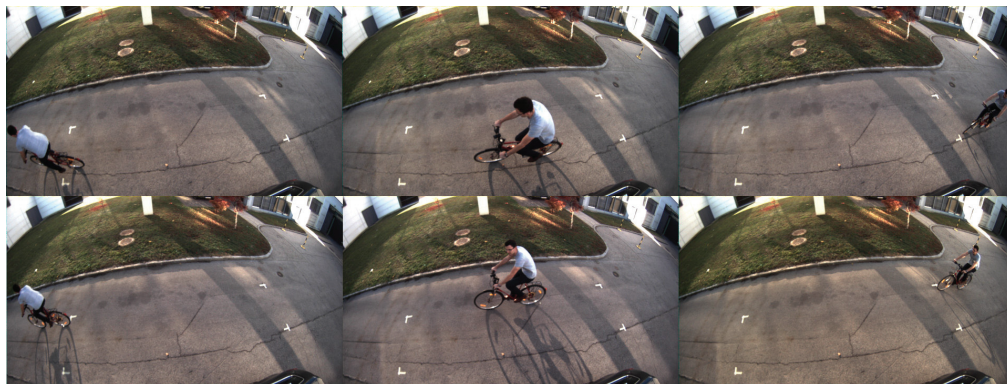
$$= \frac{f_p}{r_n + f_p}$$

- Die **Relevanz** (auch: „Genauigkeit“) gibt den Anteil der korrekt als positiv erkannten Ergebnisse an der Gesamtheit der als positiv erkannten Ergebnisse an, und stellt somit die Richtigpositivrate und Falschpositivrate ins Verhältnis.

$$\frac{r_p}{r_p + f_p}$$

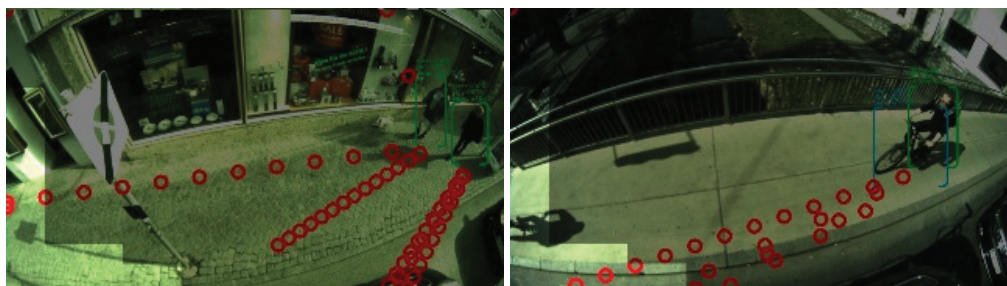
Die Akquise von geeigneten Testdaten kann wie im Falle eines Abbiegeassistenten schwierig sein: Im realen Fahrbetrieb kommt es glücklicherweise selten zu kritischen Situationen. Kritische Situationen nachzustellen kann gefährlich sein, daher werden Systemtests, wie z.B. von Prüfstellen, mit stationärem Fahrzeug oder einem bewegten Radfahrerdummy durchgeführt. In welchem Umfang solche limitierten Prüfungen geeignet sind, um die Funktionsfähigkeit in realen Fahrsituationen zu prüfen ist unklar. Im Straßenverkehr kann es zu komplizierten und unübersichtlichen Situationen kommen, bei der auch Sensoren wie Radar oder Kamera in der Erfassung der Szene eingeschränkt werden, z.B. durch Verdeckungen oder andere Störgrößen.

Wir haben kritischen Situationen wie Überholmanöver durch Radfahrer kontrolliert mit stationärem Fahrzeug hergestellt, z.B. Radfahrer mit variierendem Abstand, variierender Geschwindigkeit, beispielhaft in Abbildung 11 dargestellt.



**Abbildung 11: Kontrolliert hergestellte kritische Situationen ähnlich KBA Anforderungen: Ein Radfahrer mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Abständen am Abbiegeassistenten vorbei.**

Weiter wurden umfangreiche Aufnahmefahrten im öffentlichen Raum durchgeführt. In diesen Aufnahmen kam es jedoch zu sehr wenigen kritischen Situationen, in denen das Fahrzeug im Abbiegevorgang von einem Fußgänger oder einem Radfahrer überholt wurde. Die Falsch-Positiv-Rate kann jedoch mit solchen Aufnahmen sehr gut untersucht werden. Zusätzlich können – eigentlich unkritische – Fahrsituationen umgedeutet werden, um kritische Situationen nachzustellen. So finden Überholmanöver durch Fußgänger und Radfahrer außerhalb von Abbiegevorgängen deutlich häufiger statt. Wird nun in einer solchen Videosequenz ein direkt bevorstehender Abbiegevorgang implizit angenommen und wird auch der Straßenverlauf außer Acht gelassen, kann diese Sequenz als kritische Situation interpretiert werden. In Abbildung 12 sind solche Fälle dargestellt, das Fahrzeug befindet sich nicht vor Abbiegevorgängen (es existieren nicht einmal Wege auf denen abgelenkt werden könnte), aber durch den Überholvorgang der Fußgänger/Radfahrer kann die Situation als Testfall für eine kritische Situation herangezogen werden.



**Abbildung 12: Beispiele von uminterpretierbaren Fahrsituationen. Die roten Kreise zeigen Bewegungsvorhersagen aus den Objekt-Trajektorien.**

Eine quantitative Offline-Untersuchung in Simulation wurde durchgeführt, mit aufgezeichneten Videodaten aus zufälligen Fahrten durch Stadt, Ort, Landstraße und Autobahnen. Dabei wurde wie folgt vorgegangen:

- Videodaten wurden akquiriert und in kurze Videosequenzen aus bis zu 10 Sekunden Länge aufgeteilt.
- Für jede Sequenz wurde bewertet, ob in der Videosequenz eine kritische Situation aufgetreten ist, oder die Sequenz zu einer kritischen Situation wie oben beschrieben uminterpretiert werden kann.



- Fällt die Bewertung mehrdeutig aus, z.B. wenn die Sequenz zu Beginn einer möglicherweise kritischen Situation abbricht, wird die Sequenz vollständig aus der Auswertung entfernt.
- Eine Erstellung der Ground Truth wurde anhand dieser der Bewertung erstellt. Jede Sequenz ist
  - o POSITIVE, wenn eine kritische Situation vorliegt oder die Sequenz zu einer kritischen Situation uminterpretiert werden kann.
  - o NEGATIVE, sonst.
- Jede Sequenz wird in einer Offline-Simulation der Abbiegeassistentenfunktionalität ausgewertet: Eine Objekt- Detektion mit 4-5 fps; Tracking + Vorhersage der Objektbewegung; Einordnung der Sequenz in „POSITIVE“ oder „NEGATIVE“ je nachdem, ob die Vorhersage in einen kritischen Bereich fällt oder nicht (Klassifizierung).
- Zum Vergleich wird das Verfahren auch ohne Tracking simuliert: Wenn sich in der Sequenz eine Detektion im überwachten Bereich (Abdeckungsbereich) befindet, wird die Sequenz als „POSITIVE“, sonst als „NEGATIVE“ klassifiziert.
- Der Vergleich zwischen Klassifizierung und Ground Truth wird durchgeführt. Sequenz ist:
  - o True Positive/Negative (TP/TN), wenn für die Sequenz die Klassifizierung und die Ground Truth übereinstimmen.
  - o False Positive, wenn Klassifizierung POSITIVE, aber Ground Truth NEGATIVE (ungerechtfertigter Alarm).
  - o False Negative, wenn Klassifizierung NEGATIVE, aber Ground Truth POSITIVE (fehlender Alarm)

Die Ergebnisse dieser Untersuchung werden in 3.1 beschrieben. Es ist zu beachten, dass in jeder Fahrsituation das Abbiegekriterium (Blinker gesetzt oder geringe Fahrgeschwindigkeit bei eingeschlagener Lenkwinkel) angenommen wurde. Die Auswertung analysiert also nicht das Gesamtsystem, sondern die reine Algorithmen, das Szenenverständnis aus Detektion, Tracking und Vorhersage.

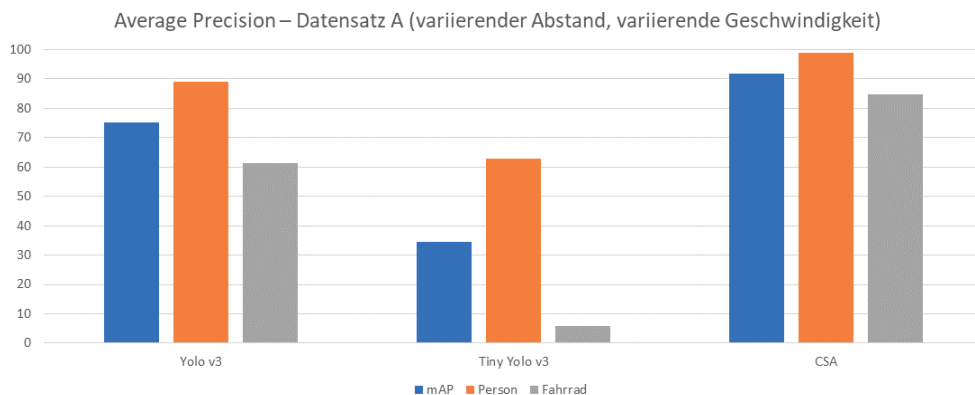
Weiter wurde eine quantitative Online-Untersuchung durchgeführt: Ein Abbiegeassistent mit „embedded Artificial Intelligence“: TASET001 wurde an einem Fahrzeug montiert und Testfahrten wurden durchgeführt. Das Verhalten des Abbiegeassistenten (Monitorausgabe und Signalgeber) wurden mittels zusätzlicher Kamera festgehalten und im Nachgang ausgewertet. Die Ergebnisse dieser Felduntersuchung werden in 3.2 beschrieben und stellen die Qualität und das Verhalten des Gesamtsystems dar, also inklusive der Verwendung der zusätzlichen Informationen wie Lenkwinkel, Blinker und Fahrzeugeigengeschwindigkeit, um den Abbiegevorgang zu erkennen.

### 3. Ergebnis

Vier Iterationen aus Datenakquise, Annotierung, Training und Evaluierung haben zu einer schrittweisen Verbesserung der Detektionsqualität hin zu 98,83% für Personen und 84,79% für Fahrräder im Einzelbild geführt. Vortrainierte Detektoren aus der Literatur mit ähnlicher Komplexität und ähnlichem Ressourcenbe-

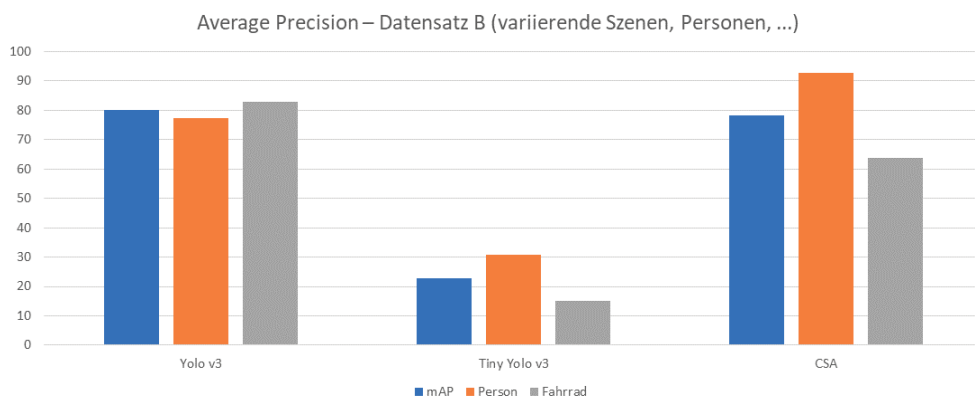


darf des neuronalen Netzes erzielen auf diesen Testdaten eine Detektionsqualität von 62,98% für Personen und 5,75% für Fahrräder aus der Kameraperspektive des LKW-Abbiegeassistenten. Insgesamt wurden mehr als 100K Bilder im Raum Krems, St. Pölten und Wien akquiriert.



**Abbildung 13: Ergebnisse Training Objektdetektion: Datensatz A (in %)**

In Abbildung 13 werden die Trainingsergebnisse des CSA den mit dem COCO Datensatz [12] vortrainierten Objektdetektoren Yolo v3 und Tiny Yolo v3 gegenübergestellt. Testdatensatz A besteht aus gezielt akquirierten Testdaten für einen Abbiegeassistenten: Ein Radfahrer fährt in insgesamt 9 Sequenzen am Fahrzeug vorbei, dabei werden drei verschiedene Abstände zwischen Radfahrer und Fahrzeug und drei verschiedene Geschwindigkeiten verwendet. Die Detektionsqualität wird in Average Precision (AP) bemessen, die sowohl die Sensitivität als auch die Relevanz in einem Wert je Objektklasse zusammenfasst. Die Mean Average Precision (mAP) ist der Mittelwert der APs aller Objektklassen. Jedes einzelne Bild jeder Sequenz wird in der Bewertung herangezogen. Beispiele für Bildmaterial aus Datensatz A sind in Abbildung 11 enthalten. In Abbildung 14 werden die Qualitätswerte für einen weiteren Datensatz dargestellt. Die hier aufgenommenen Sequenzen sind komplexer aufgebaut und Objekte können weiter entfernt liegen. Anonymisierte Beispiele sind in Abbildung 15 dargestellt.



**Abbildung 14: Ergebnisse Training Objektdetektion: Datensatz B (in %)**





**Abbildung 15: Beispieldaten Datensatz B. Die Gesichter der Personen wurden aus Datenschutzgründen anonymisiert.**

In beiden Fällen wurden die Ergebnisse „Yolo v3“ und „Tiny Yolo v3“ mit dem jeweiligen vortrainierten Objektdetektor aus der Literatur erzielt. Die Ergebnisse „CSA“ wurden mit dem von EYYES trainierten Objektdetektor erzielt. Die Ergebnisse zeigen, dass mit einer kompakten Deep Neural Network Architektur ein Objektdetektor für einen konkreten Anwendungsfall trainiert werden kann, der die Qualität eines in der Literatur deutlich mächtigeren General Purpose Deep Neural Network Architektur erreicht.

Durch das Tracking-by-Detection Verfahren wird im Alltag eine Reduktion der Warnungen bei unkritischen Fahrsituationen um ca. 66,2565% erreicht. Einerseits bildet das Tracking eine einfache Form der Plausibilisierung, andererseits das Ignorieren von Fußgängern oder Radfahrern, die sich vom Fahrzeug entfernen. Ein Tracking über zwei Einzelbilder genügt bei einer Auswertung von 5 Bildern pro Sekunde.

### 3.1. Quantitative Offline-Untersuchung:

Die Ergebnisse der quantitativen Offline-Untersuchung werden in Tabellen zusammengefasst. In der zweiten Zeile stehen die Anzahl von Positive und Negative Sequenzen, sowie die Zahl an Sequenzen, die für die Auswertung entfernt wurden, da bei Erstellung der Ground Truth keine klare Einordnung als Positive oder Negative möglich war. Die Spalte „Detection“ bezeichnet das Verfahren ohne Tracking, die Spalte „Tracking“ stellt das Verfahren mit Tracking dar. Es ist wichtig zu betonen, dass diese Auswertung nur kritische Situationen betrachtet unter der Annahme, dass ein Abbiegevorgang stattfinden würde, selbst wenn das nicht der Fall ist. Wird z.B. das an einer Ampel stehende Egofahrzeug von einem Fußgänger überholt, ohne dass ein Abbiegevorgang stattfindet (weder Blinker gesetzt, noch Lenkwinkel eingeschlagen), wird es in dieser Auswertung dennoch als kritische Situation eingeordnet. Umgekehrt wird eine Situation auch dann als Falsch-Positiv gewertet, wenn in der Realität weder Abbiegesituation noch kritische Situation vorliegt, das System aber warnen würde, wenn eine Abbiegesituation vorläge. In einem realen System würden diese Situationen jedoch zu keiner Warnung führen, da nur im Abbiegefall gewarnt wird. Die hier genannten Werte für False Positive, Spezifität und Relevanz lassen sich also nicht direkt auf den realen Fahrbetrieb übertragen, sondern zeigen die Qualität der Algorithmik. Die Sequenzen wurden in der Auswertung mit einer Abtastung von 5 Bildern pro Sekunde (Aufnahmezeit) verarbeitet, was in etwa der Verarbeitungsleis-



tung der im Livesystem verfügbaren Hardware entspricht. In Abbildung 16, Abbildung 17, Abbildung 18, Abbildung 19 und Abbildung 20 werden die Ergebnisse der Offline-Untersuchung dargestellt.

Datensatz 1: 20200108			
Sequenzen: 82x Negative, 17x Positive, 2x entfernt			
	Detection	Tracking	Change
TP:	17	17	
FP	61	23	-62.29%
TN	21	59	+180.95%
FN	0	0	
Sensitivity:	100%	100%	
Specificity:	25.6%	71.95%	
Relevance:	21.79%	42.5%	

**Abbildung 16: Ergebnisse Offline-Untersuchung: Datensatz 1**

Datensatz 2: 20200311_15			
Sequenzen: 145x Negative, 4x Positive, 4x entfernt			
	Detection	Tracking	Change
TP:	4	4	
FP	56	26	-53.57%
TN	89	119	+33.7%
FN	0	0	
Sensitivity:	100%	100%	
Specificity:	61.37%	82.06%	
Relevance:	6.67%	13.3%	

**Abbildung 17: Ergebnisse Offline-Untersuchung: Datensatz 2**



Datensatz 3: 20200311_16			
Sequenzen: 55 Negative, 2x Positive			
	Detection	Tracking	Change
TP:	2	2	
FP	29	5	-82.27%
TN	26	50	+92.3%
FN	0	0	
Sensitivity:	100%	100%	
Specificity:	42.27%	90.9%	
Relevance:	6.45%	28.57%	

Abbildung 18: Ergebnisse Offline-Untersuchung: Datensatz 3

Datensatz 4: 20200715_2903			
Sequenzen: 29 Negative, 0x Positive			
	Detection	Tracking	Change
TP:	0	0	
FP	7	1	-85.7%
TN	22	28	+27.27%
FN	0	0	
Sensitivity:	100%	100%	
Specificity:	75.86%	96.55%	
Relevance:	0%	0%	

Abbildung 19: Ergebnisse Offline-Untersuchung: Datensatz 4



Datensatz 5: 20200715_2904			
Sequenzen: 17 Negative, 0x Positive			
	Detection	Tracking	Change
TP:	0	0	
FP	6	1	-83.3%
TN	11	16	+45.45%
FN	0	0	
Sensitivity:	100%	100%	
Specificity:	64.7%	94.11%	
Relevance:	0%	0%	

**Abbildung 20: Ergebnisse Offline-Untersuchung: Datensatz 5**

Die eingesetzte Tracking-Strategie ist in der Lage, die Zahl der Falsch-Positiven deutlich zu reduzieren, ohne die Sensitivität einzuschränken. So werden insbesondere Einzelobjekte, die sich nicht in eine Richtung bewegen, die zu einer kritischen Situation führt, erfolgreich herausgefiltert. Auch einzelne Falsch-Positiv-Detektionen werden erkannt und entfernt. Die großzügige Zuordnung und Vorhersage hat jedoch Schwierigkeiten mit Gruppen von Personen, da die Zuordnung von Detektionen dann leicht uneindeutig wird und zumeist eine der möglichen Trajektorien zu einer kritischen Situation führen könnte. So sind beispielsweise bei über 50% der nach Tracking verbleibenden 23 FP Sequenzen im Datensatz 20200108 Personengruppen oder größere Menschenmengen in der Sequenz enthalten. Ein weniger großzügiges Tracking ist vermutlich in der Lage in solchen Fällen deutlich mehr richtige Entscheidungen zu treffen, jedoch steigt möglicherweise auch das Risiko für Falsch-Negative. Diese Vermutung soll in Zukunft untersucht werden. Mögliche Ansätze für weniger großzügiges Tracking beinhalten

- Zuordnungsstrategien wie den Hungarian Algorithm
- Matching Techniken, die Pixelbildinhalte der Detektionen vergleichen
- Probabilistisches Tracking

Weitere Verbesserungen für Tracking und Vorhersage können voraussichtlich durch Bildkorrektur erzielt werden, jedoch steigen dadurch auch Aufwand und Fehleranfälligkeit der Kalibrierung.

### 3.2. Quantitative Online-Untersuchung:

Auswertungen Stand Ende 2020:

Krems: 45 min, Schneefall, Winter (< 100lx Lichtintensität)

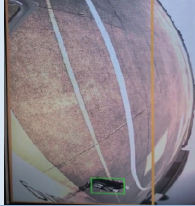



<b>Information</b>	<b>Sensitivität</b>	97%
<b>Information</b>	<b>Specificität</b>	94%
<b>Warning</b>	<b>Sensitivität</b>	100%
<b>Warning</b>	<b>Specificität</b>	100%



Wien Innenstadt: 180min (Sommer, Abend, > 10klx Lichtintensität)

<b>Information</b>	<b>Sensitivität</b>	100%
<b>Information</b>	<b>Specificität</b>	69%
<b>Warning</b>	<b>Sensitivität</b>	100%
<b>Warning</b>	<b>Specificität</b>	100%

**Tabelle 1: Beispielbilder von Feldversuchen als Basis für die Qualitätsauswertung**

Bild	Beschreibung
	Bild einer Person inkl. Testfigur „ROTAKIN“ im Abstand von 10m hinter der Fahrzeugfront. Der „orange“ Zonenrand markiert, dass das KNN die Person aktiv erkannt und innerhalb der Gefahrenzone klassifiziert hat.
	Radfahrer im Abstand von 8m hinter der Fahrzeugfront mit aktivem „orange“ Informationssignal.
	Fahrrad in der Gefahrenzone. Das KNN erkennt, dass sich ein Fahrrad in der Gefahrenzone befindet. Dies führt zu einer „orange“ Information, keiner Warnung.
	Radfahrer im Bereich der Totwinkelkamera mit Detektion von Fahrrad und Radfahrerpersone. Führt zu einem „orange“ Informationssignal und noch keiner Warnung. Erst wenn der Lenker eingeschlagen wird oder der Blinker aktiviert wird, dann wird eine Kollisionsgefahr errechnet und kann eine Warnung mit „rot + Akustik“ entstehen.

### 3.3. Ausblick/ weiterer Forschungsbedarf

Die Ergebnisse der Forschungsarbeit sind in das Produkt TASET001 eingeflossen, welche bereits im Dezember 2019 die ABE erhalten hat. Mit der Weiterentwicklung TASET002 hat EYYES im Frühjahr 2021 eine noch performantere Plattform zur Anwendung als Abbiege- und Rückfahrassistent auf den Markt gebracht. Die nächste Weiterentwicklung wird die Anforderung der UN-ECE R151 vollständig erfüllen. Daran arbeiten die Expertinnen und Experten von EYYES aktuell mit Hochdruck. Die nächste Generation des CSA soll



derart in das Fahrzeug integriert werden, dass die Sicherheit der Radfahrerinnen und Radfahrer noch weiter erhöht und den Fahrerinnen und Fahrern das Lenken im täglichen Straßenverkehr vereinfacht wird.

Weiterführender Forschungsbedarf besteht vor allem in der Bewertung und dem Benchmarking von bildbasierten Abbiegeassistenten. Die Bewertung bildet immer eine Momentaufnahme und die realen Testmöglichkeiten sind begrenzt. Zwar sind die gewählten Verfahren der künstlichen Intelligenz sehr robust gegenüber Kultur- und Umwelteinflüssen, jedoch können neue Herausforderungen in ungetesteter Umgebung nicht ausgeschlossen werden. Neben Verfahren zur explainable AI könnten Simulationsumgebungen und virtuelle Prüfstände solche Systeme auf Herz und Nieren testen. Ein groß angelegtes Forschungsprojekt zur Herstellung eines Visual Blind Spot System Benchmarks könnte sowohl für die Wissenschaft als auch die Übertragung in die Praxis einen enormen Mehrwert darstellen.

In Zukunft soll untersucht werden, wie das KI basierte Szenenverständnis durch weitere Sensormodalitäten wie Radar, Lidar oder Ultraschall unterstützt werden kann, um die Robustheit durch Redundanz und Störsicherheit zu erhöhen.

Wir sind davon überzeugt, dass ein enormes Potenzial im Szenenverständnis durch Kamerabildauswertung liegt. Die Verwendung von Deep Learning Artificial Intelligence bringt einen großen Qualitätssprung, gegenüber herkömmlichen Techniken der Computer Vision und Image Processing, ohne sein Potenzial bereits völlig auszuschöpfen. Die Zulassung und Prüfung solcher Systeme bleibt jedoch eine Hürde. Die weitere Verbesserung der Detektions- und Trackingalgorithmen unter Berücksichtigung der Sicherheitsanforderungen soll in Zukunft erfolgen.

## **4. Bewertung**

### **4.1. Nutzen für die Gesellschaft**

Der gesellschaftliche Nutzen besteht in dem Zugewinn des Einsatzes von bildbasierten KIs im Alltag und somit im Zugewinn des Vertrauens in die Abbiegeassistenzsysteme. Wenn die Fahrer bei Ertönung der Alarmmeldung sich darauf verlassen kann, dass es zu einer kritischen Situation kommt, sollte nicht eine Handlung eintreten, bildet sich der Mehrwert in Form von weniger verursachten Unfällen im Bereich von Personen/Radfahrern und Lastkraftwagen ab.

### **4.2. Innovationsgehalt**

Deep-Learning in einem Fahrerassistenzsystem im speziellen einem LKW Abbiegeassistent stellt eine Weltneuheit dar. Die Innovation besteht dabei darin mittels tiefer neuronaler Netze, welche sehr hohe Robustheit bei der Erkennung von Personen und Radfahrern erreichen, die erste Verarbeitungsstufe zu realisieren. Damit hat man gegenüber klassischen Feature-Tracking oder hintergrundbasierten Objektverfolgungsalgorithmen enorme Vorteile. Die Innovation von EYES besteht dabei darin die enorm hohen Rechenaufwände in einem kompakten Gerät zu integrieren.



### 4.3. Übertrag-/Skalierbarkeit

Ein solches System lässt sich auf alle beweglichen Sondermaschinen (Landwirtschaft, Kräne), die potenziellen Unfälle durch tote Winkel mit Personen generieren können, übertragen. Die erhöhten Kamerapositionen und somit die Anwendung von einer solch spezialisierten KI mit Tracking sind in vielen Bereichen gegeben. Die Basistechnologie der bildbasierten KI und embedded „Deep-Learning“ Beschleunigerhardwareplattformen, wie von EYYES im Rahmen von CAREYE SAFETY ANGLE entwickelt - werden in naher Zukunft für sich selbst in immer mehr Bereichen Anwendung finden.



## Quellenangaben, Zitierweise, Verzeichnisse:

- [1] Suryavansh, Manu: How to make your own deep learning accelerator chip! Towards Data Science, September 2018, URL: <https://towardsdatascience.com/how-to-make-your-own-deep-learning-accelerator-chip-1ff69b78ece4>
- [2] Wong, William G.: Habana Enters Machine-Learning Derby with Goya Platform ElectronicDesign, 19.September 2018, URL: <https://www.electronicdesign.com/industrial-automation/habana-enters-machine-learning-derby-goya-platform>
- [3] Chen; Yang; Emer; Sze: Eyeriss v2: A Flexible Accelerator for Emerging Deep Neural Networks on Mobile Devices, URL: [http://www.rle.mit.edu/eems/wp-content/uploads/2019/04/2019\\_jetcas\\_eyerissv2.pdf](http://www.rle.mit.edu/eems/wp-content/uploads/2019/04/2019_jetcas_eyerissv2.pdf)
- [4] NVIDIA: NVDLA Primer 2018, URL: <http://nvdla.org/primer.html>
- [5] Nicol, Chris: A Dataflow Processing Chip for Training Deep Neural Networks Wave Computing, 2017, URL: [https://www.hotchips.org/wp-content/uploads/hc\\_archives/hc29/HC29.22-Tuesday-Pub/HC29.22.60-NeuralNet1-Pub/HC29.22.610-Dataflow-Deep-Nicol-Wave-07012017.pdf](https://www.hotchips.org/wp-content/uploads/hc_archives/hc29/HC29.22-Tuesday-Pub/HC29.22.60-NeuralNet1-Pub/HC29.22.610-Dataflow-Deep-Nicol-Wave-07012017.pdf)
- [6] Danon, Orr: Introducing Hailo-8: The Most Efficient Deep Learning Processor for Edge Devices Embedded Vision Summit, Mai 2019, URL: <https://www.slideshare.net/embeddedvision/emerging-processor-architectures-for-deep-learning-options-and-tradeoffs-a-presentation-from-hailo>
- [7] Sato; Young; Patterson: An in-depth look at Google's first Tensor Processing Unit (TPU), URL: <https://cloud.google.com/blog/products/gcp/an-in-depth-look-at-googles-first-tensor-processing-unit-tpu>
- [8] Habana Labs Ltd.: Goya Inference Platform White Paper August 2019, URL: [https://habana.ai/wp-content/uploads/pdf/habana\\_labs\\_goya\\_whitepaper.pdf](https://habana.ai/wp-content/uploads/pdf/habana_labs_goya_whitepaper.pdf)
- [9] Breslow, Aha: Simplifying Decision Trees, A Survey, The Knowledge Engineering Review, Vol 12(1), 1997, pp. 1-47
- [10] FGSV, AK-3.2.9, Hinweise zur Videodetektion in Verkehrsbeeinflussungsanlagen HVVBA, FGSV 304/2
- [11] J. Traxler, Johnson Criteria applied for Traffic Incident Detection Systems, MTITS-2013, Dresden
- [12] Lin, Tsung-Yi, et al. "Microsoft coco: Common objects in context." *European conference on computer vision*. Springer, Cham, 2014.
- [13] He, Kaiming, et al. "Mask r-cnn." *Proceedings of the IEEE international conference on computer vision*. 2017.
- [14] Liu, Wei, et al. "Ssd: Single shot multibox detector." *European conference on computer vision*. Springer, Cham, 2016.





- 
- [15] Redmon, Joseph, and Ali Farhadi. "Yolov3: An incremental improvement." arXiv preprint arXiv:1804.02767 (2018).





---

# Fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit – das MARS Forschungsprojekt

Nicolas Mellinger und Andreas Weißmann

Wissenschaftliche Mitarbeiter und Doktoranden, TU Kaiserslautern

## 1. Einleitung

### 1.1. Ausgangslage

Die Radverkehrssicherheit gewinnt vor dem Hintergrund einer stetig wachsenden Anzahl von Radfahrenden in der öffentlichen Wahrnehmung zunehmend an Bedeutung. Ebenso haben fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit in jüngster Zeit sowohl im wissenschaftlichen als auch im wirtschaftlichen Umfeld ein großes Interesse erfahren.

In den kommenden Jahren wird eine steigende Nachfrage zu fahrzeugtechnischen Lösungen zur Verbesserung der Sicherheit zu erwarten sein.

Mehrere Forschungsprojekte im akademischen und wirtschaftlichen Umfeld befassen sich derzeit mit der Thematik den Radverkehr durch technische Möglichkeiten sicherer zu gestalten<sup>13</sup>. Neben der Grundlagenforschung wurde auch die Produktentwicklung in den vergangenen Jahren vorangetrieben, sodass mittlerweile erste Assistenzsysteme zur Warnung vor kritischen Situationen, zur Unterstützung bei Fahrmanövern oder Verbesserung der Wahrnehmbarkeit durch lichttechnische Einrichtungen am Markt verfügbar sind. Insgesamt haben die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten in den letzten Jahren zu vielfältigen Lösungen zur Verbesserung der Radverkehrssicherheit geführt.

Eine wissenschaftliche Untersuchung und Beurteilung der Wirksamkeit dieser verfügbaren Lösungen sowohl im Einzelnen als auch im Zusammenspiel sowie ein Überblick zu möglichen zukünftigen Lösungen sind bislang jedoch noch nicht verfügbar. Hier setzt das Forschungsprojekt „Fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit“ (MARS) an.

### 1.2. Ziel

Ziel des Forschungsprojekts MARS war es, die derzeit verfügbaren und zukünftig denkbaren fahrzeugtechnischen Lösungen zur Steigerung der Radverkehrssicherheit in einer übergreifenden Betrachtung systematisch darzustellen und im Hinblick auf ihre Wirksamkeit nach Vergleichskriterien einzuordnen. Aufbauend auf dieser Analyse bestehender Systeme wurden neue Lösungen zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit mit einem besonderen Schwerpunkt auf der Verbesserung der Wahrnehmung unter Einbeziehung einer Kommunikation zwischen dem Fahrrad und anderen Fahrzeugen sowie der Infrastruktur (Fahrrad2X) ent-

---

<sup>13</sup> vgl. z.B. Bosch 2018, Bosch 2021, DLR 2015, DLR 2018, DLR 2019, Garmin 2021, Hovding 2021, ICEDot 2021, Technische Universität Kaiserslautern 2018, TNO 2016



wickelt. Einige der bereits existierenden sowie die prototypisch realisierten Systeme wurden anschließend im Rahmen von Fahrversuchen und einer Nutzerumfrage untersucht und evaluiert.

### **1.3. Vorgehensweise**

Verkehrswissenschaftliche Recherchen zum Unfallgeschehen bildeten die Grundlage für Bewertungen zu sicherheitsrelevanter Technik für Fahrräder und Pedelecs. Für die einzelnen Systeme wurden Steckbriefe nach einem Kriterienkatalog erarbeitet, welche die jeweiligen relevanten Systemeigenschaften darstellen. Ergänzt wurden diese Ergebnisse durch Praxisuntersuchungen ausgewählter Systeme. Hierbei wurden, je nach System, bereits existierende Praxistests berücksichtigt oder nach Möglichkeit eigene Praxistests durchgeführt.

Basierend auf den Bewertungen durch ein Expertenteam der Projektbearbeitung aus den Bereichen Verkehrswesen, Verkehrstechnik, Lichtsysteme und Elektrotechnik wurden neue Ansätze entwickelt sowie prototypisch realisiert. Ein besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Entwicklung von Kommunikationssystemen zwischen Fahrrädern und anderen Verkehrsteilnehmern (Kraftfahrzeuge und Fußgänger) sowie Infrastrukturelementen (Lichtsignalanlagen, Wechselverkehrszeichen etc.) zur Verbesserung der Wahrnehmung von Radfahrenden in verschiedenen Verkehrssituationen (Abbiegen, Kreuzung, Überholen etc.) und unter verschiedenen Umgebungsbedingungen (Tag, Nacht, Nebel, Sichthindernisse etc.) gelegt.

Anschließend wurden die entwickelten sowie einige der zuvor bewerteten Systeme im Rahmen einer Probandenstudie getestet und/oder im Rahmen einer Online-Nutzerumfrage zur Bewertung von lichttechnischen Einrichtungen sowie verschiedenen Warnsystemen für den Radverkehr evaluiert. Die Erarbeitung, Durchführung und Auswertung der Studie und Befragung waren ebenfalls Teil des Projekts und werden im Folgenden vorgestellt.



## 2. Überblick zur Sicherheitstechnik für Radverkehrssicherheit

Eine Literatur- und Marktrecherche liefert auf nationaler und internationaler Ebene einen Überblick über verfügbare und in der Forschung befindliche sicherheitstechnische Systeme für Fahrräder und Pedelecs. Dabei wurde sowohl bereits verfügbare und auf dem Markt erhältliche Sicherheitstechnik untersucht, als auch Ansätze aus Forschungsprojekten und zukünftige Lösungen aus dem In- und Ausland sowie Normen analysiert.

Die derzeit auf dem Markt verfügbaren sowie zukünftig zu erwartenden potentiellen Systeme zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit können in die folgenden fünf Gruppen eingeteilt werden:

- Kraftfahrzeugseitige Sicherheitstechnik (z.B. Notbremsassistent, Abbiegewarnung)
- Fahrradseitige Sicherheitstechnik (z.B. Antiblockiersystem, Lichtsysteme)
- Fahrerseitige Sicherheitstechnik (z.B. Kopfairbag, Crash Sensor)
- Infrastrukturbasierte Sicherheitstechnik (z.B. Warnsäule, Lichtzeichenanlage)
- Kommunikationsbasierte Sicherheitstechnik (z.B. Vernetzung, Cloud-Systeme)

Zudem können Sicherheitssysteme generell in aktive und passive Systeme unterschieden sowie nach Unfall-szenario klassifiziert werden. Aktive Systeme umfassen Technologien zur Vermeidung von Unfällen und Zusammenstößen sowie zur Reduzierung von Unfallfolgen. Zu den passiven Systemen zählen Maßnahmen, die dazu dienen, Verletzungen zu minimieren, wenn es zu einem Unfall kommt.

Zu den aktiven Systemen zählen hauptsächlich technische Einrichtungen am Kraftfahrzeug, wie Notbremsassistenten<sup>14</sup> und diverse Abbiege- und Kreuzungsassistenten<sup>15</sup>, die den Fahrer entweder warnen oder das Fahrzeug abbremsen können, um einen Unfall zu verhindern oder dessen Folgen abzuschwächen. Adressiert werden hier Zusammenstöße zwischen Fahrrad und Fahrzeug, die durch die Systeme vermieden werden sollen. Ebenfalls zur Kategorie der aktiven Systeme zählen Assistenten, die auf der Stabilisierungsebene beim Rad- oder Pedelec-fahren eingreifen, wie das ABS oder die Fahrdynamikregelung (FDR)<sup>16</sup>, sowie auch Systeme, die in der Führungsebene unterstützen, indem die Bereiche vor, neben und hinter dem Rad von Sensoren überwacht werden. Die Unfallszenarien, denen diese Systeme entgegenwirken, sind Alleinunfälle des Radfahrenden wegen Bremsen oder Lenken auf nicht griffigen Untergründen sowie Auffahrunfälle oder seitliche Treffer durch Radfahrende selbst oder durch andere Verkehrsteilnehmer. Die Systeme, die am Fahrrad bzw. Pedelec montiert werden, gehören in die Kategorie der aktiven Systeme. Beispielsweise Frontalkollisions-, Spurverlassens- oder Seitenwarnungen weisen auf Hindernisse oder andere Verkehrsteilnehmer hin<sup>17</sup>. Markierungs- und Tagfahrlichter<sup>18</sup> erhöhen die Sichtbarkeit des Radfahrenden und damit die Aufmerksamkeit anderer Verkehrsteilnehmer. Zusätzlich wurden Fahrtrichtungsanzeiger („Blinker“), ein Fernlicht und Bremslichter für Fahrräder untersucht<sup>19</sup> (siehe Abbildung 1). Markierungslichter entsprechen

<sup>14</sup>vgl. Schram et al. (2015), Hulshof et al. (2013), Daimler AG (2021b), TNO (2016)

<sup>15</sup>vgl. Schreck u. Seiniger (2015), UNECE (2018), Bosch (2021), Daimler AG (2021a), Volvo (2017)

<sup>16</sup>vgl. Bosch (2018), BrakeForceOne (2018), Elektrobike Online (2018)

<sup>17</sup>vgl. Bosch (2021), TU Kaiserslautern (2018), Garmin (2021), Lanesight (2021)

<sup>18</sup>vgl. Madsen et al. (2013), tern (2018), beryl (2018)

<sup>19</sup>vgl. Supernova (2021), Trelock GmbH (2021), Cateye (2021), Busch & Müller KG (2021), TU Kaiserslautern (2018)



derzeit nicht den Anforderungen an eine Bauartgenehmigung für Fahrzeugteilenach §22a StVZO und dürfen daher nicht im Straßenverkehr verwendet werden. Fahrtrichtungsanzeiger dürfen nur an mehrspurigen Fahrrädern oder solchen, bei denen die Handzeichen verdeckt werden, verbaut werden. Die Untersuchungen dieser Systeme fanden daher auf privatem Gelände statt.



**Abbildung 1: Licht bei Dämmerung (v.l.n.r. ohne Licht, mit Abblendlicht, mit Fernlicht)**

Auch infrastrukturbasierte Systeme zur Verbesserung der Sicherheit durch bessere Kommunikation und Information können den aktiven Systemen zugeordnet werden<sup>20</sup>. Unfälle aufgrund schlecht einsehbarer Knotenpunkte oder toter Winkel können durch den Informationsgewinn reduziert werden.

Weiterhin wurden passive Systeme untersucht. Im Fahrzeugbereich zählen hierzu der Airbag oder die aktive Motorhaube<sup>21</sup> (siehe Abbildung 2), die beide im Falle eines Zusammenstoßes des Fahrzeugs mit einem Fußgänger oder Radfahrenden auslösen und den Aufprall abschwächen.



**Abbildung 2: Airbag für Fußgänger und Radfahrende<sup>22</sup>**

Darüber hinaus zählen Systeme, die an der Person selbst getragen werden und im Falle eines Unfalls auslösen, wie beispielsweise ein Kopfairbag oder ein Crash Sensor<sup>23</sup>, zu dieser Kategorie. Die Wirksamkeit eines konventionellen Sturzhelms<sup>24</sup> wurde ebenfalls betrachtet. Kommt es zu einem Unfall, können diese passiven Systeme vor schweren Verletzungen schützen, indem sie die Kräfte eines Einschlags aufnehmen.

<sup>20</sup>vgl. MRS GmbH (2021), DLR (2015), DLR (2018), DLR (2019), TNO (2018)

<sup>21</sup>vgl. Daimler AG (2021c), Pastor (2013), Jakobsson et al. (o.J.)

<sup>22</sup>Quelle: <https://www.media.volvocars.com/at/de-at/media/photos/list>

<sup>23</sup>vgl. Hovding (2021), ICEDot (2021), Zander et al. (2016), TCS (2019)

<sup>24</sup>vgl. Alpina (2021), CicloSport (2021), TCS (2019)



### 3. Beurteilung der Systeme

#### 3.1. Kriterienkatalog

Zur Beurteilung der Systeme zur Erhöhung der Sicherheit von Radfahrenden wurde ein Kriterienkatalog mit fünf Beurteilungsgruppen eingeführt, der die technische Nutzbarkeit, Eigenschaften der Technik, nutzerbezogene Aspekte sowie die Wirksamkeit und den Preis berücksichtigt. Die Assistenz- (z. B. Frontalkollisionswarnung) und Lichtsysteme (z. B. Markierungslicht) sowie die nicht-technischen Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Sturzhelm) sind individuell und auf spezifische Einsatzzwecke ausgerichtet, sodass keine übergreifende Betrachtung stattgefunden hat, sondern jedes System individuell anhand des Katalogs beurteilt wurde.

#### 3.2. Detailbetrachtungen

Die Detailbetrachtungen der Systeme zeigen, dass vor allem fahrradseitige Systeme wie Navigationsgeräte oder Lichtsysteme<sup>25</sup> in einer großen Vielzahl auf dem Markt verfügbar sowie auch in der Forschung präsent sind. Es konnten ebenso einige kraftfahrzeugseitige sowie fahrerseitige Systeme beurteilt werden. Infrastruktur- und kommunikationsbasierte Sicherheitstechnik ist jedoch im Vergleich zu den erstgenannten Gruppen in deutlich geringerer Anzahl auf dem Markt verfügbar. Dies verdeutlicht einen großen Forschungs- und Entwicklungsbedarf der infrastrukturbasierten und kommunikationsbasierten Systeme.

Um die theoretischen Beurteilungen zu validieren, wurde eine Auswahl der vorgestellten theoretisch beurteilten Systeme einem Praxistest unterzogen. Darin wurden Assistenz- und Lichtsysteme bzw. nicht-technische Sicherheitsmaßnahmen aus allen fünf Systemgruppen untersucht. Wo verfügbar, wurde auf bereits publizierte Ergebnisse zurückgegriffen. Vor allem Licht- und Warnsysteme für das Fahrrad wurden jedoch vom Projektteam angeschafft und in Versuchsfahrten analysiert. Die Auswahl der Praxistests ist im folgenden Abschnitt dargestellt.

#### 3.3. Praxistests

Nicht-technische Sicherheitsmaßnahmen werden am ehesten akzeptiert und genutzt, wenn sie leicht sind und Radfahrende während der Fahrt nicht stören oder in ihrer Fahrweise einschränken. Lichtsysteme bieten vor allem dann einen Sicherheitsgewinn, wenn sie die Sicht für Radfahrende sowie die Sichtbarkeit für andere Verkehrsteilnehmer erhöhen. Für technische Systeme hat sich bestätigt, dass ein ideales Assistenzsystem einen möglichst geringen Bauraum, wenig Gewicht und einen geringen Energieverbrauch haben sollte. Die Beurteilungen haben gezeigt, dass sich hierzu besonders gut LEDs sowie energiesparende Sensoren eignen, die in kleinen Gehäusen verbaut werden können. Zur Gewährleistung der zuverlässigen technischen Nutzbarkeit empfiehlt sich eine hohe Robustheit gegen Temperatur, Nässe und Schmutz. Hierbei eignen sich vor allem abgeschlossene Systeme mit wasser- und staubdichter Bauform. Für die ideale Nutzbarkeit sollte ein System konfigurierbar und leicht verständlich, zudem witterungsunabhängig bedienbar (z. B. auch mit Handschuhen) und hinsichtlich der Warnung gut wahrnehmbar sein. Nutzerstudien haben gezeigt, dass sich hierzu Knöpfe oder Taster besser als Schalter oder Touch-Displays eignen, da diese eben-

<sup>25</sup> Die hier betrachteten Lichtsysteme sind teilweise nicht nach §22a und §67 StVZO zulässig.



falls mit Handschuhen bedienbar sind. Als zuverlässigste Art, Warnungen an Radfahrende weiterzugeben, hat sich ein haptischer Vibrationsgeber herausgestellt, da akustische Warntöne oder optische Anzeigen im Straßenverkehr leicht überhört bzw. übersehen werden können. Nicht nur, dass eine Warnung von Radfahrenden zuverlässig wahrgenommen wird, sondern auch, welche Botschaft übermittelt wird, spielt eine wichtige Rolle [Tec18]. Der Informationsgewinn durch das System sollte möglichst groß sein, um eine gute Wirksamkeit zu erzielen. Allerdings sollte auf eine gute und direkte Verständlichkeit geachtet werden, um Radfahrende nicht zu überfordern oder abzulenken. Im besten Falle werden nicht nur Radfahrende selbst, sondern auch andere Verkehrsteilnehmer vor möglichen kritischen Situationen gewarnt, indem das Assistenzsystem am Rad bzw. Pedelec die eigene Wahrnehmbarkeit durch Beleuchtung<sup>26</sup>, Warneinrichtungen oder Kommunikation zur Infrastruktur oder zu anderen Verkehrsteilnehmern erhöht. Um sich auf dem Markt verbreiten zu können, sollte ein System neben einem hohen Nutzen und einer hohen Wirksamkeit ebenso einen verhältnismäßigen Preis zum Kaufpreis des Fahrrads oder Pedelecs aufweisen.

Zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr spielen vor allem die Nutzbarkeit (technisch und nutzerbezogen), die Wahrnehmbarkeit der Warnung und der Informationsgewinn sowie auch die Wahrnehmung durch andere Verkehrsteilnehmer eine wichtige Rolle. Schon bei der Entwicklung des Kriterienkatalogs wurde darauf besonderer Wert gelegt. Die Wichtigkeit dieser Punkte hat sich durch die Praxistests bestätigt. Bei der Entwicklung neuer Ansätze wird daher auf diese Kriterien ein besonderer Fokus gelegt.

Aus den Beurteilungen wurden Stärken und Schwächen der bereits auf dem Markt bzw. in der Forschung existierenden Systeme analysiert. Ebenso wurden Systemlücken herausgestellt, die bis dahin nicht von Assistenten abgedeckt werden konnten. Die Analyse diente der Ableitung von neuen Ansätzen, die das Feld der Assistenzsysteme für Fahrräder bzw. Pedelecs, sowie auch für Kraftfahrzeuge und die Infrastruktur erweitern und sinnvoll ergänzen können.

---

<sup>26</sup> Die hier betrachteten Lichtsysteme sind teilweise nicht nach §22a und §67 StVZO zulässig.





#### 4. Entwicklung und Evaluation neuer Ansätze

Im Laufe des Projekts wurden mehrere Assistenzsysteme prototypisch entwickelt und in Versuchsfahrten evaluiert.

Realisiert wurden eine Dooring- und Kollisionswarnung sowie eine Infrastrukturbasierte Abbiegewarnung. Die Realisierung dieser Systeme wurde aus verschiedenen Gründen als sehr sinnvoll bewertet. Es wurde ein Fokus auf kommunikationsbasierte Systeme gelegt, da diese einen sehr hohen Sicherheitsgewinn versprechen, aufgrund ihrer Fähigkeit auch bei komplexen Verkehrssituationen mit Sichtverdeckungen (z. B. Kreuzungsbereichen, Einfahrten, ...) wirksam zu bleiben und gleichzeitig unempfindlicher gegenüber Witterung und Lichtverhältnissen zu sein. Zusätzlich zu V2X wurde das mobile Internet als Kommunikationsmedium betrachtet, welches in Form von Smartphones bereits eine hohe Verbreitung hat und somit potenziell als Multiplikator für kommunikationsbasierte Ansätze dienen könnte.

Die Dooring-Warnung adressiert Kollisionen mit sich plötzlich öffnenden Fahrzeurtüren bei parallel zur Radverkehrsinfrastruktur abgestellten Pkw. Dies ist beispielhaft dargestellt in Abbildung 3 .

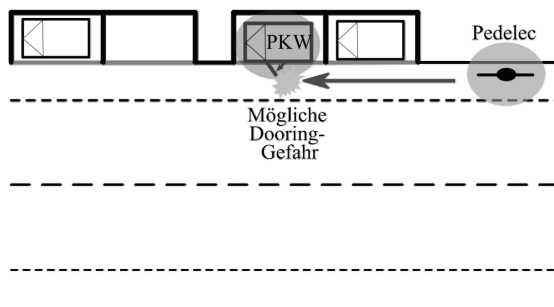


Abbildung 35: Dooring-Warnung

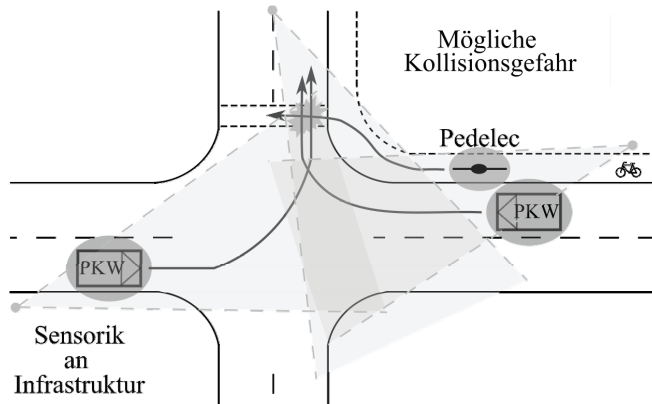


Abbildung 36: Infrastrukturbasierte Abbiegewarnung

Kollisionswarnung und Infrastrukturbasierte Abbiegewarnung zielen auf Unfälle im Bereich von Knotenpunkten und Einmündungen ab, das Szenario der Infrastrukturbasierten Abbiegewarnung ist beispielhaft in Abbildung 4 dargestellt.

#### 4.1. Dooring- und Kollisionswarnung

Diese beiden Systeme nutzen ein Steuergerät im jeweiligen Fahrzeug, um dessen Position (via GNSS) und Geschwindigkeit zu ermitteln und ein Smartphone als Schnittstelle zum mobilen Internet. Die Verkehrsteilnehmer verbinden sich über das mobile Internet mit einem Server und senden diesem in regelmäßigen Abständen ihre Position und Geschwindigkeit. Der Server ermittelt das Kollisionsrisiko der Verkehrsteilnehmer anhand eines constant velocity Prädiktionsmodells. Bei erkennen eines Kollisionsrisikos wird eine Warnung an die potenziellen Kollisionsgegner geschickt. Für Versuchsfahrten wurde ein Versuchspedelec verwendet, welches über Vibrationsmotoren in den Lenkergriffen als haptisches Feedback verfügt. Als zweite Warneinrichtung für Pkw-Fahrer wurde ein akustischer Warnton über ein Smartphone realisiert. Abbildung 5 zeigt die Konzeptübersicht für die für dieses Forschungsprojekt als Demonstrator realisierte Dooring- und Kollisionswarnung.

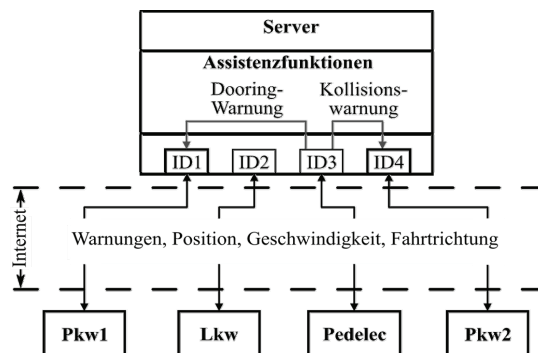


Abbildung 37: Konzeptübersicht Demonstrator Dooring- und Kollisionswarnung



#### 4.1.1 Evaluation Dooring- und Kollisionswarnung



Dooring-Szenario

Kollisionszenario

**Abbildung 38: Darstellung Versuchsfahrten aus Sicht Versuchspedelec**

Sowohl Dooring- als auch Kollisionswarnung wurden vom Projektteam sowie von neun projektfremden Probanden in Versuchsfahrten getestet und evaluiert, um Systemgrenzen und Eigenschaften zu ermitteln, sowie eine erste Einschätzung und Feedback für gezielte Weiterentwicklungen zu erhalten. Ein Beispiel der Szenarien aus den Versuchsfahrten ist in Abbildung 6 dargestellt.

Beide Systeme konnten erfolgreich realisiert und getestet werden. Die Funktionsweise über das mobile Internet hat sich als ausreichend schnell herausgestellt, so konnten Laufzeiten vom Senden der aktuellen Position und Geschwindigkeit, bis zum aktiv werden einer Warnung, von im Mittel 183 Millisekunden erreicht werden. Während der Versuchsfahrten konnte festgestellt werden, dass die Zuverlässigkeit der Positionsbestimmung mittels eines normalen GNSS Empfängers nicht immer gewährleistet werden kann. So kam es in mehreren Fällen zu Verbindungsabbrüchen zu den Satelliten und somit konnten keine Positionsupdates zum Server gesendet werden. Abhilfe für diese Problematik existiert bereits in Form von Dead Reckoning Methoden, welche Positionen zeitweise genau schätzen können. Ebenso beobachtet wurde, dass die Wirksamkeit der Systeme durch eine hohe Ungenauigkeit bei der Positionsermittlung beeinträchtigt werden konnte, aufgrund der atmosphärischen Begebenheiten. Dies könnte durch den Einsatz des Differential Global Navigation Satellite Systems (DGNSS) umgangen werden, welche eine zentimetergenaue Positionsermittlung erlaubt und Störungen durch atmosphärische Begebenheiten korrigiert. Bezüglich des Prädiktionsmodells hat sich gezeigt, dass das constant velocity Modell lediglich für simple Szenarien geeignet ist und insbesondere bei der Kollisionswarnung die realen Trajektorienverläufe des Radfahrenden nicht ausreichend genau abbildet. Es ist jedoch möglich durch weitere Validierungsschritte auf dem Server mittels digitaler Karten, die Fehleranfälligkeit deutlich zu verringern und die Funktionsweise zu verbessern. Hier besteht jedoch noch ein sehr großer genereller Forschungsbedarf mit Fokus auf Prädiktionsmodelle für den Radverkehr. Ebenso besteht noch ein großer Forschungsbedarf zu Warnzeitpunkten von Assistenzsystemen im Radverkehr. Aus den Versuchen konnten keine eindeutigen Warnzeitpunkte abgeleitet werden, da das Empfinden einer zu späten Warnung sehr stark von der subjektiven Einschätzung der Probanden abhing. Hier erscheinen weiterführende Untersuchungen sinnvoll



mit Hinblick auf die Faktoren, welche die subjektive Einschätzung des passenden Warnzeitpunkts beeinflussen. Beispiele für solche Faktoren könnten die bevorzugte Reaktion des jeweiligen Probanden auf bestimmte Gefahrensituationen sein (Ausweichen vs. Bremsen) aber auch, wie das Bremsverhalten mit dem Fahrrad ist (vorsichtiges Bremsen vs. starkes Bremsen) und die damit potenziell verbundene Furcht vor einem Sturz über den Lenker bei Nutzung der Vorderradbremse.

Bei der Art der Warnung wurde sowohl akustische (für Pkw-Fahrer) als auch haptische Warnung (für Radfahrer) von der Intensität her mehrheitlich als genau richtig bewertet. Auch die Ablenkung durch die beiden Warneinrichtungen wurde überwiegend als klein bzw. sehr klein empfunden. Diese Untersuchungen wurden mit einem kleinen, nicht repräsentativen Probandenkreis durchgeführt, welche aus dem Projektteam sowie neun weiteren Probanden bestand und eine erste Einschätzung zu den eingesetzten Warneinrichtungen liefern sollte. Die Ergebnisse zeigen, dass die gewählten und realisierten Warneinrichtungen bereits eine hohe Akzeptanz erfahren und für umfangreichere Tests mit einem repräsentativen Probandenkreis geeignet sind.

Aus technischer Sicht könnten beide Systeme, unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen technischen Verbesserungen sowie Anpassungen bezüglich Größe und Gewicht, zu einer Marktreife gebracht werden. Das Hauptproblem, welches diese Art von kommunikationsbasierten Assistenzsystemen teilen, ist der Durchdringungsgrad unter den Verkehrsteilnehmern. Um eine Warnung bei Kollisionsgefahr zu gewährleisten, müssen stets beide Kollisionspartner mit den Systemen ausgestattet sein. Jedoch könnte die Nutzung des Smartphones und mobilen Internets als Schnittstelle für kommunikationsbasierte Assistenzsysteme eine Verbreitung deutlich beschleunigen und es bietet sich daher an, solche Lösungen in die zukünftigen V2X Überlegungen und Diskussionen einzubinden. Es ist jedoch anzumerken, dass die Realisierung des Demonstrators mittels mobilem Internet lediglich zu Forschungszwecken diene, eine Realisierung auf Basis von Direktkommunikation und ein Verlagern der Assistenzfunktion vom Server auf ein Steuergerät ist jedoch problemlos möglich. Zu Bedenken ist ebenfalls, dass für den Nutzer in jedem Falle die Anschaffungs- und Nutzungskosten (ECU, Internet, Kommunikationshardware) des Systems anfallen, was ebenfalls einen Einfluss auf die Verbreitung hat.

## 4.2. Infrastrukturbasierte Abbiegewarnung

Durch dieses Konzept wird ein infrastrukturbasiertes kommunikationsbasiertes System aufgebaut und erweitert, sodass neben dem motorisierten Verkehr ebenfalls Radfahrende einbezogen werden. Das Ziel dieses Systems ist es, die Sicherheit in Interaktion mit motorisiertem Verkehr zu erhöhen. Neuartig ist der hybride Kommunikationsansatz, bei dem sowohl über etablierte Standards für die Direktkommunikation mit Fahrzeugen (ETSI ITS G5) als auch über Mobilfunk mit Radfahrenden kommuniziert wird. Perspektivisch ist dadurch ein hoher Verbreitungsgrad zu erwarten.

An bestimmten sensorisch ausgestatteten Knotenpunkten ist die messtechnische Erfassung der Verkehrsteilnehmer möglich. Anhand der erfassten Trajektorien werden Konflikte zum Beispiel beim Rechtsabbiegen mit kreuzenden Radfahrenden prädiziert und adaptive Warnungen drahtlos in Echtzeit weitergegeben. Bei der Auslegung des Algorithmus spielen Relationen in Raum und Zeit zwischen den Konfliktpart-



nen eine entscheidende Rolle. Konfliktkenngrößen wie Time to Collision oder Gap Time werden hinzugezogen, um ein Risikolevel abzuleiten. Nach abgeschlossener Risikobewertung wird durch den Bewertungsalgorithmus das Versenden einer Nachricht zur Warnung der Verkehrsteilnehmer ausgelöst.

Das für Versuche existierende und erweiterte System, erfasst über festinstallierte Sensorik an einem Knotenpunkt motorisierte und nicht motorisierte Verkehrsteilnehmer und prädiziert für jeden Teilnehmer eine Trajektorie. Mithilfe dieser Trajektorien und abgeleiteter Kritikalitätsmaße wird das Kollisionsrisiko ermittelt und situativ eine Warnung über die V2X-Kommunikation sowie das mobile Internet versendet.

#### **4.2.1 Evaluation Infrastrukturbasierte Abbiegewarnung**

Um das Frühwarnsystem technisch zu evaluieren, wurden Versuchsfahrten durchgeführt und eine Warnung für einen geradeausfahrenden Radfahrenden und einem abbiegenden Kfz provoziert. Die beschriebene Konfliktsituation aus den Versuchsfahrten an der Forschungskreuzung ist in Abbildung 7 dargestellt.



**Abbildung 39: Konfliktszenario der Abbiegewarnung**

Getestet wurde hierbei mit einem Pkw, welcher Warnungen über eine V2X-Kommunikationsschnittstelle erhält sowie dem bereits zuvor genannten Versuchspedelec, welches Warnungen über das mobile Internet erhält. Die Auswertung der Versuchsfahrten zeigt, dass im Mittel 28 Meter vor dem Erreichen des Konfliktpunkts gewarnt wurde, dabei blieben den potenziellen Kollisionspartnern im Mittel 4,6 Sekunden Zeit den Konflikt aufzulösen. Durch Bildverarbeitung, Prädiktion und das Bereitstellen der Warnungen über das mobile Internet und V2X-Kommunikationsschnittstellen entsteht hierbei eine Latenz bis zur Warnung von im Mittel 568 Millisekunden über die V2X-Kommunikation und 683 Millisekunden über mobiles Internet. Die resultierenden Warnungen wurden bei 67 % der Versuchsfahrten als rechtzeitig beurteilt, was zeigt, dass trotz der technisch bedingten Latenz in den meisten Fällen frühzeitig genug gewarnt werden konnte, hierbei aber noch Verbesserungspotenzial besteht. Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass durch die Latenz die Situation bis zum aktiv werden der Warnung bereits weiter fortgeschritten ist, d. h. die Konfliktpartner sich näher am Konfliktpunkt befinden. Daher muss für rechtzeitige Warnungen ein entsprechender Zeitpuffer in der Praxis berücksichtigt werden.

Die Versuchsfahrten haben gezeigt, dass es möglich ist, Verkehrsteilnehmer sowohl über die V2X Kommunikation als auch über das mobile Internet zu warnen und somit unterschiedliche Kommunikationsansätze



in Kombination zu nutzen, um neben Fahrzeugen auch Radfahrende in vernetzte Verbünde zu integrieren. Aus technischer Sicht besteht auch bei diesem System eines der Hauptprobleme in der Verbreitung der notwendigen Kommunikationshardware, um Warnungen empfangen zu können. Bezüglich der Marktreife sind diese Ansätze bereits sehr weit fortgeschritten und es werden in erster Linie Detailverbesserungen benötigt (z. B. Verarbeitungszeiten verringern und Verbesserungen der Trajektorienprädiktion). Ein Nachteil einer infrastrukturellen Warnung sind die hohen Investitionskosten für die Anschaffung sowie der Platzbedarf am entsprechenden Knotenpunkt, dafür ist das Konzept jedoch auf beliebige Knotenpunkte übertragbar, solange der Platzbedarf erfüllt ist. Vorteil hingegen ist, dass das System von jedem genutzt werden kann, welcher über die nötige Kommunikationshardware zum Empfang der Warnungen verfügt.

### 4.3. Online-Umfrage zu Lichtsystemen

In einer Online-Umfrage wurden Fahrtrichtungsanzeiger, Markierungslichter, Abblendlichter mit Tagfahrlicht- und Fernlichtfunktion sowie Rücklichter mit Bremslichtfunktion durch Videoaufnahmen und Bilder bewertet. Dabei wurden die Lichtsysteme am Fahrrad im Vergleich zu den jeweiligen Lichtsystemen an einem Kfz gezeigt. Außerdem wurden eine Dooring- sowie eine Kollisionswarnung für Rad- und Kfz-Fahrer untersucht.

Im Ergebnis hat jeweils etwa die Hälfte der Teilnehmer angegeben, Probleme oder kritische Situationen im Straßenverkehr erlebt zu haben. Kritische Situationen durch eine schlechte Sichtbarkeit oder geringe Sichtweite beispielsweise können durch ein Markierungs<sup>27</sup>- oder Tagfahrlicht sowie durch ein Fernlicht verbessert werden. Bei den Lichtsystemen hat sich gezeigt, dass jeweils ca. 60 % bereit wären, das System zu nutzen. Den Warnsystemen vor Dooring und Kollisionen stehen die Befragten skeptischer gegenüber. Hier sind jeweils weniger als 30 % bereit, ein solches System zu nutzen. Gründe hierfür könnten fehlendes Vertrauen in die noch neue Technik sowie die generell fehlende Bereitschaft sein, zusätzliche Technik am Fahrrad mitzuführen und zu nutzen.

Bezüglich der Wahrnehmung der Lichtsysteme hat sich gezeigt, dass die Leuchtdichte des untersuchten Fahrtrichtungsanzeigers im Vergleich zum Kfz vor allem bei Tag und in der Dämmerung zu schwach ist. Nachts wird der Fahrtrichtungsanzeiger<sup>28</sup> besser wahrgenommen. Ein Tagfahrlicht wird erst in der Dämmerung und Nacht ausreichend gut erkannt. In seiner Hauptfunktion bei Tag wird es von drei Viertel der Befragten nur schlecht wahrgenommen. Ebenso wird auch das Bremslicht im Vergleich zu dem eines Kfz zu schwach wahrgenommen. Nur bei Nacht sehen mehr als ein Viertel der Befragten das Bremslicht des Fahrrades genauso gut. Das untersuchte Fernlicht erhält sehr gute Bewertungen für die Sichtweite und Bedienung. Negativ beurteilt wurde die Blendwirkung des Gegenverkehrs und anderer Verkehrsteilnehmer.

Die Warnsysteme wurden zusätzlich zu den bereits für die Lichtsysteme genannten Kriterien hinsichtlich der Warnzeitpunkte bewertet. Während der für die Dooring-Warnung in dieser Befragung systembedingte Warnzeitpunkt von ca. drei Sekunden vor der sich öffnenden Fahrzeugtür hier von der Hälfte der Befragten

---

<sup>27</sup> Markierungslichter sind nicht nach §22a und §67 StVZO zulässig.

<sup>28</sup> Fahrtrichtungsanzeiger dürfen nur an mehrspurigen Fahrrädern oder solchen, bei denen die Handzeichen verdeckt werden, verbaut werden.



eher als zu spät beurteilt wurde, bewerteten mehr als die Hälfte die Kollisionswarnung, ebenfalls ca. drei Sekunden vor dem möglichen Konfliktpunkt, als genau richtig.

Insgesamt hat die Umfrage gezeigt, dass Radfahrende in vielen Systemen grundsätzlich ein großes Potenzial zur Erhöhung der Sicherheit und Verringerung von Unfällen im Straßenverkehr sehen. Die Nutzungs- und Investitionsbereitschaft ist vor allem bei den Lichtsystemen hoch. Allerdings sind die Wahrnehmbarkeit und Bedienung der Systeme in vielen Einzelfällen noch zu optimieren. Die Warnsysteme vor Dooring- oder Kollisionsunfällen zeigen einen vielversprechenden Schritt in Richtung zukunftsfähiger Assistenzsysteme. Ihre Funktionalität hängt jedoch maßgeblich vom Verbreitungsgrad in Rad und Kfz ab, da sie auf dem Kommunikationsprinzip basieren. Nur, wenn ein möglicher Kollisionspartner mit der gleichen Technik ausgestattet ist, kann eine Warnung ausgegeben werden. Zusätzlich sind diese Systeme auf Seiten der Radfahrer weitestgehend unbekannt und die Forschungsergebnisse lassen dementsprechend eine gewisse Skepsis erkennen, sodass hier weitere Aufklärung über Vor- und Nachteile von technischen Systemen erfolgen muss.



## 5. Ergebnis / Fazit

Im Rahmen des Projektes wurden eine portable Dooring- und eine Kollisionswarnung für Radfahrende zu Forschungszwecken realisiert, welche mithilfe von Positionen und Geschwindigkeiten das Kollisionsrisiko mit anderen Verkehrsteilnehmern bestimmen und bei Gefahr eine Warnung über mobiles Internet an die potenziellen Kollisionsgegner (Rad und Fahrzeug) senden können. Ebenso wurde eine infrastrukturbasierte Abbiegewarnung aufgebaut, die über festinstallierte Sensorik Verkehrsteilnehmer erkennt und bei kritischen Situationen eine Warnung über Direktkommunikation sowie mobiles Internet übermittelt. Hierbei wurde festgestellt, dass die Latenz über mobiles Internet im Vergleich zur Latenz mittels Direktkommunikation größer ist.

Aus Versuchsfahrten konnten aufgrund subjektiver Einschätzungen keine allgemeingültigen Warnzeitpunkte abgeleitet werden. Die Art der Warnung (haptisch und akustisch) wurde jedoch mehrheitlich als genau richtig bewertet.

Die Lichtsysteme am Fahrrad wurden von den Befragten in der Online-Studie, im Vergleich zum Pkw, bei Tageslicht als zu schwach beurteilt. Bei Dämmerung und Dunkelheit wurden sie gut wahrgenommen.

### 5.1. Forschungsbedarf

Die neuen Ansätze zeigen auf, was möglich ist, in Richtung zukunftsfähiger Assistenzsysteme. Ihre Funktionalität hängt jedoch maßgeblich vom Verbreitungsgrad in Rad und Kfz ab. Forschungsbedarf besteht bei kommunikationsbasierten Systemen (Fahrrad 2X).

Die Wahrnehmbarkeit und Bedienung der Lichtsysteme ist in vielen Einzelfällen noch zu optimieren. Gerade bei Tageslicht haben die Befragten sie im Vergleich zur Pkw-Beleuchtung oft nur schlecht wahrgenommen. Ein Vergleich zu Lichtsystemen eines Motorrades wäre hier aufgrund der Größe und Anordnung der Lichtquellen denkbar. Auch unbeleuchtete Szenarien hätten eine zusätzliche Hilfestellung zur Einschätzung der Systeme für die Befragten sein können.

### 5.2. Nutzen

Das Vorhaben ermöglicht Akteuren aus der Wirtschaft eine wissenschaftlich fundierte Einordnung der verschiedenen Lösungen und liefert Impulse für zukünftige Entwicklungen. Zudem erbringt das Vorhaben grundlegend neue Erkenntnisse über fahrzeugtechnische Lösungen zur Verbesserung der Radverkehrssicherheit und erweitert somit den Stand der Wissenschaft und Technik in diesem Bereich.

### 5.3. Innovation

Im Projekt wurden neue Kommunikationssysteme zwischen dem Fahrrad und anderen Fahrzeugen sowie der Infrastruktur entwickelt. Hier haben sich die größten Defizite am Markt sowie die größten Potentiale des Sicherheitsgewinns herausgestellt. Ebenso wurden Lichtsysteme zur Erhöhung der Sichtbarkeit in einer





Online-Umfrage untersucht. MARS gibt einen Überblick über die Einsatzfähigkeit und –grenzen solcher Systeme, welcher bisher nicht verfügbar war.

#### **5.4. Übertragbarkeit**

Fahrradsicherheit ist ein länderübergreifendes Thema. Bei der Untersuchung der Sicherheits- und Lichtsysteme wurde nicht auf die Einhaltung deutscher Richtlinien und Vorgaben geachtet. Es wurde hingegen ein großer Wert auf die Beurteilung der technischen Nutzbarkeit, die Erfüllung der Nutzerbedürfnisse sowie auf die Wahrnehmung der Nutzer gelegt, sodass die Forschungsergebnisse international übertragbar sind.



## 6. Literatur

Alpina Sports GmbH 2021: Mythos 2.0 Radhelm. <https://www.alpina-sports.com/de/de/radhelme/erwachsene/mythos-3.0/?number=A9712132>. Version 2021

BERYI 2018: Laserlight - Unblind the blind spot. Von <https://beryl.cc/laserlight/>. Version: 2021

Bosch 2018: Neues eBike ABS. <https://www.bosch-ebike.com/de/produkte/abs/> Version: 2021

Bosch 2021: Mehr Sicherheit auf zwei Rädern. Diese Innovationen bringt Bosch ins Motorrad der Zukunft. <https://www.bosch-presse.de/pressportal/de/de/mehr-sicherheit-auf-zwei-raedern-diese-innovationen-bringt-bosch-ins-motorrad-der-zukunft-157824.html> Version: 2021

BrakeForceOne 2018: ABS für E-Bikes mit Überschlagschutz. <http://www.brakeforceone.de/e-bike-abs/> Version: 2021

Busch & Müller KG 2021: BrakeTec. Die Bremslichtfunktion. <https://www.bumm.de/de/technologie-detail/linetec-braketec.html>. Version 2021

Cateye Co. Ltd. 2021: RAPID X2 KINETIC, [https://www.cateye.com/intl/products/safety\\_lights/TL-LD710K/](https://www.cateye.com/intl/products/safety_lights/TL-LD710K/) Version 2021

CicloSport 2021: Livall BH51 M Neo- Smarter Helm, smarter Schutz in der Stadt. <https://www.livall.de/> Version: 2021

Daimler AG 2021a: Abbiegeassistent. Mehr Sicherheit für Fußgänger und Radfahrer. <https://www.daimler.com/produkte/Lkw/mercedes-benz/abbiegeassistent.html> Version: 2021

Daimler AG 2021b: Notbremsassistent Active Brake: Assist 4 mit Fußgängererkennung und Abbiege-Assistent. <http://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Mercedes-Benz-Lkw-Sicherheit-Neue-Assistenzsysteme-Notbremsassistent-Active-Brake-Assist-4-mit-Fussgaengererkennung-und-Abbiege-Assistent.xhtml?oid=12367326>. Version: 2021

Daimler AG 2021c: Fußgängerschutz in der neuen E-Klasse: Beim Zusammenstoß wird die Motorhaube blitz-schnell um 50 Millimeter angehoben. <https://media.daimler.com/marsMediaSite/de/instance/ko/Fussgaengerschutz-in-der-neuen-E-Klasse-Beim-Zusammenstoss-wird-die-Motorhaube-blitzschnell-um-50-Millimeter-angehoben.xhtml?oid=9361563>. Version 2021

DLR 2015: The XCYCLE Projekt. <http://www.xcycle-h2020.eu/> Version: 2021

DLR 2018: Blinklicht schützt Radfahrer vor abbiegenden Fahrzeugen - DLR forscht mit Amber Light im Braunschweiger Stadtverkehr. [https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2018/1/20180308\\_blinklicht-schuetzt-radfahrer-vor-abbiegenden-fahrzeugen-dlr-forscht-mit-amber-light-im-braunschweiger-stadtverkehr\\_26322.html](https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2018/1/20180308_blinklicht-schuetzt-radfahrer-vor-abbiegenden-fahrzeugen-dlr-forscht-mit-amber-light-im-braunschweiger-stadtverkehr_26322.html) Version: 2021

DLR 2019: Forschungsprojekt PEGASUS - Automatisiertes Fahren effektiv absichern. <https://www.pegasusprojekt.de/de/home> Version: 2021

Elektrobike Online 2018: E-Bike-ABS jetzt auch bei Continental. <https://www.elektrobike-online.com/news/e-bikes-und-pedelecs/neue-e-antriebe-2018-continental-48v-revolution.1745114.410636.htm> Version: 2021

Garmin 2021: Garmin Varia Fahrrad Radar. <https://buy.garmin.com/en-US/US/p/698001/pn/010-02376-00> Version 2021

Hovding 2021: Die neue Art Fahrradhelm. <https://hovding.de/> Version: 2021



HULSHOF, Wesley; KNIGHT, Iain; EDWARDS, Alix; AVERY, Matthew; GROVER, Colin 2013: Autonomous Emergency Braking Test Results, Thatcham Research, UK. Paper Number 13-0168, Euro NCAP

ICEDot 2021: ICEDot - We are an emergency identification and notification system. <https://icedot.org/> Version: 2021

JAKOBSSON, Lotta; BROBERG, Thomas; KARLSSON, Henrik; FREDRIKSSON, Anders; GRABERG, Niklas; GULLANDER, Christina; LINDMAN, Magdalena (o.J.): Pedestrian Airbag Technology - A Production System, Volvo Car Corporation, Schweden. <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/23/isy7/main.htm>, PaperNo.13-0447-O. Version 2021

Lanesight 2021: Intuitive Technology Saving Lives. <http://lanesight.com/> Version: 2021

MADSEN, J.C.O.; ANDERSEN, T.; LAHRMANN, H.S. 2013: Safety effects of permanent running lights for bicycles: A controlled experiment. In: Accident Analysis and Prevention, Nr. 50,S. 820-829, Elsevier Verlag

MRS GmbH 2021: Mobile Road Safety. bikeflash - das präventive Dialodisplay. <https://bike-flash.de/> Version: 2021

PASTOR, Claus 2013: Correlation between pedestrian injury severity in real-life crashes and Euro NCAP pedestrian test results, Bundesanstalt für Straßenwesen, Deutschland. Paper Number 13-0308. Euro NCAP

SCHRAM, Richard; WILLIAMS, Aled; van RATINGEN, Michiel; RYBERG, Stephan; RAIMINDO, Sferco 2015: Euro NCAP's First Step To Assess Autonomous Emergency Braking (AEB) For Vulnerable Road Users. European New Car Assessment Programme, Belgien; Volvo Car Corporation, Schweden; Ford Motor Company, Deutschland. Paper Number: 15-0277, Euro NCAP

SCHRECK, Benjamin und SEINIGER, Patrick 2015: Abbiegeassistenzsystem für Lkw. Grundlagen eines Testverfahrens. In: Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen. Reihe Fahrzeugtechnik. Heft F104. Bundesanstalt für Straßenwesen (Hrsg.), Bergisch Gladbach

Supernova 2021: Legales Fernlicht für Alle. <https://supernova-lights.com/> Version: 2021

Technische Universität Kaiserslautern 2018: Forschungsprojekt Sicherheitsorientierte Fahrerassistenzsysteme für Elektrofahräder (SIFAFE). <https://www.bauing.uni-kl.de/imove/forschung/sifafe/> Version: 2021

TCS 2019: Airbag für Velofahrer kann nur bedingt überzeugen. Touring Club Schweiz. <https://www.tcs.ch/de/der-tcs/presse/medienmitteilungen-2019/velo-sicherheit.php>. Version: 2021

tern 2018: Vizy Light - Safety Radically Reinvented. <https://www.ternbicycles.com/us/gear/471/vizy-light>. Version: 2021

TNO 2016: CATS: Cyclist-AEB Testing System Development. <https://www.tno.nl/en/focus-areas/traffic-transport/roadmaps/smart-and-safe-traffic-and-transport/smart-vehicles/cats-cyclist-aeb-testing-system-development/> Version: 2021

TNO 2018: Traffic Deaths Among Vulnerable Road Users to Zero. <https://www.tno.nl/en/focus-areas/traffic-transport/roadmaps/smart-and-safe-traffic-and-transport/smart-vehicles/traffic-deaths-among-vulnerable-road-users-to-zero/> Version: 2021

Telock GmbH 2021. LS 614 DUO FLAT SIGNAL. <https://www.trelock.de/web/de/licht/E-Bike-Beleuchtung.php>. Version 2021

UNECE 2018: GRSG-115-10-REv.1 2018: Revised proposal für a new UN Regulation on uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Blind Spot Information System for the Detection of Bicycles (Amendments to ECE/TRANS/WP.29/GRSG/2018/24 as adopted by GRSG at its 115th session). <https://www.unece.org/trans/main/wp29/wgs/wp29grsg/grsginf115.html>, Version 2018



---

Volvo Car Corporation 2017: Intellisafe - Unser Sicherheitskonzept. Fahrzeugsicherheit neu definiert. <https://www.volvocars.com/de/volvo/innovationen/sicherheit>. Version: 2021

ZANDER, LANGNER, LORENZ, SEECK 2016: Sicherheitsbewertung von airbagbasierten Kopfschutzsystemen für Fahrradfahrer - Auswertung der Versuchsergebnisse - . Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Galdbach



# Verkehrssicherheit von Pedelecs und Lösungen zur Erhöhung der Fahrradsicherheit

Dr. Oliver Maier\*, Dr. Stefan Hattula\*, Stefan Schneider\*, Jörg Mönlich\*, Thomas Lich\*

\*Bosch eBike Systems, Robert Bosch GmbH, Gerhard-Kindler-Straße 3, 72770 Reutlingen

\*Bosch Unfallforschung, Robert Bosch GmbH, Robert-Bosch-Campus 1, 71272 Renningen

## Inhalt

Kurzfassung.....	108
1. Einleitung.....	109
2. Material und Methoden.....	110
2.1. Amtliche Unfallstatistiken.....	110
2.2. Nutzerstudie .....	112
3. Ergebnisse .....	113
3.1. Nutzungscharakteristika .....	113
3.2. Sicherheitsverhalten .....	116
3.3. Unfallerfahrung.....	118
3.4. Potenzial des Pedelecs.....	123
4. Diskussion.....	125
4.1. Einordnung der Pedelecsicherheit .....	125
4.2. Fahrzeugseitige Sicherheitssysteme.....	128
5. Fazit .....	130
Literaturverzeichnis.....	131



## Kurzfassung

Ziel des vorliegenden Manuskripts ist es, die tatsächliche Nutzung von Fahrrad und Pedelec im Detail zu verstehen und einen Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von beiden Fahrzeugtypen zu leisten. Aus dem Vergleich von amtlichen Unfallstatistiken (DESTATIS) und Nutzungsstatistiken (MiD) in Deutschland ist bekannt, dass (1) das allgemeine Unfallrisiko mit der Nutzung korreliert (altersunabhängig) und (2) das Unfallrisiko tödlich zu verunglücken mit dem Alter korreliert (nutzungsunabhängig). Aufgrund fehlender Tiefeninformationen in den bis dato bekannten Nutzerbefragungen hinsichtlich Fahrrad- und Pedelecsicherheit wurde eine quantitative Nutzerstudie (Erhebungsdetails: Zeitraum 06/07 2020, Länder GER, CH, NL, FR, UK und USA; Teilnehmer: N = 3026, Ø-Alter 44,07 Jahre, 49,6 % weiblich, Fahrrad- oder Pedelecbesitzer:innen) durchgeführt.

Aus den Befragungsergebnissen geht hervor, dass Pedelecs stärker als Fahrräder für alltägliche Zwecke genutzt werden (+20 % Pendeln und Erledigungen), häufiger im Einsatz sind (+50 %), mit ihnen längere Distanzen zurückgelegt werden (+60 %) und die Nutzung witterungsunabhängiger stattfindet (+6 bis +10 % schlechte Wetterbedingungen). Die damit einhergehende höhere Unfallexposition von Pedelecs versuchen die Fahrer:innen durch eine erhöhte Sichtbarkeit im Straßenverkehr (bspw. lichtreflektierende Westen +9 % oder Kleidung mit eingenähten Lichtreflektoren +9 %) sowie des Tragens eines Helms (+9 %) zu kompensieren.

Die in der Nutzerstudie erhobene Unfallerfahrung deckt sich mit der durch die Pedelecnutzung v.a. im urbanen Raum hervorgerufenen Unfallexposition. So ereignen sich die meisten Unfälle im Stadtgebiet (70 %) und dort an Kreuzungen (29 %), was eine Verbesserung der Verkehrs- und Radinfrastruktur motiviert. Im Vergleich zum Fahrrad ist beim Pedelec eine Unfalhäufung bei Regen (+31 %) zu beobachten, was durch den breiten Einsatz von Antiblockiersystemen (ABS) adressiert werden kann. Häufigste Kollisionsgegner:innen sind für Fahrrad und Pedelec (39 % und 36 %) die PKWs. Um Konfliktpotenziale mit diesem zu entschärfen, sind PKW- aber auch LKW-seitige Systeme wie Abbiegeassistenten, Ausstiegswarner und Parkassistenten zu empfehlen. Die Studienergebnisse zeigen weiterhin, dass Alleinunfälle beim Fahrrad am zweithäufigsten nach PKW-Unfällen auftreten (38 %). Im Vergleich dazu sind Alleinunfälle bei Pedelecs 13 % seltener, allerdings Unfälle mit anderen vulnerablen Verkehrsteilnehmer häufiger. Aus diesem Grund sollte die Infrastruktur an die zunehmend multimodale Nutzung angepasst werden. Weiterhin erhielten in 18 % der Fälle die verletzten Fahrrad- und Pedelecfahrer:innen keine direkte Hilfe, was durch eCall Systeme reduziert werden kann.

Sind diese Herausforderungen hinsichtlich der Verkehrssicherheit gelöst, so zeigt die Nutzerstudie, dass das Fahrrad allgemein und das Pedelec insbesondere noch stärker als nachhaltiges und sicheres Verkehrsmittel im Mobilitätsmix der Zukunft etabliert werden kann (bspw. fahren 46 % der Pedelecbesitzer:innen bereits Distanzen von 10 km oder mehr).



## 1. Einleitung

Zweiräder, mit und ohne elektrischen Antrieb, waren und sind die Verkehrsmittel der Stunde. Bereits in den vergangenen Jahren und nochmals verstärkt durch die SARS-COV-2-Pandemie seit dem Jahr 2020 kann sich insbesondere die Fahrradbranche über ein dynamisches Wachstum freuen. Perspektivisch kann davon ausgegangen werden, dass jedes zweite verkaufte Fahrrad in Europa ein Pedelec (Akronym für Pedal Electric Cycle) sein wird. Voraussetzung für diese starke Verbreitung des Pedelecs ist die zunehmende Diffusion in unterschiedliche Typen. Im Jahr 2020 war die Verteilung nach Statistik des Zweirad-Industrie-Verbands (ZIV) wie folgt: eCity-/Urban 28 %, eTrekking 35,5 %, eCargo 4 %, eMTB 30 %, eRoad 0,5 % und S-Pedelecs 0,5 % (Eisenberger, 2021). Bei der Verteilung ist zu beachten, dass die Typen eCargo und eMTB die größten Zuwachsraten haben, wohingegen das S-Pedelec bedingt durch die strengere Regulierung in der Klasse L1e-B kaum Anklang findet. Erfreulich ist das Qualitäts- und Sicherheitsbewusstsein der Käuferschaft, welches dafür sorgt, dass Pedelecs in hoher Güte und Ausstattung gekauft werden. Verbunden mit der bei Pedelecs verfügbaren elektrischen Energie und Intelligenz, bereitet dies den Weg für Assistenzsysteme zur Erhöhung der Sicherheit im Radverkehr.

Bosch eBike Systems hat bereits im Jahr 2018 das weltweit erste serienreife ABS (Akronym für Antiblockiersystem) für Pedelecs auf den Markt gebracht (Bosch eBike Systems, ABS, 2021). Durch das ABS ist ein kontrolliertes Abbremsen auch unter schwierigen Bedingungen möglich. Das ABS für Pedelecs wurde, basierend auf dem bereits etablierten ABS für Motorräder, von Bosch entwickelt. Durch die Kombination von Vorderrad-ABS und Hinterrad-Abheberegelung wird das Pedelecfahren sicherer. Bei schwierigen Bremsmanövern wird der Bremsdruck der Vorderbremse reguliert und somit ein Optimum im Zielkonflikt zwischen Stabilität und Verzögerung in der gegebenen Fahrsituation gefunden. Zusätzlich zu dem ABS hat Bosch eBike Systems im Jahr 2020 das Help Connect Feature via App als passives Sicherheitssystem in den Markt gebracht (Bosch eBike Systems, Help Connect, 2021). Im Falle eines Sturzes wird ein Notruf abgesetzt. Dabei wird ein geschultes und rund um die Uhr erreichbares Service-Team alarmiert, das im Notfall sofort den Rettungsdienst verständigt.

Das vorliegende Manuskript reflektiert die Verkehrssicherheit an der Marktentwicklung von Pedelecs und berücksichtigt dabei sowohl die Spezifika der Pedelecnutzung, welche in Form einer quantitativen Nutzerstudie erhoben wurden, als auch den Nutzen von Sicherheitssystemen. Das Manuskript ist neben der Einleitung in vier Kapitel untergliedert. Kapitel 2 gibt den aktuellen Wissensstand wieder und benennt die für die gezeigten Ergebnisse verwendeten Materialien und Methoden. Kapitel 3 zeigt die insbesondere durch die Nutzerstudie neu gewonnen Erkenntnisse zur Pedelecnutzung. Kapitel 4 diskutiert die Implikationen der Erkenntnisse auf die Verkehrssicherheit von Pedelecs und leitet daraus Handlungsempfehlungen ab. Kapitel 5 fasst das Manuskript zusammen und zieht ein Fazit zum vorgestellten Inhalt.



## 2. Material und Methoden

### 2.1. Amtliche Unfallstatistiken

Die Verkehrssicherheit von Pedelecs ist für eine langfristige und nachhaltige Etablierung dieses Verkehrsmittel essenziell. Zu beachten ist, dass Pedelecs in den meisten Ländern nicht dezidiert bzw. erst seit einem relativ kurzen Zeitraum in den amtlichen Unfallstatistiken erfasst werden (bspw. in Deutschland seit 2014, (Gehlert, 2014)). Weiterhin ist die Entwicklung der Unfallstatistiken ebenso dynamisch wie die Entwicklung des Marktes, weshalb kurzfristige von langfristigen Trends unterschieden werden müssen.

So ist bspw. der in Abbildung 1 erkennbare starke Anstieg der Unfallzahlen nach DESTATIS<sup>1</sup> für Fahrrad- und Pedeleccunfälle in Deutschland in 2018 und 2019 grundsätzlich auf ein trockenes und warmes Klima zurückzuführen (Kirsche, Lux, & Friedrich, Deutschlandwetter im Jahr 2018, 2018) (Kirsche & Friedrich, Deutschlandwetter im Jahr 2019, 2019), welches zu einer erhöhten Fahrrad- und Pedeleccnutzung führt. Der gegenteilige Einfluss des Klimas auf das Unfallgeschehen zeigt sich im Jahr 2010, in welchem auf das Gesamtjahr gesehen eine sehr ausgeprägte Phase mit winterlichen Bedingungen in Deutschland vorherrschte (insb. Jan.-Mrz. sowie Nov.-Dez.) (Kirsche & Lux, Deutschlandwetter im Jahr 2010, 2010). Eine derartige klimatische Konstellation bedingt, dass weniger Fahrrad sowie (im Jahre 2010 noch kaum vorhanden) Pedelec gefahren wird und gleichzeitig die Fahrer:innen von schweren motorisierten Fahrzeugen wie bspw. dem PKW vorsichtiger im Verkehrsgeschehen agieren.

Grundsätzlich ist der Trend bezüglich des Radunfallgeschehens seit über zehn Jahren steigend (bspw. in Deutschland für Fahrrad- und Pedeleccunfälle mit Personenschaden<sup>2</sup> seit 2004 um +18 %, vgl. Abbildung 1), wobei sich die Anzahl der getöteten Fahrrad- und Pedeleccfahrer:innen in Europa (Adminaité-Fodor & Jost, 2020) im Allgemeinen und in Deutschland (vgl. Abbildung 1) im Speziellen auf gleichem Niveau wie 2004 befindet. Im Vergleich zu den weiteren Verkehrsteilnehmern Kraftfahrzeug, Kraftrad und Fußgänger besteht für das Fahrrad und Pedelec Handlungsbedarf.

Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen für Fahrrad respektive Pedelec die Altersverteilung der Nutzer:innen (Nobis & Kuhnimhof, 2019), sowie die Altersverteilung der verunglückten und getöteten Fahrer:innen für Deutschland nach DESTATIS. Zu erkennen ist, dass insbesondere ältere Fahrrad- und Pedeleccfahrer:innen einem erhöhten Risiko unterliegen, tödlich zu verunglücken. Weiterhin zeigt sich für das Fahrrad, dass die Nutzung über alle Altersgruppen hinweg sehr ähnlich ist mit einem erkennbaren Ausschlag bei den Schüler:innen (10-19 Jahre). Im Gegensatz dazu ist die Nutzung von Pedelecs stark unterschiedlich für die Altersgruppen und findet sich vorrangig in der Altersgruppen 50 Jahre oder älter. Dabei deckt sich die Altersverteilung der Nutzer:innen von Fahrrad und Pedelec mit der Altersverteilung der verunglückten Fahrer:innen, wodurch folgendes geschlussfolgert werden kann:

- (1) Das allgemeine Unfallrisiko korreliert mit der Nutzung (altersunabhängig)
- (2) Das Unfallrisiko tödlich zu verunglücken korreliert mit dem Alter (nutzungsunabhängig)

<sup>1</sup> Sofern nicht anders angegeben: Statistisches Bundesamt (DESTATIS), Verkehrsunfälle, Erscheinungsfolge: jährlich

<sup>2</sup> Definition: Unfälle mit Personenschaden sind solche, bei denen unabhängig von der Höhe des Sachschadens Personen verletzt oder getötet wurden, vgl. DESTATIS: Verkehrsunfälle, Grundbegriffe der Verkehrsunfallstatistik, erschienen am 26.03.2021





Für die Ableitung von Handlungsempfehlungen ist es folglich notwendig, (1) die tatsächliche Nutzung von Fahrrad und Pedelec im Detail zu verstehen, sowie (2) weitere altersspezifische Risikofaktoren zu identifizieren. Ziel des vorliegenden Manuskripts ist es, durch die Ergebnisse einer detaillierten Nutzerstudie einen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragestellungen zu leisten und damit zu einer Erhöhung der Verkehrssicherheit von Fahrrad und Pedelec beizutragen.

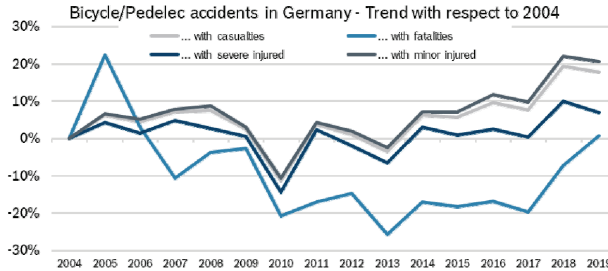


Abbildung 1: Entwicklung Fahrradunfallgeschehen (inkl. Pedelec) Deutschland ggü. 2004 nach DESTATIS

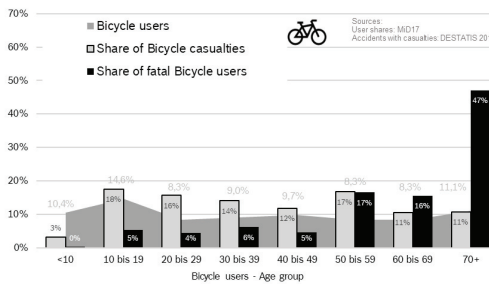


Abbildung 2:

Altersanteile verunglückter Fahrradfahrer und Altersanteile Nutzer von konventionellen Fahrrädern nach DESTATIS und (Nobis & Kuhnimhof, 2019)

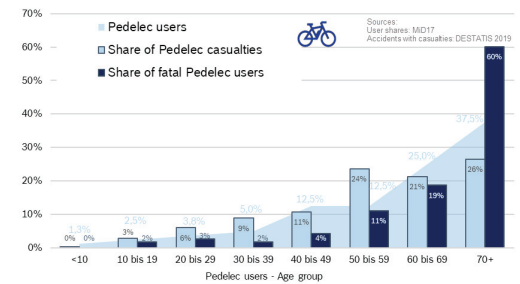


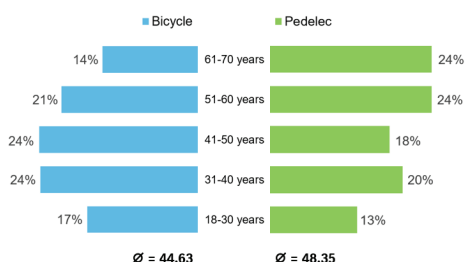
Abbildung 3:

Altersanteile verunglückter Pedelecfahrer und Altersanteile Nutzer von Pedelecs nach DESTATIS und (Nobis & Kuhnimhof, 2019)

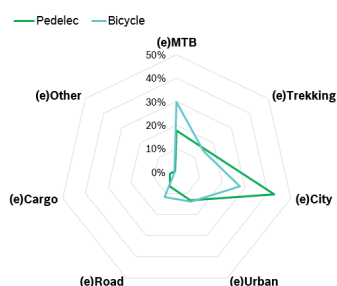


## 2.2. Nutzerstudie

Bei der von Bosch eBike Systems durchgeführten Nutzerstudie handelt es sich um eine quantitative Online-Studie, welche in den Monaten Juni und Juli des Jahres 2020<sup>3</sup> in sechs Ländern durchgeführt wurde: Deutschland (GER, N = 519), Schweiz (CH, N = 499), Niederlande (NL, N = 501), Frankreich (FR, N = 503), Großbritannien (UK, N = 503) und Vereinigte Staaten von Amerika (USA, N = 501). Die N = 3026 Teilnehmer (Altersdurchschnitt 44,07 Jahre, 49,6% weiblich; vgl. Abbildung 4), die zum Zeitpunkt der Erhebung im Besitz eines oder mehrerer Fahrräder bzw. Pedelecs sein mussten, wurden mithilfe eines externen Panelanbieters entsprechend den demographischen Merkmalen an Erwachsenen zwischen 18 und 70 Jahren des jeweiligen Landes rekrutiert. Von der Stichprobe lebten zum Zeitpunkt der Erhebung 23 % in einer dörflichen Umgebung (n < 10 Tsd. Einwohner), 29 % in einer Kleinstadt (10 Tsd. Einwohner ≤ n < 100 Tsd. Einwohner), 21 % in einer mittelgroßen Stadt (100 Tsd. Einwohner ≤ n < 500 Tsd. Einwohner), 15 % in einer Großstadt (500 Tsd. Einwohner ≤ n < 1 Mio. Einwohner) und 12 % in einer Metropole (n ≥ 1 Mio. Einwohner). Die Teilnehmer der Studie besaßen zum Zeitpunkt der Erhebung zu 93,2 % ein Fahrrad und zu 31,8 % ein Pedelec, wobei sich die Verteilung der Fahrradtypen zwischen Fahrrad und Pedelec entsprechend der tatsächlichen unterschiedlichen Durchdringung unterscheidet (vgl. Abbildung 5). In der Analyse der Stichprobe wird deutlich, dass das Pedelec ähnlich dem Fahrrad mittlerweile alle Altersschichten durchdringt. So zeigt sich das Durchschnittsalter der untersuchten Pedelecfahrer:innen (48,35 Jahre) nur unwesentlich höher als dies der untersuchten Fahrradfahrer:innen (44,63 Jahre). Die beschriebene Stichprobe, deren Daten letztlich von internen Experten ausgewertet wurden, kann in Summe als repräsentativ angesehen werden.



**Abbildung 4:**  
Altersverteilung der Stichprobe (N = 3026)



**Abbildung 5:**  
Typenverteilung über Stichprobe (N = 3026)

<sup>3</sup> Ein Einfluss der SARS-COV-2-Pandemie auf die Ergebnisse, insbesondere im Hinblick auf den Nutzungsumfang, kann nicht ausgeschlossen werden, wenngleich zum Zeitpunkt der Erhebung wesentliche mobilitäts- und sicherheitsverändernde Faktoren (bspw. sogenannte „Lockdown“ Maßnahmen) in den europäischen Ländern im Vergleich zum Gesamtjahr 2020 reduziert ausgeprägt waren.



### 3. Ergebnisse

Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse untergliedern sich in vier Unterkapitel. Das erste Unterkapitel befasst sich mit der Fahrrad- und Pedelecnutzung im Allgemeinen, wohingegen das zweite Unterkapitel auf das Sicherheitsverhalten der Nutzer:innen im Speziellen eingeht. Das Unterkapitel drei legt den Fokus auf die Unfallererfahrung und gleicht diese mit den gefundenen Nutzungscharakteristika ab. Das abschließende vierte Unterkapitel wirft einen Blick in die Zukunft und zeigt die potentielle Rolle des Pedelecs im Mobilitätsmix auf.<sup>4</sup>

#### 3.1. Nutzungscharakteristika

Die allgemeine Fahrrad- und Pedelecnutzung wird in diesem Unterkapitel anhand der Kategorien, Tripmerkmale, Routenprofile und Umweltbedingungen präsentiert.

##### Tripmerkmale

Den Ausgangspunkt für die Analyse der Fahrrad- bzw. Pedelecnutzung stellt die Frage nach den Anwendungsfällen dar, welche die Befragten mit dem Fahrrad bzw. Pedelec erledigen:

„Für welche konkreten Anlässe/Situationen sind Sie mit dem Fahrrad/eBike<sup>5</sup> unterwegs?“

Das Studienergebnis zeigt Abbildung 6. Auffallend ist hierbei, dass Pedelecs häufiger für Pendlerfahrten (+19 %) und Besorgungen (+13 %) genutzt werden als Fahrräder. Umgekehrt werden Pedelecs im Vergleich zu Fahrrädern weniger als Sportgerät genutzt (-14 %).

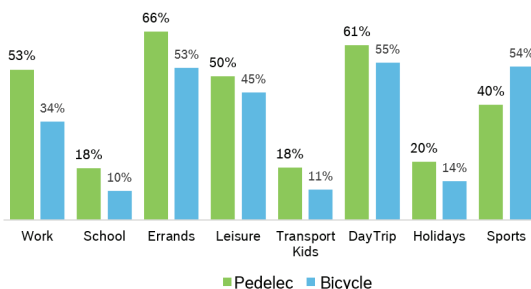


Abbildung 6: Anwendungsfälle von Fahrrad und Pedelec (N = 3026)

Die Ergebnisse indizieren eine stärkere Nutzung des Pedelecs als Alltagsfahrzeug im Vergleich zum Fahrrad, welche durch die Frage nach der Nutzungshäufigkeit und der typischerweise zurückgelegten Distanz...

<sup>4</sup> Für differenzierte Betrachtungen der Erkenntnisse separiert nach Fahrrad vs. Pedelec wurde im Falle des simultanen Besitzes beider Arten die meistgenutzte der beiden Fahrzeugtypen erfragt und letztlich analysiert.

<sup>5</sup> Der Term „eBike“ wurde in der Nutzerstudie synonym für „Pedelec“ verwendet, da dieser stärker in der Nutzersprache verankert ist. In der Erhebung wurde jedoch durch Abfrage der Ausführung des eBikes sichergestellt, dass es sich um Pedelecs handelt. Solche Pedelecs genießen die größte Verbreitung in den untersuchten Ländern (bspw. ist der Pedelecanteil am gesamten E-Bike Markt in GER größer 99 % (Eisenberger, 2021).



„Und würden Sie sagen, Sie sind mit Ihrem eBike öfter (im Sinne der Nutzungshäufigkeit) unterwegs als mit einem „normalen“ Fahrrad?“

„Wie viele Kilometer legen Sie durchschnittlich im Jahr mit Ihrem Fahrrad/eBike in etwa zurück (d.h. Summe aller Strecken)?“

... belegt werden kann. Die Befragungsergebnisse zeigen, dass Pedelecs über alle Länder hinweg häufiger (+67 %) und für längere Strecken (+60 %) als Fahrräder eingesetzt werden. Interessant ist in diesem Zusammenhang der starke Unterschied der absolut gefahrenen Distanzen zwischen den einzelnen Ländern (vgl. Abbildung 7). Zu erkennen ist, dass in NL gefolgt von GER und FR absolut gesehen die im Median größten Distanzen mit Fahrrad und im Besonderen Pedelec zurückgelegt werden.

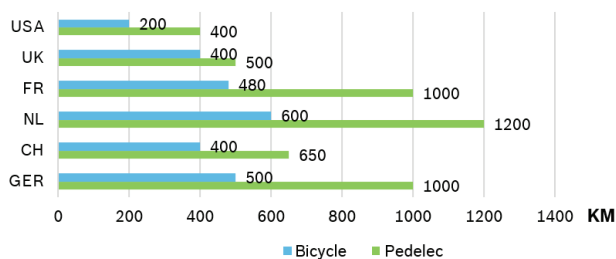


Abbildung 7: Fahrleistung von Fahrrad und Pedelec (im Median) in km pro Jahr (N = 3026)

## Routenprofile

Die Befragungsergebnisse hinsichtlich der Routenprofile ähnelten sich zu großen Teilen zwischen Fahrrad und Pedelec. Interessant sind die Ergebnisse auf die Fragen nach der Topographie und nach den Untergründen, also der Fahrbahnoberfläche:

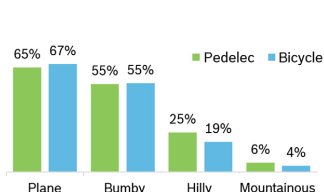
„In welcher Art Gelände sind Sie überwiegend unterwegs, wenn Sie die Strecken mit dem Fahrrad/eBike zurücklegen?“

„Und auf welchen Untergründen sind Sie überwiegend unterwegs, wenn Sie die Strecken mit dem Fahrrad/eBike zurücklegen?“

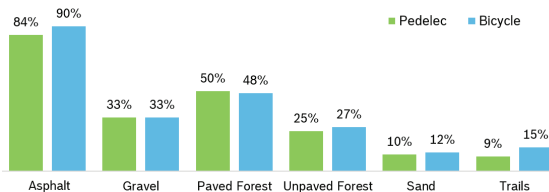
Die meisten Fahrten werden mit beiden Fahrzeugtypen in der Ebene (vgl. Abbildung 8) und auf Asphalt (vgl. Abbildung 9) zurückgelegt. Pedelecs werden etwas häufiger (+6 %) in hügeliger Topografie genutzt, aber weniger auf Trails (-6 %). Letztere Erkenntnis deckt sich mit der verringerten Nutzung von Pedelecs für die sportliche Nutzung im Vergleich zu Fahrrädern aus der Analyse der Anwendungsfälle. Erstere Erkenntnis deckt sich mit vergleichbaren Studien (Dozza, Werneke, & Mackenzie, 2013) und kann als Konsequenz der verstärkten Nutzung von Pedelecs als Alltagsfahrzeug angesehen werden, in welcher die Rou-



tenwahl einer stärkeren Limitierung unterliegt als bei Freizeitfahrten (bspw. Weg zum Arbeitsplatz oder Einzelhandel).



**Abbildung 8:**  
**Topographie bei Fahrrad und Pedelec**  
(N = 3026)



**Abbildung 9:**  
**Befahrene Untergründe von Fahrrad und Pedelec**  
(N = 3026)

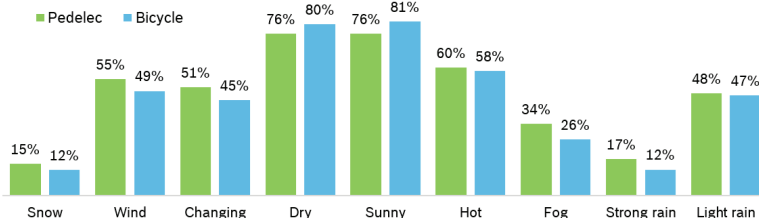
### Umweltbedingungen

Auf Basis der Ergebnisse der Tripmerkmale und Routenprofile ergibt sich die Vermutung, dass bedingt durch den Einsatz des Pedelecs als Alltagsfahrzeug, dieses einer höheren Exposition bzgl. herausfordernden Umweltbedingungen unterliegt. Die beiden in diesem Kontext relevanten Fragen nach der Jahreszeit und den Wetterbedingungen während der Fahrrad- und Pedelecnutzung...

„Zu welcher Jahreszeit fahren Sie zumindest ab und zu mit dem Fahrrad/eBike?“

„Und bei welchen der folgenden Wetterbedingungen fahren Sie zumindest ab und zu mit dem Fahrrad/eBike?“

... bestätigen diese Vermutung. Fahrräder und Pedelecs werden in vergleichbarem Maße bei guten Wetterbedingungen (vgl. Abbildung 10) und in den Jahreszeiten Frühling (88 % zu 87 %), Sommer (94 % zu 92 %) und Herbst (75 % zu 77 %) genutzt. Schlechten Wetterbedingungen wie insbesondere Regen (+5 %), Nebel (+8 %) und wechselnde Bedingungen (+6 %) sind nach Abbildung 10 Pedelecfahrer:innen häufiger als Fahrradfahrer:innen ausgesetzt. Aufgrund des Modalwechsels hin zum Pedelec für Pendlerfahrten, werden Pedelecs auch eher bei winterlichen Bedingungen genutzt als Fahrräder (37 % zu 31 %).



**Abbildung 10: Wetterbedingungen bei Nutzung von Fahrrad und Pedelec** (N = 3026)



Aus den Befragungsergebnissen zu den Fahrprofilen lässt sich zusammenfassen, dass Pedelecs stärker als Fahrräder für alltägliche Zwecke genutzt werden, häufiger im Einsatz sind, mit ihnen längere Distanzen zurückgelegt werden und die Nutzung witterungsunabhängiger stattfindet. Aufgrund der damit einhergehenden höheren Unfallexposition widmet sich das nächste Unterkapitel dem Sicherheitsverhalten der Nutzer:innen.

### 3.2. Sicherheitsverhalten

Das Sicherheitsverhalten wird nachfolgend anhand der Sorge vor einem Unfall und der Adaption des Fahrverhaltens, den genutzten Sicherheitsprodukten sowie der Wartungsbereitschaft für Fahrrad und Pedelec analysiert.

#### Unfallsorge und Adaption des Fahrverhaltens

Das Befragungsergebnis hinsichtlich...

„Wie groß ist Ihre Sorge, mit dem Fahrrad/eBike in einen Unfall verwickelt zu werden?“

... zeigt eine hohe Verunsicherung der Nutzer:innen. So schätzen von den Befragten nur 21 % beim Fahrrad und 24 % beim Pedelec ihr individuelles Unfallrisiko als gering ein, wohingegen sowohl für Fahrrad als auch Pedelec jeweils 39 % der Befragten ihr individuelles Unfallrisiko als hoch einschätzen. Die ausgeprägte subjektiv empfundene Unsicherheit der Fahrrad- und Pedelecfahrer:innen beeinflusst das Fahrverhalten erheblich wie die Befragungsergebnisse auf die folgende Frage zeigen:

„Inwiefern beeinflusst Ihre Sorge mit dem Fahrrad/eBike in einen Unfall verwickelt zu werden Ihr Fahrverhalten?“

Nach Abbildung 11 vermeiden Fahrradfahrer:innen als Reaktion auf die Unfallsorge insbesondere bestimmte Strecken (53 %), Wetterbedingungen (52 %), hohe Geschwindigkeiten (42 %) und bestimmte Fahrtzeiten (38 %). Abgesehen von der Vermeidung hoher Geschwindigkeiten (ebenfalls 42 %) und der Reduktion der Motorunterstützung über die Wahl eines geeigneten Fahrmodi (17 %) ist das Vermeidungsverhalten bei Pedelecfahrer:innen weniger ausgeprägt als bei Fahrradfahrer:innen (Differenz von 7 % bis 11 %), was sich durch den Einsatz des Pedelecs als Alltagsfahrzeug erklären lässt. Pedelecfahrer:innen haben nicht die Möglichkeit bestimmte Wetterbedingungen, Strecken oder Fahrtzeiten zu meiden.

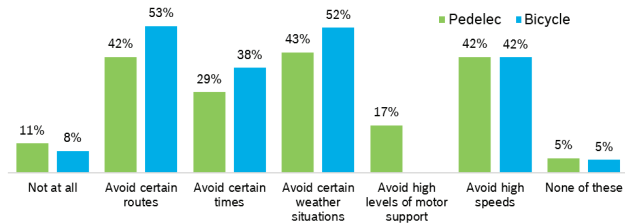


Abbildung 11: Adaption des Fahrverhaltens von Fahrrad und Pedelec über alle Länder (N = 2357)

Interessant ist in diesem Zusammenhang der Vergleich der einzelnen Länder (vgl. Abbildung 12). So empfinden in NL, in welchen das Fahrrad im Ländervergleich bereits am stärksten als Alltagsfahrzeug etabliert und die Radinfrastruktur am weitesten entwickelt ist (Castro, Kahlmeier, & Gotschi, 2018), 42 % der Befragten das Unfallrisiko als gering bei gleichzeitig deutlich geringerer Anpassung des Fahrverhaltens. Bspw. meiden nur 31 % der Befragten bestimmte Strecken und nur 19 % bestimmte Fahrzeiten. Daraus folgt, dass eine hohe subjektive Sicherheit der Nutzer:innen mit dem Einsatz von Fahrrädern und Pedelecs als Alltagsfahrzeuge einhergehen kann, sofern fahrrad- und pedelecfreundliche Rahmenbedingungen gegeben sind.

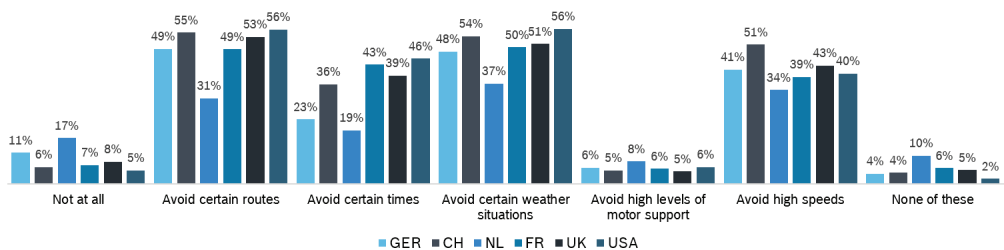


Abbildung 12: Adaption des Fahrverhaltens von Fahrrad und Pedelec für einzelne Länder

( $N_{\text{GER}} = 405$ ,  $N_{\text{CH}} = 389$ ,  $N_{\text{NL}} = 293$ ,  $N_{\text{FR}} = 417$ ,  $N_{\text{UK}} = 434$ ,  $N_{\text{USA}} = 419$ )

## Genutzte Sicherheitsprodukte

Aufgrund der subjektiven Unsicherheit in Kombination mit begrenzten Adaptionmöglichkeiten des Fahrverhaltens insbesondere bei Pedelecfahrer:innen stellt sich die Frage, ob und in welcher Form die Befragten auf Sicherheitsprodukte wie bspw. einen Helm zurückgreifen. Das Befragungsergebnis auf die Frage...

„Wie häufig tragen Sie folgenden Produkte während der Fahrt mit dem Fahrrad/eBike?“

... zeigt, dass Pedelecfahrer:innen grundsätzlich häufiger als Fahrradfahrer:innen Sicherheitsprodukte an ihrem Fahrzeug (bspw. +14 % Rückspiegel) und an sich als Fahrer:in nutzen (vgl. Abbildung 13). So geben die Befragten über alle Länder hinweg an, beim Pedelec +4 % immer und +5 % häufig im Vergleich zum



Fahrrad einen Helm zu tragen<sup>6</sup>. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Nutzung von sowohl lichtreflektierenden Westen (+5 % immer und +4 % häufig) als auch Kleidung mit eingenähten Lichtreflektoren (+3 % immer und +6 % häufig). Diese Daten legen den Schluss nahe, dass Pedelecfahrer:innen aufgrund ihrer subjektiv empfundenen Unsicherheit in Kombination mit der erhöhten Unfallexposition ihr individuelles Unfallrisiko durch die Erhöhung ihrer Sichtbarkeit im Straßenverkehr sowie des Tragens eines Helms zu senken versuchen.

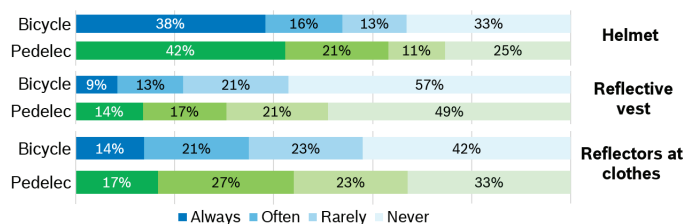


Abbildung 13: Getragene Sicherheitsprodukte bei Nutzung von Fahrrad und Pedelec (N = 3026)

### Wartung des Verkehrsmittels

Neben den genutzten Sicherheitsprodukten stellt die Wartung des Fahrrads bzw. Pedelecs ein weiteres Instrument dar. Die Wartungsbereitschaft sowie die Art der Wartung wurden mit folgenden Fragen erhoben:

„Wie regelmäßig wird Ihr Fahrrad/eBike gewartet?“

„Und wer führt die Wartung an Ihrem Fahrrad/eBike für gewöhnlich durch?“

Das Befragungsergebnis für beide Fragen ist insbesondere für das Pedelec sehr erfreulich. So folgen 67 % der Befragten der typischen Herstellerempfehlung das Pedelec mindestens einmal pro Jahr zu warten. Die Wartung lassen 54 % der Befragten im Fachhandel durch geschulte Experten durchführen. Im Vergleich zum Pedelec sind die Ergebnisse für das Fahrrad mit 55 % jährlichem Wartungsintervall und 38 % Wartung durch den Fachhandel zwar niedriger, scheinen aber aufgrund der niedrigeren Nutzungshäufigkeit und Fahrleistung gerechtfertigt.

### 3.3. Unfallerrfahrung

Das nachfolgende Unterkapitel stellt die von den Befragten erlebte Unfallerrfahrung dar. Von der gesamten Stichprobe gaben auf die Frage...

„Waren Sie schon selbst als Fahrer eines Fahrrads/eBikes in einen Unfall verwickelt?“

<sup>6</sup> Die isolierten Zahlen für Fahrrad und Pedelec in GER (33 % der Befragten tragen immer einen Helm) decken sich dabei mit den Zahlen, welche durch (Nobis & Kuhnimhof, 2019) erhoben wurden (34 % der Befragten tragen immer einen Helm).





... 15 % der Befragten an, dass sie mindestens schon einmal in einen Fahrrad- ( $N_{\text{Unfall, Fahrrad}} = 317$ ; 14,5 %) oder Pedelecunfall ( $N_{\text{Unfall, Pedelec}} = 127$ ; 15,2 %) involviert waren. Die im Folgenden präsentierten Unfallanalysen basieren auf den Aussagen dieser Teilmenge der Gesamtstichprobe ( $N_{\text{Unfall}} = 444$ ) und stellen den Unfallhergang ausgehend von der Motivation für die Fahrrad- bzw. Pedelecnutzung, über die Umwelt- und Umfeldbedingungen bis hin zur Unfallkonsequenz dar.

## Anwendungsfall

Die Anwendungsfälle für die Fahrrad- und Pedelecnutzung, welche dem Unfall vorausging, wurde mit folgender Frage erhoben:

„Für welchen konkreten Anlass waren Sie mit dem Fahrrad/eBike unterwegs, als sich dieser zeitlich gesehen letzte Unfall mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer ereignete?“

Das Studienergebnis zeigt, dass die Verteilung der Anwendungsfälle für Fahrrad und Pedelec sich, wie zu erwarten, zu großen Teilen mit der identifizierten Verteilung der Anwendungsfälle für alle Fahrrad- und Pedelecfahrten deckt (vgl. Abbildung 14 mit Abbildung 6). So verunglücken Pedelecfahrer:innen häufiger in Alltagssituationen als Fahrradfahrer:innen. Neben dem Pendeln zur Arbeit (+14 %) fällt dabei vor allem der Transport von Kindern (+17 %) auf. Dies lässt jedoch nicht schlussfolgern, dass der Transport von Kindern gefährlich ist. Mit einem Pedelec ist dieser lediglich erleichtert und findet eine höhere Anwendung als bei Fahrrädern, da der elektrische Antrieb das Gewicht der Kinder und eines möglichen Anhängers kompensiert. So empfiehlt (ADAC, 2021) den Nutzer:innen sich im Fachhandel zu erkundigen, ob und wie Kindersitze und Anhänger beim jeweiligen Pedelecmodell möglich sind. Zusätzlich sollten Kinder unbedingt einen geeigneten Helm tragen.

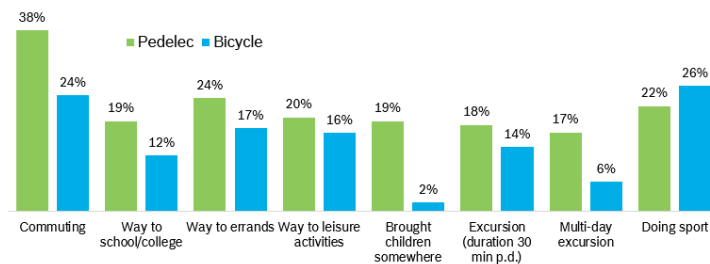


Abbildung 14: Anwendungsfälle von Fahrrad und Pedelec mit Unfallfolge (N = 444)

Zu den identifizierten Anwendungsfällen passt, dass Pedelecfahrer:innen gemäß der Frage...

„Zu welcher Tageszeit hat sich der zeitlich gesehen letzte Unfall mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer ereignet?“



... über den Tag verteilt ausgewogener in einen Unfall verwickelt sind (30 % morgens, 40 % mittags, 25 % abends und 5 % nachts) und damit im Vergleich zu Fahrradfahrer:innen häufiger morgens (+8 %) und abends (+4 %).

## Umweltbedingungen

Auf die Fragen nach der Örtlichkeit, dem Fahrbahnbelag und den Wetterverhältnissen zum Zeitpunkt des Unfalls...

„Wo ist dieser zeitlich gesehen letzte Unfall mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer passiert?“

„Können Sie sich an den Fahrbahnbelag der Stelle ihres zeitlich gesehen letzten Unfalls mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer erinnern?“

„Wie waren die Wetterverhältnisse zum Zeitpunkt dieses zeitlich gesehen letzten Unfalls mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer?“

... decken sich die Studienergebnisse mit der durch die Pedelecnutzung als Alltagsfahrzeug im urbanen Raum hervorgerufenen Unfallexposition. So ereignen sich die meisten Unfälle im Stadtgebiet (70 %) und dort an einer Kreuzung (29 %). Dazu passend geschehen 74 % aller Unfälle auf asphaltierten Straßen. Wie schon von der Analyse der Nutzungscharakteristika bekannt (vgl. Kapitel 3.1), ist das Wetter bei der überwiegenden Anzahl von Fahrrad- und Pedelecunfällen als unproblematisch einzustufen. Die durch die witterungsunabhängigere Nutzung bedingte höhere Unfallexposition von Pedelecs bzgl. schlechten Wetterbedingungen ist jedoch nicht zu vernachlässigen, vgl. Abbildung 15. Die größten Unterschiede zum Fahrrad sind eine Unfalldhäufung bei leichtem (+15 %) und starkem (+16 %) Regen.

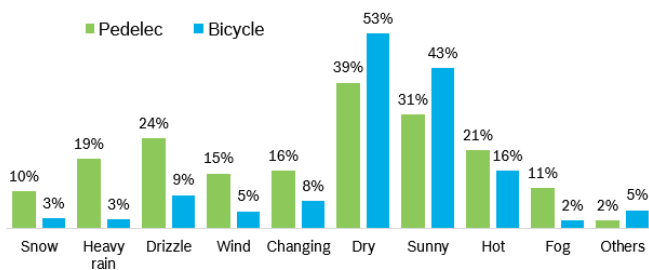


Abbildung 15: Wetterbedingungen bei Unfall von Fahrrad und Pedelec (N = 444)

## Umfeldbedingungen und Unfallfassung

Neben den Anwendungsfällen und Umweltbedingungen sind für die Unfallanalyse vor allem auch die Umfeldbedingungen, insbesondere der:die Kollisionsgegner:in, sowie die Unfallfassung durch die Polizei



wichtig. Von letzter ist bekannt, dass insbesondere Unfälle mit ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen<sup>7</sup> (VRUs) stark untererfasst sind (Wegman, Zhang, & Dijkstra, 2012). Diese Untererfassung limitiert die Aussagekraft von amtlichen Unfallstatistiken und verwehrt ein repräsentatives Bild des Unfallgeschehens, welches wiederum die Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit erschwert.

Die Frage nach den Kollisionsgegnern...

„Waren andere Verkehrsteilnehmer in diesen zeitlich gesehen letzten Unfall mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer involviert?“

... ergab, dass sowohl für Fahrrad als auch Pedelec Kraft- und Nutzfahrzeuge allgemein (Fahrrad und Pedelec jeweils 47 %) und der PKW speziell (Fahrrad 39 % zu Pedelec 36 %) häufigster Kollisionsgegner ist. Auffallend war weiterhin, dass Pedelecs um 13 % weniger in Alleinunfälle verwickelt sind als Fahrräder, wohingegen Pedelecs um 12 % häufiger mit anderen Fahrrädern oder Fußgängern kollidieren. Der geringere Anteil an Alleinunfällen lässt sich durch die vorrangig urbane Nutzung auf griffiger Fahrbahn des Pedelecs erklären (siehe vorangegangener Abschnitt zu Umweltbedingungen), zeigt aber auch wie bspw. in (Schepers, Klein Wolt, Helbich, & Fishman, 2020) oder (Twisk, Stelling, Van Gent, De Groot, & Vlakveld, 2021) ermittelt, dass das Pedelec gut beherrschbar ist (gestützt durch bspw. einen guten technischen Zustand). Kritisch scheint hingegen der beengte Verkehrsraum und die damit fehlenden Ausweichmöglichkeiten der VRUs untereinander.

Aufgrund der in gewissem Maße abweichenden Verteilung der Kollisionsgegner sowie pedelec-spezifischer Trends wie bspw. die verstärkte Nutzung von Leasingangeboten, welche teilweise vertraglich eine polizeiliche Unfallaufnahme fordern, ist die folgende Frage von besonderem Interesse:

„Wurde die Polizei bei diesem zeitlich gesehen letzten Unfall mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer gerufen?“

Das Studienergebnis zeigt, dass bei 79 % der Fahrradunfälle die Polizei nicht verständigt wurde und folglich der Unfall nicht Eingang in die amtliche Unfallstatistik fand. Im Gegensatz dazu ist die Untererfassungsrate bei Pedelecunfällen um 24 % deutlich kleiner und beträgt absolut 55 %. Diese unterschiedlichen Untererfassungsraten zeigen ein weiteres Problemfeld bei der Unfallforschung im Kontext Fahrrad und Pedelec auf. Weichen die Untererfassungsraten beider Fahrzeugtypen voneinander ab, sind vergleichende Aussagen auf Basis der amtlichen Unfallstatistiken erschwert. Das betrifft insbesondere Unfälle mit geringer Verletzungsschwere der Beteiligten, wie es häufig bei Alleinunfällen von VRUs sowie bei Unfällen der

---

<sup>7</sup> Definition: Der Begriff „ungeschützte Verkehrsteilnehmer“ (engl. vulnerable road users, Akronym: VRUs) umfasst diejenigen Verkehrsteilnehmer:innen, die im Straßenverkehr ein besonderes Risiko tragen, verletzt oder getötet zu werden. Hintergrund ist, dass derartige Verkehrsteilnehmer:innen nicht von einer „schützenden Hülle“ wie bspw. einer Fahrerkabine umgeben sind. Zu der Gruppe der VRUs gehören Fußgänger:innen, Fahrrad- und Pedelecfahrer:innen, Kraftradfahrer:innen sowie Nutzer:innen neuer Mikromobilitätsformen bspw. elektrische Tretroller (sogenannter eScooter).



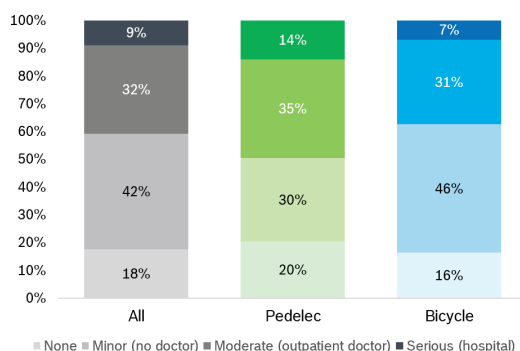
VRUs untereinander der Fall ist. Letzteres erklärt auch die Abweichung zwischen den in DESTATIS ausgewiesenen Kollisionsgegnern und den oben gefundenen Kollisionsgegnern.

## Unfallkonsequenz

Die in der vorliegenden Nutzerstudie ermittelte Verletzungsschwere auf Basis der folgenden Frage...

„Welche Folgen hatte der zeitlich gesehen letzte Unfall mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer für Sie persönlich?“

... zeigt Abbildung 16. Aufgrund der untererfassungsfreien Ermittlung ist wie zu erwarten die mittlere Verletzungsschwere im Vergleich zur amtlichen Unfallstatistik nach DESTATIS alterskorrigiert für Fahrrad und Pedelec geringer. Auffallend ist weiterhin der höhere Anteil an Schwerverletzten beim Pedelec im Vergleich zum Fahrrad (+7 %), was sich durch die höhere Unfallexposition des Pedelecs als Alltagsfahrzeug vor allem im urbanen Raum (insbesondere Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern) erklären lässt. Im Vergleich zur in Kapitel 2.1 dargestellten amtlichen Unfallstatistik wirkt sich der Faktor Alter an dieser Stelle nicht aus, da die Stichprobe für Fahrrad und Pedelec in den jeweiligen Altersklassen annähernd gleichverteilt ist. Als Erklärung für den höheren Anteil an Nichtverletzten beim Pedelec als beim Fahrrad kann der bessere technische Zustand der Pedelecs, sowie die höhere Fahrpraxis der Pedelecnutzer:innen bspw. als Pendler:innen angeführt werden.



**Abbildung 16: Verletzungsschwere bei Unfällen von Fahrrad und Pedelec (N = 444)**

Eine weitere hinsichtlich der Unfallkonsequenz interessante Fragestellung ist:

„Konnten Ihre Verletzungen beim zeitlich gesehen letzten Unfall mit Ihnen als Fahrrad-/eBike-Fahrer direkt behandelt werden?“



Das Studienergebnis zeigt, dass von den verunfallten Fahrrad- und Pedelecfahrer:innen 36 % keine Hilfe, 23 % erste Hilfe und 41 % spätere medizinische Betreuung erhielten. Im Vergleich mit Abbildung 16 ergibt sich eine Differenz zwischen Nichtverletzten und Fahrer:innen, welche keine Hilfe erhalten haben, von 18 %.

### 3.4. Potenzial des Pedelecs

Das nachfolgende Unterkapitel analysiert den geplanten sowie tatsächlichen Modalwechsel hin zum Pedelec, sowie die geplanten und tatsächlich mit dem Pedelec zurückgelegten Distanzen. Ergänzend werden die in der Nutzerstudie erfragten Ansichten und Wünsche der Teilnehmer aufgezeigt, welche in reflektierter Form als Handlungsempfehlungen verstanden werden können, um das Pedelec noch stärker als nachhaltiges und sicheres Verkehrsmittel im Mobilitätsmix der Zukunft zu etablieren.

#### Modalwechsel

Die Studienergebnisse auf die Fragen...

„Welche der folgenden Fortbewegungsmittel kann Ihrer Meinung nach das eBike ersetzen?“

„Und welche Distanzen, die sie früher mit dem Auto zurücklegt haben, erledigen Sie heute mit Ihrem eBike?“

... zeigen, dass sich der erwartete Nutzen von Befragten, welche noch kein Pedelec besitzen, und der tatsächliche Nutzen von Befragten, die bereits ein Pedelec besitzen, weitestgehend decken, vgl. Tabelle 1 und Tabelle 2.

Auffallend bei der Auswertung des Modalwechsels ist die klare Präferenz, das konventionelle Fahrrad durch ein Pedelec zu ersetzen. Folglich ist mehr Mischverkehr auf der Verkehrsinfrastruktur im Allgemeinen und auf der Radinfrastruktur im Speziellen zu erwarten. Zusätzlich ist davon auszugehen, dass ein Teil der Fahrräder zwar weiterhin im Besitz bleibt, aber deutlich weniger als vormalig genutzt wird (vgl. Anwendungsfälle in Kapitel 3.1).

**Tabelle 1: Modalwechsel von ausgewählten Verkehrsmitteln hin zum Pedelec (N = 3026)**

Ersatz von...	Erwartung	Realität	Differenz
Fahrrad (konventionell)	60 %	59 %	-1 %
Roller und Moped	39 %	39 %	0 %
Zweit-PKW	23 %	24 %	+1 %
Erst-PKW	18 %	20 %	+2 %

Die Auswertung der ehemals durch den PKW, jetzt durch das Pedelec zurückgelegten Wegstrecken zeigt, dass die Erwartungshaltung der zukünftigen Pedelecnutzer:innen deutlich geringer ist, als die tatsächlich



gefahrenen Strecken. Bemerkenswert sind die ausgeprägten Distanzen von >10 km, welche immerhin 46 % der Pedelecbesitzer:innen zurücklegen. Dieses Ergebnis, in Kombination mit den gefundenen Anwendungsfällen, unterstreicht den Einsatz des Pedelecs nicht nur als intraurbanes, sondern auch als interurbanes Pendelfahrzeug und motiviert insbesondere den Ausbau von Radschnellwegen.

**Tabelle 2: Substituierte Wegstrecken von PKW durch Pedelec (N = 3026)**

Ehemals mit dem PKW gefahrene Distanzen...	Erwartung	Realität	Differenz
<1 km	17 %	9 %	<b>-8 %</b>
1-5 km	42 %	30 %	<b>-12 %</b>
5-10 km	49 %	49 %	0 %
10-20 km	24 %	32 %	<b>+8 %</b>
>20 km	9 %	14 %	<b>+5 %</b>

### Nutzeransichten und -wünsche

Die in der Nutzerstudie erfragten Ansichten und Wünsche der Teilnehmer wurden in geschlossener Form über vorformulierte Aussagen abgefragt, welchen die Befragten zustimmen konnten:

„Inwiefern stimmen Sie den folgenden Aussagen zu?“

Die größte Zustimmung erhielt die Aussage „Ich würde mir wünschen, dass es bessere Radwege gibt“ mit 69 %, welche zur durch die Nutzerstudie identifizierten generellen Schwachstelle passt: der Verkehrs- und Radinfrastruktur. Weitere 56 % stimmen der Aussage „Ich würde mir wünschen, dass es eine bessere Ladeinfrastruktur für eBikes gibt“ zu, was den Einsatz des Pedelecs als Alltagsfahrzeug, sowie den häufigen Einsatz und die großen Distanzen von Pedelecs unterstreicht. 55 % der Befragten sehen durch ihre Zustimmung zu der Aussage „Ich würde mir wünschen, dass die Politik eBike-Fahren stärker fördert“ die Politik in der Pflicht die Rahmenbedingungen für Pedelecs zu verbessern.

Trotz dieser Nutzeransichten und -wünsche, sowie der bis dato als gering empfundenen Sicherheit stimmen 62 % der Aussage „eBikes finde ich gut“ zu. Weitere 58 % bejahen die Aussage „eBikes können eine Lösung des Verkehrsproblems in Städten beschreiben“ und 56 % stimmen mit der Aussage „eBikes sind umweltfreundlich“ überein. Die Akzeptanz für das Pedelec mit all seinen Vorteilen ist folglich unter den Befragten gegeben.



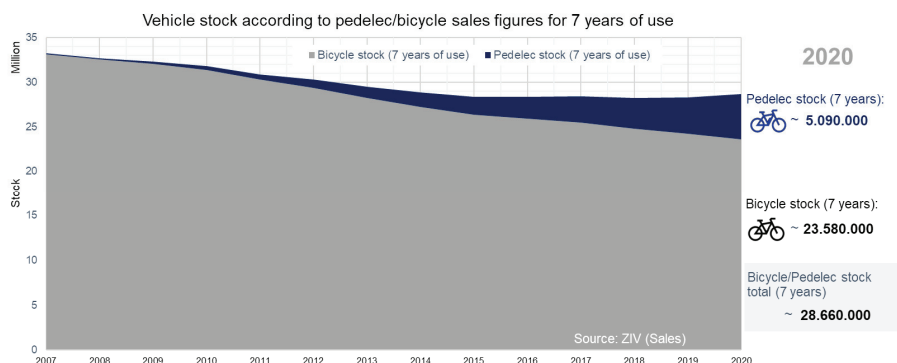
## 4. Diskussion

### 4.1. Einordnung der Pedelecsicherheit

Da die Verbreitung von Pedelecs noch deutlich zunehmen wird, ist auch der Verlauf der Unfallzahlen sehr veränderlich. Weiterhin kann ein Vergleich mit Fahrrädern auf Basis amtlicher Unfallstatistiken – bedingt durch die unterschiedlichen Untererfassungsraten (vgl. Kapitel 3.3) – nur eine Näherung darstellen. Bei einem solchen Vergleich zwischen Fahrrad und Pedelec ist es sinnvoll, die Unfallzahlen zu anderen Kenngrößen in Bezug zu setzen, z.B. zu der Anzahl tatsächlich genutzter Fahrzeuge und deren Fahrleistungen (vgl. Kapitel 3.4).

Da Fahrräder und Pedelecs in den meisten Ländern und so auch in GER nicht registriert werden, kann nicht direkt auf die Fahrzeugflottengröße im Feld geschlossen werden. Bei einer Betrachtung von einer durchschnittlichen Nutzung von sieben Jahren (Juris, 2021) ist es möglich, die Flottengröße im Feld anhand der jährlichen Verkaufszahlen<sup>8</sup> zu ermitteln.

In Abbildung 17 zu erkennen, wie der Bestand an Fahrrädern über die letzten Jahre kontinuierlich abnimmt und durch Pedelecs ersetzt wird. Außerdem ist eine Trendumkehr im Gesamtbestand (Fahrräder plus Pedelecs) ab 2015 zu beobachten. Die Steigerung ist auf die zunehmende Beliebtheit von Pedelecs zurückzuführen. Dabei ist anzunehmen, dass in den kommenden Jahren auch weiterhin Fahrräder durch Pedelecs ersetzt und zusätzlich neue Nutzergruppen für Pedelecs erschlossen werden.



**Abbildung 17: Fahrzeugbestand nach Verkaufszahlen von Fahrrad und Pedelec basierend auf 7 Jahre Nutzungsdauer**

Die Auswertung der Unfälle mit Personenschaden nach DESTATIS in GER in 2019, in Bezug auf je 100 Tsd. Fahrzeuge im Feld<sup>9</sup>, zeigt sich, dass deutlich weniger Unfälle mit Personenschaden je 100 Tsd. Fahrzeuge bei Pedelecs als bei Fahrrädern geschehen (vgl. Tabelle 3). Dies ist dahingehend bemerkenswert, da in

<sup>8</sup> Verkaufszahlen von Fahrrad und Pedelec gemäß Zweirad-Industrie-Verband (ZIV), vgl. <https://www.ziv-zweirad.de/pressemedien/pressemitteilungen/>

<sup>9</sup> Bestandszahlen und Fahrleistungen für motorisiertes Zweirad sowie PKW gemäß beim Kraftfahrbundesamt (KBA) registrierter Fahrzeuge



dieser Betrachtung die durchschnittliche Fahrleistung, wie sie in Kapitel 3.1 ermittelt wurde, nicht enthalten ist.

**Tabelle 3: Unfälle bezüglich Fahrzeugbestand im Feld in GER in 2019**

<b>Beteiligung von ...</b>	<b>Unfälle mit Personenschaden</b>	<b>Bestand</b>	<b>Unfälle mit Personenschaden je 100 Tsd. Fzg.</b>
Pedelec	10.806	5.090.000	212
Fahrräder	77.480	23.580.000	329
mot. Zweirad (amtliches Kennzeichen)	26.938	4.506.410	598
PKW	236.675	47.715.977	496

Die Fahrleistung spielt bei der Betrachtung der Unfallhäufigkeit eine wichtige Rolle, da ein Fahrzeug, welches deutlich weitere Distanzen zurücklegt, typischerweise eine höhere Unfallexposition hat, wie am Beispiel des PKWs ersichtlich ist. Wie die Nutzerstudie zeigt, werden Pedelecs im Vergleich zum Fahrrad für signifikant längere Strecken genutzt (in GER bspw. Faktor 2, vgl. Kapitel 3.1).<sup>10</sup> Die nachfolgende Tabelle 4 zeigt die rechnerisch ermittelte Anzahl der Unfälle mit Personenschaden je Mrd. Fzg.-km. Zu erkennen ist, dass bei Nutzung der durchschnittlichen Fahrleistungen für GER (s.o. sowie KBA) das Risiko für Fahrräder um etwa den Faktor 3 höher liegt als bei Pedelecs. Pedelecs nehmen ein Niveau in etwa dem von motorisierten Zweirädern ein.

Für die Ableitung von Handlungsempfehlungen kann geschlussfolgert werden, dass sich verkehrssicherheitssteigernde Maßnahmen in gleichem Maße auf Fahrräder und Pedelecs konzentrieren sollten, wenn auch das fahrzeugspezifische Risiko beim Pedelec geringer ist.

<sup>10</sup> Weitere Studien in diesem Kontext zeigen, dass die in der Nutzerstudie ermittelten Werte für das Pedelec eher konservativ (vgl. bspw. (Castro, Kahlmeier, & Gotschi, 2018)), für das Fahrrad eher optimistisch sind (vgl. bspw. (Castro, Kahlmeier, & Gotschi, 2018)).



**Tabelle 4: Unfälle bezüglich Fahrzeugbestand im Feld und durchschnittlicher Fahrleistung in GER in 2019**

Beteiligung von ...	Jährliche Fahrleistung pro Fzg. in km	Gesamtfahrleistung in Mrd. km	Unfälle mit Personenschaden je 1 Mrd. Fzg-km
Pedelec	1.000	5,1	2.123
Fahrräder	500	11,8	6.572
mot. Zweirad (amtliches Kennzeichen)	2.218	10,0	2.695
Pkw	13.602	649,0	365

Das geringere Unfallrisiko beim Pedelec lässt sich auf Basis der Nutzerstudie mit folgenden Aspekten begründen:

- Überwiegend Neufahrzeuge, da der Trend zu Pedelecs noch jung ist und Leasingangebote eine feste Laufzeit haben (vgl. Kapitel 3.3)
- Regelmäßige Wartung, da die meisten Pedelec-Hersteller und Anbieter von Elektroantrieben ein Wartungsintervall von einem Jahr bei einem geschulten Fachhändler empfehlen (vgl. Kapitel 3.2)
- Hochwertige Komponenten, da hohe Zahlungsbereitschaft für Pedelecs besteht, insbesondere bedingt durch die Substitution teurer Verkehrsmittel im Zuge des Modalwechsels (vgl. Kapitel 3.4).
- Aktive Beleuchtungseinrichtungen, da eine direkte Energieversorgung über die Batterie des Elektroantriebs sowie ein Ein- und Ausschalten über die Mensch-Maschine-Schnittstelle des Pedelecs möglich ist. Insbesondere bei schlechten Wetterbedingungen (vgl. Kapitel 3.1) können Beleuchtungseinrichtungen einen signifikanten Beitrag zur Verkehrssicherheit leisten (DEKRA, 2020)

Wichtig ist zu betonen, dass trotz des geringeren fahrzeugspezifischen Risikos beim Pedelec potentielle sicherheitssteigernde Maßnahmen – sofern möglich – direkt angegangen werden sollen. Zuvorderst sind dies:

- Verkehrsinfrastruktur, da Pedelecs aufgrund deren Nutzung als Alltagsfahrzeuge sowie fehlender Infrastruktur zur Adaption von deren Fahrverhalten eine höhere Unfallexposition haben (vgl. Kapitel 3.1). Insbesondere sollte der multimodalen Nutzung des Verkehrsraums Rechnung getragen, ein durchgängiges Radwegenetz mit ausreichender Radwegebreite<sup>11</sup> angelegt und intelligente Verkehrsinfrastrukturlösungen (bspw. „grüne Welle“ Konzepte) implementiert werden (vgl. Kapitel 3.2).
- Als kurzfristige Verkehrsinfrastrukturmaßnahmen kann (1) die Freigabe der Fahrradwege außerorts für die sogenannten Speed Pedelecs<sup>12</sup> dienen, um das interurbane Pendeln bis zur Fertigstellung von Radschnellwegen sicherer zu machen (vgl. Kapitel 3.4) und (2) die Nutzbarkeit der Radinfrastruktur erhöht werden, indem bspw. für winterliche Bedingungen entsprechende Räum- und

<sup>11</sup> Vgl. in diesem Kontext für GER (ADAC, Test: Sind Radwege breit genug?, 2021)

<sup>12</sup> Kleinkraftfahrzeuge der Klasse L1e-B, mit Motorunterstützung bis 45 km/h und limitiertem Unterstützungsverhältnis



Streukonzepte verfügbar sind (vgl. Kapitel 3.1, (DEKRA, 2020) und (ADAC, Radfahren im Winter, 2021)).

- Helmempfehlung, insbesondere für ältere Nutzer:innen, da sie eine eingeschränkte körperliche Leistungsfähigkeit haben (bspw. Gleichgewichtsprobleme) und Unfallfolgen schwerwiegender sind (bspw. höhere Verletzlichkeit) (Malczyk, 2015).

Die Wichtigkeit einer Helmempfehlung für Ältere unterstreicht auch das Befragungsergebnis in (Nobis & Kuhnimhof, 2019), welches sich mit der hier präsentierten Nutzerstudie deckt (vgl. Kapitel 3.2), aber zusätzlich die Helmtragequote über das Alter der Fahrer:innen aufzeigt. So nimmt bei den über 50-jährigen die Helmtragequote stark ab und endet für die über 80-jährigen bei geringen 22 %, die immer einen Helm tragen (im Vergleich zum Durchschnitt über alle Altersklassen von 34 %).

- Fahrtraining, insbesondere für Neu- und Wiedereinsteiger, da sie oft unerfahrene Fahrer:innen mit kaum ausreichender Fahrpraxis sind - vgl. auch (ADAC, Sicher auf dem Pedelec unterwegs, 2021). Als Beispiele seien der Umgang mit komplexen Verkehrssituationen im urbanen Raum oder die witterungsunabhängige Nutzung von Pedelecs angeführt (vgl. Kapitel 3.1). Des Weiteren sind die Wiedereinsteiger die neuere Technik, u.a. bei den Bremsen, noch nicht gewohnt.

## 4.2. Fahrzeugseitige Sicherheitssysteme

Die bei Pedelecs vorhandene elektrische Energie bietet neue funktionale Möglichkeiten, wie zum Beispiel fahrzeugseitige Sicherheitssysteme, welche in aktive und passive Sicherheitssysteme unterschieden werden. Passive Sicherheitssysteme dienen dem Schutz vor schweren Verletzungen im Fall eines Unfalls. Sie senken die Verletzungsgefahr und mildern die Unfallfolgen. Beispiele für bereits am Fahrrad bzw. Pedelec verfügbare passive Sicherheitssysteme sind der Helm, der Airbag (Hövdning, 2021) und eCall Systeme, wie das eingangs beschriebene Help Connect Feature von Bosch eBike Systems. Letzteres adressiert unter anderem die in Kapitel 3.3 identifizierten 18 % verunfallten Fahrrad- und Pedelecfahrer:innen, welche verletzt wurden, aber keine direkte Hilfe erhielten.

Aktive Sicherheitssysteme helfen, Unfälle zu vermeiden und tragen vorbeugend zur Sicherheit im Verkehrsgeschehen bei. Populärstes Beispiel ist das ABS, welches das Fahrzeug in kritischen Situationen stabilisiert und die Verzögerung optimiert. Vorrangiges Ziel von ABS ist die Verhinderung einer Radblockade, wie sie beim unregelmäßigen Laufrad durch Überbremsen häufig auf rutschigem Untergrund und/ oder bei schlechten Wetterbedingungen auftritt (vgl. Kapitel 3.2). Aufgrund des ungünstigen Verhältnisses von Schwerpunkt-höhe zu Radstand, ist für Pedelecs die Zusatzfunktion der Hinterradabheberegelung (engl. rear wheel lift up control, kurz: RLC) bei Überbremsen auf griffigem Untergrund (vgl. Kapitel 3.3) von besonderem Interesse. Ziel von RLC ist es, die Gefahr eines Überschlags um die Fahrzeugquerachse während des Bremsvorgangs zu reduzieren. Bei Pedelecs ergibt sich dabei die besondere Herausforderung, dass die Risikominimierung eines Überschlags auch bei hügeliger Topographie optimal funktionieren muss (vgl. Kapitel 3.1). Am Pedelecmarkt erhältliche ABS mit der Zusatzfunktion RLC sind von (BluBrake, 2021), sowie das eingangs beschriebene System von Bosch eBike Systems.



Neben Pedelecs, sollten ebenfalls auf Seiten der anderen motorisierten Verkehrsteilnehmer (z.B. PKW, LKW) fahrzeugseitige Systeme zum Schutz der VRUs forciert werden. Der Fokus ist dabei auf Konfliktsituationen im Kreuzungsbereich zu legen (vgl. Kapitel 3.3). So ist die gesetzliche Verpflichtung zur Serienausstattung von Abbiegeassistenten<sup>13</sup> bei LKW und Bussen ab 2022 zu begrüßen (EU, 2019), wenngleich ein Nachrüstgebot wünschenswert wäre. Ebenfalls zu begrüßen sind die Aktivitäten von EuroNCAP, welche zunehmend die Anforderungen an automatische Notbremssysteme (engl. automated emergency brakes, kurz: AEB) bei einer drohenden Kollision mit VRUs erhöhen (EuroNCAP, 2021). Aufgrund der herausfordernden Fahraufgabe während des Ein- und Ausparkens sind weiterhin eine zunehmende Verbreitung von Ausstiegswarnern (vgl. bspw. (ADAC, Ausstiegswarner, 2021)) sowie Parkassistenten mit Notbremsfunktion (vgl. bspw. (ADAC, Test: Parkassistenten mit Notbremsfunktion, 2021)) zu empfehlen. Interessant ist in diesem Kontext auch, welche zukünftigen Sicherheitspotentiale sich durch eine Vernetzung des Verkehrsraums ergeben (vgl. bspw. (Uittenbogaard & et al., 2021)).

---

<sup>13</sup> Abbiegeassistent, welcher VRUs vor und neben dem Fahrzeug erkennt und Fahrer:in beim Abbiegen warnt.



## 5. Fazit

Die Motivation für die Durchführung der quantitativen Nutzerstudie lag in einer zu Teilen unklaren Unfallsituation, bedingt durch limitierte amtliche Statistiken basierend auf Polizeiberichten. Insbesondere wurde von einer Überschätzung von Unfällen mit Kollisionen und hoher Verletzungsschwere ausgegangen. Ziel der Studie war es, eine ausgewogenere Sichtweise auf die Fahrrad- und Pedelecsicherheit durch Befragung der Nutzer:innen zu erhalten. Im Fokus sollte die Untersuchung der Sicherheitsängste und des Sicherheitsverhaltens, sowie der Unfallerfahrungen stehen.

Die Studienergebnisse zeigen, dass Pedelecs stärker als Fahrräder für alltägliche Zwecke genutzt werden, häufiger im Einsatz sind, mit ihnen längere Distanzen zurückgelegt werden und die Nutzung witterungsunabhängiger stattfindet. Aufgrund der damit einhergehenden höheren Unfallexposition und fehlender Möglichkeiten ihr Fahrverhalten zu adaptieren, versuchen Pedelecfahrer:innen durch die Erhöhung ihrer Sichtbarkeit im Straßenverkehr und des Tragens eines Helms ihr individuelles Unfallrisiko zu senken.

Sowohl für Fahrrad als auch Pedelec ist das Kraft- und Nutzfahrzeug häufigster Kollisionsgegner. Auffallend ist, dass Pedelecs weniger in Alleinunfälle verwickelt sind als Fahrräder, wohingegen Pedelecs häufiger mit anderen Fahrrädern oder Fußgängern kollidieren. Der geringere Anteil an Alleinunfällen lässt sich durch die sowohl vorrangig urbane Nutzung auf griffiger Fahrbahn, als auch gute Beherrschbarkeit von Pedelecs (neue, hochwertige und regelmäßig gewartete Fahrzeuge) erklären. Kritisch scheint hingegen der beengte urbane Verkehrsraum und die damit einhergehenden Konfliktpotenziale mit dem motorisierten Verkehr, sowie die multimodale Nutzung der Radinfrastruktur mit fehlenden Ausweichmöglichkeiten der VRUs untereinander.

Weiterhin zeigt das Studienergebnis, dass bei 79 % der Fahrradunfälle und bei 55 % der Pedeleccunfälle die Polizei nicht verständigt wurde und folglich der Unfall nicht Eingang in die amtliche Unfallstatistik fand. Die hohen und zugleich unterschiedlichen Untererfassungsraten motivieren Studien wie die hier präsentierte und weisen auf ein neuartiges Problemfeld bei der Unfallforschung im Kontext Fahrrad und Pedelec hin. Weichen die Untererfassungsraten beider Fahrzeugtypen voneinander ab, sind vergleichende Aussagen auf Basis der amtlichen Unfallstatistiken erschwert.

Die präsentierte Nutzerstudie zeigt, dass Fahrrad und Pedelec in vielen Belangen grundsätzlich ähnlich genutzt werden. Aus diesem Grund sollten verkehrssicherheitssteigernde Maßnahmen zuvorderst an den Belangen des Fahrrads orientiert werden, da dieses bis dato weiterverbreitet und bestands- sowie fahrleistungsbezogen ein höheres Unfallrisiko besitzt. Darüber hinaus können Pedelecs, die immer mehr als Alltagsfahrzeug genutzt werden, die zusätzlich verfügbare elektrische Energie und Intelligenz verwenden, um das Pedelec durch fahrzeugeitige Sicherheitssysteme (wie bspw. ABS oder eCall Systeme) noch sicherer zu machen.



## Literaturverzeichnis

- ADAC. (25. 04 2021). Von Sicher auf dem Pedelec unterwegs: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/zweirad/fahrrad-ebike-pedelec/vorschriften-verhalten/fahr-tipps-pedelec/> abgerufen
- ADAC. (25. 04 2021). Von Test: Sind Radwege breit genug?: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/fahrrad/radwegbreiten/> abgerufen
- ADAC. (25. 04 2021). Von Radfahren im Winter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/zweirad/fahrrad-ebike-pedelec/vorschriften-verhalten/radfahren-winter/> abgerufen
- ADAC. (26. 04 2021). Von Ausstiegswarner: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistentensysteme/ausstiegswarner/> abgerufen
- ADAC. (25. 04 2021). Von Test: Parkassistenten mit Notbremsfunktion: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistentensysteme/parkassistent-bremsfunktion/> abgerufen
- Adminaité-Fodor, D., & Jost, G. (2020). *How safe is walking and cycling in Europe?* Brussels: European Transport Safety Council.
- BluBrake. (25. 04 2021). Von ABS for E-bikes: <https://blubrake.it/> abgerufen
- Bosch eBike Systems. (25. 04 2021). Von Help Connect: <https://www.bosch-ebike.com/de/produkte/help-connect> abgerufen
- Bosch eBike Systems. (25. 04 2021). Von ABS: <https://www.bosch-ebike.com/de/produkte/abs> abgerufen
- Castro, A., Kahlmeier, S., & Gotschi, T. (2018). *Exposure-adjusted road fatality rates for cycling and walking in European countries*. Paris: OECD/ITF.
- Castro, Alberto, & et al. (2019). Physical activity of electric bicycle users compared to conventional bicycle users and non-cyclists: Insights based on health and transport data from an online survey in seven European cities. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*.
- DEKRA. (2020). *Verkehrssicherheitsreport 2020 – Mobilität auf zwei Rädern*. Stuttgart: DEKRA Automobil GmbH.
- Dozza, M., Werneke, J., & Mackenzie, M. (2013). e-BikeSAFE: A naturalistic cycling study to understand how electrical bicycles change cycling behaviour and influence safety. *International Cycling Safety Conference*. Helmond.
- Eisenberger, D. (2021). *Zahlen – Daten – Fakten zum deutschen Fahrrad- und E-Bike-Markt 2020*. Berlin: Zweirad-Industrie-Verband.
- EU. (2019). *Road safety: Commission welcomes agreement on new EU rules to help save lives*. Brussels: European Commission.
- EuroNCAP. (26. 04 2021). Von AEB Cyclist: <https://www.euroncap.com/en/vehicle-safety/the-ratings-explained/vulnerable-road-user-vru-protection/aeb-cyclist/> abgerufen
- Gehlert, T. (2014). *Unfallforschung kompakt: Neues Risiko Pedelec?* Berlin: Unfallforschung der Versicherer.



Hövding. (25. 04 2021). Von Airbag für Radfahrer: <https://hovding.com/de/> abgerufen

Juris. (25. 04 2021). Von AfA-Tabelle: [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere\\_Steuertemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/Ergaenzende-AfA-Tabellen/AfA-Tabelle\\_AV.html](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Steuern/Weitere_Steuertemen/Betriebspruefung/AfA-Tabellen/Ergaenzende-AfA-Tabellen/AfA-Tabelle_AV.html) abgerufen

Kirsche, U., & Friedrich, A. (2019). *Deutschlandwetter im Jahr 2019*. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.

Kirsche, U., & Lux, G. (2010). *Deutschlandwetter im Jahr 2010*. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.

Kirsche, U., Lux, G., & Friedrich, A. (2018). *Deutschlandwetter im Jahr 2018*. Offenbach: Deutscher Wetterdienst.

Malczyk, A. (2015). *Untersuchungen zur Schutzwirkung des Fahrradhelms*. Berlin: Unfallforschung der Versicherer.

Nobis, C., & Kuhnimhof, T. (2019). *Mobilität in Deutschland – MiD Ergebnisbericht*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.

Schepers, P., Klein Wolt, K., Helbich, M., & Fishman, E. (2020). Safety of e-bikes compared to conventional bicycles: What role does cyclists' health condition play? *Journal of Transport & Health*.

Twisk, D., Stelling, A., Van Gent, P., De Groot, J., & Vlakveld, W. (2021). Speed characteristics of speed pedelecs, pedelecs and conventional bicycles in naturalistic urban and rural traffic conditions. *Accident Analysis & Prevention*.

Uittenbogaard, J., & et al. (2021). CAN BIKE-TO-CAR COMMUNICATION PREVENT CYCLIST 1 FATALITIES? *International Cycling Safety Conference*. Lund.

Wegman, F., Zhang, F., & Dijkstra, A. (2012). How to make more cycling good for road safety? *Accident Analysis & Prevention*, 19-29.

## ADAC Tests zum Radfahren in Städten 2019 - 2020

Simone Saalman

Projektleiterin, ADAC e.V., Dienstleistungs- und Infrastrukturtests





## Inhaltsverzeichnis

ADAC Tests zum Radfahren in Städten 2019 - 2020.....	133
1. Ausgangslage und Zielsetzung.....	135
2. Verbrauchermodell.....	135
3. Methodik des Tests .....	136
3.1. Testpartner .....	136
3.2. Auswahl der Teststädte und Testrouten .....	136
3.3. Aufteilung des Tests in zwei Bausteine.....	139
3.4. Methodik Testbaustein 1: Radfahrersicherheit an Kreuzungen 2019 .....	139
3.5. Methodik Testbaustein 2: Radwegbreiten 2020 .....	140
4. Testergebnisse .....	140
4.1. Testbaustein 1: Kreuzungen und Grundstückszufahrten.....	140
4.1.1 Ergebnisse im Überblick.....	140
4.1.2 Stärken und Schwächen.....	143
4.2. Testbaustein 2: Radwegbreiten, Engstellen und Hindernisse .....	148
4.2.1 Ergebnisse im Überblick.....	148
4.2.2 Stärken und Schwächen.....	151
5. Empfehlungen für Kommunen und Verbraucher .....	151
5.1. Empfehlungen für Kommunen .....	151
5.1.1 Testbaustein 1: Kreuzungen und Grundstückszufahrten .....	152
5.1.2 Testbaustein 2: Radwegbreiten .....	152
5.2. Empfehlungen für Verbraucher .....	153
5.2.1 Testbaustein 1: Kreuzungen und Grundstückszufahrten .....	153
5.2.2 Testbaustein 2: Radwegbreiten .....	154
6. Fazit .....	155
6.1. Fazit Testbaustein 1: Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten.....	155
6.2. Fazit Testbaustein 2: Radwegbreiten.....	156





## 1. Ausgangslage und Zielsetzung

Insbesondere in den Ballungsräumen und den zentralen Bereichen großer Städte stößt das Auto als insgesamt weiterhin beliebtestes Verkehrsmittel der deutschen Bevölkerung an seine Grenzen. Parkraumknappheit, Verkehrsüberlastung und steigende Benzinpreise lassen Alternativen zum Auto gerade hier immer bedeutsamer werden. Von 2002 bis 2017 stieg die Anzahl an Wegen, die mit dem Fahrrad zurückgelegt wurden, um 13 Prozent und damit deutlich mehr als bei allen anderen Verkehrsarten<sup>1</sup>. Aktuell unterstützt die Corona-Pandemie zusätzlich den Trend, aufs Fahrrad umzusteigen. Zudem hat sich nicht nur die Anzahl an Wegen mit dem Fahrrad erhöht, auch die Zusammensetzung verändert sich. So sind neben breiteren Lastenrädern und Fahrrädern mit Anhängern, immer mehr schnellere Pedelecs und nun auch noch die E-Scooter auf den Radwegen unterwegs. Hier stellt sich die Frage, ob die Radverkehrsnetze der Großstädte einer solchen Verlagerung und dem entsprechenden Zuwachs des Radverkehrsanteils (noch) gewachsen sind. Besonders, wenn man die Entwicklung der Unfälle beobachtet: 2019 ist die Zahl der Verkehrstoten im Vergleich zu 2010 um 16,5 Prozent gesunken. Die Zahl der getöteten Radfahrenden stieg jedoch im selben Zeitraum um 16,8 Prozent<sup>2</sup>. Allein in den Jahren 2018 und 2019 starben jeweils 445 Radfahrer in Deutschland<sup>3</sup>. Die häufigste Unfallkonstellation für Radfahrende mit Kraftfahrzeugen sind Kollisionen beim Einbiegen, Kreuzen oder Abbiegen<sup>4</sup>.

Ziel des Tests war es, den Status quo der Sicherheit und des Komforts für Radfahrende auf Verbindungen des alltäglichen Radverkehrs in deutschen Großstädten festzustellen, um möglichen Handlungsbedarf wie auch vorbildliche Lösungen zu identifizieren. Damit sollte ein Beitrag zur öffentlichen Diskussion über die Verbesserung der Radverkehrsinfrastruktur geleistet werden.

## 2. Verbrauchermodell

Der Verbraucher will

- auf seinen alltäglichen Fahrten mit dem Rad (z.B. zur Arbeit, Schule, Einkauf oder Freizeit) in seinem Vorankommen möglichst nicht gehindert werden, z.B. durch fehlende Möglichkeiten zum Überholen anderer langsamerer Radfahrer und
- ein in jeder Hinsicht sicheres und komfortables Radverkehrsnetz vorfinden

---

<sup>1</sup> MiD 2017

<sup>2</sup> Destatis, Pressemitteilung Nr. 265 Stand 14. Juli 2020

<sup>3</sup> Destatis, Getötete bei Verkehrsunfällen nach Art der Verkehrsbeteiligung, Stand 14. Juli 2020

<sup>4</sup> UDV, Unfallforschung kompakt Nr. 39, Innerörtliche Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern, 2013



### 3. Methodik des Tests

#### 3.1. Testpartner

Mit der Untersuchung betraut wurde die Hannoveraner Planungsgemeinschaft Verkehr PGV-Alrutz GbR. Die PGV-Alrutz ist aus dem ursprünglichen Büro Planungsgemeinschaft Verkehr GbR (PGV) hervorgegangen, das seit 1986 mit Sitz in Hannover tätig war. Durch Dankmar Alrutz, den Mitbegründer der PGV sowie mehreren Mitarbeitenden mit langjähriger PGV-Zugehörigkeit kann die PGV-Alrutz auf über 30 Jahre Erfahrung bei der Förderung des Rad- und Fußverkehrs zurückgreifen.

Die PGV hat an der Entwicklung einer Vielzahl von Regelwerken und Vorschriften mitgewirkt, wie zum Beispiel an den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA). Ihre Mitarbeit erstreckt sich von den ERA 1982 über die Ausgaben 1995 und 2010 bis zur Mitarbeit an der derzeit laufenden Neubearbeitung. Bei allen Fassungen war die PGV-Alrutz GbR maßgeblich an der Schlussredaktion beteiligt.

Die Planungsgemeinschaft führte für den ADAC bereits die Tests Radfahren in Städten 2003 und 2014 sowie den Test von **Bike+Ride-Anlagen im Jahr 2018** durch.

#### 3.2. Auswahl der Teststädte und Testrouten

Für den Test wurden die jeweils fünf Landeshauptstädte mit dem höchsten und niedrigsten Radverkehrsanteil ausgewählt. Somit ergab sich folgende Auswahl von Teststädten (in Klammern der Radverkehrsanteil in %<sup>5</sup>): Saarbrücken (4,2), Stuttgart (5,0), Wiesbaden (6,0), Erfurt (11,0), Dresden (12,0), Mainz (17,0), München (17,4), Hannover (19,0), Kiel (19,0), Bremen (25,0).

Die Auswahl der Testrouten erfolgte nach folgenden einheitlichen Kriterien:

- Streckenlängen von Ø 3,5 – 4,5 Kilometern
- Ø 12 Testrouten pro Stadt, gestaffelt nach Einwohnerzahl in fünf Größenklassen (10 – 18 Routen pro Stadt, Tab. 1)
- Quelle-Ziel-Beziehungen: Typische Alltagsrouten (zwischen Wohngebieten und Schulen, großen Arbeitgebern, Einkaufszentren etc.) sowie touristische Routen (Tab. 2)
- Auswahl Quell- und Zielpunkte nach Relevanz (z.B. Anzahl Mitarbeiter/ Schüler, Einwohnerdichte lt. Zensus des Statistischen Bundesamtes, Tab. 3)
- Auswahl der Streckenverläufe zwischen Quellen und Zielen unter Berücksichtigung der Radverkehrsnetze (Zielnetze) bzw. Radroutenplaner der Städte

---

<sup>5</sup> Die zugrunde gelegten Radverkehrsanteile sind aus den Jahren 2008 – 2016. Sie gehen aus dem Projekt Mobilität in Städten (SrV), Mobilität in Deutschland (MiD) und eigenen Mobilitäts- und Haushaltsbefragungen der Städte hervor.



Nr.	Stadt	RV-Anteil	Jahr	Einwohner (2019)	Stadtgröße	Anzahl Routen
1	Saarbrücken	4,2%	2010	180.374	1	10
2	Erfurt	11,0%	2013	213.981	1	10
3	Mainz	17,0%	2016	218.578	1	10
4	Kiel	19,0%	2013	246.794	2	11
5	Wiesbaden	6,0%	2013	278.474	2	11
6	Hannover	19,0%	2011	536.925	3	12
7	Dresden	12,0%	2013	556.780	3	12
8	Bremen	25,0%	2012-14	567.559	4	13
9	Stuttgart	5,0%	2009	635.911	4	13
10	München	17,4%	2008	1.484.226	5	18
Routenanzahl gesamt						120

**Tab. 1 Anzahl und Aufteilung der Testrouten nach Einwohnern**

Quelle	Ziel	km/Route	Stadtgröße 1	Stadtgröße 2	Stadtgröße 3	Stadtgröße 4	Stadtgröße 5
Wohnen	- Arbeit	2 - 7 km	1	2	2	2	2
Wohnen	- Gymnasium/ Ausbildung	2 - 5 km	1	1	1	2	2
Wohnen	- Wohnen	2 - 6 km	1	1	1	1	2
Wohnen	- Einkaufen City	2 - 4 km	1	1	1	1	2
Wohnen	- Einkaufen dezentral	2 - 4 km	1	1	1	1	2
Wohnen	- Universität/ FH	2 - 5 km	1	1	1	1	2
Hauptbahnhof	- Wohnen	2 - 6 km	1	1	1	1	1
Hauptbahnhof	- Arbeit	2 - 7 km	1	1	1	1	1
Touristische Route		5 – 10 km	1	1	1	1	2
Wohnen	- Freizeitschwerpunkt	2 - 6 km	1	1	2	2	2
Routenanzahl pro Stadtgröße			10	11	12	13	18

**Tab. 2 Aufteilung der Routenanzahl nach Routentyp und Stadtgröße**



Die Auswahlsystematik der Routen nach Relevanz staffelte sich wie folgt:

Testroute	Kriterium 1	Kriterium 2	Kriterium 3
Wohnen – Arbeit	Größerer Arbeitgeber nach Anzahl Mitarbeiter	Einwohnerzahl Wohngebiet (WG)	Geografische Verteilung
Wohnen – Gymnasium/ Ausbildung	Gymnasium, bei mehreren, das mit mehr Schülern	Einwohnerzahl WG	Geografische Verteilung
Wohnen – Wohnen	Einwohnerzahl von Start- und Ziel-Wohngebiet (WG)	Geografische Verteilung	---
Wohnen – Einkaufen City	Einwohnerzahl WG	Geografische Verteilung	---
Wohnen – Einkaufen dezentral	Größe Einkaufsgebiet	Einwohnerzahl WG	Geografische Verteilung
Wohnen – Universität/ FH	Klar, da nur eine Uni	---	---
Hauptbahnhof – Wohnen	Einwohnerzahl WG	Geografische Verteilung	---
Hauptbahnhof – Arbeit	Größerer Arbeitgeber nach Anzahl Mitarbeiter	Geografische Verteilung	---
Touristische Route	Relevanz für Alltagsverkehr	Geografische Verteilung	---
Wohnen – Freizeitschwerpunkt	Nutzungshäufigkeit und Größe der Freizeiteinrichtung	z.B. Ganzjährig vor saisonal, Stadion vor kleiner Einrichtung (die, die insgesamt pro Jahr, mehr Personen mit dem Fahrrad anzieht)	---

Tab. 3 Kriterien zur Routenauswahl nach Relevanz

Insgesamt wurden damit Routen folgender Länge ausgewählt:

Nr.	Stadt	Anzahl Routen	Länge der Testrouten (km, gerundet)
1	Saarbrücken	10	36
2	Erfurt	10	39
3	Mainz	10	38
4	Kiel	11	42
5	Wiesbaden	11	45
6	Hannover	12	44
7	Dresden	12	49
8	Bremen	13	51
9	Stuttgart	13	55
10	München	18	77
Routen gesamt		120	476

Tab. 4 Anzahl und Länge der Testrouten



### 3.3. Aufteilung des Tests in zwei Bausteine

Die Routen wurden mittels Vor-Ort-Tests im Zeitraum Oktober bis Dezember 2018 inkognito mit dem Fahrrad befahren; die Tests wurden also den Städten oder der Öffentlichkeit vorher nicht angekündigt. Die Mängel wurden mit „Papier und Bleistift“ aufgezeichnet und fotografisch (mit einer GPS-Kamera) dokumentiert.

Aufgrund der großen Datenmenge wurde der Test in zwei Bausteine geteilt: Im ersten Baustein wurde die Sicherheit der Kreuzungen und Grundstückszufahrten im Verlauf der Testrouten bewertet und im Herbst 2019 veröffentlicht. Im zweiten Baustein lag der Fokus auf den Breiten der Radverkehrsanlagen (inkl. gemischter Führungen mit dem Fußverkehr). Dieser wurde im Oktober 2020 herausgegeben.

### 3.4. Methodik Testbaustein 1: Radfahrersicherheit an Kreuzungen 2019

Im Zuge der Testrouten wurden insgesamt 757 signalisierte Kreuzungen, 1.709 unsignalisierte Kreuzungen (Anschlussknoten) und 144 Überquerungsstellen über stark befahrene Straßen untersucht. Darüber hinaus wurden 445 mangelhafte Grundstückszufahrten erfasst. Die Tests fanden inkognito zwischen September und Dezember 2018 sowie im März 2019 statt, einzelne Nachtests schlossen sich im Juli 2019 an. Zu möglichen baulichen Veränderungen der Testrouten seit der Feldphase wurden die Städte nochmals im August 2019 befragt.

Die Prüfpositionen der Kategorien „Kreuzungen mit Ampeln“ (Gewichtung 43 Prozent) und „Kreuzungen ohne Ampeln“ (ebenfalls 43 Prozent) wurden ausschließlich in Fahrtrichtung der jeweils definierten Testrouten dokumentiert und bewertet. Dabei ging es dann zum Beispiel um die Fragen, ob sich Fahrradfahrer und Kfz-Verkehr gegenseitig gut sehen konnten, der Radwegverlauf auf der Fahrbahn deutlich markiert war oder im Falle von viel befahrenen Straßen Querungshilfen wie etwa Mittelinseln zur Verfügung standen. Bei Straßen ganz ohne Radwege wurde überprüft, inwiefern das Passieren von Kreuzungen so gefahrlos möglich war.

An Kreuzungen mit Ampeln begutachteten die Tester zudem, ob Radfahrer bei Rot gut sichtbar ein Stück weit vor den Autos warten konnten, früher als Autofahrer ein Grün-Signal erhielten oder wie sicher und komfortabel Linksabbieger über die Kreuzung geführt wurden.

In der Kategorie „Grundstückszufahrten“ (Gewichtung 14 Prozent) prüften die Tester zum Beispiel, ob dort Radwege unterbrechungsfrei verliefen, ob sich Belag und Höhe immer wieder änderten oder wie gut die Sichtbeziehungen für Radler und kreuzende Autofahrer waren. Die Tester überprüften ausschließlich solche Grundstückszufahrten, die an baulich von der Fahrbahn abgesetzten Radwegen lagen. Am Schluss wurde für jedes Kriterium die Anzahl der mangelhaft ausgeführten Zufahrten festgestellt und daraus die Häufigkeit pro Streckenkilometer errechnet und bewertet.

Die Ergebnisse des Tests unterteilen sich in die ADAC-Urteile sehr gut, gut, ausreichend, mangelhaft und sehr mangelhaft. Die wichtigsten Stärken und Schwächen der Teststädte wurden in sogenannten Einzelkritiken dargestellt, die im Internet unter [www.adac.de](http://www.adac.de) einzusehen sind.



### 3.5. Methodik Testbaustein 2: Radwegbreiten 2020

Basis für die Beurteilung waren die Vor-Ort-Befahrungen der Routen im Zuge des Basistests zwischen September und Dezember 2018 sowie im März 2019. Um die Ergebnisse zu verifizieren und mögliche Veränderungen zur Erstbefahrung zu erfassen, setzten sich die Tester im März und Mai 2020 erneut auf die Räder, um die Strecken nochmals komplett abzufahren. Aus den gesammelten Daten ergab sich schließlich ein Testurteil für jede Einzelroute und ein Gesamturteil pro Stadt.

Zur Bewertung der unterschiedlichen Breiten orientierte sich der ADAC an den Maßen der Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA 2010), die von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) für die unterschiedlichen Radwegtypen herausgegeben werden. Beurteilt wurde ausschließlich die tatsächlich nutzbare Radwegbreite. Eventuelle Hindernisse innerhalb der Radwegfläche wie Masten, Schilder oder Bäume führten zu Punktabzug. Erhoben, aber nicht bewertet wurden mobile Hindernisse wie Werbetafeln, Mülltonnen oder Falschparker.

In der Regel verliefen die Teststrecken nicht durchgängig über Radwege, Radfahrstreifen, Schutzstreifen oder gemeinsame Führungen mit dem Fußverkehr. Teilweise wird der Radverkehr auch über Nebenstrecken ohne eigene Radspur auf der Straße geführt. In diesem Fall erhielten die Routen nur dann ein Einzel-Ergebnis, wenn zumindest ein Fünftel der jeweiligen Strecke aus gesonderten Radwegen bestand. In das Gesamtergebnis der Stadt flossen jedoch auch die unter der 20-Prozent-Grenze liegenden Anteile mit ein.

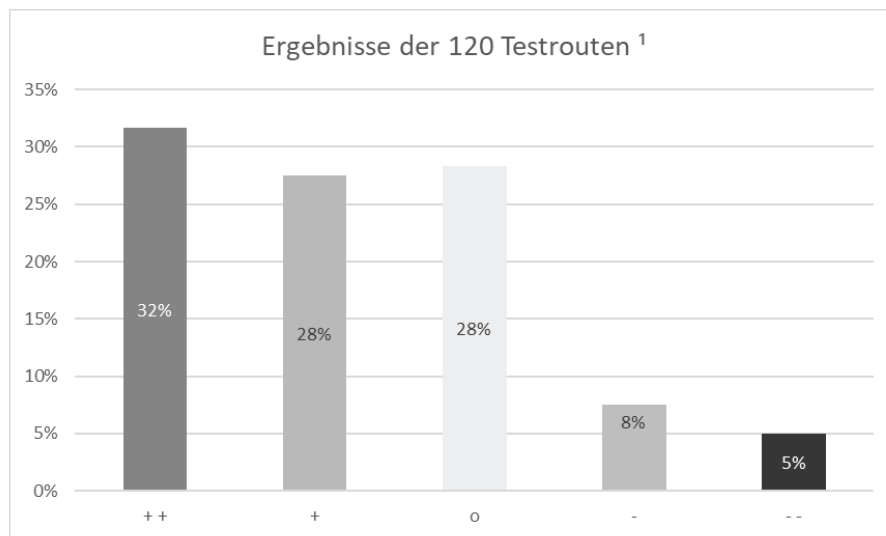
Die Ergebnisse des Tests unterteilten sich in die ADAC Urteile sehr gut, gut und ausreichend, wenn die Radwege die empfohlenen Breiten einhielten oder sogar überschritten. Wurde die Mindestbreite gemäß den ERA unterschritten, gab es mangelhafte oder sehr mangelhafte Bewertungen. Die Punkteverteilung und damit die Notengebung basierte auf zentimetergenauen Messungen. So konnte bei der Bewertung berücksichtigt werden, ob die empfohlenen Maße nur knapp oder stark unterschritten wurden. Auch hier finden sich die detaillierten Ergebnisse im Internet unter [www.adac.de](http://www.adac.de).

## 4. Testergebnisse

### 4.1. Testbaustein 1: Kreuzungen und Grundstückszufahrten

#### 4.1.1 Ergebnisse im Überblick

Mehr als jede zehnte städtische Radweg-Route, auf der der ADAC die Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten unter die Lupe nahm, fiel im Test durch (Abb. 1). Gründe dafür gab es viele: Kreuzungen mit schlechter Sicht auf die Radfahrer, stark befahrene Straßen ohne Überquerungshilfen, schlecht markierte Radwege über Einmündungen, versteckte Grundstückszufahrten.



<sup>1</sup> Rundungsdifferenzen möglich

++ sehr gut    + gut    o ausreichend    - mangelhaft    -- sehr mangelhaft

**Abb. 1 Ergebnisse der Testrouten, Baustein 1: Sicherheit an Kreuzungen**

Dennoch schnitten die Städte im Gesamtergebnis über alle getesteten Routen hinweg mit Noten zwischen ausreichend und sehr gut ab, denn neben den problematischen Strecken fanden sich überall auch viele gute Lösungen und sichere Kreuzungen (Abb. 2).



<b>ADAC Test: Fahrradsicherheit an Kreuzungen 2019</b>						
<b>Licht und Schatten in den Teststädten</b>						
<b>ADAC</b>	Einwohner	Anzahl Testrouten**	Kreuzungen mit Ampeln	Kreuzungen ohne Ampeln	Grundstückszufahrten	ADAC Urteil
Gewichtung			43%	43%	14%	100%
Bremen	568.006	13	+	o	-	o
Dresden	551.072	12	o	+	--	o
Erfurt	212.988	10	+	+	o	+
Hannover	535.061	12	+	+	+	+
Kiel	247.943	11	++	++	++	++
Mainz	215.110	10	++	+	-	+
München	1.456.039	18	++	o	o	+
Saarbrücken	180.966	10	++	+	o	+
Stuttgart	632.743	13	+	o	++	+
Wiesbaden	278.654	11	+	o	+	o*

\*Um weniger als 1 Prozent der insgesamt möglichen Punkte bessere Note nur knapp

\*\*Die Anzahl der Testrouten orientiert sich an der Einwohnerzahl der Städte

sehr gut	++
gut	+
ausreichend	o
mangelhaft	-
sehr mangelhaft	--

**Abb. 2 Ergebnisse der Städte, Baustein 1: Sicherheit an Kreuzungen**

Insgesamt gute Bedingungen für Radfahrer in Bezug auf die Kreuzungen und Grundstückszufahrten fanden die Tester in Erfurt, Hannover, Mainz, München, Saarbrücken und Stuttgart vor. Die Note ausreichend erhielten Bremen, Dresden und Wiesbaden. Als einzige Stadt der Erhebung bekam Kiel eine sehr gute Bewertung. Bemerkenswert: Alle elf Testrouten der nördlichsten Landeshauptstadt erreichten gute oder sehr gute Ergebnisse. Positiv fiel in Kiel vor allem auf, dass Radfahrer dort an gut drei Vierteln der Ampeln früher grün bekamen als der Kfz-Verkehr, was wesentlich zu ihrer Sichtbarkeit beitrug. Darüber hinaus waren an nahezu allen Einmündungen die Bordsteine abgesenkt, so dass Radfahrer ihren Weg barrierefrei bewältigen konnten. Und bei mehr als Dreiviertel der Fahrbahnquerungen verliefen die Radwege höchstens zwei Meter von der Fahrbahn entfernt – die Radler blieben so immer im Sichtfeld der Autofahrer. Und auch bei den Grundstückszufahrten gab es im Vergleich zu den anderen Städten nur sehr wenige mit eingeschränkter Sicht.





Doch so gut wie in Kiel sah es nicht überall aus. Im Gesamtergebnis schnitten von den 120 getesteten Radrouten fünf Prozent sehr mangelhaft ab und weitere acht Prozent mangelhaft. 13 Prozent der Routen fielen demnach durch, weitere 28 Prozent bekamen lediglich ausreichende Noten. Die (sehr) mangelhaften Teststrecken verteilten sich auf sechs Städte: Wiesbaden, Dresden, Stuttgart, München, Erfurt und Bremen. Sie alle verfügten daneben aber auch über gute und sehr gute Routen. Die positiven Ergebnisse kamen meist dadurch zustande, dass die Radfahrer auf den städtischen Routenempfehlungen über Nebenstrecken geleitet werden, wo sie im normalen Verkehr mitfahren und so für Autofahrer gut sichtbar sind. In Wiesbaden etwa hatten die Nebenstrecken einen Anteil von gut 70 Prozent, in Bremen dagegen nur von knapp einem Viertel.

Gute Gesamtergebnisse bedeuten also nicht zwangsläufig, dass alle Radwege im Ort sicher sind. Vor den Städten liegt noch viel Arbeit, um den Anteil der guten (28 Prozent) und sehr guten (32 Prozent) Radrouten zu erhöhen. Interessanter Weise hing die Qualität der Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten nicht davon ab, wie viele Radfahrer sich in einer Stadt bewegten. In Bremen beispielsweise ist der Anteil der Radfahrer am Verkehrsmix am höchsten, über eine ausreichende Bewertung kam die Stadt jedoch nicht hinaus. Den Kontrast dazu bildete Saarbrücken mit vergleichsweise wenig Radlern, aber einer guten Gesamtnote.

#### **4.1.2 Stärken und Schwächen**

Einige Mängel erwiesen sich für Fahrradfahrer als besonders gravierend und fanden sich in den Städten in unterschiedlicher Ausprägung wieder. So waren beispielsweise in Erfurt 28 Prozent der Radwege an Einmündungen und Kreuzungen mehr als zwei Meter von der Straße entfernt – weitere 23 Prozent sogar mehr als fünf Meter. Die Gefahr: Abbiegende Autofahrer haben die Radfahrer nicht im Blick und können sie leicht übersehen. In Erfurt vermissten die Tester zudem an fast jeder fünften Kreuzung oder Einmündung eine deutliche Markierung der Radwege (Abb. 3), um Autofahrer darauf hinzuweisen, dass jederzeit mit Radfahrern zu rechnen ist – ähnlich sah es in Stuttgart aus.



**Abb. 3** Fehlende bzw. stark abgefahrene Furtmarkierung in Bremen

Bei der Überquerung stark befahrener Straßen unterstützen Ampeln oder Mittelinseln die Radfahrer. In Wiesbaden gab es solche Hilfen überhaupt nicht, in München fehlten sie zu 81 Prozent. (Abb. 4)



**Abb. 4** Überquerungsstelle über stark befahrene Straße ohne Querungshilfe in Stuttgart



Noch schlechter schnitt München an den Ampelanlagen ab. Positiv beim Thema Radfahrer-Grün: In Kiel und Bremen bekamen Radfahrer auf abgesetzten Radwegen an Ampeln zumindest mehrheitlich früher grünes Licht als der restliche Verkehr, womit sie sicher starten und über die Kreuzung fahren können. Der Sicherheit an Ampeln dienen auch Haltelinien für Radfahrer, die dort drei oder mehr Meter vor dem Autoverkehr gut sichtbar auf die Grünphase warten können. Vor allem in Saarbrücken und Wiesbaden war der Abstand häufig geringer. In Dresden mussten Radler sogar öfters genau gleichauf mit Autofahrern warten. Apropos schlechte Sichtbarkeit: Werbetafeln, Litfaßsäulen oder ein üppiger Bewuchs im Kreuzungsbereich schränkten in Stuttgart und in Mainz vereinzelt die freie Sicht auf Radfahrer ein (Abb. 5).



**Abb. 5** Sichteinschränkung an Kreuzung in Mainz

Noch mehr als an Kreuzungen ließ diese Sicht an Grundstückszufahrten zu wünschen übrig. Besonders in Dresden, Hannover und Mainz gab es entlang der Testrouten wiederholt Mauern und Hecken, hinter denen die Einfahrten kaum erkennbar waren und damit zur Gefahr werden konnten. Darüber hinaus sahen sich die Tester vor allem in Bremen, Dresden und Erfurt vor Grundstückseinfahrten häufig mit wechselnden Belägen des Radwegs konfrontiert, die suggerieren können, dass Autos hier Vorfahrt hätten.

Trotz dieser Mängel wurden auf den Testrouten auch gute Lösungen zur Erhöhung der Sicherheit Radfahrender vorgefunden. Hierzu zählen z.B.

- Flächige Farbmarkierung von Radwegfurten an Einmündungen und Grundstückszufahrten (Abb. 6).
- Verbesserung von Sichtbeziehungen an Kreuzungen durch vorgezogene Seitenräume oder Poller, die das Parken im Kreuzungsbereich verhindern (Abb. 7).
- Heranführen abgesetzter Radwege direkt zur Fahrbahn hin im Kreuzungsbereich.



- Direktes Linksabbiegen durch aufgeweitete Aufstellflächen vor der Haltelinie des Kfz-Verkehrs (Abb. 8)
- Verdeutlichung der Vorfahrt von Radfahrern über Einmündungen hinweg durch Aufpflasterung der Überfahrten (Abb. 9).
- Anbringen von Spiegeln und Warnhinweisen an Grundstückszufahrten, wo es keine andere Möglichkeit gibt, die Sichtbeziehungen zwischen Radfahrern und kreuzendem Kfz-Verkehr herzustellen (Abb. 10).



**Abb. 6** Flächige Einfärbung einer Radwegfurt in Stuttgart



**Abb. 7** Verbesserung von Sichtbeziehungen an Kreuzungen in Saarbrücken



**Abb. 8** Aufgeweiteter Aufstellstreifen mit direktem Linksabbiegen in Saarbrücken



Abb. 9 Radwegüberfahrt über eine Einmündung in Bremen



Abb. 10 Spiegel und Warnhinweis an einer Grundstücksausfahrt in Wiesbaden

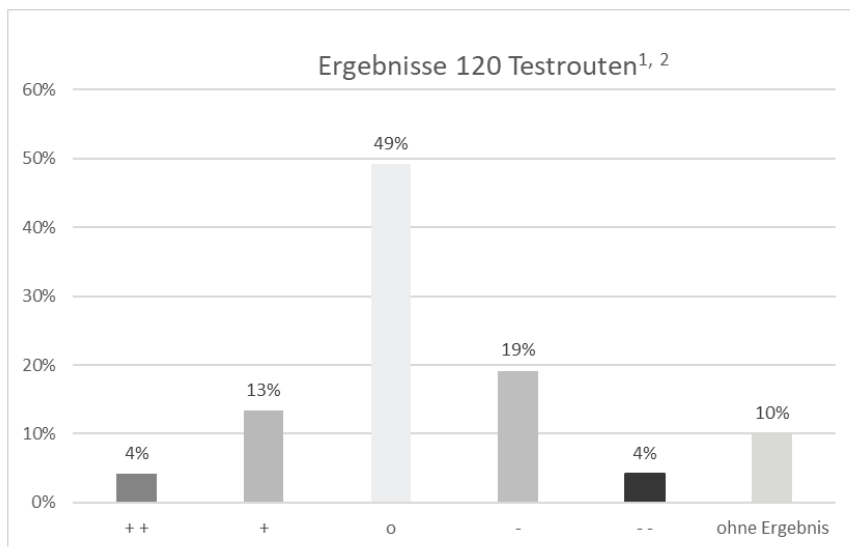
## 4.2. Testbaustein 2: Radwegbreiten, Engstellen und Hindernisse

### 4.2.1 Ergebnisse im Überblick

Insgesamt erreichte knapp die Hälfte aller 120 Routen eine ausreichende Bewertung (Abb. 11). Erfreulicherweise war es nicht überall gleich eng, sodass mehr als jede sechste Strecke gute oder sehr gute Resultate erhielt. Dagegen stehen die mangelhaften und sehr mangelhaften Ergebnisse bei 23 Prozent der Rou-



ten – das ist fast jede vierte Route im Test. Die Routen unterteilten sich in die gemischten Geh- und Radwege sowie die reinen Radwege inklusive von der Straße abgetrennte Radfahr- und Schutzstreifen. Jeder dritte (36 Prozent) dieser reinen Radwege war zu schmal und lag unter der Mindestbreite. Weitere 43 Prozent verfehlten die Regelbreite. Nur rund zehn Prozent lagen dagegen im Regelbereich und weitere gut zehn Prozent waren breiter als die Empfehlung.



<sup>1</sup> Rundungsdifferenzen möglich

<sup>2</sup> Anteil an Radwegen auf den Testrouten teilweise unter 20%; für diese kein Routenergebnis vergeben

++ sehr gut    + gut    0 ausreichend    - mangelhaft    -- sehr mangelhaft

**Abb. 11 Ergebnisse der Testrouten, Baustein 2: Radwegbreiten**

Am Ende der insgesamt rund 500 Kilometer und 120 Routen umfassenden Erhebung steht fest: Als einzige Stadt erreichte Kiel eine gute Bewertung (Abb. 12). Nahezu jeder fünfte Radweg (inkl. den auf der Fahrbahn markierten, wie Radfahr- und Schutzstreifen) erfüllte die Regelbreite. Bei einem Radweg, der in eine Richtung befahren werden darf, sind dies zum Beispiel zwei Meter. Ein weiteres Fünftel übertraf diese Regelbreite sogar und erlaubt somit eine sichere, komfortable Fahrt auf zwei Rädern. Gute Ergebnisse erzielte Kiel auch bei den kombinierten Geh- und Radwegen: 60 Prozent waren erheblich breiter als der geforderte Mindestwert der ERA von 2,50 Metern. Positiv fiel zudem auf, dass auf den getesteten Routen nur sehr wenige Barrieren, Hürden oder Engstellen den Weg erschwerten.

Ganz anders stellt sich die Situation in Mainz dar. Während in Kiel keine einzige Route durchfiel, lagen in der rheinland-pfälzischen Landeshauptstadt insgesamt 70 Prozent der Radwege unter den Mindestanforderungen – für einspurige Radwege ohne Gegenverkehr beispielsweise beträgt die empfohlene Mindestbreite



laut ERA 1,60 Meter. Auch sonst sieht es nicht gut aus: Gut ein Viertel der verbleibenden Radwege blieb auch unterhalb der Regelbreite. Weil auf einigen Mainzer Routen zudem sehr viele Schilder, Masten und Bäume im Weg standen oder Hecken in die Fahrbahnen ragten, waren Radler hier oft im Slalom unterwegs – und das auf ohnehin sehr engen Wegen. Im Endergebnis erreichte Mainz im Test ein mangelhaftes Resultat. Die gleiche schlechte Note fuhr Hannover ein, hier fielen knapp 60 Prozent der Radrouten durch.

Ausreichende Ergebnisse erlangten alle weiteren Städte: Bremen, Dresden, Erfurt, München, Saarbrücken, Stuttgart und Wiesbaden. In Erfurt erreichten gut zwei Drittel der geprüften Radwege nicht mal die Mindestbreite, das machte die Stadt dafür mit den gemeinsamen Geh- und Radwegen wieder wett, die bei mehr als der Hälfte weit über den empfohlenen Mindestbreiten lagen. In Wiesbaden und Stuttgart mussten sich Radfahrer dagegen vor allem mit Hindernissen innerhalb der Radfahrflächen herumärgern. Viel Mitleidmaß gab es in München mit drei Vierteln aller Routen, die über ein Ausreichend nicht hinaus kamen.

ADAC Test: Radwegbreiten 2020								
23 Prozent der Testrouten durchgefallen								
ADAC	Einwohner	Anzahl Testrouten <sup>1</sup>	Routen-Ergebnisse					ADAC Urteil
			++	+	o	-	--	
Städte			++	+	o	-	--	
Bremen	567.559	13	0	1	8	4	0	o
Dresden	556.780	12	2	2	7	1	0	o
Erfurt	213.981	10 <sup>2</sup>	1	1	4	3	0	o
Hannover	536.925	12	0	0	5	4	3	-
Kiel	246.794	11	1	4	6	0	0	+
Mainz	218.578	10	0	2	1	5	2	-
München	1.484.226	18	1	0	14	3	0	o
Saarbrücken	180.374	10 <sup>2</sup>	0	1	5	1	0	o
Stuttgart	635.911	13 <sup>2</sup>	0	5	4	1	0	o
Wiesbaden	278.474	11 <sup>2</sup>	0	0	5	1	0	o

<sup>1</sup>Die Anzahl der Testrouten orientiert sich an der Einwohnerzahl der Städte

<sup>2</sup>Anteil an Radwegen auf den Testrouten teilweise unter 20%; für diese kein Routenergebnis vergeben

sehr gut	++
gut	+
ausreichend	o
mangelhaft	-
sehr mangelhaft	--

Abb. 12 Ergebnisse der Städte, Baustein 2: Radwegbreiten

Während sich die reinen Radwege gut bewerten und vergleichen lassen, ist das bei den gemischten Führungsformen (gemeinsame Geh- und Radwege, Gehwege mit „Radfahrer frei“) komplizierter. Sie bergen





ein größeres Konfliktpotenzial, weil sich Fußgänger und Radfahrer mit ihren unterschiedlichen Tempi und Bedürfnissen hier den meist recht engen Raum teilen müssen. So wird für diese in den Regelwerken zumindest für den Innerortsbereich auch keine Regelbreite empfohlen, denn sie hinge zu stark davon ab, wie viele Passanten oder Radler jeweils gleichzeitig unterwegs sind. Gut 19 Prozent der Routen erreichten die Mindestbreite von 2,50 Metern im Test nicht und vier Prozent nur knapp.

#### 4.2.2 Stärken und Schwächen

Teilweise lagen die Radwegbreiten weit unter den Mindestanforderungen der Regelwerke. Dies fiel besonders in Hannover auf, wo die Einrichtungsradwege, die unter der Mindestbreite von 1,6m lagen, häufig nur einen Meter breit waren. In Stuttgart, Mainz (Abb. 13 unten) und Wiesbaden fielen vor allem die sehr hohe Dichte an Hindernissen und/ oder Engstellen innerhalb der Radwegflächen negativ auf. In Dresden und Erfurt gab es zumindest viele davon.



1. Zweirichtungsweg übersteigt Regelbreite mit 3,5m (Kiel)



2. Einrichtungs-Radweg mit 2,90 m über Regelbreite (München)



3. Radweg im Zweirichtungsbetrieb (einseitig) mit 1,6 m weit unter Mindestbreite (2 m); zusätzlich extreme Engstellen durch Bäume (Restbreite 0,7 m. Mainz)



4. Einrichtungs-Radweg mit 1 m weit unter Mindestmaß (Hannover)

Abb. 13 Positiv- (1. und 2.) und Negativbeispiele (3. und 4.) für die Anlagenbreiten auf den Testrouten

## 5. Empfehlungen für Kommunen und Verbraucher

### 5.1. Empfehlungen für Kommunen



### **5.1.1 Testbaustein 1: Kreuzungen und Grundstückszufahrten**

Auf Basis der Testergebnisse ergeben sich für Kommunen folgende Empfehlungen:

- Immer für gute Sichtbeziehungen sorgen, z.B. durch
  - regelmäßigen Grünschnitt
  - Vermeidung von großen Werbetafeln oder sonstigen festen Einbauten im Kreuzungsbereich
  - Aufstellung von Pollern, die das Parken im Kreuzungsbereich verhindern
  - Radwege, die im Kreuzungsbereich nahe am Autoverkehr geführt werden
  - Einrichtung von mindestens um 3 Meter vorgezogenen Haltelinien und Ampelschaltung von früherem Grün für Radfahrer
  - Installation von Spiegeln, dort wo sie nötig sind
- Markierungen von Furten regelmäßig erneuern, damit diese gut sichtbar bleiben. Bei besonderen Gefahrenstellen Furten rot einfärben. Einmündungen können alternativ auch baulich als Radwegüberfahrt gestaltet werden.
- Radwege an Grundstückszufahrten unterbrechungsfrei weiterführen und gute Sichtverhältnisse gewährleisten
- Bei viel befahrenen Straßen Querungshilfen anbieten wie z.B. Mittelinseln
- Regelmäßig radverkehrsspezifische Unfallanalysen durchführen, um Sicherheitsmängel zu erkennen; Verbesserungen gemäß Dringlichkeit vornehmen

### **5.1.2 Testbaustein 2: Radwegbreiten**

Auf Basis der Testergebnisse ergeben sich für Kommunen folgende Empfehlungen:

- Neue Radwege nach den offiziellen »Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA)« hinsichtlich ihrer Breite dimensionieren und Mindestmaße nur im Ausnahmefall anwenden
- Beim Einrichten von Radwegen, die vermutlich viel genutzt werden, Breitenzuschläge vorsehen. Schließlich wird der Radverkehr weiter zunehmen und seine Zusammensetzung sich durch Pedelecs, E-Scooter, Lastenräder und Fahrräder mit Anhängern ändern
- Auf gemeinsame Führungsformen mit Fußgängern möglichst verzichten
- Lücken und Engpässe im Radverkehrsnetz zeitnah beseitigen
- Die Planung von Radwegen auf der Basis ganzheitlicher Mobilitätskonzepte vornehmen. Dafür vorab die aktuellen und künftigen Bedarfe aller Verkehrsteilnehmer und auch der jeweiligen Anwohner analysieren
- Dabei abwägen, was für alle Betroffenen die verträglichste Lösung ist
- Prüfen, ob in jedem Fall umfangreiche Baumaßnahmen nötig sind, oder sich andere Lösungen anbieten wie etwa die Führung des Radverkehrs über Nebenstrecken



- Pfosten von Verkehrsschildern nicht auf den Radwegen aufstellen, sondern mittig im Sicherheitsraum zwischen Geh- und Fahrbahnen
- Bei städtischen Bäumen, Büschen und Pflanzen auf regelmäßigen Rückschnitt achten, um die Radwege frei zu halten
- Abschnitte, an denen Falschparker den Radweg häufig blockieren, regelmäßig kontrollieren, Parkverstöße ahnden und die Situation möglichst durch geeignete Maßnahmen entschärfen
- Auch Parkstreifen ausreichend breit und mit genügend Sicherheitsabstand zu angrenzenden Radwegen anlegen

## 5.2. Empfehlungen für Verbraucher

### 5.2.1 Testbaustein 1: Kreuzungen und Grundstückszufahrten

Empfehlungen für Radfahrer:

- Fahrgeschwindigkeit an Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten reduzieren - besonders wenn parkende Fahrzeuge oder Hecken die Sicht einschränken, ist Vorsicht geboten
- Blickkontakt zu Autofahrern suchen, um sich zu vergewissern, dass man gesehen wird
- Bei rechtsabbiegenden Autos damit rechnen, übersehen zu werden
- Radwege immer auf der in Fahrtrichtung rechten Straßenseite benutzen. Auch wenn Radwege im Gegenverkehr freigegeben sind, rechnen Autofahrer an Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten oft nicht mit Radfahrern in „falscher“ Richtung.
- Vor allem bei schlechten Wetterverhältnissen und Dämmerung auffällige Kleidung tragen und Fahrradbeleuchtung einschalten. Übrigens: Im Abblendlicht eines Autos ist ein dunkel gekleideter Radfahrer auf 25 Metern Entfernung zu sehen, ein hell gekleideter bereits auf 40 Metern und ein Radfahrer mit Reflektoren sogar schon auf 130 bis 140 Metern.
- Sicherheitsmängel in der Radwege-Infrastruktur an die Städte melden (z.B. Online-Mängelmelder oder Radverkehrsbeauftragte) und damit einen aktiven Beitrag zur Sicherheit leisten

Empfehlungen für Autofahrer:

- Beim Abbiegen immer an Radfahrer denken und bei eingeschränkter Sicht auf Radwege (z.B. durch parkende Autos, Hecken oder Werbetafeln) schon frühzeitig den Seitenraum beobachten, ob Radfahrer unterwegs sind und Schulterblick nicht vergessen
- Teilweise dürfen Radwege in beiden Fahrtrichtungen befahren werden: Deshalb beim Ein- oder Abbiegen auch mit Radverkehr aus der Gegenrichtung rechnen
- Selbst wenn es vor der roten Ampel eng ist: Radfahrer dürfen nach §5 der Straßenverkehrsordnung wartende Autos rechts überholen – allerdings "mit mäßiger Geschwindigkeit und besonderer Vorsicht".



- An Grundstückszufahrten: Auch wenn der Radweg durch z.B. das Kopfsteinpflaster einer Grundstückszufahrt optisch unterbrochen ist, hat der Radfahrer Vorfahrt vor aus- und einfahrenden Autos.

### **5.2.2 Testbaustein 2: Radwegbreiten**

#### Empfehlungen für Radfahrer

- Beim Überholen auf ausreichend Abstand zum anderen Radfahrer achten und im Zweifel einen breiteren Abschnitt (z.B. im Bereich der nächsten Einmündung) abwarten, um vorbeizuziehen
- Durch rechtzeitiges Klingeln anzeigen, dass man überholen will, um den Vorausfahrenden nicht zu erschrecken
- Vor roten Ampeln und wartepflichtigen Kreuzungen so aufstellen, dass man den querenden Radverkehr nicht behindert und gerade bei vielen Wartenden rücksichtsvoll anfahren, um Konflikte mit anderen Radlern zu vermeiden.
- Vor roten Ampeln an wartenden Autofahrern rechts nur bei ausreichendem Abstand bis zur Haltlinie vorbeifahren.
- An Haltestellen auf ein- und aussteigende Fahrgäste Rücksicht nehmen
- Auf gemeinsamen Geh- und Radwegen und Gehwegen mit „Radfahrer frei“ langsam fahren und Rücksicht auf Fußgänger nehmen

#### Empfehlungen für Fußgänger

- Nicht auf Radwegen spazieren gehen oder sie unachtsam betreten
- Beim Warten an roten Ampeln nicht den Radweg blockieren
- Auf gemeinsamen Geh- und Radwegen plötzliche Richtungswechsel vermeiden, um sich selbst und vorbei fahrende Radler nicht zu gefährden

#### Empfehlungen für Autofahrer

- Daran denken, dass nicht alle Radwege benutzungspflichtig sind und Radfahrer selbst auf benutzungspflichtigen Radwegen aus gutem Grund auf der Straße unterwegs sein dürfen, etwa bei zugesperrten oder vereisten Radwegen
- In keinem Fall auf Radwegen parken
- Beim Abbiegen nach rechts stets den Schulterblick ausüben und Fußgängern und Radfahrern den Vorrang gewähren, dabei nicht den Radweg blockieren
- Beim Parken neben Radwegen vor dem Öffnen der Autotür umschaun und auf herannahende Radfahrer achten
- Radfahrer immer mit ausreichendem Sicherheitsabstand von mindestens 1,5 Metern innerorts und mindestens 2 Metern außerorts überholen



Generell gilt

- Gelassen bleiben
- Sich in die Situation der anderen versetzen – zu anderen Zeiten könnte man selbst in der Rolle als Fußgänger, Radfahrer oder Autofahrer sein

## 6. Fazit

Ziel der Tests war es, den Status Quo der Sicherheit von Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten (Testbaustein 1) sowie die Breite von Radwegen (Testbaustein 2) auf Verbindungen des alltäglichen Radverkehrs in deutschen Städten festzustellen.

### 6.1. Fazit Testbaustein 1: Kreuzungen, Einmündungen und Grundstückszufahrten

Im Vergleich der Testkategorien zeigte sich, dass vor allem an den Grundstückszufahrten „(sehr) mangelhafte“ oder nur „ausreichende“ Testergebnisse erzielt wurden. Hier erzielten lediglich vier Städte „gute“ oder „sehr gute“ Ergebnisse. Die signalisierten Knotenpunkte wurden in vier Städten zusammenfassend mit „sehr gut“ bewertet, in fünf Städten mit „gut“. Bei den unsignalisierten Knoten erreichte lediglich eine Stadt ein „sehr gut“, während vier Städte nur ein „ausreichend“ erzielten. Im Durchschnitt wurden die Grundstückszufahrten als „ausreichend“ bewertet, die signalisierten und die unsignalisierten Knoten als „gut“.

Handlungsbedarf konnte insbesondere für die folgenden Punkte identifiziert werden:

- Bei einem großen Angebot an Bordstein-Radwegen sind hohe Anforderungen zu erfüllen, um gute Sichtbeziehungen (vor allem bei abbiegendem Kfz-Verkehr) zu gewährleisten.
- Die technischen Regelwerke und Erkenntnisse der Unfallforschung verlangen aus Sicherheitsgründen fahrbahnahe, gering abgesetzte Radverkehrsfurten. Dies wird in der Praxis noch nicht hinreichend umgesetzt.
- Auch die Grundanforderung der Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrsordnung und der technischen Regelwerke nach Radverkehrsfurten bei Seitenraum- oder markierten Führungen auf der Fahrbahn wird in der Praxis noch nicht hinreichend umgesetzt.
- Gerade bei den unsignalisierten Einmündungen besteht in den meisten Teststädten besonderer Handlungsbedarf zur Herstellung einer geringen Furtabsetzung und dauerhaft ausreichender Furtmarkierungen.

Aber auch vorbildliche Lösungen (Best Practice) fanden die Tester auf ihren Befahrungen. Hierzu zählen z.B.

- Flächige Farbmarkierung von Radwegfurten an Einmündungen und Grundstückszufahrten.
- Verbesserung von Sichtbeziehungen an Kreuzungen durch vorgezogene Seitenräume oder Poller, die das Parken im Kreuzungsbereich verhindern.



- Heranführen abgesetzter Radwege direkt zur Fahrbahn hin im Kreuzungsbereich.
- Direktes Linksabbiegen durch aufgeweitete Aufstellflächen vor der Haltelinie des Kfz-Verkehrs.
- Verdeutlichung der Vorfahrt von Radfahrern über Einmündungen hinweg durch Aufpflasterung der Überfahrten.
- Anbringen von Spiegeln und Warnhinweisen an Grundstückszufahrten, wo es keine andere Möglichkeit gibt, die Sichtbeziehungen zwischen Radfahrern und kreuzendem Kfz-Verkehr herzustellen.

## 6.2. Fazit Testbaustein 2: Radwegbreiten

Es zeigte sich, dass nur die Stadt Kiel ein „gutes“ Ergebnis erzielen konnte. In sieben Städten wurde die Breite der getesteten Radverkehrsanlagen zusammenfassend als „ausreichend“, in den Städten Hannover und Mainz dagegen nur als „mangelhaft“ bewertet. Die technischen Regelwerke verlangen Radverkehrsanlagenbreiten, die nach den Testergebnissen in der Praxis noch nicht hinreichend umgesetzt werden.

Allerdings konnten auf den Testrouten auch vorbildliche Lösungen (Best Practice) identifiziert werden. Hierzu zählen Breiten von Radverkehrsanlagen, die die Regel-Anforderungen der Regelwerke zumindest einhalten, bei einzelnen Anlagen aber auch darüber hinausgehen und so einem steigenden Radverkehr mit zunehmend differenzierten Geschwindigkeiten wie auch der vermehrten Nutzung von Lastenfahrrädern und Fahrradanhängern gerecht werden.

Insgesamt konnten somit beide Testbausteine einen Beitrag zur öffentlichen Diskussion über die Verbesserung der Gestaltung von Radverkehrsanlagen in Städten leisten.



## Intelligent Intersections: Increasing Traffic Efficiency and Safety for all Traffic Participants

Sebastian Vock, Jonathan Stone, Ganesh Adireddy, Jeffrey Skvarce, Patricio Alva, Luis Beltran, Harald Feifel, Michael Wagner

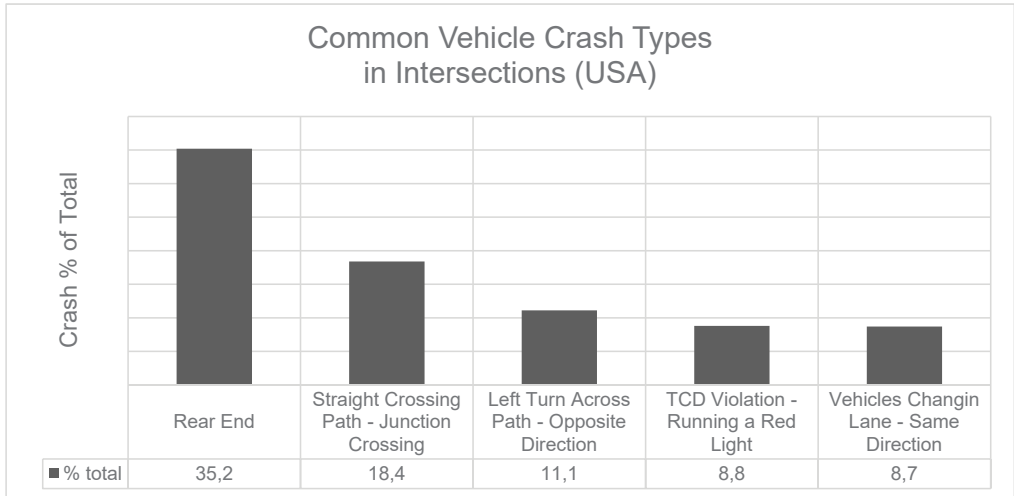
Continental AG



### 1. The Challenge

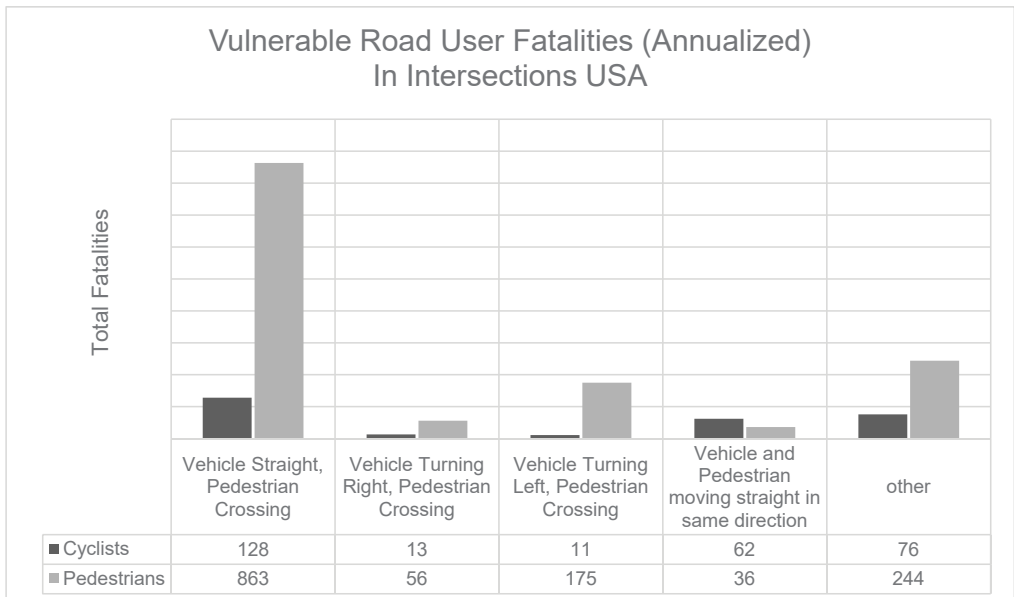
In the United States, there are around 5.8 million road traffic crashes annually resulting in approximately 37,000 traffic fatalities and 2.7 million injuries. In 2015, 43% of all crashes and 28% of all fatal crashes occur at intersections. In 2017, Continental worked with the University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI) to understand how crashes occur in intersections and to determine how V2X technologies could address them. Using the 2015 NHTSA GES dataset and VOLPE 37 crash type methodology [1], the following categories represented nearly 82% of all intersection crashes (Figure 1).

From 2009 to 2018, pedestrian fatalities have increased steadily year after year in the United States. Since 2009, pedestrian fatalities have increased 53% from 4,109 to 6,283 respectively [2]. In 2018, 17% of the pedestrian fatalities occurred at intersections.



**Figure 1: most common type of crashes in intersections during 2015 in USA. Data compiled by UMTRI using method defined in [1]**

In 2018, Continental funded an additional study with UMTRI to get more insight regarding vehicle maneuver leading to pedestrian fatalities within intersections. The fatalities were annualized using NHTSA FARS dataset for years 2014-2016.



**Figure 2: Critical vehicle maneuvers in intersections for VRU crashes compiled by UMTRI using method developed in [3].**





Likewise, in the EU-27 countries, approx. 43% of all road injury crashes occur at intersections and around 70% of intersection crashes occur inside urban area. Nevertheless, intersection crashes account only for 21% of fatalities and 32% of fatalities and serious injuries. Additionally, approx. 80% of intersection crashes occur with at least one passenger car in an urban area [4].

Based on crash data from Germany, the Intersection 2020 project identified five most relevant crash types at intersections involving two passenger cars [5] (see Table 2).

**Table 1: Most relevant crash types at intersections in Germany involving two passenger cars [5].**

No.	Crash Type	Abbreviation	Relevance
1	Straight Crossing Paths	SCP	35.7%
2	Left Turn Across Path – Opposite Direction Conflict	LTAP/OD	27.3%
3	Left Turn Across Path – Lateral Direction	LTAP/LD	20.0%
4	Left Turn Into Path – Merge Conflict	LTIP	2.8%
5	Right Turn Into Path – Merge Conflict	RTIP	2.7%

## 2. Goal

To address the above challenges, the innovation concept ‘Intelligent Intersection’ is proposed to increase safety and efficiency of intersections in cities. The goal is to achieve the next leap in traffic safety by enhancing the infrastructure installed on the roadside. This will impact the oftentimes outdated traffic infrastructure of today’s cities, which are generally not ready for the upcoming changes in the automotive industry and accompanying opportunities with connected and autonomous vehicles. On the long-term, it will allow autonomous vehicles to maneuver efficiently and safely through intersections in complex urban scenarios.

## 3. Method

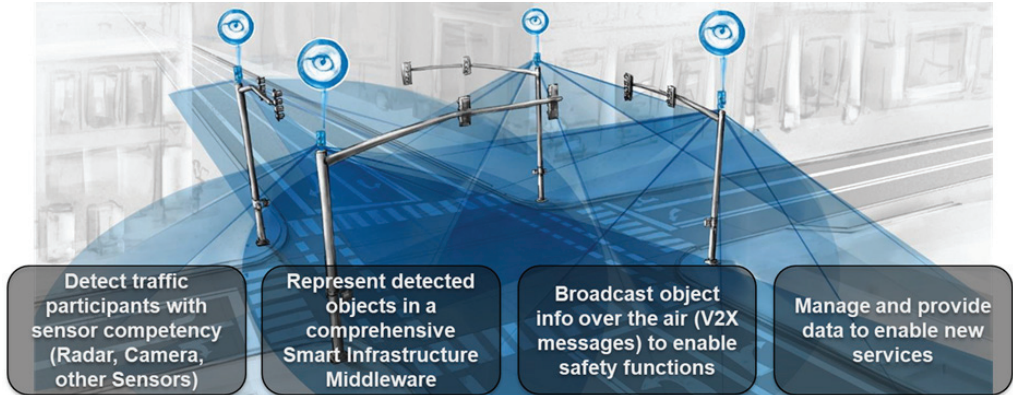
Continental has been researching technology needed for intelligent intersections for a long while. One of the projects in which Continental participated was KO-FAS, funded by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy [6]. This project served as a first feasibility check for the technology needed for intelligent intersections.

Continuing those activities, the research focus turned towards North America in recent years order to investigate the benefits of the innovation concept Intelligent Intersection.

Following the above explained extraction of real-world crash data from NHTSA, top safety improvement opportunities for Intelligent Intersection technology were identified. Those opportunities were analyzed in depth: Based on real world crash and near-crash data, a virtual simulation environment was set up to as-

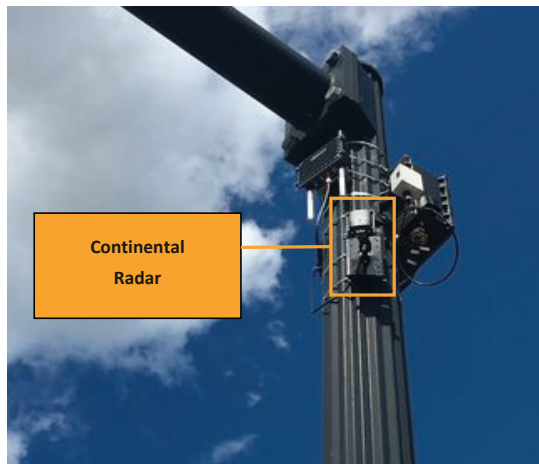


sess the effectiveness of a vehicle-to-X (V2X) / infrastructure-to-vehicle communication (I2V) function in the top ten crash types where Intelligent Intersection technology is most relevant to improve safety.



**Figure 3: Functional Concept of an Intelligent Intersection**

In parallel, a proof of concept (PoC) for an Intelligent Intersection was deployed to validate and demonstrate real world safety benefits concerning V2X interactions. The deployed PoC system includes automotive sensors mounted on existing static infrastructure such as poles and mast arms. The sensors provide their data to a Smart Infrastructure Middleware (SIM) which is able to reconstruct the intersection environment including the position and motion attributes of traffic participants such as vehicles and VRUs. The system is then able to broadcast a safety message to connected vehicles and pedestrians in and around the intersection.



**Figure 4: Traffic light pole with installed Continental technology**

The proposed innovation concept 'Intelligent Intersection' is able to create the next leap in traffic safety by using an automotive high-tech system. It links the vehicle side to the traffic infrastructure to create a connected ecosystem, which poses great benefits for all road users.



## 4. Results

### 4.1. Effects on traffic safety

The proposed innovation 'Intelligent Intersection' uses a comprehensive concept to increase efficiency and safety of intersections through automotive sensor technology generating traffic data. Intersections will be equipped with a range of sensors, and roadside units for I2V enabling vehicles and infrastructure to exchange data. Virtual representations of the intersections will be generated based on the sensor data. Thanks to I2V communication, therefore, pedestrians and drivers will be given early warning of hazardous traffic situations so that potential crashes can be prevented. Information relating to the position and movement of road users and the traffic situation will be exchanged among the intersections and connected vehicles by means of DSRC, ITS-G5 or C-V2X.

In several PoC installations, we could demonstrate the capability to warn drivers of potential hazardous situations with vehicles and VRUs. During the PoCs, we collected data over to improve object detection and classification accuracy to improve the system further and enhance safety functions as described.

To evaluate the potential traffic safety benefits, we designed a simulation environment with the most common C-V2X safety apps to prevent or mitigate hazardous scenarios, see Table 2. C-V2X apps are responsible for warning the driver if a hazardous situation is detected, these use traffic object attributes such as position, speed, and acceleration to determine if the driver is at risk.

**Table 2: C-V2X functions used to evaluate intelligent intersection safety benefits.**

<b>C-V2X functions</b>	<b>Initials</b>
Electronic Emergency Brake Light	EBL
Emergency Vehicle Warning	EVW
Control Loss Warning	CLW
Intersection Movement Assist	IMA
Left Turn Assist	LTA
Forward Collision Warning	FCW
Blind Spot Warning	BSW
Road Side Alert	RSA
Red Light Violation	RLW
Signal Violation Warning	SVW

Based on the real-world crash data analysis as described above, the top ten most frequent crash types were selected further evaluation by using intelligent intersection concept and the safety functions from Table 3.



**Table 3: Crash types chosen to prevent or mitigate using intelligent intersection C-V2X apps.**

<b>Top Ten Crash Types</b>	<b>Relevance</b>
Rear End Collision—Lead Vehicle Stopped (LVS)	27.0%
Straight Crossing Paths (SCP) at Non-Signalized Intersection	17.0%
Red Light Running	8.8%
Left Turn Across Path, Opposite Direction (LTAP/OD) at Signalized Intersection	7.4%
Rear End Collision—Lead Vehicle Decelerating (LVD)	5.3%
Vehicle(s) turning - same direction	5.2%
Left Turn Across Path, Opposite Direction (LTAP/OD) at Non-Signalized Intersection	3.7%
Vehicles changing lanes - travel in same direction	3.5%
Rear End Collision—Lead Vehicle Moving at a Lower Speed	2.9%
Right Turn at Signalized Intersection	1.4%

While NHTSA provides a brief description of the crash types, simulation requires specific pre-crash conditions like vehicle speed, position and acceleration of both ego and participant. To find these, Naturalistic Driving Data (NDD) was used to analyze the behavior of drivers who crashed in one of the chosen crash types from Table 3. Crashes and near-crashes were analyzed to calculate the average speed for both vehicles in each crash type. Road geometry and vehicle trajectory were estimated using GPS location (Table 4).



Table 4: Calculated average speed for chosen types in crashes and near-crashes.

Crash Type	Ego vehicle average speed [kph]		Traffic participant average speed [kph]	
	Crash	Near-crash	Crash	Near-crash
<b>Rear End Collision—Lead Vehicle Stopped (LVS)</b>	49.1	40.3	14.5	28
<b>Red Light Running</b>	73	41.8	30.5	12.4
<b>Left Turn Across Path, Opposite Direction (LTAP/OD) at Signalized Intersection</b>	55	45.3	5.2	13.2
<b>Rear End Collision—Lead Vehicle Decelerating (LVD)</b>	49.1	40.3	1.4	49.3
<b>Vehicle(s) turning - same direction</b>	41	32.7	-	45
<b>Vehicles changing lanes - travel in same direction</b>	53	40	-	-
<b>Rear End Collision—Lead Vehicle Moving at a Lower Speed</b>	36	37	-	-
<b>Left Turn Across Path, Opposite Direction (LTAP/OD) at Non-Signalized Intersection</b>	65	40	34	47.5
<b>Right Turn at Signalized Intersection</b>	-	33.3	49	51.28
<b>Straight Crossing Paths (SCP) at Non-Signalized Intersection</b>	33.2	26.3	20.8	29.78

Through simulation, it was demonstrated that using the input from Table 4 and C-V2X in-production functions and intelligent intersection concept, 8 out of 10 chosen crash types could either be prevented or the crash outcome mitigated (Table 5).



Table 5: Qualitative Evaluation of the virtual simulation for the top ten crash types.

Crash Type	Prevented or mitigated
Rear End Collision—Lead Vehicle Stopped (LVS)	✓
Red Light Running	✓
Left Turn Across Path, Opposite Direction (LTAP/OD) at Signalized Intersection	✓
Rear End Collision—Lead Vehicle Decelerating (LVD)	✓
Vehicle(s) turning - same direction	✗
Vehicles changing lanes - travel in same direction	✗
Rear End Collision—Lead Vehicle Moving at a Lower Speed	✓
Left Turn Across Path, Opposite Direction (LTAP/OD) at Non-Signalized Intersection	✓
Right Turn at Signalized Intersection	✓
Straight Crossing Paths (SCP) at Non-Signalized Intersection	✓

With these first and very promising results from the virtual simulation, we could prove that ‘Intelligent Intersection’ has the potential to address almost all the top ten crash types identified through real-world crash data analysis. Hence, Intelligent Intersection will be able to protect traffic participants at intersections, especially VRUs. Furthermore, it can support drivers and automated vehicles in the complex and hazardous environment of intersection traffic, which will lead to a decrease in economic costs due to crashes and the resulting traffic jams at highly frequented intersections.

#### 4.2. Effects on traffic flow

While the concept Intelligent Intersection mainly focuses on increasing traffic safety, also traffic efficiency challenges might be addressed in the future. By using the described system, traffic flow can be enhanced further by using more accurate traffic data. For example, the system is able to give new types of information to the traffic light controller such as occupancy at every point of the intersection. This in turn, could allow a more adaptive traffic light control. Furthermore, groups of vehicles can be detected and cared for more accurately to enhance traffic light timing. Those are examples for the various benefits enabled, however, further research needs to be conducted to validate the benefits for traffic efficiency.



## 5. Conclusion and Outlook

With the concept 'Intelligent Intersection', it will be possible to increase traffic safety radically - especially, for VRUs. At the same time, it provides today's and future efficiency functions for urban intersections.

While research was conducted focused on V2X technologies and VRU safety mainly in North America and Europe, the innovation concept is not restricted to any region or environment and may be adapted for various local needs and traffic patterns. For example, Asian traffic scenarios pose different challenges with high VRU density in large urban areas, whereas European cities are dealing with a very high degree of mixed traffic modes (public transport, private vehicles, VRUs).

In the future, we will investigate traffic crash scenarios in other regions (Japan, China, India) to better understand local scenarios in order to provide adequate solutions for different traffic crash hotspots.

Another important milestone towards traffic safety is the collaboration between infrastructure and automotive technology companies. Therefore, Continental entered a collaboration agreement with Iteris - a leader in smart mobility infrastructure management – in 2021 [7]. Together, intelligent infrastructure solutions will be explored for cities across North America to enable a safer and more efficient mobility.

Furthermore, the interoperability with autonomous vehicles will be a significant area for research and further development. Only when infrastructure and vehicles are able to exchange information seamlessly and in real-time, a safe and efficient traffic flow will be achieved.

Certainly, it is hard to predict when vehicle traffic is fully autonomous, and benefits of Intelligent Infrastructure are ubiquitous. However, Intelligent Infrastructure will serve as a major steppingstone on the way towards the future since it is able to connect both "state of the art" (not V2X capable) traffic participants with future (V2X capable) traffic participants. The concept is able to close the gap towards traffic autonomy and create a wider technology acceptance for all road users while serving its main purpose: creating the next leap in traffic safety.

In conclusion, the proposed intelligent infrastructure concept –with a special focus on intersections – will be one of the most important, crucial measures on the path towards Vision Zero and a connected, autonomous mobility in the future. Furthermore, the holistic understanding of traffic enables additional applications and functions for traffic efficiency and – in the future – autonomous vehicles.



## 6. References

- [1] Najim et al. DOT HS 810 767: Pre-Crash Scenario Typology for Crash Avoidance Research. April 2007.
- [2] US DOT NHTSA Traffic Safety Facts. HS 812 850 Pedestrians March 2020
- [3] Yanagisawa et al. DOT HS 812 400 Estimation of Potential Safety Benefits for Pedestrian Crash Avoidance/Mitigation Systems. April 2017
- [4] Simon et al. Intersection Road Accident Causation: A European View. 21<sup>st</sup> ESV Conference. 2009
- [5] Wish et al. Car-to-car accidents at intersections in Europe and identification of Use Cases for the test and assessment of respective active vehicle safety systems. 26<sup>th</sup> ESV Conference. 2019.
- [6] Project Ko-FAS - Kooperative Sensorik und kooperative Perzeption für die Präventive Sicherheit im Straßenverkehr. <http://ko-fas.de/>. September 2013
- [7] Continental AG. Continental and Iteris Collaborate to Explore Intelligent Infrastructure Technology for Safer, More Efficient Roads. April 2021





---

## **Verbesserung der Sicherheit für Betriebsdienstpersonal in Arbeitsstellen kürzerer Dauer**

Christian Vollrath, M.Sc.

Wissenschaftlicher Projektmitarbeiter, Institut Verkehr und Raum der Fachhochschule Erfurt

Maximilian Lange, M.Sc.

Wissenschaftlicher Projektmitarbeiter, Institut Verkehr und Raum der Fachhochschule Erfurt

Prof. Dr.-Ing. Carsten Kühnel

Projektleiter; Fachgebiet: Intelligente Verkehrssysteme

Dipl.-Inform. Walpola Perera

Wissenschaftlicher Projektmitarbeiter, Institut Verkehr und Raum der Fachhochschule Erfurt



## 1. Einleitung

Jeder Unfall ist vermeidbar - das ist der Grundgedanke der Vision Zero, einer Strategie, die die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmenden erhöhen und langfristig keine Verkehrstoten und Schwerverletzten mehr zulassen soll. Als mögliche Ansatzpunkte zur Erreichung dieses ambitionierten Zieles dienen dabei besonders die Straßeninfrastruktur und die Verkehrsmittel. Ziel ist es, sowohl Fahrzeuge als auch die Straßen so sicher wie möglich zu gestalten, um so viele Unfälle wie möglich zu vermeiden bzw. die Unfallschwere drastisch zu reduzieren. Der Mensch als aktiver Teilnehmer im Straßenverkehr ist dabei nicht fehlerfrei und wird dies auch in Zukunft nicht sein. Durch die Nutzung moderner Kommunikationstechnologien wie z.B. im Bereich des kooperativen Fahrens bietet die Vernetzung von Fahrzeugen untereinander (Vehicle-to-Vehicle - V2V) bzw. mit ihrer Umwelt (Vehicle-to-everything - V2X) enorme Potenziale die Sicherheit im Straßenverkehr noch weiter zu erhöhen. Im Projekt MOSAiK:D sollen diese Technologien genutzt werden, um in besonderen Verkehrssituationen (hier: Arbeitsstellen kürzerer Dauer) sowohl die geschützten Verkehrsteilnehmenden sowie ungeschützte Verkehrsteilnehmende, wie in diesem Fall die Betriebsdienstmitarbeitenden (BDM), frühzeitig vor potenziellen Gefahrensituationen zu warnen.

Das Ziel des MOSAiK:D Projekts ist die Verbesserung des Schutzes von Betriebsdienstpersonal sowie die Erhöhung der Sicherheit für alle Verkehrsteilnehmenden im Bereich von Arbeitsstellen kürzerer Dauer (AkD). Durch die Kombination moderner Kommunikations- und hochgenauer Ortungsmethoden sollen ankommende Fahrzeuge erstens über die genaue Lage und Ausdehnung der Arbeitsstelle und zweitens über Personal im Verkehrsraum informiert werden. Außerdem werden die BDM sowohl vor dem absichtlichen oder dem unbewussten Betreten des Straßenraums als auch über potenzielle Gefahren wie z.B. unkontrolliert in den Baustellenbereich einfahrende Fahrzeuge gewarnt. Um dies zu ermöglichen und potenziell gefährliche Situationen zu erkennen, ist eine hochgenaue Erfassung der Ausdehnung der Arbeitsstelle sowie die hochgenaue Ortung der BDM und des fließenden Verkehrs notwendig.

Dieser Beitrag widmet sich dem Gefahrenpotential von BDM als Vulnerable Road User (VRU), stellt die Ergebnisse einer umfassenden Unfallanalyse im Bereich von AkD vor und zeigt die sich aus der Analyse ergebenden Anforderungen an ein Warnsystem.

## 2. Betriebsdienstpersonal als Vulnerable Road User in Arbeitsstellen

### 2.1. Arbeitsstellen kürzerer Dauer

Maßnahmen zur Instandhaltung von Straßen werden üblicherweise im Rahmen von AkD durchgeführt. Hierbei handelt es sich um Arbeitsstellen mit gesperrten Verkehrsflächen, die nur eine zeitliche Ausdehnung von wenigen Stunden eines Kalendertages besitzen.<sup>1</sup> Es ist zwischen stationären AkD, die bspw. bei Unterhaltungs- oder Beschilderungsarbeiten eingerichtet werden, und Arbeitsstellen, die sich i. d. R. in der

---

<sup>1</sup> Vgl. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 1995, S. 5)



Verkehrsrichtung kontinuierlich fortbewegen und bspw. bei Markierungs- und Reinigungsarbeiten zum Einsatz kommen, zu unterscheiden.<sup>2</sup>

Als Folge der Eingriffe in den Verkehr kommt es bei Arbeitsstellen unter Umständen zu Beeinträchtigung des Verkehrsflusses und damit zu Verlängerung der Reisezeiten bis hin zu Stau. Durch eine integrierte und abgestimmte Planung und Organisation von Baustellen können diese Einschränkungen des Verkehrsflusses minimiert werden. Das Land Hessen nutzt für die AkD auf Bundesautobahnen seit Jahren bereits ein Baustellenmanagementsystem, welches sich an Online-Buchungssystemen für Bahntickets orientiert. Im sog. Slotmanagementsystem kann mithilfe der hinterlegten Verkehrsdaten das Zeitfenster mit der geringstmöglichen Belastung des Verkehrssystems bestimmt werden.<sup>3</sup> Dementsprechend müssen alle planbaren AkD vor der Ausführung der Maßnahme durch das Slotmanagementsystem freigegeben werden. Ausnahmen bilden hier die i. d. R. nicht planbaren Tätigkeiten der Streckenkontrolle- und Wartung. Im Zuge der Reform des Straßenbetriebs für Bundesautobahnen durch die Autobahn GmbH des Bundes ist in Zukunft ein einheitliches Baustellenmanagementsystem für alle Bundesländer vorgesehen.

## 2.2. Unfallvermeidung durch Absicherung der Arbeitsstelle

Zur Absicherung von AkD und des dort tätigen Betriebsdienstpersonals kommen unterschiedliche Baustelleneinrichtungen zum Einsatz. In den Bundesländern gibt es dabei verschiedenste Vorgaben zum Einrichten der Arbeitsstelle, zur Durchführung der Arbeiten und zur Führung der Verkehrsteilnehmenden. So werden bei Arbeiten auf BAB sehr häufig fahrbare Absperrtafeln (FAT) eingesetzt. Bei stationären Arbeitsstellen auf BAB und auf autobahnähnlich ausgebauten Bundesstraßen werden zur Abgrenzung des Verkehrsbereichs vom Arbeitsbereich tagsüber Leitkegel oder bei Nacht Leitbaken aufgestellt. Auf anderen Straßen des nachgeordneten Netzes (Bundes-, Landes- und Kommunalstraßen), die einbahnig ausgeführt sind, wird dies in Abhängigkeit von Streckenführung, Verkehrsbelastung und Dauer der Maßnahme nicht einheitlich gehandhabt und obliegt oft der Verantwortung der Kolonnenführung. Die Absicherung von Arbeitsstellen hat dabei insgesamt den Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen (RSA) zu entsprechen. Darin werden für typische Arbeitsstellensituationen Regelpläne aufgestellt, die für die verschiedenen Anwendungsbereiche je nach Straßenkategorie Vorgaben zur verkehrsrechtlichen Sicherung von Arbeitsstellen an und auf Straßen geben. Die RSA bietet damit eine theoretische Grundlage für eine sichere Arbeitsumgebung.

In der Praxis bilden die Regelpläne der RSA jedoch nicht alle Arbeitsstellensituationen und -phasen ab, sondern zeigen lediglich den Endzustand einer Arbeitsstelle. Einrichtung und Abbau der Arbeitsstellen bleiben hier unberücksichtigt. Doch gerade diese Phasen bergen für die BDM und die Verkehrsteilnehmenden die größten Gefahren. Einige Bundesländer gehen daher einen eigenen Weg und spezifizieren die Bundesrichtlinien. So wird bspw. mit dem Hessischen Verkehrszeichenplan-Katalog (HE VZP-Katalog) ein Sicherheitskonzept mit typisierten Verkehrszeichenplänen festgelegt, der insbesondere in den oben genannten Phasen Anwendung findet. Der HE VZP-Katalog definiert Phasenpläne zum Auf- und Abbau von Arbeits-

---

<sup>2</sup> Vgl. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 1995, S. 5)

<sup>3</sup> Vgl. (Hessen Mobil, o.J.a)



stellen für alle typisierten Verkehrszeichenpläne nach RSA mit jeweils sicheren Zwischenzuständen.<sup>4</sup> Mit der Einsetzung der Autobahn GmbH des Bundes ist künftig mit einer vergleichbaren bundeseinheitlichen Regelung zu rechnen.

Die Anwendung des HE VZP-Katalog erhöht zwar die Sicherheit für die BDM deutlich, sie bietet dabei allerdings noch keinen vollumfänglichen Schutz der BDM. Die Subtilität ergibt sich hierbei vor allem aus dem grundsätzlichen Prinzip von AkD: Baustellenpersonal in AkD ist nicht wie bei Arbeitsstellen längerer Dauer durch passive Schutzeinrichtungen (bspw. Schutzwände mit Rückhaltewirkung) geschützt und damit bei Unfällen im Längsverkehr erheblich größeren Gefahren ausgesetzt.

### **2.3. V2X-basierte Baustellenwarnung**

Um eine der Hauptursachen für schwere Unfälle im Zusammenhang mit AkD zu vermeiden, hat das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) gemeinsam mit Partnern aus den Niederlanden und Österreich vor einigen Jahren die Einführungsinitiative für Kooperative Systeme in Deutschland und Europa, den C-ITS-Korridor-Rotterdam-Frankfurt-Wien ins Leben gerufen. Ziel war es in erster Linie die bereits weitgehend erforschten Anwendungen zur Infrastruktur-Fahrzeug-Kommunikation (I2V) aus dem Forschungsstadium in den Regelbetrieb zu überführen. Die Warnung vor Tagesbaustellen ist eine der Day-1-Anwendungen, die in dieser Initiative gemeinsam mit der Automobilindustrie geplant und umgesetzt wurde. Hiermit sollte eine generelle Warnung von Verkehrsteilnehmenden erfolgen, die sich auf eine Tagesbaustelle auf der Autobahn zubewegen. Die Kommunikation kann dabei zum einen über das speziell entwickelte und standardisierte Fahrzeug-WLAN (ETSI ITS G5 oder IEEE 802.11p) erfolgen. Zum anderen kann die Kommunikation auch backendbasiert von einem Serviceprovider über Mobilfunk in die Fahrzeuge übermittelt werden (vgl. hierzu Abbildung 1). Als zweiter Day-1-Use-Case wurde das verbesserte Verkehrsmanagement durch Fahrzeugdaten eingeführt. Dies soll an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt werden.

---

<sup>4</sup> Vgl. (Hessen Mobil, o.J.b)

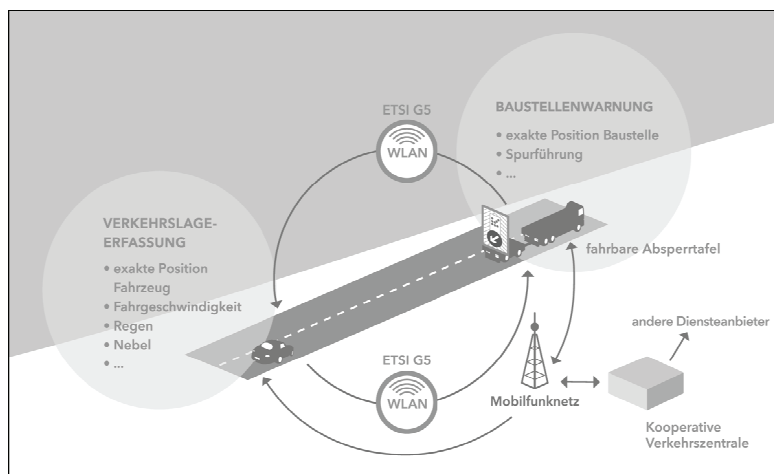


Abbildung 1: Anwendungsfälle des C-ITS-Korridors.<sup>5</sup>

Es ist zu erwarten, dass die Anzahl der Unfälle an Tagesbaustellen bei entsprechender Verbreitung der V2X-Technologie reduziert werden kann. Dies trifft aber insbesondere auf Auffahrunfälle auf die FAT zu. Unfälle auf Höhe des Baufelds können dadurch nicht oder nur in geringem Ausmaß verhindert werden. Aus diesem Grund hat sich das Projekt MOSAik:D zum Ziel gesetzt, ergänzend zu den bestehenden Maßnahmen (HE VZP-Katalog, V2X-Baustellenwarnung) ein System zum Schutz der BDM und des passierenden Verkehrs zu entwickeln, das die verbliebenen White Spots zur Sicherheit in AkD abdecken soll.

#### 2.4. VRU in Arbeitsstellen kürzerer Dauer

Als VRU werden Verkehrsteilnehmende bezeichnet, die aufgrund eines fehlenden Schutzes im Straßenverkehr ein besonderes Risiko tragen verletzt oder getötet zu werden. Die VRU sind im Gegensatz zu Insassen in Fahrzeugen nicht von einer „schützenden Hülle“ wie beispielsweise einer Fahrerkabine umgeben. Als klassische Beispiele von VRU werden oftmals Fuß-, Fahrrad- und Kraftradverkehr genannt.<sup>6</sup>

Diese Begriffsbestimmung legt sich jedoch auf Verkehrsteilnehmende fest, die die öffentlichen (Verkehrs-)Flächen zum Ziel des Ortswechsels nutzen. Als Verkehrsteilnehmende gelten jedoch auch alle anderen Beteiligten des Fahrbahnverkehrs.<sup>7</sup> Das betrachtete Personal im Straßenbetriebsdienst ist abgesehen von den jeweiligen Arbeitsfahrzeugen tätig und gilt damit faktisch als VRU. Das European Telecommunications Standards Institute (ETSI), u. a. verantwortlich für Normung und Standardisierung im Telekommunikationsbereich auf europäischer Ebene, bietet eine detaillierte Aufstellung, welche Verkehrsteilnehmenden im Kontext von Intelligent Transport Systems (ITS) als VRU zu bezeichnen sind (vgl. Tabelle 1). Dabei werden „safety worker“ und „road worker“ ebenfalls in die Gruppe der VRU eingeordnet.

<sup>5</sup> Vgl. (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2021)

<sup>6</sup> Vgl. (GDGVP, o.J.)

<sup>7</sup> Vgl. (VwV-StVO zu §5 StVO)



**Tabelle 1: VRU Klassifikation**

Vulnerable Road Users nach ETSI TR 103 300-1 V2.1.1
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pedestrians (including children, elderly, joggers)</li> <li>• Emergency responders, safety workers, road workers</li> <li>• Animals such as horses, dogs down to relevant wild animals</li> <li>• Wheelchairs users, prams</li> <li>• Skaters, Skateboards, Segway, potentially equipped with an electric engine</li> <li>• Bikes and e-bikes with speed limited to 25 km/h (e-bikes, class L1e-A)</li> <li>• High speed e-bikes speed higher than 25 km/h, class L1e-B</li> <li>• Powered Two Wheelers (PTW), mopeds (scooters), class L1e</li> <li>• PTW, motorcycles, class L3e; PTW, tricycles, class L2e, L4e and L5e limited to 45 km/h; PTW, quadricycles, class L5e and L6e limited to 45 km/h.</li> </ul>

Zahlreiche Studien setzen sich mit der Verbesserung der Verkehrssicherheit von VRU auseinander. Dabei steht die Verbesserung der Sicherheit mit technischen Hilfsmitteln oft vor der Herausforderung, dass VRU naturgemäß im Gegensatz zu Kraftfahrzeugen nicht mit technischen Systemen ausgestattet sind, was die Kommunikation mit dieser Gruppe erschwert. Daher wird sich hier überwiegend auf passive Maßnahmen konzentriert.<sup>8</sup> Das Projekt MOSAik:D adressiert ausschließlich das Baustellenpersonal. Dies bietet den Vorteil einer abgegrenzten und bedingt steuerbaren Gruppe. Die BDM können hierbei mit entsprechenden technischen Geräten ausgestattet werden, die die permanente Positionsbestimmung und die aktive Warnung des Personals ermöglichen. Damit kann bspw. bei Betreten des gefährlichen Grenzbereiches zwischen Baufeld und Verkehrsfläche oder beim Einfahren eines Fahrzeugs in den Baustellenbereich gewarnt werden.

Grundsätzlich konnte im Projekt festgestellt werden, dass das Gefahrenpotential bei Tätigkeiten in unmittelbarer Nähe des fließenden Verkehr am höchsten ist. Damit ergibt sich eine hohe Abhängigkeit von der Lage der Tätigkeit in der Baustelle sowie von der verkehrlichen Situation. In der Betrachtung des möglichen Gefahrenpotentials ist zudem zwischen den Tätigkeiten des Kolonnenpersonals und der Streckenkontrolle zu unterscheiden. So erfolgen die Arbeiten im Kolonnenverbund i. d. R. zu im Slotmanagement abgestimmten Zeiten und mit einer Reihe von Maßnahmen, die die Sicherheit des Personals verbessern. Dazu zählen eine rechtzeitige und bisher lediglich visuelle Vorwarnung. Dies erfolgt bspw. auf den BAB mithilfe von zwei Baustellenvorwarnern, die mit einem Abstand von 300-600 bzw. 600-1.000 Metern vor der Baustelle auf dem Seitenstreifen platziert werden. Eine weitere visuelle Warnung erfolgt in Form von den FAT am Baustellenbeginn, die durch ihre Beschaffenheit auch einen physischen Schutz vor in die Baustelle einfahrenden Fahrzeugen bieten. V2X-Technologien bieten hier das Potential die Warnung der Verkehrsteilnehmenden intensiver zu gestalten, bspw. visuell und auditiv im jeweiligen Fahrzeug.

<sup>8</sup> Vgl. u. a. (Wimmer, Ferenczi, Benedikt, & Bernasch, 2018); (Kooij, Flohr, Pool, & Gavrilu, 2019); (Schwarz, 2012)



Die Tätigkeiten der Streckenkontrolle erfolgen i. d. R. bei Bedarf („ad-hoc“). Hierbei erfolgt weder eine Vorwarnung noch ein direkter physischer Schutz. Lediglich das Fahrzeug der Streckenkontrolle fungiert als Warneinrichtung. Sofern die Arbeiten in der dem Verkehr abgewandten Seite erfolgen, bietet das Fahrzeug zusätzlich auch einen eingeschränkten physischen Schutz. Das Gefahrenpotential bei der Streckenkontrolle ist daher zunehmend von der verkehrlichen Situation und dem Verhalten der weiteren Verkehrsteilnehmenden aber auch vom persönlichen Verhalten des Personals abhängig (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 2: Exemplarische Darstellung von AkD als Kolonne auf der BAB (oben) und als Streckenkontrolle im nachgeordneten Netz (unten).**

### 3. Unfälle in AkD

Zur Einschätzung des Gefahrenpotentials für Arbeitsstellenpersonal in AkD wurden alle polizeilich erfassten Unfälle im Bundesland Hessen im Zeitraum vom 01.01.2015 bis 31.12.2019 auf BAB, Bundes- und Landstraßen ausgewertet. Diese insgesamt 285.275 Datensätze bestanden aus der landesweit geführten Unfallliste sowie den Unfallberichten der polizeilichen Unfallaufnahme. Zusätzlich wurden mit dem Autobahnverzeichnis<sup>9</sup> und einem Datenauszug aus dem Slotmanagement weitere Datenquellen in die Auswertung einbezogen. Eine wesentliche Herausforderung bestand dabei insbesondere darin, dass die Ausführlichkeit und der Informationsgehalt der Unfallberichte variiert. Es handelt sich hierbei um Beschreibungen des Unfallhergangs mit unterschiedlichem Informationsgehalt, die im Zuge der Unfallaufnahme erstellt werden und Teil des polizeilichen Berichtswesens sind. Die Güte und die Ausführlichkeit der Beschreibung der Un-

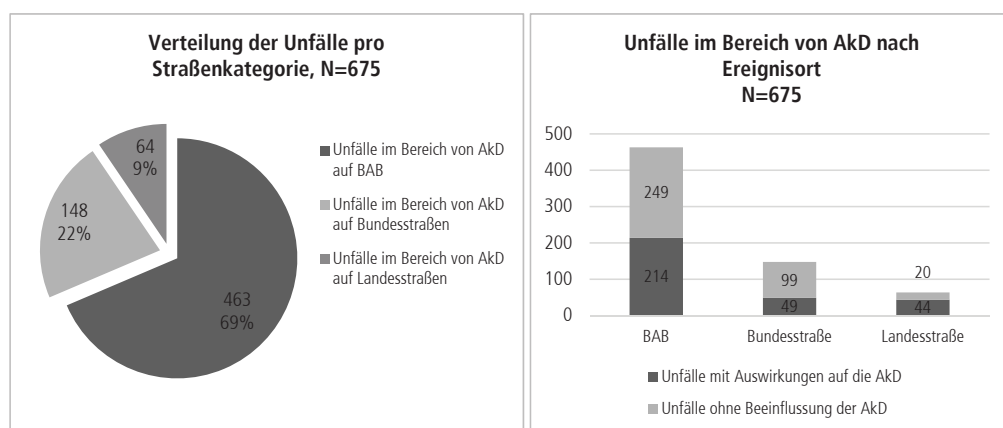
<sup>9</sup> Vgl. (BASt, 2016)



fallhergänge sind damit stark personenabhängig, da formal keine konkreten Vorgaben für den Inhalt der Beschreibung des Unfallhergangs existieren. In der Folge fanden bestimmte Informationen, die aus Sicht des Berichtserstellers keine offensichtliche Relevanz für den Unfallhergang hatten, keinen Eingang in den jeweiligen Unfallbericht und konnten auch in der Unfallauswertung nicht einbezogen werden.

Insgesamt konnten in Hessen im genannten Zeitraum 675 Unfälle festgestellt werden, die sich im Bereich einer AkD ereignet haben. Als Bereich der AkD sind dabei die Grenzen des Tätigkeitsbereiches zu verstehen, die sich aus der jeweiligen Baustellenabsicherung ergeben. Den in Fahrtrichtung gelegenen Start des Arbeitsbereiches markiert dabei i. d. R. ein Baustellenfahrzeug, welches gleichzeitig die dort tätigen Mitarbeiter absichert, bspw. eine FAT auf den BAB.

Rund 69 % der Unfälle im Bereich von AkD ereigneten sich dabei auf den BAB, der Rest verteilt sich auf die Bundes- (22 %) und Landesstraßen (9 %) (vgl. Abbildung 3).



**Abbildung 3: Anzahl der Unfälle in Arbeitsstellen kürzerer Dauer pro Straßenkategorie nach Baulastträger.**

In der weiteren Auswertung wird zwischen verschiedenen Unfallgruppen unterschieden. Die Gruppe „Unfälle mit Auswirkungen auf die AkD“ bezeichnet diejenigen Unfälle, die eine direkte Auswirkung auf die AkD haben, indem bspw. Personen oder Fahrzeuge, die direkt mit der AkD in Verbindung stehen in den Unfall verwickelt sind. Währenddessen Unfälle, die sich im Bereich der Arbeitsstelle ereigneten, bei denen jedoch keine direkten Auswirkungen auf die AkD festgestellt werden konnte, als „Unfälle ohne Beeinflussung der AkD“ bezeichnet sind. Ein Beispiel hierfür wäre ein Auffahrunfall auf Höhe des Baufelds zwischen zwei Fahrzeugen des passierenden Verkehrs, ohne dass Baustelleneinrichtung, Fahrzeuge oder Personal des Betriebsdienstes oder von beauftragenden Unternehmen involviert ist.

### 3.1. Unfallgeschehen

Ziel der Unfallauswertung durch die Unfallkommissionen als wesentlicher Bestandteil der Gesamtkonzeption zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Deutschland ist es, Unfallhäufungen zu erkennen, zu analysieren und in der Folge Maßnahmen zur Beseitigung zu entwickeln.<sup>10</sup> Dabei werden zur Herstellung von

<sup>10</sup> Vgl. (FGSV, 2012, S. 5)



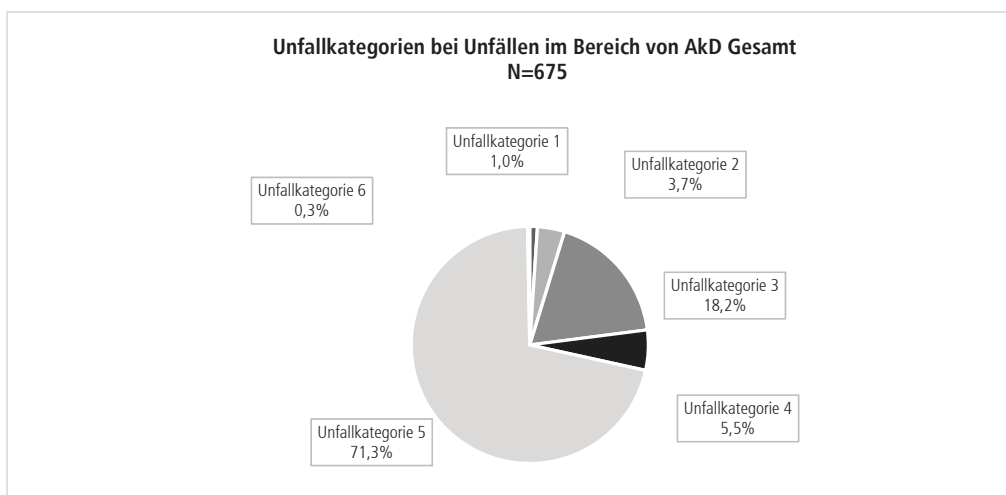


Unfalltypensteckarten neben Zeit und Ort hauptsächlich die Unfallmerkmale ausgewertet. Dabei handelt es sich um Unfalltyp, Unfallkategorie und Unfallart sowie weiteren Angaben, wie dem/der Unfallverursacher/in. Für die Identifikation der Gefahrenpotentiale der BDM in AkD können hierbei ebenfalls wichtige Aussagen abgeleitet werden.

In der Auswertung zeigte sich, dass bei allen Straßenkategorien der „sonstige Sachschadensunfall“ (Kategorie 5, vgl. hierzu Tabelle 2) die häufigste auftretende Unfallkategorie mit rund 71 % ist. Dabei handelt es sich um Unfälle, die lediglich Sachschäden aufweisen (ohne Einwirkung berauschender Mittel, ohne Straftatbestand, ohne bedeutende Ordnungswidrigkeiten) (vgl. Abbildung 4). Die Unfallkategorie 3 („Unfall mit Leichtverletzten“) tritt mit rund 18 % ebenfalls sehr häufig auf.

**Tabelle 2: Unfallkategorien und deren Anteile bei Unfällen im Bereich von AkD**

Unfallkategorie	Erläuterung	Anteil
Unfallkategorie 1	Unfall mit Getöteten	1,04 %
Unfallkategorie 2	Unfall mit Schwerverletzten	3,70 %
Unfallkategorie 3	Unfall mit Leichtverletzten	18,22 %
Unfallkategorie 4	Schwerwiegender Unfall mit Sachschaden	5,48 %
Unfallkategorie 5	Sonstiger Sachschadensunfall	71,26 %
Unfallkategorie 6	Sonstiger Sachschadensunfall unter dem Einfluss berauschender Mittel	0,30 %

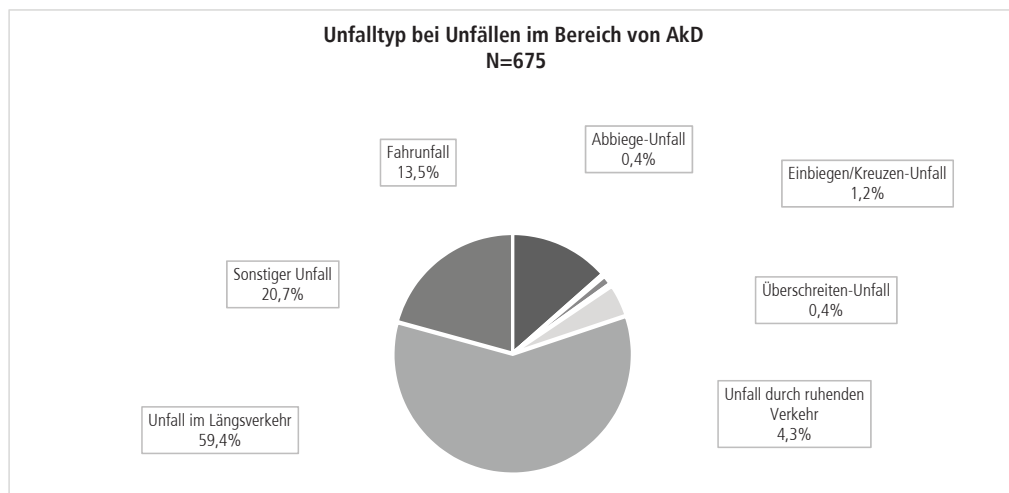


**Abbildung 4: Unfallkategorien in Arbeitsstellen kürzerer Dauer.**

Bei den Unfalltypen kommt der Unfall im Längsverkehr mit rund 59 % am häufigsten vor. Summiert mit den Fahrnfällen (rd. 21 %) sind somit bereits etwa 80 % aller ereigneten Unfälle abgedeckt (vgl. Abbildung 5). Bei Fahrnfällen handelt es sich um Unfälle, die nicht in Zusammenhang mit weiteren Verkehrsteilnehmenden oder Fahrzeugen auftreten. Als Beispiel für diese sog. Alleinunfälle seien u. a. der Kontroll-

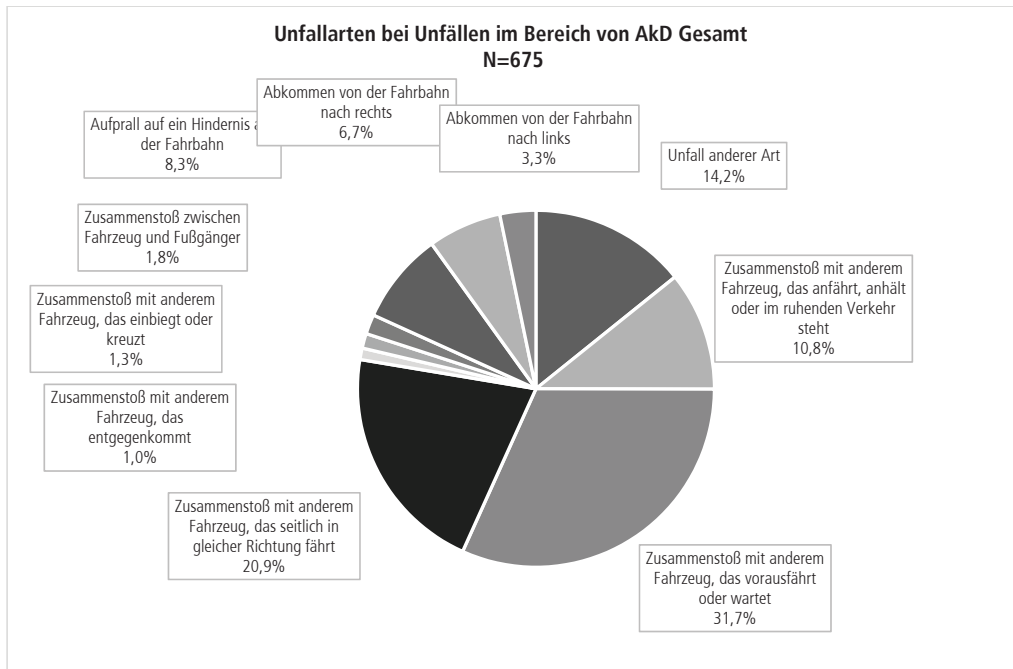


verlust über das Fahrzeug mit Unfallfolge oder das Abkommen von der Fahrbahn zu nennen. Ein „Unfall im Längsverkehr“ bezeichnet hingegen einen Unfall, der als Folge eines Konfliktes mit anderen Verkehrsteilnehmenden oder anderen, auch ruhenden, Fahrzeugen erfolgt.



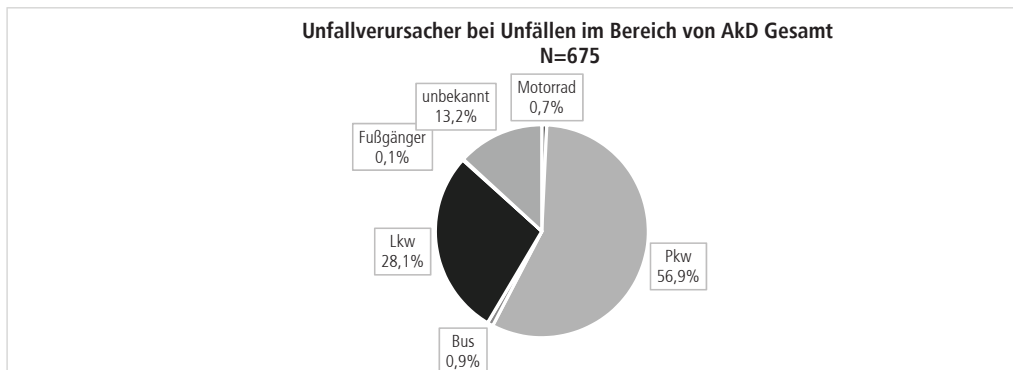
**Abbildung 5: Unfalltypen in Arbeitsstellen kürzerer Dauer.**

Die häufigsten auftretenden Unfallarten sind mit rund 32 % der Fälle der Zusammenstoß mit einem anderem Fahrzeug, welches vorausfährt oder wartet bzw. in rund 21 % der Fälle mit einem Fahrzeug, welches in gleicher Fahrtrichtung fährt (vgl. Abbildung 6). Hier handelt es sich vorrangig um Auffahrunfälle und Kollisionen, die im Zuge von Spurwechselforgängen oder starken Bremsmanövern aufgrund gesperrter Fahrstreifen entstehen.



**Abbildung 6: Unfallarten in Arbeitsstellen kürzerer Dauer.**

In der Betrachtung der Unfallverursacher zeigt sich bei allen Straßenkategorien, dass die Unfälle naturgemäß von Pkw und Lkw verursacht werden (vgl. Abbildung 7). Andere Verkehrsteilnehmende sind mit Ausnahme von unbekanntem Verursachern vernachlässigbar.



**Abbildung 7: Unfallverursacher in Arbeitsstellen kürzerer Dauer.**

Für die Betrachtung der konkreten Auswirkungen der Unfälle wurden im Zuge der Unfallauswertung spezifische Unfallmuster definiert. Die Festlegung der Kategorien erfolgte entsprechend der Häufung der Auswirkungen auf die Arbeitsstelle. Des Weiteren wurden Unfälle, bei denen die Tätigkeiten der Arbeitsstelle Auswirkungen auf den fließenden Verkehr hatten und damit einen Unfall provozierten, ebenfalls in einer Kategorie zusammengefasst. Das hierbei am häufigsten auftretende Unfallmuster auf den BAB ist der Aufprall auf die FAT (rd. 39 %). Wie auch auf der Autobahn tritt der Zusammenstoß mit Fahrzeugen der Ar-



beitsstelle im nachgeordneten Netz, bei dem i. d. R. kein Absperranhänger eingesetzt wird, sehr häufig auf. Auf allen betrachteten Straßenkategorien ist auch die anprallbedingte Beschädigung von Baustelleneinrichtung, wie Warnbaken oder -kegel, ein häufig auftretendes Muster (vgl. Abbildung 8). Insbesondere diese genannten Unfallmuster bergen dabei hohes Gefahrenpotential für die in den Arbeitsstellen tätigen BDM. Im nachgeordneten Netz treten zudem sehr häufig Unfälle mit Beschädigung von Privat-Fahrzeugen, ausgelöst durch die Tätigkeiten innerhalb der AkD, auf. Dabei handelt es sich vorrangig um Unfälle, bei denen überwiegend kleinere Sachschäden entstanden. Ein klassisches Beispiel wäre hier ein durch Mäharbeiten aufgewirbelter Ast, der auf die Fahrbahn gerät und bei einem Fahrzeug des fließenden Verkehrs einen Sachschaden verursacht.

### Unfallmuster bei Unfällen mit Auswirkungen auf die AkD

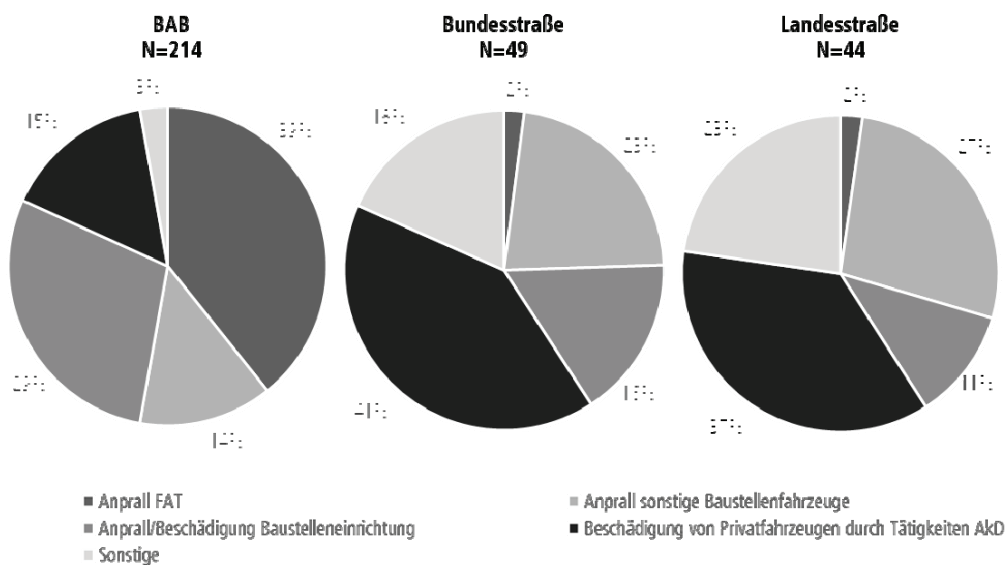


Abbildung 8: Unfallmuster nach Ereignisort in Arbeitsstellen kürzerer Dauer (frei vergebene Begrifflichkeiten).

### 3.2. Verunglückte Betriebsdienstmitarbeitende

Im Betrachtungszeitraum konnten insgesamt 26 Unfälle mit verletztem Personal identifiziert werden. Die Mehrzahl der Verunglückten erlitt dabei lediglich leichte Verletzungen (vgl. Abbildung 9). Bei genauerer Betrachtung dieser Unfälle handelt es sich dabei auf den BAB vorrangig um Anprall- oder Auffahrunfälle mit FAT oder anderen Baustellenfahrzeugen, bei denen die Fahrzeuginsassen leichte Verletzungen erlitten. Im Gegensatz dazu handelt es sich im nachgeordneten Netz oftmals um Kollisionen von Fahrzeugen des fließenden Verkehrs direkt mit dem Baustellenpersonal (bspw. mit dem Außenspiegel). Zusätzlich traten auch im nachgeordneten Netz gelegentlich Anprall- bzw. Auffahrunfälle mit Baustellenfahrzeugen auf. In der Betrachtung der Unfallbeschreibungen der Unfälle mit schwerverletzten und getöteten BDM zeigen sich v.a. Unachtsamkeiten als Unfallgrund.

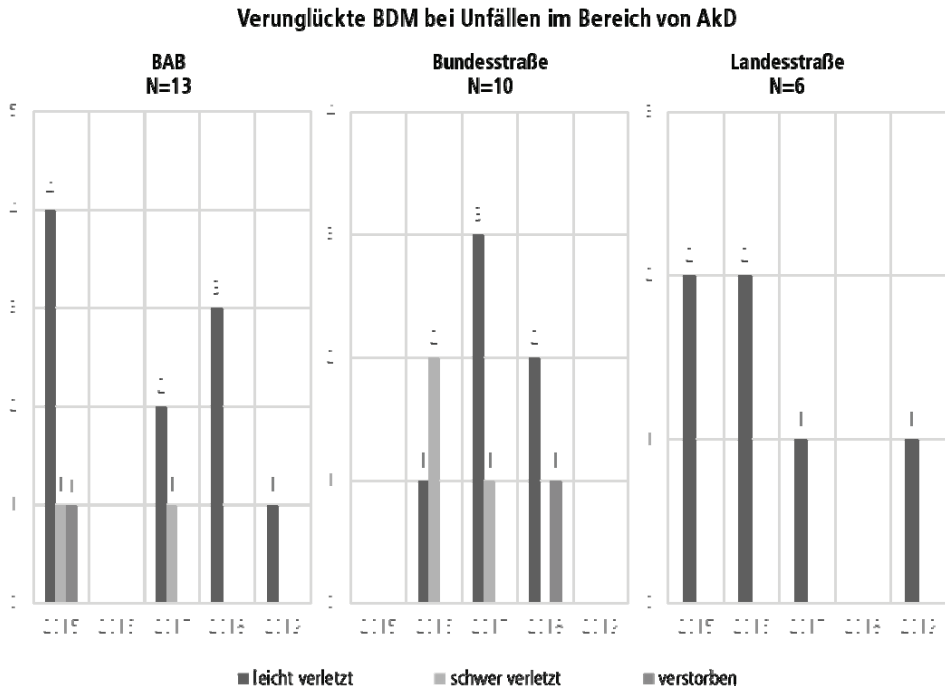


Abbildung 9: Verunglückte BDM in Arbeitsstellen kürzerer Dauer.

### 3.3. Baustellendichte

In Betrachtung des Verhältnisses zwischen der Zahl der im Baustellenmanagementsystem genehmigten AkD und der Anzahl der Unfälle auf den betrachteten BAB zeigen sich mitunter signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 10). Einige Straßen sind auch bei einer vergleichsweise kleinen Anzahl genehmigter AkD deutlich häufiger von Unfällen betroffen. So liegt bspw. die relative Zahl der Unfälle pro genehmigter AkD auf der BAB A4 mit rund 0,026 deutlich über dem Mittelwert von 0,008 (Standardabweichung: 0,006). An anderer Stelle liegt das Verhältnis trotz einer vergleichsweise hohen Anzahl an genehmigten Baustellen unter dem Mittelwert (bspw. BAB A66 mit 0,004). Die Betrachtung der Zahl der Unfälle pro Streckenkilometer zeigt ebenfalls signifikante Unterschiede (vgl. Abbildung 11). Auf bestimmten Autobahnen mit vergleichsweise kurzem Streckenverlauf in Hessen zeigt sich eine deutlich höhere relative Zahl an Unfällen. So tendiert das Verhältnis auf der Strecke BAB A60 gegen 1, was deutlich über dem Mittelwert von 0,46 Unfällen pro Streckenkilometer liegt, bei einer Standardabweichung von 0,19. Betrachtet wurden hierbei nur die BAB mit einem Streckenverlauf mit mehr als 10 Kilometer in Hessen. Bei kürzeren Strecken wiegen die hier jeweils nur vereinzelt auftretenden Unfälle in den relativen Betrachtungen schwerer und würden damit die Gesamtstatistik verfälschen.

Die beschriebenen Unterschiede auf den verschiedenen Strecken ergeben sich aus den spezifischen Gegebenheiten der Baustelle am Unfallort zum Unfallzeitpunkt. So spielen hier u. a. Topografie, Querschnitt, Streifigkeit und die DTV eine Rolle.

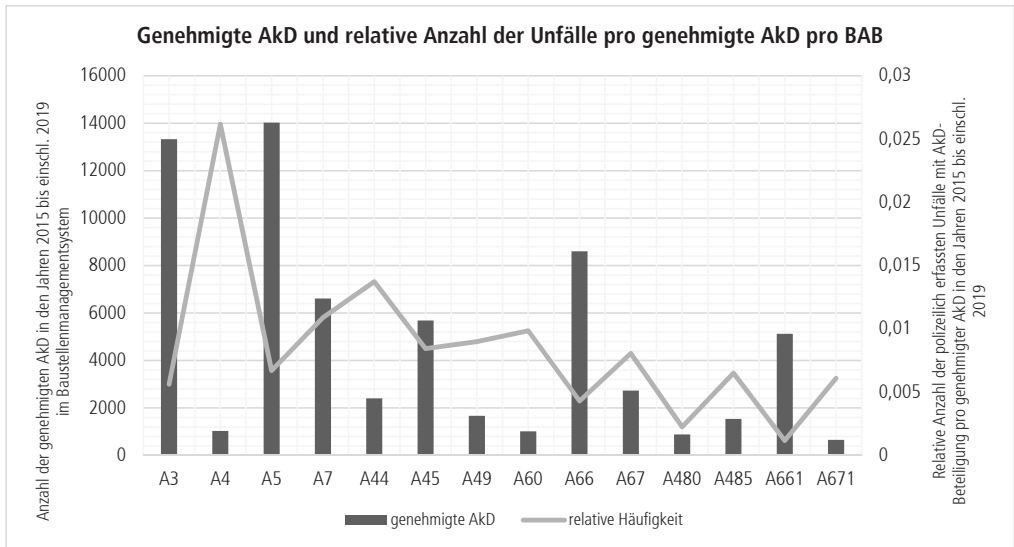


Abbildung 10: Verhältnis der Anzahl der Unfälle zur Anzahl der genehmigten AkD auf BAB mit mehr als 10 Km Streckenlänge in Hessen.

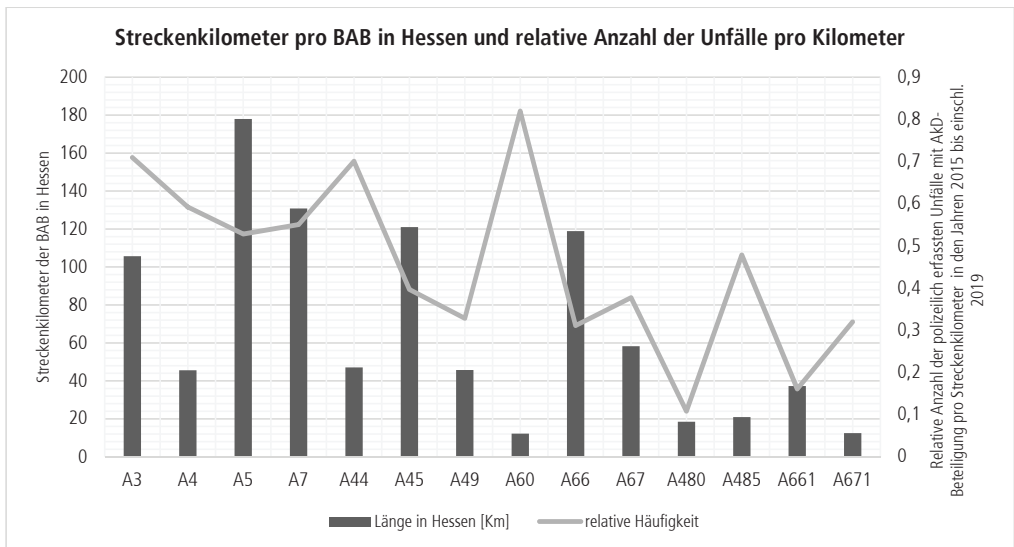


Abbildung 11: Verhältnis der Anzahl der Unfälle pro Streckenkilometer der jeweiligen BAB mit mehr als 10 Km Streckenlänge in Hessen.



#### 4. Potenziale zur Verbesserung der Sicherheit für VRU in AkD durch V2X-Kommunikation und Anforderungen an ein Warnsystem

In Zukunft werden immer mehr Fahrzeuge im Straßenverkehr in der Lage sein, mit anderen Fahrzeugen oder mit der Infrastruktur kommunizieren und interagieren zu können. Dies ermöglicht den Austausch von Nachrichten und Informationen zwischen Verkehrsteilnehmenden und Verkehrsleitzentralen und deren Weiterverarbeitung zum Zweck der Verbesserung des Verkehrsmanagements. Es ist zu erwarten, dass dadurch die Verkehrssicherheit und der Verkehrsfluss (Harmonisierung) erheblich verbessert werden können. Die Verkehrsteilnehmenden können in unübersichtlichen Situationen durch die kooperativen Systeme in ihren Fahrentscheidungen unterstützt bzw. informiert werden. Perspektivisch können automatisierte Fahrzeuge auch auf Basis der kommunizierten Informationen Fahrentscheidungen treffen.

Innerhalb der im Bundesland Hessen umgesetzten C-ITS Projekte (C-ITS Corridor, C-ROADS Germany) wurden die ersten C-ITS Dienste wie z.B. die Baustellenwarnung (roadworks warning - RWW) und die Straßenbetriebsfahrzeugwarnung (maintenance vehicle warning - MVW) eingeführt bzw. erprobt. Das in MOSAiK:D entwickelte System setzt auf den etablierten Systemen auf und ergänzt diese sinnvoll. Zum einen kann mit dem MOSAiK:D-Warnsystem eine Arbeitsstelle hochgenau vermessen und verortet werden. Damit erhalten die Fahrzeuge die exakte Lage sowie den Anfang und das Ende des Baustellenbereiches. Dies ist ein wesentlicher Fortschritt für automatisierte Fahrzeuge, da diese das Ende einer Tagesbaustelle, das nicht gesondert gekennzeichnet ist, zwar anhand der nicht mehr vorhandenen Baustellensicherung in Form von Pylonen erkennen kann, es aber durch die bestehende Unsicherheit darüber, ob nicht doch noch ein weiterer Pylon (vielleicht in einem größeren Abstand) folgt, eine gewisse Unsicherheit über das einzuleitende Fahrmanöver besteht. Durch die gezielte Information über die Länge der Baustelle kann diese Unsicherheit ausgeräumt werden. Zum anderen können auch einzelne BDM geortet werden, um in Gefahrensituationen, einerseits den fließenden Verkehr („Achtung Betriebsdienstpersonal nahe am fließenden Verkehr“) und andererseits das Personal („Achtung Fahrzeug in Baustellenbereich eingefahren“) selbst zu warnen. Es ist geplant, das MOSAiK:D-System als zusätzlichen Baustein in die schon bestehenden Systeme zu integrieren, so dass ein noch umfassenderer Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen, Infrastruktur und BDM erfolgen kann und ein Sicherheitsgewinn für alle Beteiligten entsteht.

Adressaten für diese Baustellenwarnung im Kontext des C-ITS Corridor sind die häufigsten Unfallverursacher Lkw und Pkw. Obschon die potentiellen Adressaten bekannt sind, sind die Ausstattungsraten dieser Systeme zum jetzigen Zeitpunkt noch sehr gering. Dieser Ansatz entfaltet sein Potential daher vor allem mittel- bis langfristig. Nach aktuellem Stand sind die ersten Pkw serienmäßig mit entsprechender V2X-Technologie ausgestattet und können entsprechende Warnungen empfangen. In den nächsten Jahren ist eine fortschreitende Marktdurchdringung dieser Technologie zu erwarten<sup>11</sup>.

Aus den Ergebnissen der Unfallanalyse wurden im Rahmen des Forschungsprojektes für die Warnung des Baustellenpersonals und der Verkehrsteilnehmenden Systemanforderungen zur Ausgestaltung eines intelligenten Warnsystems abgeleitet. Weitere Anforderungen ergaben sich zudem aus den ebenfalls untersuch-

---

<sup>11</sup> Vgl. (Meade & Rabelo, 2004)



ten betrieblichen Abläufen des Straßenbetriebsdienstes sowie aus der Integration der neu zu entwickelnden Systeme in die bestehende V2X-Systemarchitektur von Fahrzeugen und Infrastruktureinrichtungen. Die Tabelle 3 zeigt ausgewählte und z. T. zusammengefasste Anforderungen an das Warnsystem.

**Tabelle 3: Anforderungen an das Warnsystem.**

Anforderungsbereich	Beschreibung
Genauere Ortung und Geometriebestimmung der AkD	Die Länge und Ausbreitung der AkD muss genauestens bekannt sein. Damit kann zwischen gefährlichen und ungefährlichen Bereichen unterschieden werden und das Personal kann beim Betreten des gefährlichen Bereiches gewarnt werden. Außerdem wird die genaue Position der AkD für ein rechtzeitiges Absetzen der Baustellenwarnung benötigt.
Genauere Positionsbestimmung des Baustellenpersonals	Die Position des in der Baustelle tätigen Personals muss jederzeit genauestens bekannt sein, um die Warnung absetzen zu können, sobald ein potenzieller Konflikt festgestellt wird. Zugehörige Anforderungen sind hierbei u. a. auch die ausreichende Reichweite der Kommunikationslösung und die richtige und störungsarme Kommunikationstechnologie.
Akzeptanz des Systems bei Personal	Damit das Sicherheitssystem vom Personal akzeptiert und genutzt wird, darf es während der Benutzung keine Einschränkungen der Tätigkeiten geben. Die Geräte müssen handlich und tragbar sowie vor Witterungsbedingungen und Stürzen geschützt sein. Die Warnungen müssen zuverlässig und bemerkbar sein. Die Bedienbarkeit sollte so einfach wie möglich gestaltet werden.
Kommunikationstechnologie und Reichweite der Fahrzeug-Warnung	Damit ankommende Fahrzeuge rechtzeitig gewarnt werden können, müssen entsprechende Meldungen mithilfe der standardisierten V2X-Technologien mit der benötigten Reichweite abgesetzt werden.
Akzeptanz des Systems bei Verkehrsteilnehmenden	Damit das Sicherheitssystem bei Verkehrsteilnehmenden akzeptiert wird, müssen auch hier die Einschränkungen in der Benutzung minimiert werden. Meldungen müssen verständlich und rechtzeitig dargestellt werden.





Hohe Zuverlässigkeit und Genauigkeit aller Kommunikationen und Warnungen	Um eine hohe Wirksamkeit und Akzeptanz des Systems zu erreichen, bedarf es einer hohen Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Systems. Ausfälle sind möglichst zu minimieren bzw. mit Rückfallebenen zu reduzieren.
Datenschutz aller Systeme	Alle Kommunikationslösungen müssen den Anforderungen des Datenschutzes genügen und insbesondere persönliche Daten schützen.
Integration in bestehende Systeme	Bereits bestehende Systeme dürfen bei der Entwicklung des AkD-Sicherheitssystems nicht außer Acht gelassen werden. Es muss eine technologieoffene Lösung geschaffen werden, die sich einfach integrieren lässt.

## 5. Aktueller Projektstand

Das vom BMVI geförderte Forschungsprojekt MOSAik:D (M2M-gestützte Optimierung der Sicherheit in Arbeitsstellen kürzerer Dauer) startete im Januar 2019 mit den Projektpartnern Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes (htw Saar), die Autobahn GmbH des Bundes (vormals Hessen Mobil Straßen und Verkehrsmanagement) sowie der Fachhochschule Erfurt.

In einem ersten Schritt erfolgten Voruntersuchungen und die Grundlagenermittlung. Dazu zählten neben der hier dargestellten Unfalluntersuchungen eine Betrachtung der arbeitsrechtlichen und betrieblichen Rahmenbedingungen sowie eine Analyse der für das Warnsystem nutzbaren Technologien zur Ortung der BDM. Parallel erfolgten Beobachtungen der Prozessabläufe verschiedener Tätigkeiten im Rahmen von AkD auf BAB und im nachgeordnetem Netz Hessens. Darauf aufbauend wurden die Ergebnisse in einem Anforderungs- und Szenarienkatalog der Anforderungsanalyse konzentriert und die Systemarchitektur im Rahmen der Gesamtsystemspezifikation entwickelt. Aktuell erfolgt die Entwicklung der technischen Systeme, die noch im zweiten Quartal 2021 im Labor getestet werden. Anschließend sind Tests auf einem Testgelände und im Realbetrieb geplant. Um eine realistische Abschätzung über die Machbarkeit des Gesamtsystems und über die Erhöhung der Sicherheit des Baustellenpersonals treffen zu können, wird die Erprobung wissenschaftlich begleitet und anhand der im Evaluationskonzept festgelegten Kriterien näher untersucht. Dazu werden u. a. verschiedene Szenarien festgelegt und bewertet. Das Gesamtsystem wird im Anschluss auf Basis der Evaluationsergebnisse optimiert.

Das diesem Bericht zugrundeliegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Verkehr und Infrastruktur unter dem Förderkennzeichen 01MM19006B gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



## Literaturverzeichnis

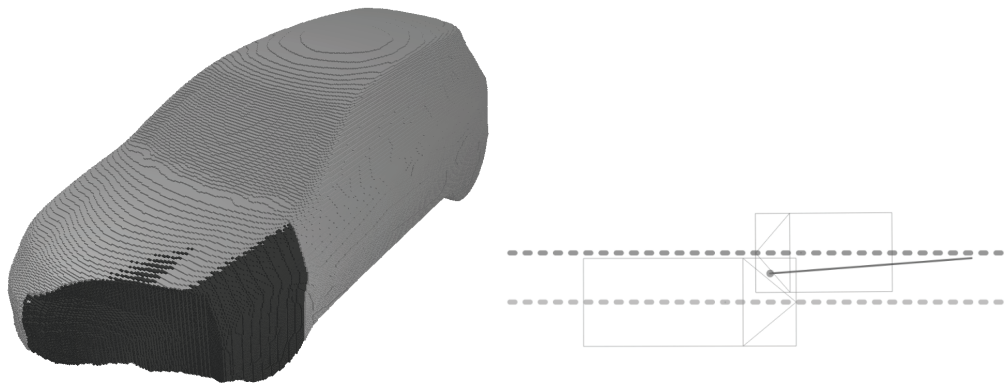
- BAST. (2016). Bundesanstalt für Straßenwesen . *Autobahnverzeichnis 2016*. Bergisch Gladbach: Verkehrstechnik Heft V 273.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (1995). *Richtlinien für die Sicherung von Arbeitsstellen auf Straßen*. Berlin.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (26. 04 2021). *Cooperative ITS Corridor - Joint Deployment*. Von <http://ic-its-korridor.de/index.php?menuId=1&sp=de> abgerufen
- ETSI. (2019-09). ETSI TR 103 300-1 V.2.1.1.
- FGSV. (2012). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V. *Merkblatt zur örtlichen Unfalluntersuchung*. Köln.
- GDGVP, D. G. (o.J.). *Nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer*. Abgerufen am 14. 04 2021 von <https://www.dgvp-verkehrspsychologie.de/unsere-arbeitsbereiche/strasse/fahrzeug-und-verkehrsraum/nichtmotorisierte-verkehrsteilnehmer-vulnerable-road-user-vru/>
- Hessen Mobil. (2018). *Hessischer Verkehrszeichenplankatalog für Arbeitsstellen kürzerer Dauer (HE-VZP-Katalog)*. Von [https://mobil.hessen.de/sites/mobil.hessen.de/files/content-downloads/HE%20VZP-Katalog\\_AkD\\_StandAugust2016.pdf](https://mobil.hessen.de/sites/mobil.hessen.de/files/content-downloads/HE%20VZP-Katalog_AkD_StandAugust2016.pdf) abgerufen
- Hessen Mobil. (o.J.a). *Flott durch Slot. Baustellenmanagement*. Von <https://mobil.hessen.de/verkehr/intelligenter-verkehr/flott-durch-slot> abgerufen
- Hessen Mobil. (o.J.b). *Sicherheitskonzept für Baustellen. Baustellenmanagement*. Von <https://mobil.hessen.de/verkehr/intelligenter-verkehr/baustellenshymanagement/sicherheitskonzept-f%C3%BCr-baustellen> abgerufen
- Kooij, J. F., Flohr, F., Pool, E. A., & Gavrilu, D. M. (2019). Context-Based Path Prediction for Targets with Switching Dynamics. *International Journal of Computer Vision (127)*, S. 239-262. Abgerufen am 21. April 2021
- Meade, P. T., & Rabelo, L. (2004). The technology adoption life cycle attractor: Understanding the dynamics of high-tech markets. *Technological Forecasting and Social Change Vol. 71*, S. 667-684.
- Schwarz, D. (2012). Erweiterung der Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation mit Funkortungstechniken. In W. Siebenpfeiffer, *Vernetztes Automobil - Sicherheit, Car-IT, Konzepte* (S. 199-206). Wiesbaden.
- VwV-StVO. (26.. Januar 2001). Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung. *In der Fassung vom 22. Mai 2017 (BAnz AT 29.05.2017 B8)*.
- Wimmer, P., Ferenczi, I., Benedikt, M., & Bernasch, J. (2018). Wirksamkeitsbewertung von VRU-Schutzsystemen. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift (Ausgabe 09/2018)*, S. 52-57.

# Ein neuartiger Ansatz zur Energy Equivalent Speed (EES)-Berechnung sowie zur Stoßberechnung von Pkws mittels EES-Modellen

Pascal Breitlauch, Christian T. Erbsmehl

Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI

Dieses Forschungsprojekt wird von der ADAC Stiftung gefördert.



## 1. Die Idee

### 1.1. Motivation

Das Verständnis des Ablaufs eines Verkehrsunfalls bildet die Basis der Verkehrsunfallforschung. Dabei ist die Erhebung von Unfalldaten ebenso wichtig wie die Rekonstruktion des Unfallhergangs. Eine zentrale Fragestellung der Unfallrekonstruktion zielt auf den Ablauf der eigentlichen Kollision ab: Welche Energie wurde durch die Kollision der Fahrzeuge in Deformationsenergie umgewandelt? Um diesen Sachverhalt zu vereinfachen, definierte Campbell, 1972 die Energy Equivalent Speed (EES) als Geschwindigkeit, deren kinetische Energie der plastischen Deformationsenergie  $E_{Def_{plastisch}}$  eines deformierten Fahrzeuges mit Masse  $m$  entspricht.

$$\frac{1}{2}m * EES^2 = E_{Def_{plastisch}}$$

**Gleichung 1: Definition der EES**

Zur Bestimmung der EES als Energieäquivalent existieren verschiedene Methoden. Becke, 2008 zeigt, dass Schätzungen der EES durch Experten sowie visuelle Vergleichemethoden mit großen potentiellen Abweichungen darstellen. Während die Mittelwerte vieler Schätzungen nah am tatsächlichen Wert liegen, können einzelne Schätzungen stark abweichen. Für die in den USA weit verbreitete Crash3-Methode sind



Struktursteifigkeitsdaten des zu untersuchenden Fahrzeuges nötig. Da sich Struktursteifigkeitsdaten je nach Fahrzeugtyp, Fahrzeugmasse, Baujahr und Kollisionsgeschwindigkeit unterscheiden, sind diese oft nur unzureichend bekannt. Zudem unterliegen nach Niehoff, et al., 2006, Hampton, et al., 2010 und Johnson, et al., 2011 auch die Schätzungen der Crash3-Methode einer Unsicherheit. Nach Evtiukov, et al., 2018 ist die Finite-Elemente-Methode (FEM) geeignet, eine Kollision zu rekonstruieren und beispielsweise EES-Werte mit geringen Abweichungen zu berechnen. Die Voraussetzung hierfür ist ein Finite-Elemente-(FE)-Modell mit gleicher Struktur wie das zu untersuchende Fahrzeug. In vielen Fällen liegen jedoch keine passenden FE-Modelle vor. Eine objektive und ohne weitere Eingabeparameter anwendbare Methode zur Bestimmung der EES eines Pkw existiert bislang nicht.

Die von Erbsmehl, 2014 entwickelten EES-Modelle können EES-Werte durch Eingabe von Deformationen berechnen. Diese Modelle wurden in verschiedenen Projekten des Fraunhofer IVI weiterentwickelt. Da die Modelle auf rekonstruierten EES-Werten der Unfalldatenbanken GIDAS und NASS CDS basieren, können sie einem systematischen Fehler unterliegen. Um diesen zu beheben soll die Modellerstellung zukünftig durch Crashtest-Daten als definierte und berechenbare Stützstellen ergänzt werden.

Ein weiteres Forschungswerkzeug der Verkehrsunfallforschung ist die Simulation einer Kollision. Nach Alvarez, et al., 2017 wird die Effektivität von Fahrerassistenzsystemen (FAS) anhand von Simulationen abgeschätzt. Durch wiederholte Simulation realer Verkehrsunfälle ohne und mit einem FAS wird identifiziert, ob das untersuchte FAS Kollisionen vermeiden kann. Kann eine Kollision nicht vermieden werden, besteht für die Insassen kollidierender Fahrzeuge die Möglichkeit der Änderung der Verletzungsschwere. Zur Abschätzung der Verletzungsschwere werden so genannte Verletzungsrisikofunktionen (VRF) genutzt. Diese Funktionen verwenden physikalische Kollisionsschwereparameter wie EES oder die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung  $\Delta v$  um ein Verletzungsrisiko abzuschätzen. Zusammengefasst bedeutet das: Zur Abschätzung der Effektivität von Fahrerassistenzsystemen ist die Simulation einer Kollision zur Berechnung von EES und  $\Delta v$  notwendig.

Aus diesem Grund existieren bereits verschiedene Methoden, einen Zusammenstoß von Fahrzeugen zu berechnen. Diese Methoden weisen nach Breitlauch, 2020 große Differenzen zwischen geringer Genauigkeit bei kurzer Berechnungsdauer und hoher Genauigkeit bei langer Berechnungsdauer auf. Verschiedene untersuchte Ansätze zur ausschließlichen Abschätzung von Beschleunigungen während einer Kollision sind nicht auf beliebige Situationen anwendbar. Demnach gibt es großen Forschungsbedarf, eine schnelle, detaillierte und vielseitig anwendbare Stoßberechnungsmethode zu entwickeln, welche unter anderem EES,  $\Delta v$  und Beschleunigungsverläufe berechnen kann.



## 1.2. Zielstellung

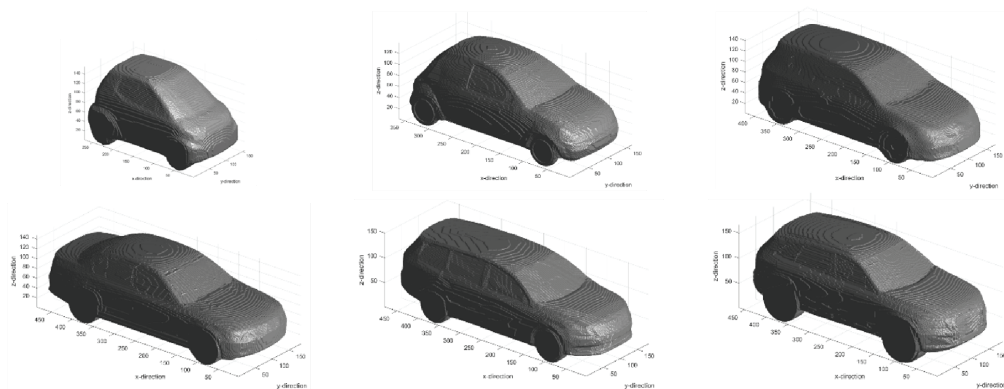
Folgende Ziele lassen sich aus der Motivation ableiten:

- Die Objektivität von EES-Modellen nach Erbsmehl soll durch die Nutzung von Crashtest-Daten verbessert werden.
- Durch die Erstellung einer Plattform zur Nutzung der EES-Modelle und die Bereitstellung dieser soll eine neue Methode zur Bestimmung objektiver EES-Schätzungen anhand von Deformationen veröffentlicht werden.
- Basierend auf den EES-Modellen soll ein Ansatz für eine neuartige, schnelle, detaillierte und vielseitig anwendbare Kollisionsberechnungsmethode entwickelt werden.

## 2. Methodik

### 2.1. Energy Equivalent Speed (EES)-Modelle

Das Fraunhofer IVI entwickelte die EES-Modelle nach Erbsmehl, 2014 in verschiedenen Projekten weiter. Zum aktuellen Zeitpunkt bieten die Modelle eine Auflösung von 1 cm und sind in sechs verschiedene Fahr-



**Abbildung 2-1:** Die aktuellen EES-Modelle werden in sechs verschiedene Fahrzeugtypen unterschieden

zeugtypen eingeteilt.

Die EES-Modelle aus Abbildung 2-1 basieren auf den folgenden Fahrzeugtypen:

- Kleinstwagen (Smart)
- Kleinwagen (Ford Ka)
- Kompaktklasse (VW Golf)
- Limousine (BMW 5er)
- Kombi (VW Passat)
- SUV (Audi Q5)



Jedes EES-Modell besteht aus so genannten Voxeln (**Volumetric Pixel**). Jedem dieser Voxel wurde während der Modellerstellung ein auf den verwendeten Unfalldaten basierender EES-Wert mitsamt Unsicherheit zugewiesen. Dieser EES-Wert repräsentiert bei bekannter Fahrzeugmasse die nötige Energie, um das Voxel vollständig zu deformieren (siehe Gleichung 1). Trägt man nun reale, gemessene Deformationen auf ein EES-Modell ab, so können die deformierten Voxel identifiziert werden. Durch Summierung der EES-Werte aller deformierter Voxel kann der EES-Wert passend zur realen Deformation nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$EES = \sqrt{\sum_{i=0}^{defo} EES_i^2}$$

Gleichung 2: Summenbildung zur EES-Berechnung

Um einen potentiellen systematischen Fehler der EES-Modelle zu beheben, werden Crashtests von ADAC und Euro NCAP zur Verfügung gestellt und zur Modellkorrektur genutzt. Das folgende Schema erläutert den Ablauf der Korrektur.

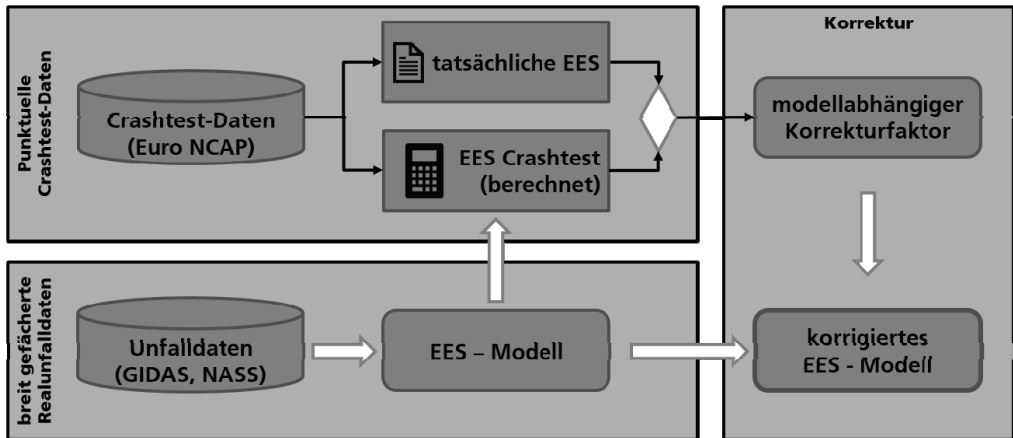


Abbildung 2-2: Die auf Unfalldaten basierenden EES-Modelle werden anhand von Crashtest-Daten korrigiert

Durch die Verschneidung von Realunfall- und Crashtest-Daten kombinieren die EES-Modelle breit gefächerte Informationen aus dem realen Unfallgeschehen mit punktuellen Daten aus standardisierten Tests. Der subjektive Einfluss der Unfalldatenbanken wird damit minimiert.

## 2.2. Gutachter- und Unfallforscherplattform *calculateEES*

Aufbauend auf den korrigierten EES-Modellen wurde die Plattform *calculateEES* entwickelt. Sie besteht aus einer Desktop-Anwendung für die Nutzer sowie einer Client-Server-Infrastruktur. Diese Struktur ermöglicht es, nach einem Registrierungsprozess auf die aktuellen EES-Modelle auf dem Fraunhofer-Server zuzugreifen und EES-Berechnungen anzufordern. Die eingegebenen Informationen werden an Fraunhofer übermittelt, der Server schätzt eine EES und sendet diese an die Nutzer zurück. Das entwickelte Programm *calculateEES* ermöglicht es Gutachter\*innen sowie Unfallforscher\*innen, die EES-Modelle zur objektiven EES-Schätzung zu nutzen.



Die folgende Abbildung 2-3 zeigt schematisch, welche Eingabedaten nötig sind und welche Ausgabedaten

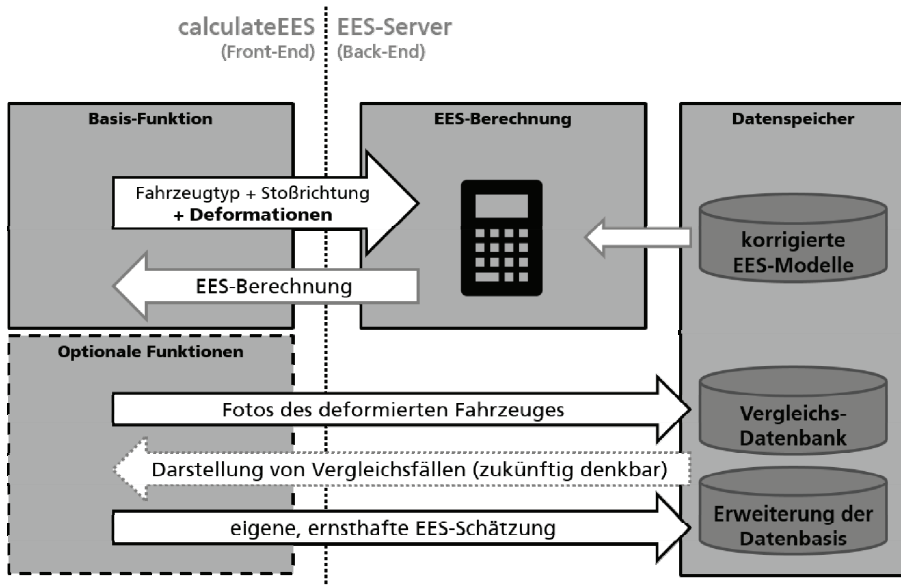


Abbildung 2-3: Das Programm *calculateEES* überträgt Daten an den EES-Server und erhält Antwort vom Fraunhofer-Server gesendet werden.

Während die Angabe eines Fahrzeugtyps sowie der Stoßrichtung essentiell für die Auswahl des passenden EES-Modells sind, werden die Deformationen zur Schätzung der EES benötigt. Die gezeigte Basis-Funktion ist bei erfolgreicher Serververbindung immer durchführbar. Der Upload von Fotos zum Aufbau einer Vergleichsdatenbank und die Angabe einer eigenen, professionellen EES-Schätzung zur Erweiterung der Datenbasis sind optional.

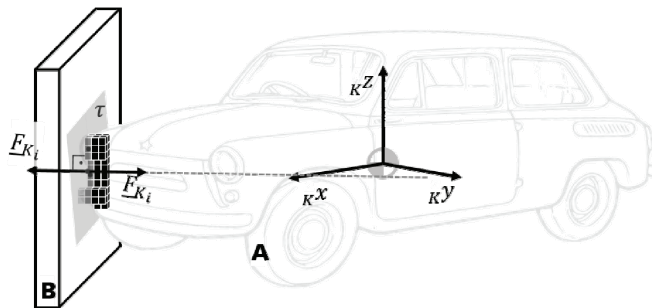


### 2.3. Entwicklung eines neuartigen Ansatzes zur Stoßberechnung

Der entwickelte Ansatz zur Stoßberechnung verwendet die aktuellen (EES)-Modelle, um den Stoß zeitlich aufgelöst zu betrachten.

Während der iterativen Berechnung werden schrittweise mechanische Grundlagen unter Nutzung des EES-Modells angewendet. Das Modell wird dabei deformiert und die freigesetzte plastische Deformationsenergie über mechanische und kinetische Zusammenhänge in eine resultierende Beschleunigung umgewandelt. Im Ergebnis gleichen sich die Geschwindigkeiten der Stoßpartner stetig weiter an, bis sich die Stoßpartner am Ende des Stoßes geschwindigkeitsbedingt voneinander trennen.

Anschließend wurde versucht, den entwickelten Ansatz auf einen dreidimensionalen, schrägen, exzentrischen Stoß eines Pkw gegen eine starre, undeformierbare Barriere (siehe Abbildung 2-4) sowie auf den Zusammenstoß zweier Pkws übertragen.



**Abbildung 2-4: Der Ansatz zur Stoßberechnung könnte zukünftig auch auf dreidimensionale Pkw übertragen werden**

Dabei wurde deutlich, dass eine vollständig dreidimensionale Implementierung des neuartigen Ansatzes zur Stoßberechnung die Berücksichtigung der Vertikaldynamik von Pkws sowie eine Vorschrift zur dreidimensionalen Deformation voraussetzt. Aus diesem Grund wurde der Ansatz ausschließlich zweidimensional, unter Berücksichtigung der statischen Reibung zwischen Reifen und Untergrund, implementiert. Zur Anwendung und Überprüfung des neuartigen Ansatzes wurde das Programm *impactEES* (iEES) entwickelt. Durch *impactEES* können Zusammenstöße zwischen einem Pkw und einer starren, undeformierbaren Barriere oder zwischen zwei Pkws zweidimensional simuliert werden. Mit *impactEES* können die EES,  $\Delta v$ , die Deformationen, die Bewegungen der Objekte sowie die Beschleunigungsverläufe für jeden Pkw ausgegeben werden.





## 2.4. Überprüfung der Ergebnisse aus *calculateEES* und *impactEES*

Um die Funktion der Programme *calculateEES* und *impactEES* zu überprüfen wurde ein Kompatibilitäts-Crashtest des ADAC e.V. aus 2016 nachgestellt. Bei dem analysierten Pkw-Pkw-Crashtest kollidiert ein VW Golf VII, Modelljahr 2012 mit 40 % Überdeckung auf der Fahrerseite frontal mit einem Smart fortwo, Modelljahr 2007. Beide Fahrzeuge kollidieren mit 56 km/h.

Die mit Hilfe der EES-Modelle berechneten Werte  $EES_{Smart}^b$  und  $EES_{VW}^b$  sollen mit den tatsächlichen Werten  $EES_{Smart}^C$  und  $EES_{VW}^C$  basierend auf Messdaten des Pkw-Pkw-Crashtests verglichen werden. Um die  $EES^C$  des Pkw-Pkw-Crashtests zu berechnen, wurden zwei Pkw-Barriere-Crashtests benötigt. In diesen kollidieren die beteiligten Fahrzeuge des Pkw-Pkw-Crashtests mit einer Barriere gleichen Typs (MPDB, vgl. Ellway, 2018), sodass ein Vergleich der Energieaufnahme der Fahrzeuge durch Deformation möglich ist. Darauf aufbauend konnte die gesamte Deformationsenergie des Pkw-Pkw-Crashtests auf die kollidierenden Pkws aufgeteilt werden. Die fahrzeugbezogene Deformationsenergie ermöglicht nach Gleichung 1 die Berechnung der  $EES^C$  für beide Pkws.

Alle Crashtests wurden durch den ADAC e.V. bereitgestellt.

Die Tabelle 2-1 fasst die kinetischen Energien vor dem Stoß  $E_{Kin}$ , die kinetischen Energien nach dem Stoß  $E'_{Kin}$ , die Deformationsenergie  $E_{Def}$  sowie die daraus berechnete  $EES^C$  des Crashtests zusammen.

**Tabelle 2-1: Die Deformationsenergie pro Fahrzeug wurde für jeden der drei vorliegenden Crashtests berechnet. Die Energiebeträge sind in [kJ] angegeben, während die EES-Werte in [km/h] angegeben sind.**

1	2	$E_{Kin_1}$	$E_{Kin_2}$	$E'_{Kin_1}$	$E'_{Kin_2}$	$E_{Def_1}$	$E_{Def_2}$	$EES_1^C$	$EES_2^C$
VW Golf VII	MPDB	141	137	0,447	1,33	171	105	55,9	44,3
Smart fortwo	MPDB	95,8	131	11,3	4,25	162	49,1	65,1	30,6
Smart fortwo	VW Golf VII	124	179	3,43	7,00	195	96,8	70,4	41,2



Die  $EES^C$  des Pkw-Pkw-Crashtests wird später mit den in *calculateEES* berechneten Werten verglichen. Die dazu notwendigen Deformationen der Fahrzeuge wurden anhand markanter Fahrzeugbereiche und vorliegender Fahrzeugmaße mit Hilfe der Fotos geschätzt. Beide Fahrzeuge wurden ausschließlich frontal deformiert, wobei vertikal keine Schwankungen erkennbar sind. Daher können die Deformationstiefen der vier frontalen Deformationszonen von links beginnend in der folgenden Tabelle zusammengefasst werden.

**Tabelle 2-2: Übersicht über die Deformationstiefen nach dem Crashtest Smart fortwo gegen VW Golf VII**

	Beifahrerseite	Fahrzeugmitte		Fahrerseite
	Zone A	Zone B	Zone C	Zone D
Smart fortwo	0 cm	50 cm	55 cm	55 cm
VW Golf VII	0 cm	0 m	60 cm	60 cm

Abschließend kann der Pkw-Pkw-Crashtest auch mit *impactEES* nachgestellt werden. Durch die Simulation in *impactEES* können auch die berechnete  $\Delta v^b$  sowie die berechneten Beschleunigungsverläufe in Fahrzeuglängsrichtung mit den gemessenen Werten des Crashtests verglichen werden. Die gemessenen  $\Delta v^c$ -Werte betragen:

$$\Delta v_{Smart}^c = 65,3 \frac{km}{h}$$

$$\Delta v_{VW}^c = 44,9 \frac{km}{h}$$



### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Die Berechnungs-Plattform *calculateEES*

Das Programm *calculateEES* kann anhand von Fahrzeugtyp, Stoßrichtung und gemessenen Deformationen eine EES schätzen. Zusätzlich dazu können Bilder der Deformationen anonymisiert und hochgeladen sowie eine eigene, ernsthafte Schätzung der EES zur Erweiterung der Datenbasis angegeben werden. Eine Übersicht über das Programm ist in Abbildung 3-1 zu sehen.

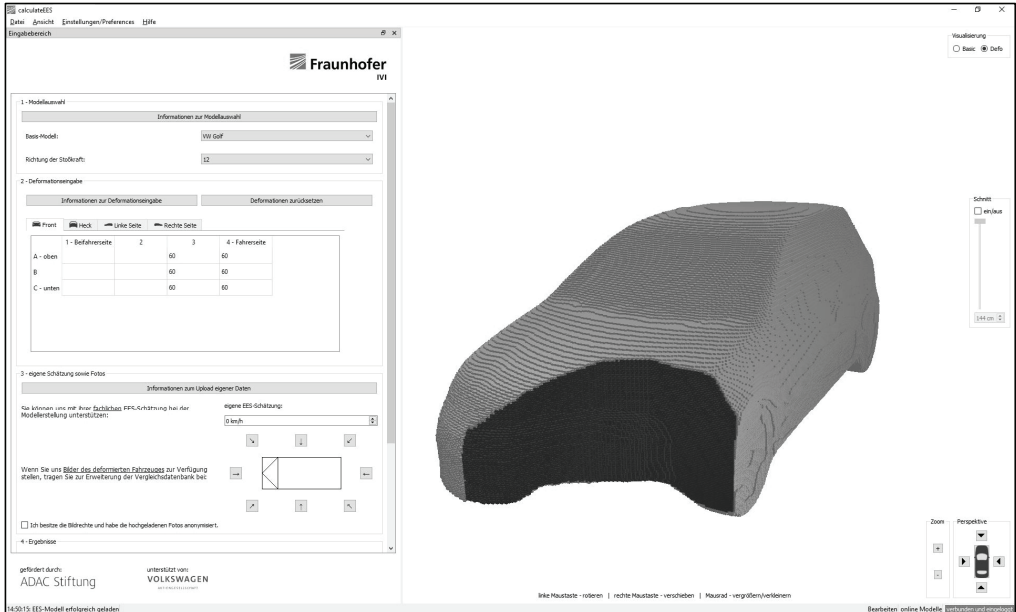
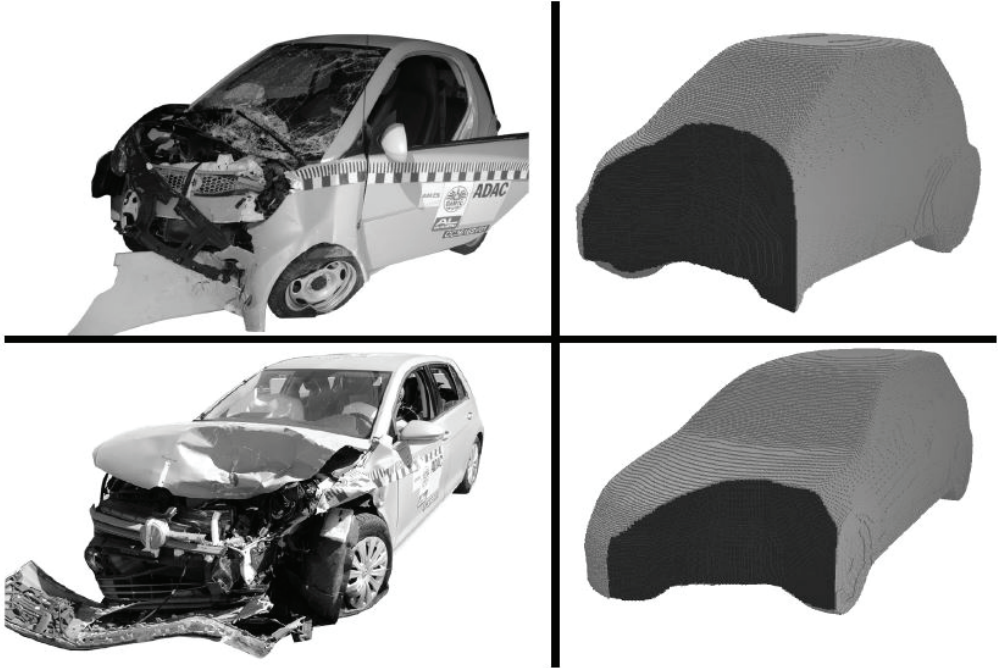


Abbildung 3-1: Das Programm *calculateEES* stellt die eingegebenen Deformationen dreidimensional dar

Der Eingabebereich von *calculateEES* ist übersichtlich eingeteilt und mit Schaltflächen für weitere, themenbezogene Informationen versehen. Die gemessenen Deformationen können nach Auswahl eines passenden EES-Modells in tabellarischer Form eingegeben werden. Direkt nach der Eingabe werden die Deformationen anhand eines dreidimensionalen EES-Modells visualisiert.



Anhand der geschätzten Deformationen des Crashtests Smart fortwo – VW Golf VII aus Kapitel 2.4 können die  $EES^b$ -Werte der Beteiligten in *calculateEES* berechnet werden. Die deformierten EES-Modelle werden in Abbildung 3-2 den tatsächlichen Deformationen gegenübergestellt.



**Abbildung 3-2: Die realen Deformationen (links) wurden auf EES-Modelle (rechts) übertragen  
[Bildquelle: ADAC e.V.]**

Die  $EES^C$ -Werte der Crashtests können nun mit den anhand der deformierten EES-Modelle berechneten  $EES^b$ -Werten verglichen werden. Für den Smart fortwo erhalten wir:

$$EES_{Smart}^C = 71,4 \text{ km/h}$$

$$EES_{Smart}^b = 71,7 \pm 3,5 \text{ km/h}$$

Für den VW Golf VII erhalten wir:

$$EES_{VW}^C = 41,2 \text{ km/h}$$

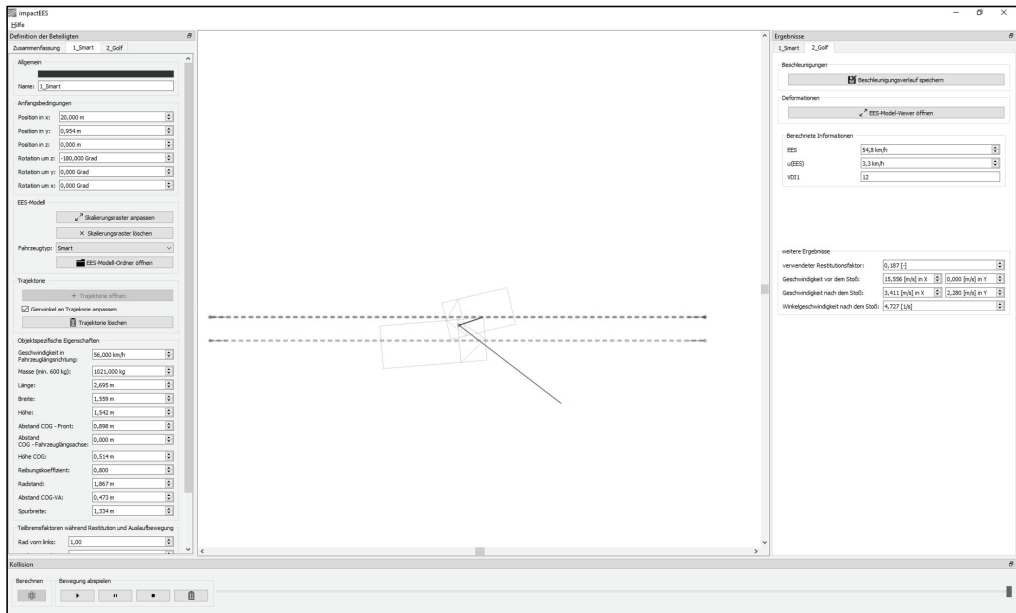
$$EES_{VW}^b = 42,7 \pm 3,2 \text{ km/h}$$

Die Abweichungen zwischen den gemessenen und den berechneten EES-Werten sind kleiner als 4 %. Trotz der unterschiedlichen Fahrzeugtypen und Fahrzeugmassen können die entwickelten EES-Modelle objektive EES-Werte anhand von Deformationen schätzen.



### 3.2. Stoßberechnung mit *impactEES*

Der zur Demonstration in *impactEES* umgesetzte Ansatz zur Stoßberechnung berechnet innerhalb weniger Sekunden<sup>1</sup> die EES,  $\Delta v$ , Beschleunigungsverläufe sowie Bewegungen für jeden beteiligten Pkw. Das Programm ist bislang ausschließlich auf Pkws anwendbar. Zusätzlich zur in Abbildung 3-3 dargestellten Nutzeroberfläche kann *impactEES* durch eine Windows-Eingabeaufforderung (CMD) angesteuert werden. Dadurch sind automatisierte Stapelbearbeitungen denkbar.



**Abbildung 3-3:** Die Nutzeroberfläche von *impactEES* zeigt die Eingabeparameter (links), den Verlauf der Kollision (mittig) sowie die Ergebnisse (rechts)

Durch die Simulation des Crashtests Smart fortwo – VW Golf VII in *impactEES* ist eine erste Beurteilung der Ergebnisse des neuartigen Ansatzes zur Stoßberechnung möglich.

Die berechnete  $\Delta v^b$  wird im Folgenden mit der gemessenen  $\Delta v^c$  des Crashtests verglichen. Für den Smart fortwo erhalten wir:

$$\Delta v_{Smart}^c = 65,3 \text{ km/h}$$

$$\Delta v_{Smart}^b = 64,0 \text{ km/h}$$

Für den VW Golf VII erhalten wir:

$$\Delta v_{VW}^c = 44,9 \text{ km/h}$$

$$\Delta v_{VW}^b = 44,5 \text{ km/h}$$

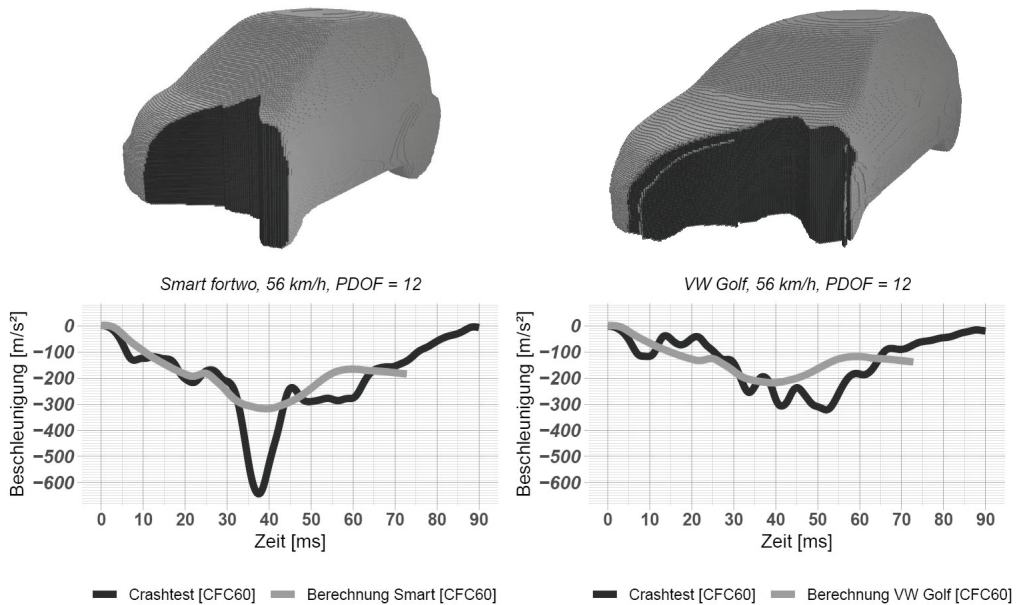
<sup>1</sup> Berechnet mit: Intel® Core™ i7-8850H, 16 GB RAM, Grafikkarte: Intel® UHD Graphics 630, Windows 10



Die berechneten Werte für  $\Delta v$  liegen in diesem Beispiel mit rund 2 % Abweichung sehr nah an den gemessenen Werten.

Zusätzlich können auch die Deformationen und die Beschleunigungsverläufe dargestellt und verglichen werden. Abbildung 3-4 zeigt die durch *impactEES* deformierten EES-Modelle und vergleicht die berechneten Beschleunigungsverläufe mit den gemessenen Beschleunigungsverläufen des Crashtests.

Der Anstieg der berechneten Beschleunigungsverläufe gleicht dem Anstieg der gemessenen Beschleuni-



**Abbildung 3-4:** *impactEES* berechnet die Deformationen der Fahrzeuge sowie Beschleunigungsverläufe in Fahrzeuglängsrichtung anhand der EES-Modelle (hellgrau). Die gemessenen Beschleunigungsverläufe des Crashtests in Fahrzeuglängsrichtung werden schwarz dargestellt. (links: Smart fortwo, rechts: VW Golf VII)

gungsverläufe. Die maximale Amplitude weicht beim Smart um etwa 50 % ab, da die EES-Modelle keine Beschleunigungsspitzen durch blockbildende Strukturen abbilden können. Die Amplitude des Beschleunigungsverlaufs des VW Golf weicht um etwa 30% ab. Die berechnete Dauer des Beschleunigungspulses stimmt gut mit der gemessenen Dauer überein: Die berechnete Kollision ist nach 75 ms abgeschlossen, während die gemessenen Beschleunigungen in den darauffolgenden 15 ms auf Null sinken.



## 4. Zusammenfassung, Ausblick und Nutzen

Abschließend können die zu Beginn gestellten Ziele folgendermaßen beantwortet werden:

### Objektive EES-Modelle

Der subjektive Einfluss in den EES-Modellen wird durch die Nutzung von Crashtest-Daten minimiert. Das Fraunhofer IVI arbeitet derzeit an der Vergrößerung der Crashtest-Datenbank. Besonders nicht-Standard-Crashtests sind wertvolle Stützstellen zur Verbesserung der EES-Modelle. Aber auch die Erweiterung der Datenbasis um Standard-Crashtests verschiedener Fahrzeuge ist von großer Bedeutung. Die Qualität der EES-Modelle und damit die Qualität der Ergebnisse aus *calculateEES* und *impactEES* kann durch weitere Crashtests gesteigert werden.

### *calculateEES*

Die Plattform *calculateEES* ist fertiggestellt und wird veröffentlicht. Der aufbereitete Crashtest zeigt, dass *calculateEES* auch EES-Werte für sehr unterschiedliche Fahrzeugtypen und Fahrzeugmassen mit Abweichungen im Toleranzbereich schätzen kann.

Damit steht eine neue, objektive Methode zur Bestimmung von EES-Werten anhand von Deformationen zur Verfügung. Dies ist vor allem für Sachverständige der Unfallrekonstruktion und für Unfallforscher\*innen ein wichtiger Beitrag zur retrospektiven Analyse von Verkehrsunfällen. Die objektiv geschätzten EES-Werte helfen sowohl bei der Bestimmung von Kollisionsgeschwindigkeiten als auch bei der Abschätzung der Unfallschwere. Durch die exakte Rekonstruktion von Verkehrsunfällen steigt die Qualität der Datenbasis, auf der die Entwicklung von unfallvermeidenden oder Unfallschwere verringern Systemen basiert.

Die Plattform *calculateEES* kann derzeit über die Website des Fraunhofer IVI über einen Registrierungsprozess angefordert werden. Die Nutzung wird bis zum Ende des Forschungsprojektes (Ende 2021) kostenfrei bleiben. Danach müssen die Betriebskosten der Plattform durch Dritte finanziert oder auf die Berechnungsanfragen umgelegt werden.

### *impactEES*

Mit *impactEES* wurde ein neuartiger, zweidimensionaler, schneller und detaillierter Ansatz zur Kollisionsberechnung entworfen und zur Überprüfung implementiert. Dieser nutzt die objektiven EES-Modelle, um einen Stoß zeitlich aufgelöst zu berechnen.

Im Rahmen der derzeit laufenden EES-Forschung des Fraunhofer IVI ist eine umfassendere Validierung des Ansatzes anhand von Crashtest-Daten geplant. In Kombination mit den derzeit entwickelten Verletzungsriskofunktionen, basierend auf GIDAS<sup>2</sup>-Daten, soll *impactEES* auch eine Abschätzung von Verletzungsrisiken ermöglichen. Fahrerassistenzsysteme (FAS) können dadurch hinsichtlich der Veränderung der Schwere einer Kollision bezogen auf die zu erwartenden Verletzungen bewertet werden. Durch die Beurteilung des Nutzens eines entwickelten FAS werden möglichst effektive FAS in den Markt eingeführt, welche die Sicherheit im Straßenverkehr deutlich erhöhen können.

---

<sup>2</sup> German In Depth investigation Accident Study (Otte, et al., 2003)



Aufgrund der geringen Berechnungsdauer ist eine weitere Anwendung des Ansatzes vorgesehen: Durch wiederholte Simulation verschiedenster Kollisionskonstellationen zwischen Pkws werden kritische Konstellationen mit hohem Verletzungsrisiko identifiziert. Diese können dann von Verbraucherschutzorganisationen wie Euro NCAP gezielt getestet werden und somit die Entwicklung der Fahrzeugsicherheit vorantreiben.

Das Programm *impactEES* soll in zukünftigen Projekten weiterentwickelt werden. Beispielsweise ist die Erweiterung um eine Vertikaldynamik für gefederte Pkws notwendig. Auch die Entwicklung einer dreidimensionalen Deformationsvorschrift wird die Ergebnisqualität erhöhen. Aufbauend darauf wird der Ansatz zur Stoßberechnung zukünftig umfassend weiterentwickelt und auch dreidimensional implementiert. Das soll die Abbildung von Überfahren sowie Unterfahren, abhebenden Reifen sowie eine Erhöhung des Detailgrades der Simulation ermöglichen. Dadurch soll *impactEES* präzisere Ergebnisse vorhersagen und die genannten Nutzungsmöglichkeiten ausbauen.





## 5. Literaturverzeichnis

**Alvarez, Stephanie; Page, Yves; Sander, Ulrich; Fahrenkrog, Felix; Helmer, Thomas; Jung, Olaf; Hermitte, Thierry; Düring, Michael; Döring, Sebastian; Op den Camp, Olaf:**

*Prospective Effectiveness Assessment of ADAS and Active Safety Systems via Virtual Simulation: A Review of the Current Practices.* in: The 25th ESV Conference Proceedings, The 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit, Michigan USA, 05.-08. Juni 2017,

**Becke, Manfred:**

*Poor estimation of EES values and its consequences on the accuracy of reconstructions – Importance of EES crash tests (Unzutreffende EES-Schätzungen und ihre Auswirkungen auf das Rekonstruktionsergebnis - Die Bedeutung von EES-Versuchen).* in: Proceedings of the XVI. EVU Annual Meeting, 08. – 10.11.2007 in Kraków 2008,

**Breitlauch, Pascal:**

*Eine neuartige Stoßberechnungsmethode für Pkw-Kollisionen basierend auf Energy Equivalent Speed (EES)-Modellen.* Masterarbeit. TU Graz, Institut für Fahrzeugsicherheit, Graz, Österreich, 2020.

**Campbell, Kenneth L.:**

*Energy as a Basis for Accident Severity - A Preliminary Study [Dissertation].* 1972.

**Ellway, J.:**

*Euro NCAP MPDB Specification, TBO22, Version 1.2.* European New Car Assessment Programme (Euro NCAP), 2018.

**Erbsmehl, Christian T.:**

*Ein neues dreidimensionales Energy Equivalent Speed (EES)-Modell für Fahrzeuge basierend auf Unfalldaten.* Dissertation. Dresden, 2014.

**Evtiukov, Sergei; Golov, Egor; Ginzburg, Grigory:**

*Finite element method for reconstruction of road traffic accidents.* Transportation Research Procedia, 2018. Seite 157–165.

**Hampton, Carolyn E.; Gabler, Hampton C.:**

*Evaluation of the accuracy of NASS/CDS delta-v estimates from the enhanced WinSmash Algorithm.* in: Annals of Advances in Automotive Medicine/Annual Scientific Conference 2010,

**Johnson, N.; Gabler, H. C.:**

*Evaluation of WinSMASH Accuracy in NHTSA Side Crash Test Reconstructions.* in: International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Washington, D.C., USA 2011,

**Niehoff, P.; Gabler, Hampton C.:**

*The accuracy of WinSmash delta-v estimates the influence of vehicle type stiffness and impact mode.* in: Annals of Advances in Automotive Medicine/Annual Scientific Conference 2006,



---

**Otte, Dietmar; Krettek, Christian; Brunner, H.; Zwipp, Hans:**

*Scientific Approach and Methodology of a New In-depth Investigation Study in Germany so called GIDAS.* in: Enhanced Safety Vehicles (ESV), Nagano, Japan 2003,



## Auswirkungen neuer Sitzpositionen im Zuge des automatisierten Fahrens auf die Insassensicherheit

Isabella Ostermaier

Unfallforschung, ADAC e.V.

Volker Sandner

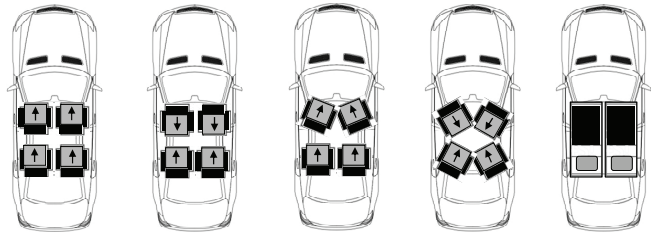
Leiter Fahrzeugsicherheit, ADAC e.V.

### 1. Ausgangssituation und Motivation

Ein Verbraucherschutzprojekt des ADAC e.V. aus dem Jahr 2012 zeigte bereits, dass es fatale Auswirkungen haben kann, wenn man ohne Gurt verunfallt [1]. Im durchgeführten Fahrzeugcrash prallten die Dummies gegeneinander, durchschlugen den Airbag mit Brust und Kopf und schleuderten unkontrolliert durch den Innenraum des Fahrzeuges. Ein weiteres Projekt aus dem Jahr 2013 veranschaulichte, dass eine nicht vorgesehene Sitzposition, in welcher die Beine des Beifahrers auf dem Armaturenbrett positioniert wurden, zu schwersten bis tödlichen Verletzungen führen kann [2]. All jene Konstellationen zeigen, wie bedeutend die Abstimmung von Rückhaltesystemen wie Gurte, Airbags mit der Sitzstellung des Insassen ist. Sobald der Insasse von einer aufrechten, nach vorne gerichteten Sitzposition abweicht, können die Rückhaltesysteme ihr Schutzpotential bei einem Unfall nicht mehr voll entfalten oder sich sogar negativ auf die Verletzungen der Insassen auswirken.

Im Zuge der zunehmenden Automatisierung von Fahrzeugen werden häufig auch neue Fahrzeugkonzepte vorgestellt, in denen die Sitzposition variabel gestaltet wird. Dadurch, dass die Fahraufgabe immer häufiger durch automatisierte Fahrfunktionen übernommen werden wird, wird der Fahrer mehr und mehr entlastet und kann sich hierdurch, sozusagen als Passagier, auch anderen Tätigkeiten als dem Führen des Fahrzeugs widmen. Diese Ideen von zukünftigen Sitzpositionen reichen von einer leicht geneigten Rückenlehne bis zur Verdrehung des Sitzes um 180°, um sich mit anderen Mitfahrenden zu unterhalten, zu entspannen oder bequem E-Mails zu beantworten [3]. Auch wenn vollautomatisiertes Fahren noch weit in der Zukunft liegt, ist die Automatisierung bestimmter Domänen wie der Autobahn aus technischer Sicht bereits erfolgt (z.B. Stauassistent). In diesem Zusammenhang ist z.B. eine liegende Position, um den Insassen für anderen Aktivitäten mehr Raum zu geben, bereits in den nächsten Jahren denkbar [4].

Der schwedische Hersteller automobiler Sicherheitssysteme Autoliv führte eine Probandenstudie in Schweden und China durch, um zu eruieren, wie die Menschen im Zusammenhang mit fahrerlosen Pkws im Fahrzeug sitzen möchten. Vor dem Hintergrund der Dauer und des Ziels der Fahrt listeten die Probanden zudem die Aktivitäten auf, denen sie sich gerne widmen möchten. Abbildung 1 beinhaltet die Ergebnisse der Studie und die dazugehörigen Sitzkonzeptionen. [5]



Fahrt zur Arbeit	56 %	16 %	5 %	4 %	4 %
Wochenendausflug mit der Familie	32 %	27 %	8 %	15 %	2 %
Längerer Ausflug mit der Familie	<b>29 %</b>	<b>30 %</b>	3 %	<b>20 %</b>	8 %

**Abbildung 1: Ergebnisse einer Probandenstudie des schwedischen Herstellers von Sicherheitssystemen Autoliv zu neuen Sitzkonzepten im Zusammenhang mit selbstfahrenden Fahrzeugen [5]**

Während die Probanden für kürzere Fahrten wie den Arbeitsweg die konventionelle Sitzkonstellation bevorzugen, möchten sie sich bei längeren Fahrten gerne den anderen Insassen zuwenden. Die Fahrzeit wollen die Studienteilnehmer auf kürzeren Strecken zum Ausruhen und Tätigkeiten an mobilen Endgeräten nutzen. Auf längeren Fahrten steht eine Unterhaltung mit den Mitfahrenden oder das Anschauen von Filmen im Fokus. [5]

Um den Insassen in heutigen Pkw beim Unfall zu schützen, werden Fahrzeuge für den europäischen Markt serienmäßig mit Rückhaltesystemen ausgestattet. Front- und Knieairbags schützen den Fahrer und Beifahrer bei einem Frontalzusammenstoß vor der Kollision mit dem Lenkrad, Armaturenbrett oder anderen Fahrzeugkomponenten im Fußraum. Seiten- und Kopfairbag dagegen sollen die Verletzungsschwere am Kopf, Thorax und Becken vornehmlich beim Seitencrash vermindern. Der 3-Punkt-Gurt sorgt dafür, dass der Insasse an die Fahrzeugverzögerung gebunden wird und nicht mit der Kollisionsgeschwindigkeit auf Fahrzeugstrukturen (A-, B-Säule, Lenkrad, Dachrahmen etc.) trifft. Zudem ist der Sicherheitsgurt meist mit einem Gurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer ausgestattet. Die einzelnen Systeme können den Insassen jedoch nur optimal schützen, wenn sie zeitlich und räumlich passend aufeinander abgestimmt und korrekt angelegt werden.

Im Rahmen des Verbraucherschutzprogramms Euro NCAP wird mittels verschiedener Crashversuche die Funktionstüchtigkeit und Schutzwirkung der Rückhaltesysteme von neuen Fahrzeugen überprüft. Hierbei kann beispielsweise eine zu späte Zündung eines Airbags oder eine Überlastung des Rückhaltesystems zu einer Abwertung der Fahrzeugsicherheit führen. Sobald im Zuge der Automatisierung der Fahrzeuge neue Sitzpositionen zugelassen werden, müssen auch im Rahmen des Verbraucherschutzes die Messmittel und Testsznarien weiterentwickelt werden.

## 2. Versuchsplan und -aufbau

Um untersuchen zu können, wie sich die Insassenbelastungen aufgrund einer liegenden/gedrehten Sitzposition verändern, wurden Schlittenversuche und ein Fahrzeugcrash durchgeführt. Bei Schlittenversuchen wird eine Plattform entlang der Anlaufspur beschleunigt und mittels einer Hydrobremse nach vorgegebe-



nem Puls verzögert. Versuche mit einem Schlitten stellen eine abstrahierte Variante eines Fahrzeugcrashes dar, da auf einen großen Teil der Fahrzeugstrukturen verzichtet wird. Der Aufbau des Versuchsschlittens, wie er in diesem Projekt zum Einsatz kam, ist in Abbildung 2 dargestellt.



**Abbildung 2: Versuchsaufbau der Schlittenversuche**

Um die verschiedenen Sitzkonstellationen abbilden zu können, wurde ein Versuchsgestell konstruiert. Durch die Verdrehung des Stahlgestells auf dem Schlitten können die unterschiedlichen Drehwinkel des Sitzes um die Hochachse in kürzester Zeit realisiert werden. Zudem dient die Konstruktion zur Abstützung des Sitzes, falls die Sitzlehne den Belastungen nicht standhält. Die Schlittenversuche wurden mit serienmäßig verbauten Pkw-Rücksitzen und in Abhängigkeit des Lastfalls mit im Sitz integrierten Statik-Gurten oder extern gezündeten 3-Punkt-Gurten mit Gurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer durchgeführt.

Ausgehend von den Studien und Konzeptfahrzeugen und den Sitzpositionen, die in Zukunft im Zusammenhang mit fahrerlosen Fahrzeugen möglich wären, wurden die in Tabelle 1 aufgelisteten Schlittenversuche durchgeführt.


**Tabelle 1: Übersicht über die durchgeführten Schlittenversuche mit den dazugehörigen Versuchsparametern**

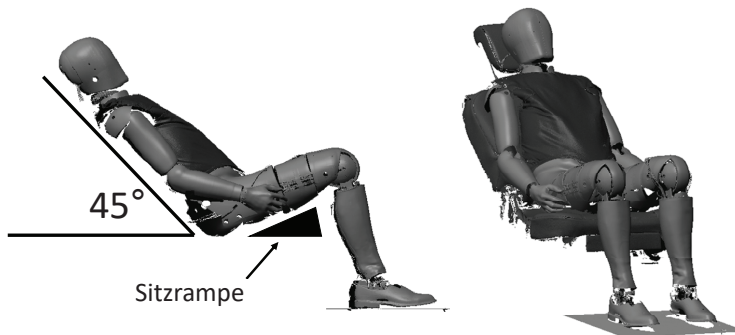
Nr.	Crashart	Kollisionswinkel	Geschwindigkeit	Sitzlehnenwinkel	Gurtsystem	Dummy
1	Front	0°	30 km/h	Liegend (45°)	3-Punkt-Gurt	THOR-AV
2	Front	0°	30 km/h	Liegend (45°)	6-Punkt-Gurt	THOR-AV
3	Front	15°	30 km/h	Liegend (45°)	3-Punkt-Gurt	THOR-AV
4	Front	15°	30 km/h	Liegend (45°)	6-Punkt-Gurt	THOR-AV
5	Heck	180°	30 km/h	Liegend (45°)	3-Punkt-Gurt	THOR-AV
6	Heck	165°	30 km/h	Liegend (45°)	3-Punkt-Gurt	THOR-AV
7	Front	0°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	THOR
8	Front	15°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	THOR
9	Front	-15°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	THOR
10	Front	-15°	30 km/h	Aufrecht	6-Punkt-Gurt	THOR
11	Seite	90°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	World SID
12	Seite	75°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	World SID
13	Seite	105°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	World SID
14	Seite	90°	30 km/h	Aufrecht	6-Punkt-Gurt	World SID
15	Heck	180°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	H III
16	Heck	165°	30 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	H III
17	Front	0°	30 km/h	Liegend (45°)	3-Punkt-Gurt + Sitzairbag	THOR
18	Front	15°	50 km/h	Aufrecht	3-Punkt-Gurt	THOR

Mit den Versuchen werden drei grundsätzliche Sitzpositionen dargestellt: Insasse sitzt in Fahrtrichtung (Front), seitlich zur Fahrtrichtung (Seite) und rückwärts zur Fahrtrichtung (Heck). Die groben Richtungen (0°, 90° und 180°) werden um +15° bzw. -15° leicht variiert. Der Wert der leichten Verdrehung des Sitzes um die Hochachse wurde auf Basis der Studien (Autoliv [5]) und einer Auswertung der ADAC Unfalldatenbank festgelegt. Eine Analyse der Unfälle mit meist Schwerverletzten innerhalb der ADAC Datenbank zeigte, dass bei Pkw-Pkw-Unfällen die beiden Fahrzeuge nicht ausschließlich im 0°-, 90°- oder 180°-Winkel kollidieren, sondern im Mittel um +/- 15° davon abweichen. Da die Sitze besonders im rückwärtsgerichteten Schlittenversuch hinsichtlich ihrer Belastbarkeit begrenzt sind, wurde eine Versuchsgeschwindigkeit von 30 km/h und eine Verzögerung entlang eines Trapezpulses mit max. 12 g gewählt. Im letzten Versuch wurde die Geschwindigkeit auf 50 km/h erhöht. Dadurch ist es möglich, die Auswirkungen auf die Insassenbelastung in Hinsicht auf höhere Geschwindigkeiten zu bewerten. Neben einer liegenden Sitzposition wurden elf Schlittenversuche mit einer aufrechten Rückenlehne durchgeführt. Bei Letzteren lag der Fokus darin, den Einfluss einer um die Hochachse gedrehten Sitzposition zu bewerten. Neben einem 3-Punkt-Gurt mit Gurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer wurde der Dummy bei vier Versuchen mit einem 6-Punkt-Gurt gesichert. Im Vergleich zum 3-Punkt-Gurt hat der 6-Punkt-Gurt drei weitere Anbindungspunkte an die Karosserie. Der Gurt wird dabei an der linken und rechten Schulter, an der rechten und linken Hüfte und zwischen den Beinen geführt. Der sicherheitsrelevante Vorteil solcher Gurtsysteme ist, dass der Insasse besser an den Sitz und damit an die Fahrzeugverzögerung gebunden wird.



Eine stark zurückgelehnte Sitzhaltung bringt die Gefahr von Submarining mit sich. Aufgrund von hohen Beschleunigungen des Insassen nach vorne und/oder einer ungünstigen Geometrie kann der Beckengurt den Insassen nicht mehr an den sogenannten Beckenschaukeln zurückhalten und rutscht ins Abdomen. Als Folge dieses Effektes kommt es unter anderem zu schweren bis tödlichen Verletzungen im Bauchraum. [6] Solange der Insasse aufrecht sitzt, wird insbesondere der Oberkörper nach vorne beschleunigt und die Gefahr des Submarinings ist geringer. Indem die Sitzfläche nach vorne hin erhöht wird, kann Submarining verhindert werden. Aus diesem Grund integrieren viele Automobilhersteller bereits heute Rampen in der Sitzfläche. Renault verbaut sogar in einigen Modellen anstelle einer starren Rampe einen Airbag in der Sitzfläche [7]. Bei den Schlittenversuchen Nr. 1 bis 6 wurde deshalb eine Rampe in die Sitzfläche integriert. Um den Effekt einer Rampe mit dem eines Sitzairbags vergleichen zu können, wurde im Schlittenversuch Nr. 17 ein Sitzairbag montiert und zeitgleich mit dem Gurtstraffer gezündet.

Entsprechend der jeweiligen Lastrichtung wurden die verschiedenen Dummies eingesetzt: THOR für Frontcrash, World SID für Seitencrash und Hybrid III für Heckcrashes. Obwohl der BioRID vor allem im Nackenbereich auf einen heckseitigen Anstoß ausgelegt ist, wurde der Hybrid III für die rückwärtsgewandten Sitzkonfiguration ausgewählt, da dieser robuster gegenüber höheren Belastungen ist und die gewählten Sitzpositionen nicht im Einsatzbereich des BioRID liegen. Für die Versuche in zurückgelehnter Sitzhaltung stellte die Firma Humanetics dem ADAC den THOR-AV Dummy zur Verfügung. Dieser basiert auf dem THOR und wurde für automatisierte Fahrzeuge entwickelt. Durch entsprechende Justierung kann der THOR-AV bei einem Sitzlehnenwinkel zwischen  $25^\circ$  und  $65^\circ$  eingesetzt werden. Für die Schlittenversuche Nr. 1 bis 6 wurde ein Lehnenwinkel von  $45^\circ$  gewählt. Abbildung 3 beinhaltet einen Scan des THOR-AV Dummies in einer zurückgelehnten Sitzposition, wie er sie in den Schlittenversuchen Nr. 1 bis 6 eingenommen hat.



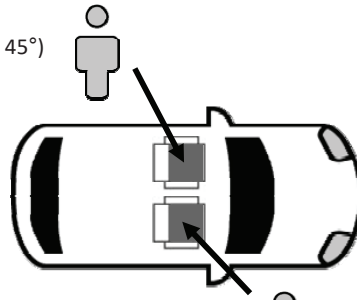
**Abbildung 3: Scan des THOR-AV Dummies in der Sitzposition der Schlittenversuche Nr. 1 bis 6**

Neben den Schlittenversuchen wurde auch ein Fahrzeugcrash durchgeführt, um den Einfluss von Fahrzeugstrukturen und Rückhaltesystemen bei einer liegenden Sitzposition zu untersuchen. Der prinzipielle Aufbau des Crashtests ist in Abbildung 4 dargestellt und entspricht einem der vier Euro NCAP Crashtests. Das Versuchsfahrzeug (Ford Mondeo, Baujahr: 2008) wird auf 64 km/h beschleunigt und kollidiert mit einer deformierbaren Barriere, welche sich zu 40 Prozent mit der Fahrzeugfront überdeckt. Der Ford Mondeo war auf der Fahrer- und Beifahrerseite mit 3-Punkt-Gurten (inkl. Gurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer) und Front- und Seitenairbags ausgestattet.



### THOR-AV

Liegende Position (ca. 45°)  
3-Punkt-Gurt

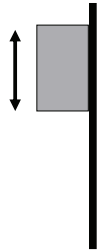


### H III 50% Male

Liegende Position  
Out-of-Position (FüÙe auf dem Armaturenbrett)  
3-Punkt-Gurt



40 % Überdeckung

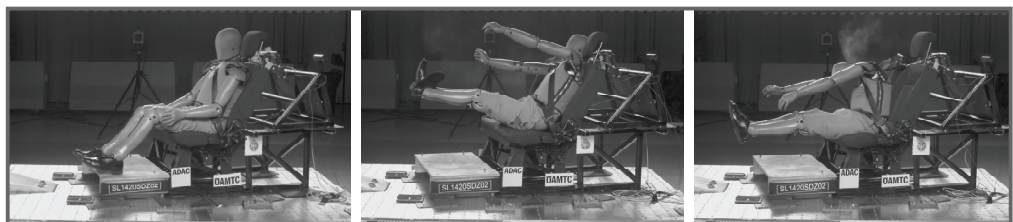


**Abbildung 4: Prinzipskizze des durchgeführten ODB (Offset-Deformable Barrier) Fahrzeugcrashtests**

Auf der Fahrerseite nahm der THOR-AV Dummy eine zurückgelehnte Sitzposition ein (ca. 45°), während der Hybrid III auf der Beifahrerseite eine liegende Position einnahm und die FüÙe auf dem Armaturenbrett ablegte. Diese Sitzhaltung des Beifahrers kann oft auf längeren Fahrten z.B. in den Urlaub beobachtet werden und wird als „Out-of-Position“ bezeichnet. Infolge einer frontalen Kollision wird der Frontairbag, welcher im Armaturenbrett verbaut ist, ausgelöst und kann aufgrund einer unpassenden Rückhaltung zu schweren bis tödlichen Verletzungen am Kopf, in der Wirbelsäule und/oder an den Beinen führen. [2]

## 3. Ergebnisse

Bei einer **leichten Drehung des Sitzes um +/- 15°** und einer **aufrechten Sitzposition** (vgl. Abbildung 5) konnten im Vergleich zur nach vorne gerichteten Sitzposition keine starken Veränderungen in Bezug auf die Insassenbelastung festgestellt werden. Hier wäre ein herkömmlicher 3-Punkt-Gurt mit einer entsprechenden Gurthanbindung ausreichend. Jedoch müsste die Gurthanbindung variabel gestaltet bzw. in den Sitz integriert werden, um den Insassen sowohl in einer nach vorne gerichteten als auch leicht gedrehten Sitzposition ausreichend sichern zu können. Neben dem Gurt müsste auch die Kopfstütze anders gestaltet werden, damit im Rebound eine Kollision mit Fahrzeugstrukturen (z.B. B-Säule) verhindert wird. Da sich bereits bei kleinen Drehungen der Bewegungsablauf in der Crashphase verändert, müssen Rückhaltesysteme und der Fahrzeuginnenraum angepasst werden. Bei höheren Geschwindigkeiten kann ein herkömmlicher Fahrzeugsitz den Belastungen nicht mehr standhalten. Nichtsdestotrotz tritt eine leicht gedrehte Sitzposition oder ein schräger Anprall bereits heute im Unfallgeschehen auf.

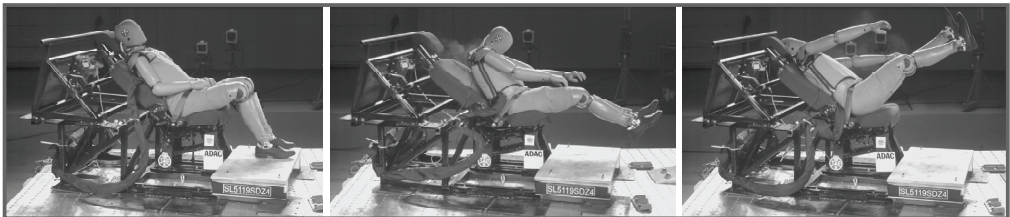


**Abbildung 5: Schlittenversuch Nr. 8 in einer leicht gedrehten (15°) Sitzposition**





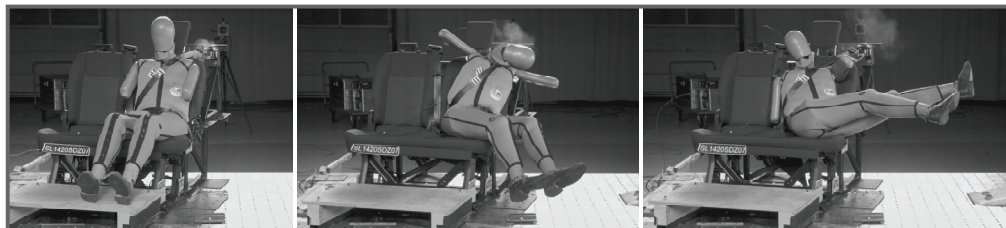
Bei einer **leichten Drehung um +/- 15°** und einer **liegenden Sitzposition** (vgl. Abbildung 6) verursacht der 3-Punkt-Gurt hohe Belastungen in der Brust, da sich der Oberkörper um den Gurt windet. Hierbei wurden die Grenzwerte der Euro NCAP Protokolle überschritten. In dieser konkreten Sitzposition könnte ein 6-Punkt-Gurt den Insassen besser zurückhalten. Es gilt jedoch zu berücksichtigen, dass ein 6-Punkt-Gurt in Verbindung mit einer liegenden Sitzposition gravierende Verletzungen in der Wirbelsäule verursachen kann. Die Belastungen in der unteren Wirbelsäule wurden durch eine Drehung um 15° noch verstärkt. Zudem zeigten die Versuche, dass die Gurtlose im Becken im Vergleich zum 3-Punkt-Gurt beim 6-Punkt-Gurt größer war. Es wäre daher zu empfehlen, auch den 6-Punkt-Gurt mit einem Gurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer auszustatten.



**Abbildung 6: Schlittenversuch Nr. 3 in einer leicht gedrehten (15°) und liegenden Sitzposition**

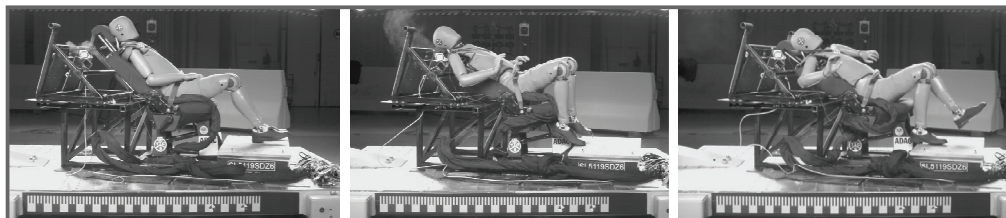
Ein Vergleich der beiden eingesetzten Gurtsysteme zeigt, dass weder der 3- noch der **6-Punkt-Gurt** den Insassen in allen untersuchten Sitzpositionen ausreichend sichern kann. Bei einer aufrechten Sitzposition in Verbindung mit einer 15°-Drehung waren die Messwerte beim 6-Punkt-Gurt im Brustbereich geringer, die Belastungen in der Wirbelsäule und im Nacken jedoch höher. Zudem sinkt der Komfort des Insassen durch einen 6-Punkt-Gurt rapide. Im Zusammenhang mit Submarining hätte der 6-Punkt-Gurt in einer aufrechten Sitzposition keinen positiven Einfluss, da dieser Effekt auch beim 3-Punkt-Gurt nicht auftrat. Bei einer liegenden Sitzstellung waren infolge des 6-Punkt-Gurtes die Messwerte in der Brust und an den Schultern/Schlüsselbein höher. Zudem sind die Belastungen in der Wirbelsäule (T4 und T12) als kritisch zu bewerten. Der 3-Punkt-Gurt schnitt dagegen sehr stark in den Hals ein (auch bei 0° Kollisionswinkel), was zu sehr schweren bis tödlichen Verletzungen führen kann. Da in einer liegenden Sitzposition aufgrund der Rampe, welche in die Sitzfläche integriert worden ist, kein Submarining auftritt, bringt der 6-Punkt-Gurt hier keinen Mehrwert mit sich.

Bei einer **seitlich zur Fahrtrichtung** orientierten Sitzposition (vgl. Abbildung 7) stellt der 3-Punkt-Gurt kein geeignetes Rückhaltesystem dar, da dieser sehr stark in den Hals einschneidet. Ein 6-Punkt-Gurt könnte in diesem Fall den Insassen besser schützen. Aufgrund der starken Auslenkung des Insassen ist eine Kollision mit Fahrzeugkomponenten und/oder weiteren Insassen sehr wahrscheinlich. Hier könnten Airbagsysteme direkt am Sitz (z.B. Centerairbag), seitliche Sitzwangen und eine „umschließende“ Kopfstütze die Bewegungsfreiheit des Insassen beim Unfall positiv einschränken. Inwieweit eine seitliche Sitzposition aufgrund des dafür benötigten Innenraums überhaupt umgesetzt werden kann, ist jedoch fraglich.



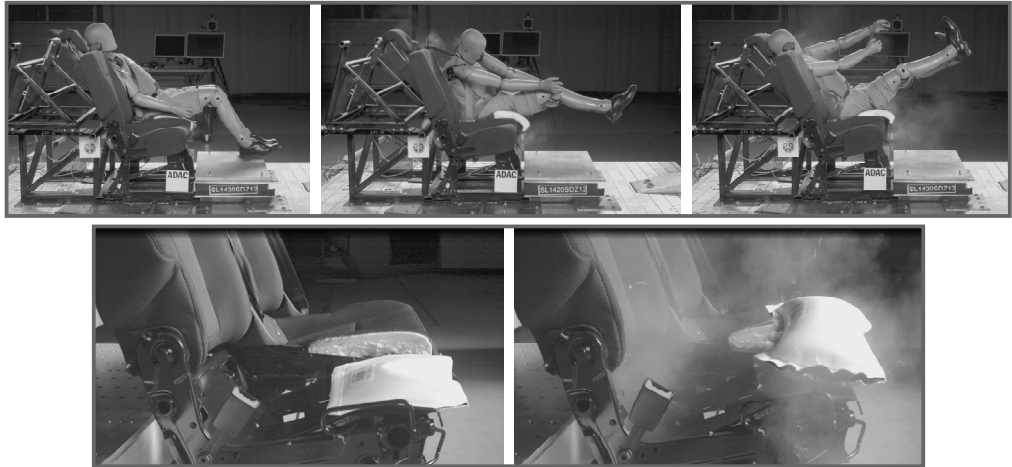
**Abbildung 7: Schlittenversuch Nr. 13 in einer Sitzposition seitlich (105°) zur Fahrtrichtung**

Die Schlittenversuche zeigten, dass für eine **aufrechte, rückwärtsgerichtete** Sitzposition ein 3-Punkt-Gurt (ohne Gurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer) ausreichend wäre. Jedoch müsste die Sitzkonstruktion stabiler sein, da die Rückenlehne bereits bei 30 km/h gebrochen ist. Umso steifer die Rückenlehne ist, desto höher sind die Belastungen auf die Wirbelsäule. Hier gilt es bei der Konstruktion der Sitze einen Kompromiss zu finden. Eine Drehung um 15° hatte bei dieser Sitzstellung keinen signifikant negativen Einfluss, solange eine Kollision mit Fahrzeugstrukturen verhindert wird. Bei den Versuchen in **liegender, rückwärtsgerichteter** Sitzposition konnte der Dummy mit dem eingesetzten 3-Punkt-Gurt vor allem im Becken nicht ausreichend gesichert werden (vgl. Abbildung 8). Um auch das starke Aufsteigen und eine mögliche Kollision mit dem Dach zu unterbinden, ist für diesen Lastfall der Einsatz eines 6-Punkt-Gurtes zu empfehlen. Auch in der liegenden Sitzposition brach die Rückenlehne und verstärkte dadurch den Effekt des Aufsteigens.



**Abbildung 8: Schlittenversuch Nr. 6 in einer rückwärtsgerichteten liegenden Sitzposition**

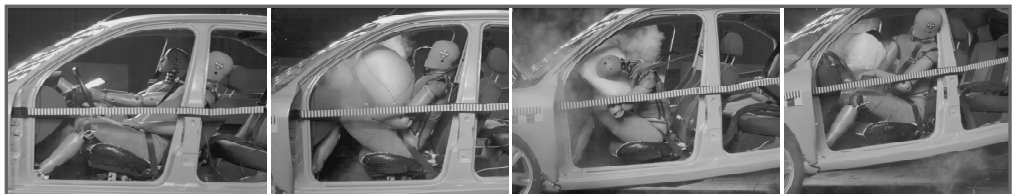
Um Submarining zu verhindern, wurde ein **Sitzflächenairbag** (vgl. Abbildung 9), sowie eine **Rampe** in der Sitzfläche in Verbindung mit einem **6-Punkt-Gurt** in den Versuchen eingesetzt. Aufgrund dieser Maßnahmen trat sowohl in aufrechter als auch in liegender Sitzposition kein Durchrutschen des Beckens auf. Da das Becken durch die Erhöhung der Sitzfläche besser fixiert wird, stiegen die Messwerte in der Wirbelsäule rapide an. Daher gilt es einen Kompromiss zwischen der Vermeidung des Submarinings und akzeptablen Kräften entlang der Wirbelsäule in Z-Richtung zu finden. Eine Möglichkeit wäre, die Sitzkonstruktion in Z-Richtung mit dämpfenden Elementen zu versehen, welche die Wirbelsäule beim Unfall entlasten. Ein Vergleich der Schlittenversuche zeigte, dass die Messwerte im Bereich der Wirbelsäule bei dem Einsatz eines Sitzairbags am geringsten waren. Bei der Verwendung eines 6-Punkt-Gurtes und einer Rampe in der Sitzfläche waren die Kräfte in Z-Richtung aufgrund der starken Fixierung des Beckens am höchsten.



**Abbildung 9: Schlittenversuch Nr. 17 mit Sitzairbag und zurückgelehnter Sitzposition**

Durch eine Erhöhung der Testgeschwindigkeit auf **50 km/h** waren die Messwerte nicht signifikant höher bzw. schlechter. Die Sitzkonstruktion müsste jedoch entsprechend den höheren Belastungen stabiler ausgelegt werden. Ein 3-Punkt-Gurt wäre für die untersuchte Sitzstellung ausreichend. Aufgrund der erhöhten Geschwindigkeit wurden die Extremitäten sehr stark ausgelenkt, was zu Verletzungen durch Kollisionen mit Fahrzeugstrukturen führen würde.

Anhand des durchgeführten **Fahrzeugcrashes** konnten die Auswirkungen einer **liegenden Sitzposition** im Kontext von herkömmlichen Rückhaltesystemen und Fahrzeugstrukturen untersucht werden (vgl. Abbildung 10). Der 3-Punkt-Gurt konnte aufgrund seines nicht für die Sitzhaltung geeigneten Anbindungspunktes den Dummy nicht ausreichend sichern. Hier empfiehlt es sich, den Gurt in den Sitz zu integrieren und die Gurtstraffung frühzeitig auszulösen, um den Beschleunigungsweg des Oberkörpers so gering wie möglich zu gestalten. Infolge der liegenden Sitzpositionen benötigten der Oberkörper und Kopf länger bis sie auf den Airbag trafen, wodurch die zeitliche Abstimmung der Rückhaltesysteme nicht optimal war und der Dummy mit dem Kopf auf das Lenkrad/Armaturenbrett prallte. Daraufhin verdrehte sich der Kopf/Oberkörper und kollidierte im Rebound mit der B-Säule. Zudem konnten der Sitz und das Bodenblech den Belastungen nicht standhalten.



**Abbildung 10: Crashphase des Fahrers in liegender Sitzposition beim ODB Fahrzeugcrash**

Bedingt durch die „**Out-of-Position**“ Sitzhaltung (vgl. Abbildung 11) wurde beim Beifahrer eine hohe Nacken-/Brustbelastung und ein hohes Biegemoment in der Lendenwirbelsäule gemessen. Zudem würde der Aufprall des Kopfes auf das Schienbein/Knie zu schwersten Kopfverletzungen führen. Der im Fahrzeug



verbaute 3-Punkt-Gurt ist für diesen Lastfall nicht als Rückhaltesystem geeignet, da dieser bei einem menschlichen Körper nicht an den Beckenschaufeln gehalten werden würde und so zu Verletzungen im Abdomen führen würde. Zudem bietet der Frontairbag infolge der hochgelagerten Füße keinerlei Schutzwirkung, sondern erhöht die Verletzungswahrscheinlichkeit.



**Abbildung 11: Crashphase des Beifahrers in Out-of-Position beim ODB Fahrzeugcrash**

## 4. Fazit und Ausblick

Um neuartige bzw. mehrere Sitzpositionen gleichzeitig zu ermöglichen, müssen neue Konzepte für Sitze, einschließlich Airbags und Gurte, entwickelt werden. Um den Insassen in allen Sitzkonfigurationen ausreichend sichern zu können, müssen die Gurte in den Sitz integriert werden und auch deren Ausführung wird nicht mehr die klassische 3-Punkt-Variante sein. Zudem gilt es darauf zu achten, dass die Rückhaltesysteme alle Insassen (klein, groß, dick, dünn) gleichermaßen schützen. Der Fahrzeuginnenraum und die Fahrzeugstrukturen (A-, B-Säule, Armaturenbrett) gilt es so zu gestalten, dass eine Kollision der Insassen mit diesen trotz veränderter Bewegungsabläufe während der Crashphase verhindert wird.

Durch die Variation der Sitzposition verändern sich die über Jahrzehnte weiterentwickelten und erprobten Gurt-, Airbagsysteme und Innenraumkonzepte. Im Zuge des automatisierten Fahrens muss deshalb auch der Verbraucherschutz weiterentwickelt werden, um auch in Zukunft die Insassensicherheit überprüfen, bewerten und gewährleisten zu können.

## Literatur

- [1] ADAC e.V. (2012) *Unfall ohne Gurt – Crashtest mit 64 km/h. Fahrer und Beifahrer unangeschnallt*. Verfügbar unter [https://www.adac.de/infotestrat/tests/crash-test/ohne\\_gurt/default.aspx](https://www.adac.de/infotestrat/tests/crash-test/ohne_gurt/default.aspx)
- [2] ADAC e.V. (2013) *Ladungssicherung bei Urlaubsfahrten*. Verfügbar unter <https://www.adac.de/infotestrat/tests/crash-test/leichtsinn/default.aspx>
- [3] Rinspeed AG (2014). *Bereich Concept-Cars: XCHANGE*. Verfügbar unter [https://www.rinspeed.eu/de/XchangE\\_24\\_concept-car.html#l1](https://www.rinspeed.eu/de/XchangE_24_concept-car.html#l1), 2019-12-11
- [4] BMW Group (2020). *ZeroG Lounger. Liegende Sitzposition für den Beifahrer*, CES, Las Vegas. Verfügbar unter <https://www.auto-motor-und-sport.de/neuheiten/bmw-zero-g-lounger-sitz/>
- [5] Östling, M.; Larsson, A. (2019). *Occupant activities and sitting positions in automated vehicles in China and Sweden*, ESV 2019, Eindhoven. Verfügbar unter <https://www-esv.nhtsa.dot.gov/Proceedings/26/26ESV-000083.pdf>



- 
- [6] Unger, M., Cebeci, Ö. (2017). *Neue Sitzpositionen im automatischen Fahrmodus* – Eine Herausforderung für die Bewertung von Submarining, 11. VDI Tagung Fahrzeugsicherheit.
  - [7] Spiegel Mobilität (2002). *Renault-Entwicklung: Airbag für den Allerwertesten*. Verfügbar unter <https://www.spiegel.de/auto/werkstatt/renault-entwicklung-airbag-fuer-den-allerwertesten-a-211065.html>





## Re-Evaluation von Einsatztaktiken der Rettungsdienste und Feuerwehren an real deformierten batterieelektrischen Fahrzeugen (BEV)

Markus Egelhaaf und Peter Rucker

DEKRA Automobil GmbH, Unfallforschung

Dr. med. Tim Heyne

Georg-August-Universität Göttingen, Universitätsmedizin Göttingen, Zentrum für Anästhesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin

### 1. Abstract

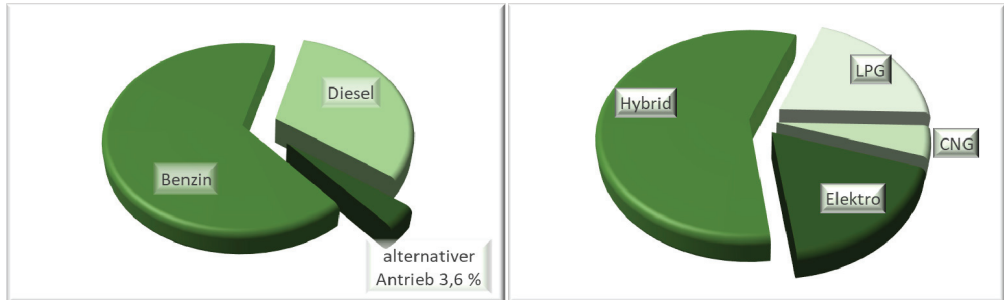
Feuerwehren stehen vor der Herausforderung, mit der Entwicklungsgeschwindigkeit der Automobilindustrie Schritt zu halten, um nach Verkehrsunfällen oder bei Fahrzeugbränden schnell und effektiv Hilfe leisten zu können. Immer festere Karosseriestrukturen, neue Materialien und eine zunehmende Zahl an im Fahrzeug verbauten Airbags sind hier seit längerem wichtige Themen. Durch die stark an Bedeutung gewinnende Elektrifizierung des Antriebsstrangs und die damit einhergehenden Veränderungen bei Energieträgern, Speichermedien und im Betankungsprozess kommen neue Herausforderungen hinzu. Um die Übertragbarkeit etablierter Einsatztaktiken in der Unfallrettung sowie Brandbekämpfung zu überprüfen sowie zur Unterstützung eines daraus resultierenden möglichen zusätzlichen Schulungsbedarfs der Einsatzkräfte beizutragen, haben das Zentrum für Anästhesiologie, Rettungs- und Intensivmedizin der Universitätsmedizin Göttingen und die DEKRA Unfallforschung bereits 2012 ein Forschungsprojekt ins Leben gerufen. Neben der wissenschaftlichen Evaluation unterschiedlicher Rettungstechniken wurde der Fokus zuletzt auf Einsätze an Elektrofahrzeugen gelegt. Unter anderem wurden vier Elektrofahrzeuge realitätsnah, aber weit oberhalb der in Teststandards definierten Anforderungen Crashtests unterzogen. Anschließend wurden an den Fahrzeugen Rettungs-, Brand- und Löschversuche unternommen. Die gewonnenen Erkenntnisse flossen unter anderem auch in ein Informationsschreiben für Feuerwehren ein, welches in einer interdisziplinär besetzten Expertengruppe erarbeitet wurde.

### 2. Ausgangslage

Die Zahlen neu zugelassener Elektro- und Hybridfahrzeuge unterliegen in vielen Ländern der Welt seit einigen Jahren enormen Zuwachsraten. Der Bedarf an einer ökologisch nachhaltigen Mobilität und der technische Fortschritt, insbesondere bei der Speicherung elektrischer Energie und deren effizienten Nutzung, sind Grundlage für diesen schnellen Prozess. Trotz der rasant steigenden Zahlen spielen die Elektro- und Hybridfahrzeuge aktuell in den meisten Ländern eine untergeordnete Rolle. Laut den Daten des Kraftfahrt-Bundesamts betrug der Anteil der Pkw mit (teilweise) alternativen Kraftstoffen am 1. Januar 2021 rund 3,6 % des Gesamt-Pkw-Bestands (Vorjahr 2,4 %). Darin enthalten waren 309.083 batterieelektrische

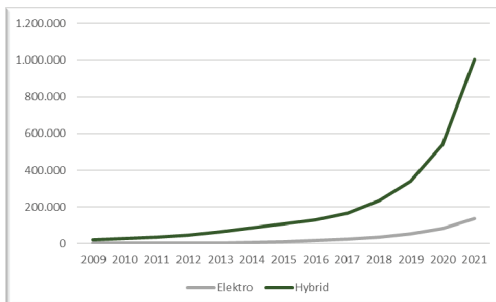


Fahrzeuge und 1.004.089 Hybridfahrzeuge, was in Summe 2,7 % des Gesamtbestands an Pkw entspricht, Abbildung 1 [1]<sup>1</sup>.



**Abbildung 1: Aufteilung des Pkw-Bestands in Deutschland am 1. Januar 2021 nach primärer Kraftstoffart bzw. Antriebskonzept und Verteilung der alternativen Kraftstoffe [1].**

Die zeitliche Entwicklung der Zuwachsraten macht aber deutlich, dass hier ein schneller Wandel bei den Bestandszahlen zu erwarten ist, Abbildung 2<sup>2</sup>. Dies wird besonders bei Betrachtung der Neuzulassungen deutlich. So wurden im April 2021 insgesamt 23.816 Elektro-Pkw und 64.094 Hybridfahrzeuge neu zugelassen, was einem gemeinsamen Anteil von 38,3 % entspricht [3]<sup>3</sup>. Nachfolgend werden batterieelektrische und Elektro-Hybridfahrzeuge als Elektrofahrzeuge bezeichnet.



**Abbildung 2: Entwicklung des Bestands an Elektro- und Hybridfahrzeugen**

Die geringen Bestandszahlen von Elektrofahrzeugen lassen aktuell noch keine fundierten Statistiken dahingehend zu, wie sich die Häufigkeit und das Verletzungsmuster bei besonders schweren Unfällen mit Elektrofahrzeugen gegenüber dem konventionell angetriebener verhält. Fallanalysen der AXA-Versicherung für die Schweiz und dreier dänischer Versicherungsgesellschaften für Dänemark weisen für das Gesamtunfallgeschehen darauf hin, dass das Gesamtrisiko eines Unfalls unverändert bleibt, dass es aber zu veränderten Schadenbildern und Verschiebungen innerhalb der Fahrzeugklassen kommt. [4][5]<sup>45</sup>

<sup>1</sup> Kraftfahrt-Bundesamt, Merkmale 2021

<sup>2</sup> Kraftfahrt-Bundesamt, Bestand 2021

<sup>3</sup> Kraftfahrt-Bundesamt, Nr.19/2021

<sup>4</sup> Ehrensperger 2019

<sup>5</sup> Pressform.info 2020





Die rasanten Fortschritte im Bereich der Stromspeichertechnologie, insbesondere auf Grundlage der Lithium-Ionen-Technologie, führen bei vielen Einsatzkräften der Feuerwehren zu Bedenken und zur Verunsicherung. Neben den elektrischen Gefahren sind es insbesondere das Brandverhalten von Li-Ion-Zellen und die vermeintlichen Probleme bei der Brandbekämpfung, wie bei der Recherche in einschlägigen Internetforen oder aus der Erfahrung aus Führungskräftefortbildungen deutlich wird.

Im Rahmen des vorgestellten Forschungsprojektes wurden daher mittels vierer Crashtests, mehrerer Versuche zur Insassenrettung sowie unterschiedlicher Löschversuche Informationen gesammelt, die zusammen mit Erfahrungen aus der Unfallforschung, der Notfallmedizin sowie aus der Einsatzpraxis von Feuerwehren Basis für eine erstellte Handlungshilfe für Einsatzkräfte waren.

### **3. Basisprojekte**

#### **3.1. Insassenrettung**

Hochfeste Karosseriestrukturen, neue Materialien und eine zunehmende Zahl an im Fahrzeug verbauten Rückhaltesystemen sind zu Herausforderungen in der Unfallrettung geworden, sodass Feuerwehren mit Anpassungen bei Ausrüstung und Ausbildung nachsteuern mussten, um nach Verkehrsunfällen weiter schnell und effektiv Hilfe leisten zu können. Durch die zunehmende Zahl an Elektrofahrzeugen und die damit einhergehenden Veränderungen bei Energieträgern, Speichermedien und im Betankungsprozess kommen neue Herausforderungen bei der Rettung aber auch der Brandbekämpfung hinzu. Praxisnahe Übungen gestalten sich zumeist schwierig, da in der Regel nur undeformierte Altfahrzeuge zur Verfügung stehen. Das Trennen hochfester Fahrzeugstrukturen, das Erkennen einsatzrelevanter Bauteile wie solche von Rückhaltesystemen oder Hochvolt-Komponenten und auch die eigentliche Insassenbefreiung durch Rückverformung der deformierten Baugruppen kann so nicht richtig geübt werden. Hinzu kommt, dass das steigende Sicherheitsniveau der Fahrzeuge dazu führt, dass immer seltener Personen eingeklemmt werden, also auch die Einsatzpraxis bei sehr vielen Feuerwehren rückläufig ist.

Aufbauend auf eigenen Forschungsprojekten starteten das Zentrum für Anästhesiologie der Universitätsmedizin Göttingen und die DEKRA Unfallforschung 2012 ein gemeinsames Projekt, in dessen Rahmen gängige Rettungsmethoden wissenschaftlich auf Zeit-, Personal- und Materialbedarf, den Einfluss auf die Patienten sowie Optimierungspotenziale hin untersucht wurden. Dazu wurden rund 30 Pkw oberhalbgängiger Crashtest-Standards, aber innerhalb überlebbarer Grenzen, gecrasht (Abbildung 3) und anschließend für die Überprüfung derzeit weltweit etablierter Rettungstaktiken verwendet (Abbildung 4).



Abbildung 3: Versuchsfahrzeuge mit fahrerseitigem Anprall, 60 % Überdeckung, 84 km/h, nicht deformierbare Barriere



Abbildung 4: Rettungsversuche mit unterschiedlichen in Europa gängigen Methoden

### 3.2. Brandbekämpfung an Hochvolt Li-Ion-Fahrzeugsbatterien

Um Fragestellungen zu den Themen des Brandverhaltens von Li-Ion-Fahrzeugsbatterien und den Möglichkeiten der Brandbekämpfung beantworten zu können, führte die DEKRA Unfallforschung gemeinsam mit Mercedes-Benz und der Deutschen Accumotive bereits 2012 Brand- und Löschversuche durch [6]<sup>6</sup>.



Abbildung 5: Brand- und Löschversuche mit Li-Ion-Antriegsbatterien

<sup>6</sup> SAE 2013-01.0213



## 4. Elektrofahrzeug-Projekt

Die Erkenntnisse aus beiden Projekten wurden gebündelt, um in einer Versuchsreihe mit vier batterieelektrischen Fahrzeugen Erkenntnisse für den Feuerwehreinsatz generieren zu können. Auf Basis einer Analyse der DEKRA Unfalldatenbank und der GIDAS Datenbank wurden realistische und für Elektrofahrzeuge als besonders kritisch einzustufende Anprallszenarien definiert.

### 4.1. Crashtests

Für die Versuchsreihe wurden vier gebrauchte Elektrofahrzeuge gekauft. Für die ersten beiden Versuche fiel die Wahl aufgrund der hohen Zulassungszahlen in Europa auf den Renault Zoe und den Nissan Leaf. Der Renault Zoe repräsentiert dabei eines der in Deutschland meistverkauften Elektrofahrzeuge, der Nissan Leaf ein im internationalen Markt stark vertretenes Fahrzeug. Für den dritten und vierten Test wurden zwei weitere Nissan Leaf beschafft. Als besonders kritisch für die Batterie sowie die HV-Komponenten wurden in der vorgelagerten Analyse Unfälle mit Baumanprall eingestuft, woraus Pfahlanprallversuche abgeleitet wurden. Der Ladezustand (State of Charge SOC) lag bei allen Batterien bei 100 %. Die Anprallkonstellationen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgeführt.

Fahrzeug	Kollisionsgeschwindigkeit	Anprallwinkel
Renault Zoe	60 km/h	90°
Nissan Leaf	60 km/h	90°
Nissan Leaf	75 km/h	90°
Nissan Leaf	84 km/h	0°

Bei keinem der vier Tests kam es zu einem Brand. In allen Fällen wurde das HV-System automatisch abgeschaltet, die Spannung lag 5 Sekunden nach Crashererkennung vorschriftsgemäß in den überwachten HV-Komponenten außerhalb der Batterie bei unter 60 V Gleichspannung. Bei den seitlichen Anpralltests blieb das 12 V Bordnetz aktiv, Teile der Beleuchtung, Hupe und Infotainmentsystem funktionierten. Wären die Fahrzeuge mit einem e-Call-System ausgerüstet gewesen, hätte dieses einen Notruf absetzen können. Beim Frontanprall wurde die 12 V Bordbatterie kollisionsbedingt zerstört, das 12-V-Netz stand entsprechend nicht mehr zur Verfügung.

Die Fahrzeugdeformationen entsprachen denen, die aus vergleichbaren Crashtests sowie dem Unfallgeschehen bei diesen Geschwindigkeiten bekannt sind. Es gab keine Hinweise darauf, dass die Fahrzeuge ein deutlich verändertes Deformationsverhalten gegenüber konventionell angetriebenen zeigen, Abbildung 7.



**Abbildung 6: Post-Crash-Zustand des Renault Zoe und Nissan Leaf nach einem 90°-Pfahlanprall mit 60 km/h**



**Abbildung 7: 90°-Pfahlanprall mit 75 km/h und Frontalanprall mit 84 km/h**

Beim Renault Zoe wurde das gesamte Batteriegehäuse entgegen der Anprallrichtung verschoben. Es waren nur geringe äußere Deformationen erkennbar. Im Inneren wurden dennoch mehrere Module beschädigt, bei einzelnen Zellen kam es zum Austritt von Elektrolyt. Bei den beiden seitlich angeprallten Nissan Leaf wurden das Batteriegehäuse eingedrückt und Module im Inneren beschädigt. Beim Frontalanprall wurden die HV-Komponenten im Motorraum stark beschädigt. Das Batteriegehäuse blieb äußerlich unbeschädigt, lediglich die Anschlussbuchse wurde zerstört, Abbildung 8.



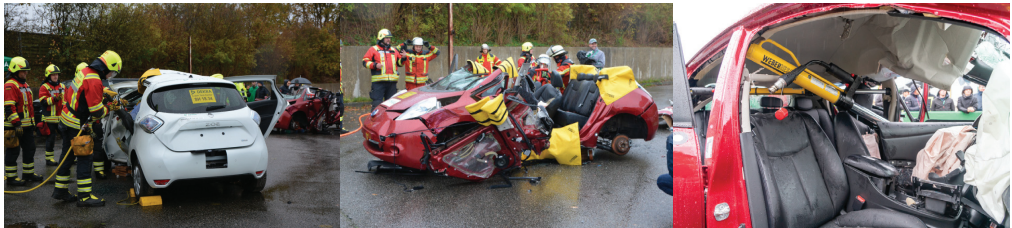
**Abbildung 8: Deformation des Motorraums (84 km/h) und der Batterie (75 km/h)**

## 4.2. Rettungsversuche



Nach den Crashes wurden an allen Fahrzeugen Versuche zur Überprüfung von etablierten Standard-Einsatztaktiken zur Insassenrettung durchgeführt. Verwendet wurden Standardrettungsgeräte, wie sie auf einem deutschen Hilfeleistungs-Löschfahrzeug mitgeführt werden. Bedient wurden diese von Mitgliedern des Weber-Rescue Ausbildungsteams. Dabei zeigte sich, dass auch bei diesen Elektrofahrzeugen so vorgegangen werden kann, wie bei konventionell angetriebenen Pkw. Es galt lediglich zu beachten, dass der Einsatz von hydraulischen Rettungsgeräten mit Nutzung des Fahrzeugbodenbereiches als Gegenlager für Spreiz- und Drückarbeiten, z. B. zum Anheben eines deformierten Armaturenbrettes, Beschädigungen des Batteriegehäuses mit potentiellen Folgen für das HV-System zur Folge haben kann. Die Rettungsdatenblätter der Fahrzeuge stellten dabei eine wertvolle Hilfestellung dar, Abbildung 9.

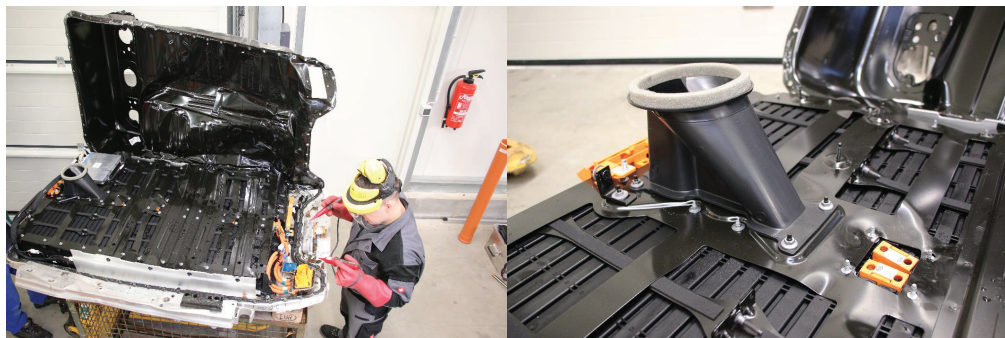
Bei einem gezielten Missuse-Test gelang es, den hydraulischen Spreizer im Beifahrerfußraum so anzusetzen, dass die untere Spitze durch den Boden ins Batteriegehäuse eindrang. Daraus resultierte eine Entzündung in der Batterie. Ein Löschen war mittels Abgabe von Löschwasser durch die geschaffene Öffnung möglich.



**Abbildung 9: Anwendung verschiedener Rettungs- und Befreiungsmethoden an den Crashfahrzeugen**

### 4.3. Brand- und Löschversuche

Kommt es zum Brand einer Li-Ion-Zelle im Inneren des Batteriegehäuses, ist durch dessen kapselnde Wirkung eine direkte Kühlung der benachbarten Zellen und damit ein Verhindern deren Entzündung nicht möglich. Nach derzeitigen Empfehlungen der Fahrzeughersteller muss vielmehr versucht werden, den erforderlichen Kühleffekt durch massive Beaufschlagung des Gehäuses mit Wasser zu erzielen. Lediglich Renault bietet bei seinen Fahrzeugen mit dem „Fireman Access“ eine herstellerseitig vorgesehene Lösung zum direkten Fluten des Batteriegehäuses zum effektiven Löschen eines Brandes im Batteriesystem, Abbildung 10.



**Abbildung 10: Geöffnete Batterie des Renault Zoe und Detail des Fireman Access**

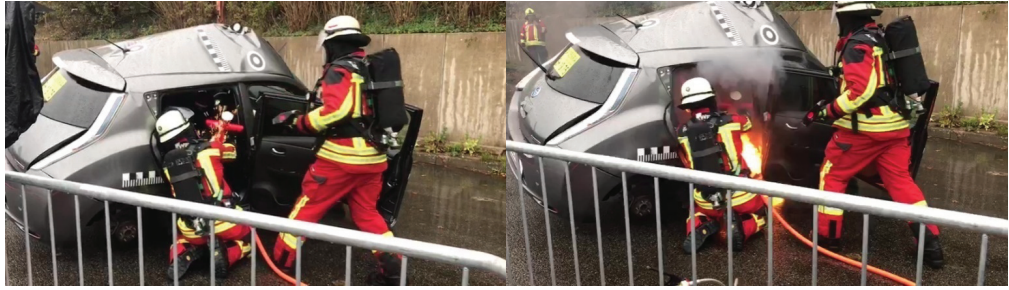
#### **4.3.1 Getestete Konzepte**

Zwischenzeitlich bietet der Markt verschiedene Lösungsansätze zur Brandbekämpfung brennender Elektrofahrzeuge. Mehrere Hersteller machen sich dabei das Prinzip der Gehäuseflutung zu nutze. Durch Einschlagen mit einem Hammer oder die Kombination aus Hochdruck-Wasserstrahl und zugesetztem Abrasiv wird eine Öffnung in das Batteriegehäuse getrieben, durch die mittels des die Öffnung schaffenden Werkzeugs Wasser in das Gehäuse eingebracht wird. Versuche wurden mit einer speziell für Elektrofahrzeuge entwickelten Löschlance (Abbildung 11) und einem weiteren manuell einzuschlagenden Gerät durchgeführt. Als Löschmittel wurden Löschwasser, CO<sub>2</sub> und Wasser mit Additiv verwendet. Zu Testzwecken wurden Versuche auch an nicht brennenden Batterien sowie ohne Wasserbeaufschlagung während des Eintreibens durchgeführt, was keinem regulären Anwendungsfall entspricht, aber die Gefahr eines Kurzschlusses im unbeschädigten Batteriesystem abprüfen sollte.



**Abbildung 11: Verwendete Löschlance**

Bei den Versuchen zeigte sich, dass die beengten Verhältnisse direkt am Fahrzeug dazu führen, dass die beiden Einsatzkräfte beim Einschlagen der Werkzeuge eng zusammenstehen. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass beim Abrutschen des verwendeten Vorschlaghammers die Hände der anderen Einsatzkraft getroffen werden. Durch die leitenden Spitzen der Werkzeuge können zudem im Inneren des Batteriegehäuses massive Kurzschlüsse generiert werden, wodurch Stichflammen durch das Einschlagloch in Richtung der Einsatzkräfte entstehen können, Abbildung 12 und Abbildung 13.



**Abbildung 12:** Der die Lanze haltenden Einsatzkraft entgegengeschleuderte Funken und anschließende kurzzeitige Notwendigkeit zum Halten der Lanze unmittelbar an der brennenden Batterie.



**Abbildung 13:** Eingeschlagene Lanze ohne Kurzschlussfolge und Lanzenspitze nach mehreren Versuchen

### **4.3.2 Elektrische Gefährdung**

Bei allen Versuchen wurden Messungen hinsichtlich des elektrischen Potentials durchgeführt. Da die Geräte aus leitfähigem Material bestehen, können sie entweder zu einem Kurzschluss innerhalb des Batteriegehäuses führen, so sie Kontakt zu beiden Polen haben oder bei einem singulären Kontakt das Potential dieses Pols annehmen. Zu einer elektrischen Gefährdung kann es dann nur im unwahrscheinlichen, aber nicht gänzlich unmöglichen Fall kommen, wenn die Karosserie oder Teile davon das Potential des anderen Pols aufweisen und die Einsatzkraft einen leitenden Teil des Werkzeugs und die Karosserie berührt. Bei keinem der durchgeführten Versuche konnte eine gefährliche Potentialdifferenz zwischen Löschgerät und im Umgebungsbereich befindlichen Karosserieteilen gemessen werden.

### **4.3.3 Einfluss des Löschmittels**

Der Einsatz von geringen Mengen an Löschwasser direkt im Batteriesystem war wirkungsvoll. Durch die Beimischung von Mehrbereichsschaummittel als Netzmittel konnte ein schnellerer Löscherfolg erzielt werden. Durch die Verwendung von CO<sub>2</sub> konnten die Reaktionsgeschwindigkeit verlangsamt und ein kurzfristiger Löscherfolg erzielt werden, ein vollständiges Löschen des Brandes war aber nicht möglich. In einem Versuch kam mit F-500 EA ein speziell für die Brandbekämpfung von Li-Ion-Bränden beworbenes Löschmittel zur Anwendung. Auch hier zeigte sich ein sehr geringer Löschmittelbedarf, Abbildung 14.



**Abbildung 14: Einsatz von CO<sub>2</sub> in Kombination mit einem kleinen Einschlaginstrument und Vorbereitung eines Löschversuchs mit F-500 EA**

## 5. Resultierende Informationen für Feuerwehren

Die Tests wurden unter Anwesenheit von Vertretern zahlreicher Landesfeuerweherschulen, von Berufsfeuerwehren, der Automobilindustrie und der zuständigen Unfallkassen durchgeführt. Um die gewonnenen Erkenntnisse praxistauglich an möglichst viele Einsatzkräfte vermitteln zu können, wurde vereinbart, ein gemeinsames Empfehlungspaper mit für den Einsatz an Elektrofahrzeugen relevanten Informationen zu erstellen und kostenlos bereit zu stellen.

Die in deutscher und englischer Sprache erschienenen Informationen werden über die Seiten des Sachgebiets Feuerwehren und Hilfeleistungsorganisationen der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung DGUV zur Verfügung gestellt [7]<sup>7</sup>.

Die Publikation beschreibt das Brandverhalten von Li-Ion-Batterien und wie Elektrofahrzeuge bei der Erkundung als solche erkannt werden können. Es wird auf die allgemeinen Gefahren bei der Fahrzeugbrandbekämpfung und die bei Elektrofahrzeugen im speziellen eingegangen. Es werden Hinweise gegeben, woran zu erkennen ist, dass die Batterie vom Brandgeschehen betroffen ist und wie darauf reagiert werden kann. Ebenfalls werden Informationen zur Einsatzstellenhygiene und zur Vorbereitung der anschließenden Bergung gegeben.

Aktuell bleibt das Herunterkühlen des Batteriegehäuses mit dem gezielten Einsatz von Strahlrohren das Mittel der Wahl. Aber auch die Möglichkeiten des kontrollierten Abbrennen lassens, der Nutzung von herstellereitig verbauten Zugangspunkten oder das Versenken des Fahrzeugs bis zur Oberkante der Batterie z. B. in einem mit Wasser gefüllten Container werden beschrieben.

Es wird darauf hingewiesen, dass ein Versenken des Fahrzeugs bis zur Oberkante der Batterie nur in gut begründeten Ausnahmefällen empfohlen wird. Von der Verwendung handgeführter Piercing-Tools wird aktuell trotz der positiven Versuchsergebnisse abgeraten, da zum aktuellen Zeitpunkt noch abschließende Untersuchungen fehlen, welche eine Gefahr durch den elektrischen Strom für die Einsatzkräfte sowie Nebeneffekte beim Einsatz sicher ausschließen.

<sup>7</sup> DGUV FBFHB-024 2020





## 6. Ausblick

Die durchgeführten Versuche haben gezeigt, dass das Sicherheitsniveau aktueller Serien-Elektrofahrzeuge sehr hoch ist und dass auch massive mechanische Beschädigungen der Batterien nicht zwangsläufig zum Brand führen. Auch bei der Rettung eingeklemmter oder eingeschlossener Insassen bedarf es keines kompletten Umdenkens. Die aktuellen Gerätschaften in Kombination mit den etablierten Taktiken sind ausreichend, um auch an verunfallten Elektrofahrzeugen sicher und zielführend arbeiten zu können.

Die größten Herausforderungen derzeit entstehen bei der Brandbekämpfung. Immer weiter verbreitete thermische Isolationen in den Batteriegewächsen und eine zunehmende Leistungs- und Packungsdichte erschweren so z. B. eine effektive Zellkühlung von außen. Die Ausweitung der Elektromobilität auf den Nutzfahrzeugsektor lässt Notfalllösungen wie das Versenken in mit Wasser gefüllten Containern oder das Ausbrennen lassen kaum noch zu.

Der Hersteller der Löschanze nutzte die Erkenntnisse aus den Versuchen, um sein Produkt weiterzuentwickeln und so die Sicherheit bei der Anwendung zu erhöhen. Andere Ansätze und Ideen werden von anderen Herstellern verfolgt. Wichtig dabei ist, dass die Lösung universell und ohne großen Schulungsaufwand einsetzbar ist und auch in Bezug auf Preis und Handling flächendeckend zur Verfügung stehen kann.

Weitere Versuchsreihen sind ebenso erforderlich wie die Fortsetzung des interdisziplinären und offenen Austauschs zwischen allen Beteiligten, bei dem nicht nur Verständnis für die Probleme des anderen geschaffen wird, sondern aktiv Lösungen gefunden werden. Dabei gilt es, mit der rasanten Entwicklung im Bereich der Elektromobilität Schritt zu halten.

Hilfreich wäre im Hinblick auf die steigenden Zulassungszahlen von Elektrofahrzeugen, die Ausweitung der Elektromobilität auf den Nutzfahrzeugsektor und mittelfristig deutliche Verschiebungen im Fahrzeugbestand hin zu Elektrofahrzeugen eine möglichst einheitliche herstellerseitige Lösung. Diese muss eine schnelle Brandbekämpfung mit geringen Löschwassermengen ermöglichen, ohne dass dafür teure, in der Bedienung komplexe oder große Spezialgeräte erforderlich sind. Das Einbringen von Löschmittel direkt in das betroffene Batteriegehäuse hat sich in den Versuchen bewährt.

## 7. Quellen

- [1] Kraftfahrt-Bundesamt: Personenkraftwagen am 1. Januar 2021 nach ausgewählten Merkmalen; [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/fz\\_b\\_jahresbilanz\\_archiv/2021/2021\\_b\\_barometer.html?nn=2598042](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Jahresbilanz/fz_b_jahresbilanz_archiv/2021/2021_b_barometer.html?nn=2598042)
- [2] Kraftfahrt-Bundesamt: Bestandszahlen; [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/fahrzeuge\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/fahrzeuge_node.html)
- [3] Kraftfahrt-Bundesamt: Pressemitteilung Nr. 19/2021 - Fahrzeugzulassungen im April 2021
- [4] Ehrensperger, A., "E-Crash - Verkehr unter Strom," 2019, <https://www.axa.ch/de/privatkunden/blog/unterwegs/sicherheit-auf-der-strasse/crashtest-elektro-auto.html>



- 
- [5] Auto Motor Sport, "E-Autos verursachen mehr Unfälle," <https://pressfrom.info/us/news/science-and-technology/-412015-electric-cars-cause-more-accidents-accidentstatistics.html>
- [6] Egelhaaf, M., Kress, D., Wolpert, D., Lange, T. et al., "Fire Fighting of Li-Ion Traction Batteries," *SAE Int. J. Alt. Power.* 2(1):37-48, 2013, <https://doi.org/10.4271/2013-01-0213>.
- [7] DGUV FBFB-024 „Hinweise für die Brandbekämpfung von Lithium-Ionen-Akkus bei Fahrzeugbränden“; <https://publikationen.dguv.de/regelwerk/publikationen-nach-fachbereich/feuerwehren-hilfeleistungen-brandschutz/feuerwehren-und-hilfeleistungsorganisationen/3907/fbfb-024-hinweise-fuer-die-brandbekaempfung-von-lithium-ionen-akkus-bei-fahrzeugbraenden?c=155>



## **Euphoria: Prävalenz von Neuen Psychoaktiven Substanzen (NPS) im Kontext von Fahreignungsbegutachtungen – Ein Zwischenbericht**

Anna Holzer<sup>1</sup>, Thomas Wagner<sup>2</sup>, Don DeVol<sup>3</sup>, Helena Fels<sup>4</sup>, Frank Musshoff<sup>4</sup>, Matthias Graw<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institut für Rechtsmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München

<sup>2</sup>DEKRA Dresden

<sup>3</sup>TÜV Erfurt

<sup>4</sup>Forensisch Toxikologisches Centrum (FTC) München

### **1. Einleitung**

#### **1.1. Ausgangslage**

Der Fahrerlaubnisbehörde obliegt die staatliche Pflicht, für die körperliche Unversehrtheit der Verkehrsgemeinschaft zu sorgen und das Leben der Menschen vor Verkehrsteilnehmern zu schützen, die zum Führen von Kraftfahrzeugen nicht geeignet sind. Medizinisch-psychologische Untersuchungen (MPU) und ärztliche Gutachten (ÄGA) dienen den Behörden als Entscheidungshilfen, ob einem Führerscheinbewerber bzw. -inhaber die Fahrerlaubnis zugesprochen bzw. belassen werden kann. Während in den letzten Jahren ein Abwärtstrend der alkoholbedingten Begutachtungsanlässe zu verzeichnen ist, nehmen die Begutachtungsfälle im Zusammenhang mit Betäubungsmitteln stetig zu. So entfielen im Jahr 2020 33 % der annähernd 84.000 medizinisch-psychologischen Untersuchungen auf drogenbezogene Untersuchungsanlässe (N = 27.561) [1].

Neben den „klassischen“ Drogen wie THC, Kokain oder Amphetaminen ist eine zunehmende Anzahl an Neuen Psychoaktiven Substanzen (NPS) auf dem europäischen Drogenmarkt zu beobachten, die als sog. „Legal Highs“, „Badesalze“ oder „Kräutermischungen“ verkauft werden und den Anschein der Legalität erwecken. Der Konsum der vermeintlich harmlosen Substanzen kann jedoch teils schwerwiegende Symptome wie Angstzustände, Psychosen oder Herzrasen hervorrufen oder einen gar tödlichen Verlauf nehmen. NPS, zu denen u.a. synthetische Cannabinoide („Spice“), synthetische Opioide, Designer-Benzodiazepine, synthetische Cathinone oder Designer-Amphetamine zählen, weisen oftmals lediglich geringfügige strukturelle Änderungen von Stoffgruppen auf, die dem Betäubungsmittelgesetz unterliegen und können durch herkömmliche Analyseverfahren weder im Blut noch im Urin oder in den Haaren erfasst werden. Aus diesem Grund erscheint es nicht unwahrscheinlich, dass Probanden, die sich aufgrund einer Drogenauffälligkeit einer Fahreignungsbegutachtung unterziehen und dadurch i. d. R. innerhalb eines mehrmonatigen Zeitraums (z.B. 1 Jahr) Abstinenzbelege beibringen müssen, auf die üblicherweise nicht speziell überprüften NPS umsteigen. Studien legen hierbei einen Shift auf derartige Substanzen bei 6 – 13 % von einmaligen Drogenkonsumenten nahe [2,3].



Zum Nachweis einer Abstinenz werden in der Fahreignungsbegutachtung Urin- bzw. Haarproben gefordert. In Abhängigkeit von der konsumierten Substanz weisen Urinproben ein zeitliches Nachweisfenster von allenfalls wenigen Tagen nach Konsum auf, wohingegen konsumierte Stoffe in den Haaren über einen längeren Zeitraum erfasst werden können, auch wenn ein Einzelkonsum hier möglicherweise unentdeckt bleibt.

## 1.2. Ziel der Studie

Ziel dieser Studie ist es, die Prävalenz von NPS im Kontext von drogenbedingten Fahreignungsbegutachtungen und somit die Anzahl der falsch-positiven Begutachtungsergebnisse zu ermitteln, bei denen ein Konsumumstieg zu NPS unentdeckt geblieben war. Darüber hinaus soll der Nutzen einer Ausweitung des toxikologischen Untersuchungsumfangs im Kontext von Fahreignungsbegutachtungen ermittelt und geprüft werden, inwiefern soziodemographische oder persönlichkeitsassoziierte Variablen einen Konsum-Shift prädictieren lassen.

## 2. Material und Methoden

Es handelt sich um eine von der ADAC-Stiftung finanzierte multizentrische Studie, in der retrospektiv und anonymisiert Urin- und/oder Haarproben von Personen, welche aufgrund ihrer Drogenvorgeschichte auf ihre Fahreignung begutachtet wurden, auf NPS nachuntersucht wurden. Neben Proben von Probanden mit MPU-Drogenscreenings wurden Proben aus den Abstinenzkontrollprogrammen in die Studie inkludiert. Die Begutachtungsfälle der in die Studie eingeschlossenen Probanden waren zum Zeitpunkt der Probenauswahl bereits rund 2 Jahre abgeschlossen, eine juristische Konsequenz für die Begutachteten ergibt sich nicht.

Die Haar- und Urinproben wurden mittels Flüssigkeitschromatographie in Kombination mit hochauflösender Massenspektrometrie (LC-QTOF-MS, Sciex TripleTOF 5600 System) umfassend auf synthetische Cannabinoide und neue Psychostimulanzien untersucht. Aufgrund der Tatsache, dass synthetische Cannabinoide und deren Metaboliten oft nur in geringen Konzentrationen in biologischen Matrices vorliegen, wurde für deren Bestimmung zusätzlich eine zweite, empfindlichere Analysetechnik (LC-MS/MS, Sciex Triple Quad 6500 System) herangezogen [4].

Daneben wurden soziodemographische und persönlichkeitsbezogene Daten, sofern diese im Rahmen der Fahreignungsbegutachtung erhoben wurden, anonymisiert und deskriptiv betrachtet und die unterschiedlichen Untersuchungsanlässe (z. B. Deliktvorgeschichte) analysiert. Ein positives Ethikvotum liegt vor.



### 3. Ergebnisse

Zunächst stand die Untersuchung derjenigen Probanden im Fokus, deren Begutachtung ein positives Ergebnis zur Folge hatte. Es sollte überprüft werden, wie häufig sich in diesen Fällen Stoffe nachweisen lassen, die als Ausweichsubstanzen gewertet werden können und somit tatsächlich nicht-abstinente, folglich fahruneignete Personen die Fahrerlaubnis (wieder-)erhalten hatten.

Dieses Studienkollektiv umfasst derzeit Urin- bzw. Haarproben von 786 Begutachteten, die sich in 8 Bundesländern (Bayern, Berlin, Bremen, Hessen, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Thüringen) zur Fahreignungsüberprüfung vorgestellt haben. Bei 53 Probanden konnten Stoffe nachgewiesen werden, die Neuen Psychoaktiven Substanzen zugeordnet werden können, dabei wurden jedoch in 18 Proben Substanzen nachgewiesen, die alternativ auch durch die Einnahme von Medikamenten (z. B. Ephedrin/Pseudoephedrin) oder durch den Konsum von leistungssteigernden Stoffen im Kraftsport (z. B. DMAA) erklärt werden können. Selbst wenn man diese Proben aus der Wertung nehmen würde, blieben immer noch 35 Probanden, in deren analysierten Haar- bzw. Urinproben Substanzen nachgewiesen wurden, die den NPS zugerechnet werden. In einigen Proben waren dabei zeitgleich mehrere NPS nachweisbar, in drei Fällen sogar 15 verschiedene synthetische Cannabinoide. Die Positivraten bei der Analyse von Haarproben lagen dabei erwartungsgemäß deutlich über der bei den Untersuchungen von Urinproben.

Die positiv getesteten Probanden waren fast ausschließlich männlich, die überwiegende Mehrheit zwischen 25 und 34 Jahre alt und wohnten vornehmlich in Orten mit weniger als 20.000 Einwohnern, wengleich sich in diesen Variablen kein signifikanter Unterschied zum hier untersuchten Gesamtkollektiv feststellen ließ.

### 4. Diskussion

Mit einer Prävalenz von rund 4 % der Probanden mit faktisch positivem Gutachtensausgang belegen die derzeit aufgezeigten Ergebnisse einen Konsum-Umstieg in einem nicht unerheblichen Ausmaß. Problematisch ist dabei, dass dieser angesichts einer eingeschränkten Untersuchungsbeauftragung zum Zeitpunkt der Fahreignungsbegutachtung unentdeckt blieb und somit ggf. zu einem falsch positiven Gutachten führte. Es erscheint somit zukünftig sinnvoll, den Umfang der Abstinenzuntersuchungen bei entsprechenden Probandengruppen auf NPS zu erweitern, um letztlich die Anzahl der Fahrerlaubniserteilungen bzw. -belastungen von fahruneigneten (weil noch immer drogenkonsumierenden) Kraftfahrern zu reduzieren.



## 5. Ausblick

Neben dem Einfluss persönlichkeitsbezogener Variablen ist die detaillierte Untersuchung des Gesamtkollektivs inklusive derjenigen Probanden, die durch die Begutachtung die Fahrerlaubnis nicht wiedererlangt haben bzw. als Auflage einen Kurs haben absolvieren müssen, derzeit Gegenstand weiterer Auswertungen.

[1] Bundesanstalt für Straßenwesen, MPU-Statistik 2020

[2] Hutter M., Ippisch J., Hermeling J., Schultis H.-W., Auwärter V. (2014): Synthetische Cannabinoide in der Fahreignungsdiagnostik. In: Risser R, Dittmann V, Schubert W (Hrsg.) Körperliche und geistige Gesundheit und Verkehrssicherheit. Tagungsband des 9. Gemeinsamen Symposiums der DGVM und DGVP am 27. und 28. Sep. 2013 in Heringsdorf/Usedom. Kirschbaum Verlag, Bonn, 87-89.

[3] Franz F., Müller K., Jechle H., Angerer V., Moosmann B., Schwarze B., Auwärter V. (2016): Konsum synthetischer Cannabinoide in Cannabis-Abstinenzkontrollprogrammen. Blutalkohol, 53 Sup III, 31-32

[4] Fels H., Herzog J., Skopp G., Holzer A., Paul L.D., Graw M., Musshoff F. (2020) Retrospective analysis of new psychoactive substances in blood samples of German drivers suspected of driving under the influence of drugs. Drug Test. Anal. 12(10): 1470-1476.









Am 16. und 17. Juni 2021 fand das „Symposium für Unfallforschung und Sicherheit im Straßenverkehr“ (UFO 2021) der ADAC Stiftung als Online-Veranstaltung statt. Schwerpunktthema des alle zwei Jahre stattfindenden Symposiums war 2021 die Verkehrssicherheit von ungeschützten Verkehrsteilnehmern.

Dieser Tagungsband enthält die Langfassungen der Beiträge, welche von einem Expertenbeirat ausgewählt wurden. Inhaltlich befassen sie sich mit den für die Erhöhung der Verkehrssicherheit relevanten Bereichen Mensch, Fahrzeug und Infrastruktur.

Mit dem Symposium und diesem Tagungsband wird Experten und Nachwuchswissenschaftlern die Möglichkeit gegeben, ihre Forschungsarbeiten der Fachwelt zu präsentieren und sich zu informieren.

