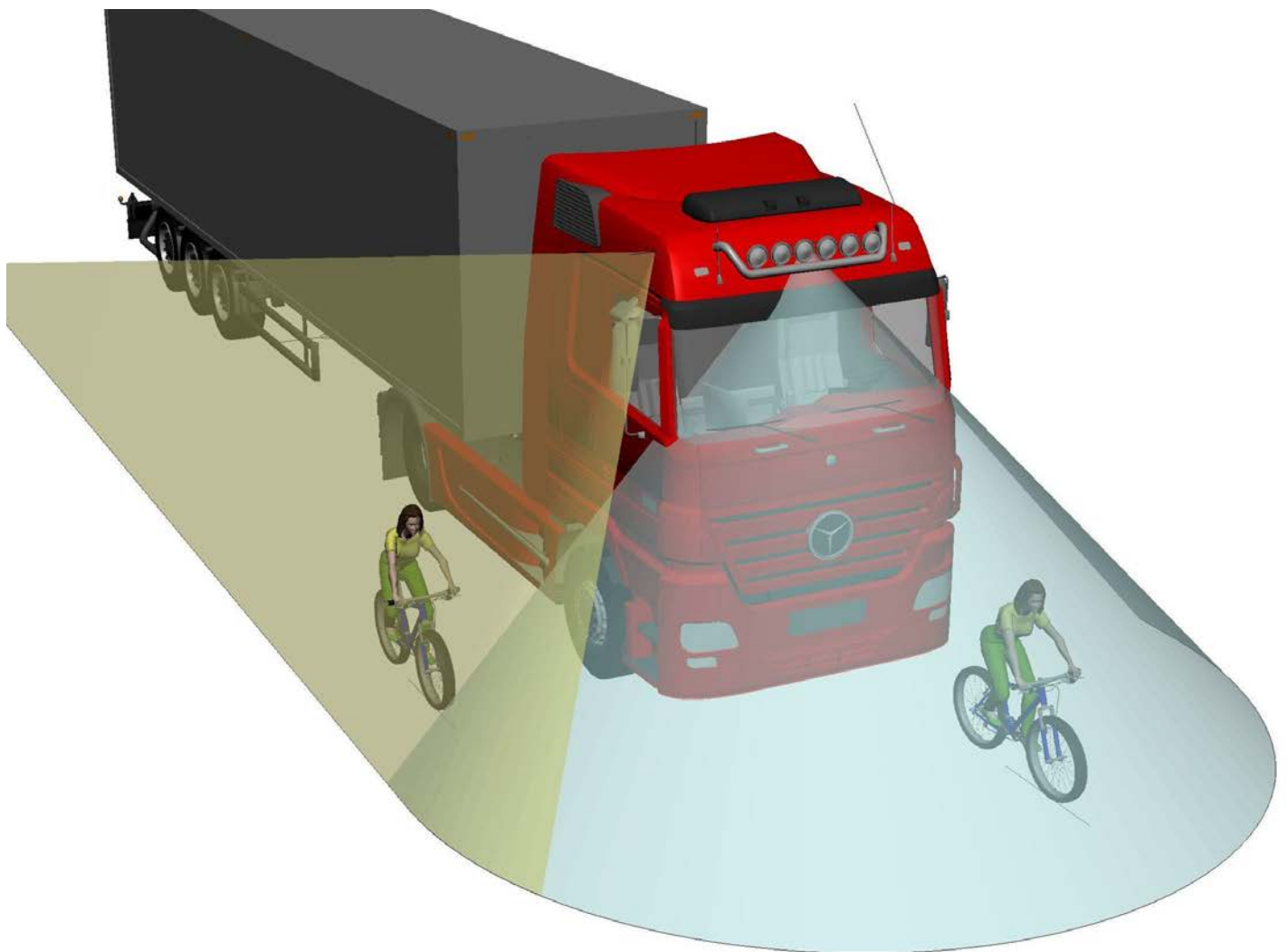


ALIVE

Unfälle von Lkw mit Radfahrer:innen - Bewertung des Vermeidungspotenzials unterschiedlicher Assistenzsysteme

Band 096



Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Inhaltliche Erarbeitung:

Projektverantwortlicher Autorinnen und Autoren:

Heinz Hoschopf, Ernst Tomasch: TU Graz – Institut für Fahrzeugsicherheit;

Karin Ausserer, Jannik Rieß: FACTUM – aptec ventures GmbH

Graz, März 2024

Erstveröffentlichung: März, 2024. Band 096

Projektnummer: GZ.BMK-2021-0.773.146

Autorinnen und Autoren: Heinz Hoschopf, Ernst Tomasch, Karin Ausserer, Jannik Rieß

Schriftenleitung: Dipl.-Ing. Alexander Nowotny

Erklärung der Schriftenleitung:

Die in diesem Band enthaltenen Aussagen müssen nicht notwendigerweise mit denen des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie übereinstimmen. Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne Zustimmung des Herausgebers unzulässig. Finanziert aus Mitteln des Österreichischen Verkehrssicherheitsfonds im Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, im Rahmen der 6. VSF-Ausschreibung „schwer – Verkehr – sicher!“.

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an road.safety@bmk.gv.at.

Inhalt

| | |
|---|-----------|
| Kurzzusammenfassung | 6 |
| Abstract | 7 |
| Zusammenfassung | 8 |
| Problemstellung | 8 |
| Ziel | 8 |
| Methode..... | 9 |
| Ergebnisse..... | 9 |
| Executive summary | 11 |
| Scope | 11 |
| Objective..... | 11 |
| Method..... | 11 |
| Results | 12 |
| 1 Einleitung | 14 |
| 1.1 Problemstellung..... | 14 |
| 1.2 Ziel..... | 15 |
| 2 Stand des Wissens | 16 |
| 2.1 Assistenzsysteme in Fahrzeugen und auf Fahrrädern..... | 16 |
| 2.2 Mobilitätsdaten | 19 |
| 2.3 Verkehrsunfälle von Radfahrer:innen mit Lkw..... | 21 |
| 2.4 Effektivität von Assistenzsystemen | 26 |
| 2.5 Akzeptanz..... | 30 |
| 2.5.1 Akzeptanzmodelle | 31 |
| 2.5.2 Akzeptanz von Assistenzsystemen | 37 |
| 3 Methodik | 40 |
| 3.1 Fokusgruppen- und Einzelinterviews..... | 40 |
| 3.1.1 Inhalt und Struktur der Fokusgruppen- und Einzelinterviews..... | 42 |
| 3.1.2 Teilnehmer:innencharakteristik | 43 |
| 3.2 Online-Umfrage | 43 |
| 3.2.1 Vorgehensweise..... | 43 |
| 3.2.2 Inhalt und Struktur..... | 45 |
| 3.2.3 Hypothesen..... | 47 |
| 3.3 Expert:inneninterviews..... | 49 |
| 3.4 Makroskopische Unfallanalyse | 50 |
| 3.5 Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen | 50 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.5.1 | Unfallrekonstruktion..... | 50 |
| 3.5.2 | Vermeidbarkeitsanalyse | 51 |
| 3.5.3 | Stichprobenbeschreibung..... | 52 |
| 3.6 | Effektivitätssimulation..... | 56 |
| 3.6.1 | Vorwärtssimulation..... | 56 |
| 3.6.2 | Sensorkonfiguration und Eingriffsstrategie..... | 58 |
| 3.6.3 | Rechtsabbiegender Lkw..... | 60 |
| 3.6.4 | Infrastrukturelle Sichtbeeinträchtigung | 62 |
| 3.6.5 | Missachtung von Vorschriften..... | 65 |
| 3.7 | Bewertung..... | 68 |
| 3.7.1 | SWOT Analyse..... | 68 |
| 3.7.2 | Volkswirtschaftliche Kostenabschätzung | 68 |
| 4 | Ergebnisse..... | 71 |
| 4.1 | Fokusgruppen- und Einzelinterviews..... | 71 |
| 4.1.1 | Ergebnisse Radfahrer:innen..... | 71 |
| 4.1.2 | Ergebnisse Lkw-Fahrer:innen..... | 76 |
| 4.1.3 | Zusammenfassung | 80 |
| 4.2 | Online-Befragung Ergebnisse Radfahrer:innen | 80 |
| 4.2.1 | Demographie, Verkehrsverhalten und Einstellungen | 80 |
| 4.2.2 | Herausforderungen bei Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen | 89 |
| 4.2.3 | Verhaltensweisen von Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws..... | 90 |
| 4.2.4 | Bewertung und Einstellung gegenüber Assistenzsystemen | 91 |
| 4.2.5 | Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Bezug auf Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen | 95 |
| 4.2.6 | Gruppenspezifische Unterschiede unter den Radfahrer:innen – Hypothesenabgeleitete Auswertung | 98 |
| 4.3 | Online-Befragung Ergebnisse Lkw-Fahrer:innen | 102 |
| 4.3.1 | Demographie, Verkehrsverhalten und -einstellungen | 102 |
| 4.3.2 | Herausforderungen bei Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen | 110 |
| 4.3.3 | Verhaltensweisen von Lkw-Fahrer:innen bei Begegnungen mit Radfahrer:innen | 111 |
| 4.3.4 | Bewertung und Einstellung gegenüber Assistenzsystemen | 111 |
| 4.3.5 | Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Bezug auf Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen | 118 |
| 4.3.6 | Gruppenspezifische Unterschiede unter den Lkw-Fahrer:innen – Hypothesenabgeleitete Auswertung | 120 |

| | | |
|----------|---|------------|
| 4.3.7 | Vergleiche von Rad- und Lkw-Fahrer:innen – Hypothesenabgeleitete Auswertung | 123 |
| 4.4 | Fazit Akzeptanzuntersuchung..... | 126 |
| 4.5 | Makroskopische Unfallanalyse | 130 |
| 4.6 | Tiefenanalyse und Effektivitätsbewertung..... | 140 |
| 4.7 | Volkswirtschaftliche Kostenabschätzung | 152 |
| 4.8 | SWOT Analyse | 155 |
| 4.8.1 | Totwinkel-Assistent – Lkw | 155 |
| 4.8.2 | Totwinkel-Assistent – Fahrrad | 156 |
| 4.8.3 | Kollisions-Assistent – Fahrrad | 157 |
| 5 | Maßnahmen und Empfehlungen..... | 158 |
| 5.1 | Technische Empfehlungen..... | 158 |
| | Einer Verbesserung der Objekterkennung und Identifizierung..... | 158 |
| | Aktivität der Sensoren beim Beschleunigen aus dem Stillstand..... | 158 |
| | Testgeschwindigkeit für Totwinkel-Assistent bzw. Abbiegeassistent | 159 |
| 5.2 | Infrastrukturelle Empfehlungen | 159 |
| | Vorgezogene Haltelinie (Advanced Stopping Line, ASL), (Advanced) Bike-Box, Kennzeichnung Bereich „Toter Winkel“ | 159 |
| | Konsequente Trennung des Rad- vom Kfz-Verkehr auf Hauptstraßen..... | 161 |
| | Verbesserung der Sichtbeziehungen an Kreuzungen | 161 |
| | Vermeehrt Bodenmarkierungen einsetzen | 161 |
| | Abgesetzte Radwege | 162 |
| | Getrennte Ampelschaltungen – Rundum Grün | 162 |
| 5.3 | Bewusstseinsbildende Empfehlungen..... | 163 |
| | Sensibilisierungskampagnen für mehr Rücksichtnahme im Verkehr | 163 |
| | Bewusstseinsbildung für Radfahrer:innen | 163 |
| | Bewusstseinsbildung für Lkw-Fahrer:innen..... | 164 |
| | Bewusstseinsbildung zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Assistenzsysteme | 164 |
| | Ausführliche Einschulung in die Assistenzsysteme | 164 |
| 6 | Zusammenfassung..... | 166 |
| | Tabellenverzeichnis..... | 171 |
| | Abbildungsverzeichnis..... | 174 |
| | Literaturverzeichnis | 178 |
| | Abkürzungen..... | 194 |

Kurzzusammenfassung

Ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen sind bei Unfällen mit Lkw-Beteiligung besonders gefährdet. Als ein Hauptgrund für Kollisionen zwischen Lkw und ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen sind oft komplexe Verkehrssituationen und das eingeschränkte Sichtfeld, so dass die ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen im toten Winkel von Lkw Fahrer:innen übersehen werden. Von Assistenzsystemen, die den toten Winkel kontinuierlich überwachen, wird ein großes Potenzial zur Unfallvermeidung erwartet.

Für die Studie wurde ein Methodenmix aus Fokusgruppen- und Einzelinterviews sowie Online-Fragebogen und Analyse von Unfalldaten der nationalen Statistik als auch Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen der Unfalldatenbank CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) gewählt. Aus einer Stichprobe an Lkw-Radfahrer:innenunfälle wurde die potenzielle Wirksamkeit eines warnenden bzw. aktiv eingreifenden Fahrassistenzsystems zur Unfallvermeidung durch eine Unfallsimulation bewertet.

Der Großteil der Lkw-Lenker:innen findet, dass Assistenzsysteme das Potenzial haben, Unfälle zu vermeiden und dass die Sicherheit für Radfahrer:innen dadurch erhöht wird. Allerdings ist das Vertrauen in derartige Systeme im Vergleich dazu eher niedrig, insbesondere bei Lkw-Lenker:innen ohne Assistenzsystem. Mit zunehmendem Alter und Fahrerfahrung ist aber ein erhöhtes Vertrauen in ein solches System gegeben. Knapp 30 % der Lkw-Lenker:innen würden gerne Assistenzsysteme in ihrem Lkw haben. Ein Assistenzsystem bei ihrem Fahrrad findet hingegen nur bei sehr wenigen Radfahrer:innen eine Zustimmung. Am ehesten wäre ein Assistenzsystem auf einem E-Bike vorstellbar. Als wesentlichen negativen Effekt heben sowohl Lkw-Lenker:innen als auch Radfahrer:innen die Fehlfunktionen hervor. Es besteht auch die Ansicht die Kontrolle über das eigene Fahrzeug zu verlieren und Verantwortung an die Technik abzugeben. Ebenso wurden die Anschaffungskosten bemängelt. Die potenzielle Wirksamkeit eines Assistenzsystems zur Vermeidung einer Kollision von Lkw und Radfahrer:innen wird zwischen 26,3 % und 57,9 % geschätzt, je nachdem, ob spezifische Unfallumstände wie beispielsweise Sichtbehinderungen, Regelverstöße der Radfahrer:innen, Absicht der Radfahrer:innen, etc. beseitigt werden können.

Abstract

Vulnerable road users are at particular risk in accidents involving trucks. One of the main causes of collisions between trucks and vulnerable road users are complex traffic situations and the limited visibility, which means that vulnerable road users in the blind spot are not recognised by truck drivers. Assistance systems that continuously monitor the blind spot are expected to have considerable potential for accident prevention.

A mix of methods was chosen for the study, consisting of focus group and individual interviews as well as online questionnaires and analyses of accident data from national statistics and in-depth analyses of road accidents from the CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) accident database. The potential effectiveness of a warning or automatically intervening driver assistance system for accident avoidance was evaluated from a sample of truck driver accidents using an accident simulation.

The majority of truck drivers believe that assistance systems have the potential to prevent accidents and that this increases safety for cyclists. However, confidence in such systems is rather low in comparison, especially among truck drivers without assistance systems. With increasing age and driving experience, however, there is increased confidence in such a system. Almost 30% of truck drivers would like to have assistance systems in their truck. On the other hand, very few cyclists are in favour of an assistance system on their bike. An assistance system on an e-bike would be most acceptable. Both truck drivers and cyclists emphasise the false positive rate as a significant negative effect. There is also the opinion that drivers lose control of their own vehicle and hand over responsibility to the technology. The acquisition costs were also criticised. The potential effectiveness of an assistance system to prevent collisions between trucks and cyclists is estimated to be between 26.3% and 57.9%, depending on whether specific accident circumstances such as sight obstructions, rule violations by cyclists, cyclists' intentions, etc. can be eliminated.

Zusammenfassung

Problemstellung

Ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen sind bei Unfällen mit Lkw-Beteiligung besonders gefährdet. Ein Lkw trägt nachweislich zu einem höheren Unfallrisiko für Radfahrer:innen bei und Lkw-Fahrrad-Unfälle haben in der Regel schwerere Folgen für die beteiligten Radfahrer:innen als alle anderen Unfallarten. Das Risiko bei einem Unfall mit einem Lkw schwerst verletzt oder getötet zu werden ist signifikant höher. Als ein Hauptgrund für Kollisionen zwischen Lkw und ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen ist das problematische Sichtfeld, so dass die ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen im toten Winkel von Lkw Fahrer:innen übersehen werden. Eine der häufigsten Kollisionssituationen zwischen Lastkraftwagen und Radfahrer:innen ist beim Rechtsabbiegen des Lkw und geradeausfahrenden Radfahrer:innen. Obwohl Lkw mit zahlreichen Spiegeln ausgestattet sind, können ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen auf Grund von komplexen Verkehrssituationen übersehen werden und entstehen aus einer Kombination von mehreren Faktoren. Bis Lkw-Lenker:innen alle Spiegel überprüft haben, können mehrere Sekunden vergehen, sodass sich die Radfahrer:innen zwischenzeitlich in einen Bereich bewegen, wo sie nicht mehr gesehen werden können. Das Hinzufügen weiterer Spiegel würde die Gefahr, die von toten Winkeln ausgeht, demnach auch nicht verringern.

Ziel

Abhilfe sollen Assistenzsysteme schaffen, die den Bereich neben dem Lkw überwachen und die Lenker:innen warnen, wenn sich eine Radfahrer:in im toten Winkel befindet. Das Ziel in ALIVE war es, Assistenzsysteme nach Effektivität und Akzeptanz zu untersuchen und zu bewerten, inwieweit sich Unfälle zwischen Radfahrer:innen und Lkw vermeiden lassen bzw. die Unfallfolgen verringert werden könnten.

Methode

Für die Studie kam ein Methodenmix aus Fokusgruppen- und Einzelinterviews, Expert:inneninterviews sowie Online-Fragebogen und der Analyse von Unfalldaten der nationalen Statistik als auch Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen der Unfalldatenbank CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) zum Einsatz. Aus einer Stichprobe an Lkw-Radunfälle wurden Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. aktiv eingreifendes Fahrassistenzsystem abgeleitet und die potenzielle Wirksamkeit der Unfallvermeidung durch eine Unfallsimulation bewertet.

Ergebnisse

Assistenzsysteme sind bei den befragten Lkw-Lenker:innen bereits weit verbreitet. Der Großteil der Lkw-Lenker:innen findet, dass Assistenzsysteme das Potenzial haben, Unfälle zu vermeiden und dass die Sicherheit für Radfahrer:innen dadurch erhöht wird. Allerdings ist das Vertrauen in derartige Systeme im Vergleich dazu eher niedrig. Insbesondere Lkw-Lenker:innen ohne AS vertrauen Assistenzsystemen signifikant seltener als Lkw-Lenker:innen mit Assistenzsystemerfahrung. Mit zunehmendem Alter und Fahrerfahrung steigt jedoch das Vertrauen in die Systeme. Knapp 30 % der Lkw-Lenker:innen ohne AS hätten gerne einen Lkw mit Assistenzsystem.

Nahezu alle Radfahrer:innen würden eine verpflichtende Ausstattung von Lkw mit Assistenzsystemen befürworten und neun von zehn sehen dadurch eine Verbesserung ihrer eigenen Sicherheit. Ein Assistenzsystem bei ihrem Fahrrad findet hingegen nur bei sehr wenigen Radfahrer:innen eine Zustimmung, wobei ältere Radfahrer:innen gegenüber Assistenzsystemen offener sind als jüngere, sowie auch Radfahrer:innen, welche bereits einen Unfall hatten. Am ehesten wäre ein Assistenzsystem auf einem E-Bike vorstellbar.

Als wesentlichen negativen Effekt heben sowohl Lkw-Lenker:innen als auch Radfahrer:innen eine mögliche Fehlfunktion hervor. Zudem besteht die Ansicht, die Kontrolle über das eigene Fahrzeug zu verlieren und Verantwortung an die Technik abzugeben. Ebenso wurden hohe Anschaffungskosten als problematisch gesehen.

Ein Totwinkelassistent bzw. ein Blind Spot detection system (BSD) kann den toten Winkel kontinuierlich überwachen. Dennoch ist es nicht möglich, alle Unfälle mit Radfahrer:innen zu verhindern. Die größten Herausforderungen sind Sichtbehinderungen durch beispielsweise Zäune, Büsche, Hecken etc., Regelverstöße der Radfahrer:innen und fehlende Informationen über die Fahrlinie der Radfahrer:innen. Bei bestimmten Unfalltypen, muss die Absicht der Radfahrer:innen, die Fahrspur des Lkw zu kreuzen, im Voraus bekannt sein, um eine Kollision zu vermeiden. Andernfalls ist aufgrund physikalischer Grenzen eine Kollisionsvermeidung nicht möglich. Die potenzielle Wirksamkeit eines Assistenzsystems zur Vermeidung einer Kollision von Lkw und Radfahrer:innen wird zwischen 26,3 % und 57,9 % geschätzt, je nachdem, ob benannte Unfallumstände berücksichtigt werden können. Das größte Potenzial ergibt sich für Unfällen an Kreuzungen und hier wiederum bei Unfällen mit rechtsabbiegenden Lkw und geradeaus fahrenden Radfahrer:innen.

Executive summary

Scope

Vulnerable road users are particularly at risk in accidents involving trucks. A truck has been proven to contribute to a higher accident risk for cyclists and truck-bicycle accidents usually have more severe consequences for the cyclists involved when compared to all other types of accidents. The risk of being seriously injured or killed in an accident with a truck is significantly higher. One of the main reasons for collisions between trucks and vulnerable road users is the restricted visibility, which means that vulnerable road users in the blind spot are not recognised by truck drivers. One of the most common collision scenarios between trucks and cyclists is when trucks are turning right, and cyclists are travelling straight ahead. Although trucks are equipped with numerous mirrors, vulnerable road users can be missed due to complex traffic situations and are the result of a combination of several factors. It can take several seconds for truck drivers to look in all their mirrors, so cyclists can move into an area where they can no longer be seen. Adding more mirrors would therefore not reduce the danger posed by blind spots.

Objective

Assistance systems that monitor the area adjacent to the truck and warn drivers when a cyclist is in the blind spot are supposed to prevent accidents. The objective of ALIVE was to assess the effectiveness and acceptance of assistance systems and to evaluate the extent to which accidents between cyclists and trucks could be avoided or the consequences of accidents reduced.

Method

The study used different methods consisting of focus group and individual interviews as well as online surveys and the analysis of accident data from national statistics and in-depth analyses of road accidents from the CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) accident database. Minimum requirements for a warning or autonomous intervening driver assistance system were derived from a sample of truck-cyclist accidents

and the potential effectiveness of accident avoidance was evaluated using accident avoidance simulation.

Results

Assistance systems are already widespread among the truck drivers surveyed. Most truck drivers believe that assistance systems have the potential to prevent accidents and that this increases safety for cyclists. However, trust in such systems is rather low in comparison. Especially among truck drivers without an assistance system, their trust in such a system is significantly lower than among truck drivers with an assistance system. With increasing age and driving experience, however, there is increased trust in such a system. Almost 30% of truck drivers without an assistance system would like to have assistance systems in their truck.

Almost all cyclists would be in favour of mandatory equipment of trucks with assistance systems and nine out of ten see this as an improvement in their own safety. On the other hand, only very few cyclists are in favour of an assistance system on their bike, with older cyclists being more willing to accept assistance systems than younger cyclists, as well as cyclists who have already had an accident. An assistance system would be most conceivable on an e-bike.

Both truck drivers and cyclists emphasize possible malfunctions as a significant negative effect. There is also the impression that they lose control of their own vehicle and hand over responsibility to the technology. The associated purchase costs were also highlighted as a drawback.

A BSD can continuously monitor the blind spot. Nevertheless, it is not possible to prevent all accidents involving cyclists. The biggest difficulties are sight obstructions such as fences, bushes, hedges, etc., rule violations by cyclists and a lack of information about the cyclists' direction of travel. In certain types of accidents, the cyclist's intention to cross the lane of the truck must be known in advance in order to avoid a collision. Otherwise, collision avoidance is not possible due to physical limitations. The potential effectiveness of an assistance system to avoid a collision between trucks and cyclists is estimated to be between 26.3% and 57.9%, depending on whether specific accident circumstances can also be taken into consideration. The greatest potential arises for accidents at junctions

and here again for accidents involving trucks turning right and cyclists going straight ahead.

1 Einleitung

Ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen sind in Verkehrsunfällen besonders gefährdet. Insbesondere bei Unfällen mit einem Lkw ist das Risiko dabei getötet zu werden signifikant höher, als im Vergleich zu einem Pkw.

1.1 Problemstellung

Das Aufeinandertreffen von einem Lkw und Radfahrer:innen zählt zu den gefährlichsten Situationen im Straßenverkehr. Eine besondere Gefahr geht vom sogenannten „Toten Winkel“ des Lkw beim Abbiegen aus [1] aber auch in anderen Situationen wird von Lkw-Lenker:innen höchste Aufmerksamkeit gefordert. Die Arbeitstätigkeit von Lkw-Fahrer:innen ist oftmals gekennzeichnet durch hohen Zeit- und Termindruck, sowie verkehrsbezogene Rahmenbedingungen, die als belastend erlebt werden [2,3]. Relevant für die Verkehrssicherheit sind insbesondere negative Auswirkungen auf das Verkehrsverhalten, wie Fahrfehler, Verstöße und Unfälle. Assistenzsystem könnten hierbei unterstützend wirken. Obwohl neue Lkw ab 2022 verpflichtend mit Abbiegeassistenten auszustatten sind [4], ist eine flächendeckende Ausstattung und Bestandsdurchdringung in den nächsten Jahren nicht zu erwarten. Laut einer Untersuchung in Deutschland könnten rd. 60% der schweren Lkw-Fahrrad-Unfälle durch Abbiegeassistenten verhindert werden [5]. Andere Studien gehen teilweise von einem Potenzial von bis zu 78 % aus [6–9]. Entsprechende Daten sind für Österreich nicht verfügbar. Die Verkehrsbeteiligung von E-Fahrrädern, Elektro-Roller (E-Scooter), Tretroller (Micro-Scooter), Segways bringen auch neue Herausforderungen mit sich [10], z.B. unterscheiden sich die Geschwindigkeiten stark von konventionellen Radfahrer:innen [11].

1.2 Ziel

Das Ziel von ALIVE war es unterschiedliche Assistenzsysteme nach Effektivität und Akzeptanz zu untersuchen und zu bewerten, inwieweit sich Unfälle zwischen Radfahrer:innen und Lkw vermeiden lassen bzw. die Unfallfolgen verringert werden könnten. Es wurden folgende Forschungsfragen im Detail beantwortet:

- Welches Potential haben Assistenzsysteme bzw. inwieweit können Assistenzsysteme Unfälle zwischen Radfahrer:innen und Lkw verhindern bzw. deren Folgen verringern, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Marktdurchdringung sowie im kurz, mittel- und langfristigen Zeithorizont?
- In-wie-weit liegt eine Akzeptanz zur Ausrüstung und Verwendung von Assistenzsystemen im Lkw und bei Radfahrer:innen vor?
- Welche negativen Effekte von Assistenzsystemen treten auf?
- Welche Anforderungen müsste ein Assistenzsystem erfüllen, damit Radfahrer:innen optimal geschützt werden und welche zusätzlichen Herausforderungen stellen E-Fahrrädern, Elektro-Roller (E-Scooter), Tretroller (Micro-Scooter) dar?
- Welche Anforderungen müssen Assistenzsysteme erfüllen, damit Lkw-Lenker:innen und Radfahrer:innen diese benützen?
- Welche Anforderungen werden an die Infrastruktur gestellt, um eine optimale Wirkung dieser Systeme zu erzielen?

2 Stand des Wissens

Weltweit nimmt die Zahl der Radfahrer:innen in vielen Städten zu [12]. Die Menschen werden ermutigt und motiviert Rad zu fahren, da diese Art der Aktivität ihre Gesundheit verbessert, die negativen Auswirkungen des motorisierten Verkehrs reduziert und die Städte lebenswerter und lebendiger macht [13]. Wegen des zunehmenden Verkehrsaufkommens kreuzen sich auch die Routen von Lkw und Fahrrädern. So überschneiden sich beispielsweise allein in New York City 15 % der Fahrradnetze und 11 % der Lkw-Netze [14].

2.1 Assistenzsysteme in Fahrzeugen und auf Fahrrädern

Fahrassistenzsysteme (FAS) können nach ihrer Aufgabe in Navigation, Führung und Stabilisierung kategorisiert werden [15]. Die Navigationsaufgabe umfasst die Auswahl einer geeigneten Fahrtroute aus dem zur Verfügung stehenden Straßennetz sowie eine Abschätzung des voraussichtlichen Zeitbedarfs und unterstützen bei der Anpassung der Fahrtroute bei Störungen (Staus, Sperrungen). Die Führungsaufgabe besteht in der Unterstützung bei der Wahl der Fahrspur und Geschwindigkeit. Beispiele dafür sind adaptive Geschwindigkeitsregelungen (ACC), Brems-, Spurhalte-, Spurwechsel-, Kreuzungs- und Stauassistenzsysteme sowie Sichtverbesserungssysteme (adaptive Lichtsysteme, Nachtsichtsysteme) [16]. Schließlich soll auf die Stabilisierungsaufgabe die Fahrer:innen bei der Haltung der Fahrspur und Geschwindigkeit helfen. Beispiele sind Antiblockiersysteme (ABS), Antriebsschlupfregelungen (ASR) und Fahrdynamikregelungen (FDR, ESC) [16]. Die Systeme können noch weiter kategorisiert werden [15]:

- informierende Systeme (Systeme wirken ausschließlich mittelbar auf die Fahrzeugsteuerung ein, indem sie Fahrer:innen informieren und warnen; den Fahrer:innen bleibt die geeignete Handlung überlassen)
- kontinuierlich wirkende automatisierende Systeme (Systeme, die teilweise vorübergehend, abhängig von Fahrerassistenzsystemstufe, unabhängig von menschlicher Kontrolle steuern)
- eingreifende Notfallsysteme (Unterstützung in Situationen, die eine besondere Qualität aufweisen, da Fahrer:innen in bestimmten Situationen nur zeitverzögert,

oder überhaupt nicht, auf einen konkreten Handlungsanlass im Straßenverkehr reagieren können)

Die Entwicklung aktiver Sicherheitssysteme für Lkw in Europa ist schwierig, da die meisten Studien auf Datensätzen aus Nordamerika beruhen [17]. Wang und Wei [7] haben in ihrer Analyse gezeigt, dass die durch aktive Sicherheitssysteme in einem Land erzielten Vorteile nicht ohne weiteres auf andere Länder übertragen werden können, was die Notwendigkeit unterstreicht, regionale Daten zu analysieren. Aufgrund der unterschiedlichen Gestaltung der Straßeninfrastruktur (z. B. breitere Fahrspuren) und des Fahrzeugdesigns (z. B. konventionelles Fahrerhausdesign in Nordamerika im Vergleich zum Flat-Nose-Design in Europa) sind die Ergebnisse von Studien, die auf Daten aus den USA basieren, nur bedingt auf die Situation in Europa übertragbar. Im Jahr 2008 stellten Knight et al. [18] einen Mangel an robusten europäischen Unfalldaten, insbesondere für große Lkw fest. Evgenikos et al. [19] untersuchten mehrere Merkmale von Lkw-Unfällen in Europa, wobei sie sich auf alle schweren Nutzfahrzeuge (über 3,5 t zulässiges Gesamtgewicht) bezogen. Es gibt erhebliche Unterschiede zwischen den Fahrzeugtypen in dieser Kategorie, die von Kleintransportern wie dem Mercedes Sprinter bis zu Langstrecken-Lkw-Anhänger-Kombinationen wie dem Volvo FH reichen können. Verschiedene Lkw-Typen haben unterschiedliche Eigenschaften (z. B. Fahrzeugdynamik, Sichtfeld), und eine genauere Klassifizierung ist für eine gezieltere Entwicklung von Sicherheitssystemen wichtig. Der erste Schritt ist die häufigsten und kritischsten Szenarien zu ermitteln. Es ist wichtig, ein Verständnis für die häufigsten Konfliktsituationen im realen Verkehr zu entwickeln [20].

Zur Vermeidung von Unfällen mit Radfahrer:innen ist im Wesentlichen der Bereich in unmittelbarer Nähe um den Lkw von Bedeutung. Hierbei soll der tote Winkel, also jener Bereich, der von der Sichtlinie und den Spiegeln der Fahrer:innen nicht abgedeckt wird durch einen Totwinkel-Assistenten kontinuierlich beobachtet werden können. Die Totwinkel-Technologie nutzt Radar-, Kamera- oder Ultraschalltechnologien, um den Bereich des toten Winkels des Fahrzeugs zu überwachen [7]. Wenn ein Objekt innerhalb des festgelegten Bereichs erkannt wird, wird ein Warnsignal ausgegeben. Die Warnsignale variieren von einer Version des Systems zur anderen und umfassen optische, akustische oder haptische Signale. Im Wesentlichen wurden die meisten Totwinkel-Systeme entwickelt, um die Fahrer:innen darauf hinzuweisen, dass sich andere Fahrzeuge in der Nähe befinden könnten, und zur Vorsicht mahnen, wenn ein Fahrspurwechsel geplant ist [21]. Einige Totwinkel-Systeme wurden auch speziell für die Erkennung von ungeschützten

Verkehrsteilnehmer:innen im toten Winkel eines Lkw entwickelt [22]; [23] und nutzen die Technologie der Kameraerkennung.

In Abbildung 1 ist ein Überblick existierender Lösungen für Assistenzsysteme aus dem Pkw/Lkw/Motorrad-Sektor nach unterschiedlichen Informationen zusammengefasst [16]. In den Kategorien werden informierende Systeme (Kategorie A), kontinuierlich wirkende automatisierende Systeme (Kategorie B) oder eingreifende Notfallsysteme (Kategorie C) verstanden.

Abbildung 1: Überblick existierender Lösungen für Assistenzsysteme aus dem Pkw/Lkw/Motorrad-Sektor [16]

| Assistenzsystem | Ebene | | | Kategorie | | | Messung | | | | | | | | Aktor | | | | Anzeigeelemente | | | Horizontale Summe (Nur Messung, Aktor) |
|--|--------------|-----------|------------------|-------------|-------------|-------------|---------------------------|--------------|----------|------------|------------|-----------------------------|--------------------------|----------|---------------|---------------|------------|----------|-----------------|-----------|-----------|---|
| | Navigations- | Führungs- | Stabilisierungs- | Kategorie A | Kategorie B | Kategorie C | extern | | | | intern | | | | Kommunikation | Bremsensystem | Lenksystem | Licht | Optisch | Akustisch | Haptisch | |
| | | | | | | | Geschwindigkeit (Objekte) | Szene/Objekt | Abstand | Bremsdruck | Lenkwinkel | Geschwindigkeit/Raddrehzahl | Drehraten/Beschleunigung | Position | | | | | | | | |
| Frontkollisionswarnung | | X | | X | | | X | X | X | | | X | X | | | | | | X | X | X | 5 |
| Schlaglochwarnung | X | X | | X | | | | X | | | | | | X | X | | | | X | X | X | 3 |
| Bremsassistent | | | X | | X | | | | X | | | X | X | | X | | | | | | | 5 |
| Notbremsassistent | | | X | | | X | X | X | X | | | X | X | | | X | | | X | X | X | 7 |
| Spurverlassenswarnung | | X | | X | | | | X | | X | | X | | | | | | | X | X | X | 3 |
| Spurhalteassistent | | X | | | X | | | X | | X | X | X | | | | X | | | X | X | X | 5 |
| Spurwechsellassistent/ Totwinkel-Assistent/Digitaler Rückspiegel | | X | | X | | | X | X | X | | X | | | | | | | | X | X | X | 5 |
| Ampel Assistent | | X | | X | | | | | | | | X | | X | | | | | X | X | X | 3 |
| Einbiegen/ Kreuzenassistent | | X | | X | | | X | X | X | | X | X | X | X | | X | | | X | X | X | 8 |
| Linksabbliegeassistent | | X | | | X | | X | X | X | X | X | X | X | | | X | | | X | X | X | 8 |
| Adaptive Lichtverteilung | | X | | | X | | | | | X | X | X | | | | | X | | | | | 4 |
| Markierungslicht | | X | | | X | | | X | | | X | X | | | | | X | | | | | 4 |
| Variable Leuchtweitenregelung | | X | | | X | | | X | | X | X | | | | | | X | | | | | 4 |
| Blendungsfreies Fernlicht | | X | | | X | | | X | | X | X | X | | | | | X | | | | | 5 |
| Antiblockiersystem | | | X | | | X | | | X | | X | X | | | X | | | | | | | 4 |
| Navigationssystem | X | | | X | | | | | | | | | | X | | X | | | X | X | | 2 |
| Vertikale Summe | 2 | 12 | 3 | 7 | 7 | 2 | 5 | 11 | 5 | 4 | 9 | 13 | 10 | 4 | 1 | 4 | 4 | 1 | 4 | 10 | 10 | 9 |

Nur wenige Assistenzsysteme für Fahrräder sind bekannt, wie beispielsweise das Antiblockiersystem von Bosch [24], Brake Force one [25], Brovedani, Biria und Sumpar [26] als eingreifendes Notfallsystem auf der Stabilisierungsebene, das Varia Fahrrad-Radar von Garmin [27] als informierendes System auf der Führungsebene, die Varia Fahrradbeleuchtung von Garmin als kontinuierlich wirkendes automatisierendes System auf der Navigationsebene [27] und Varia Fahrradbeleuchtung von Garmin als kontinuierlich wirkendes automatisierendes System auf der Navigationsebene. Die Antiblockiersysteme verhindern das Blockieren der Räder beim Bremsen und damit den Verlust der Richtungsstabilität und verhindern einen Überschlag über das Vorderrad. Insbesondere für Elektrofahrräder sind einfache elektrische oder elektrohydraulische

Antiblockiersysteme denkbar, die in Kraftfahrzeugen seit vielen Jahren erfolgreich eingesetzt werden [16].

Das Varia Fahrrad-Radar erfasst bis zu acht Fahrzeuge hinter dem Fahrrad über eine Entfernung von 140 m und stellt diese auf einem Display dar. Das System adaptiert ferner die Intensität der Rückleuchte bei näherkommenden Fahrzeugen. Die Varia Fahrradbeleuchtung adaptiert auch den Lichtkegel abhängig von der Geschwindigkeit und dem Umgebungslicht. Das System kann ferner zur Fahrtrichtungsanzeige verwendet werden [16].

Weitere Unternehmen beschäftigen sich in Analogie zu Ansätzen der Automobilindustrie mit dem vernetzten Fahrrad. Die Deutsche Telekom und der Fahrradhersteller Canyon haben Funktionalitäten wie Diebstahlschutz und Wartungsinformationen in ihr Konzept einfließen lassen, befassen sich aber nicht mit unfallpräventiven Maßnahmen [16].

2.2 Mobilitätsdaten

Rund 68 % der Österreicher:innen besitzen ein Fahrrad [28] und in 74 von 100 Haushalten ist zumindest ein Fahrrad vorhanden [29]. Es gibt rund 6,5 Millionen funktionstüchtige Fahrräder und damit mehr Fahrräder als Autos [30,31]. In den letzten Jahren hat der Absatz an Fahrrädern ca. 20 % zugenommen, wobei der Anteil an Elektrofahrrädern bei den Verkaufszahlen 2022 mit ca. 247.000 fast 50 % erreicht hat (Abbildung 2) [32]. Der Marktanteil der Elektrofahrräder ist zwischen 2012 und 2022 fast dreimal so schnell gewachsen als konventionelle Fahrräder [32]. Der Lkw Bestand ist in den letzten 20 Jahren um ca. 73 % gewachsen und 2022 waren ca. 553.000 Lkw in Österreich zugelassen (Abbildung 3) [33]. Den größten Anteil von ca. 90 % haben dabei Lkw der Klasse N1. Im Jahresdurchschnitt der letzten fünf Jahre werden ca. 45.000 neue Lkw zugelassen (Abbildung 4) [34].

Abbildung 2: Anzahl verkaufter Fahrräder und Elektrofahrräder in Österreich [32]

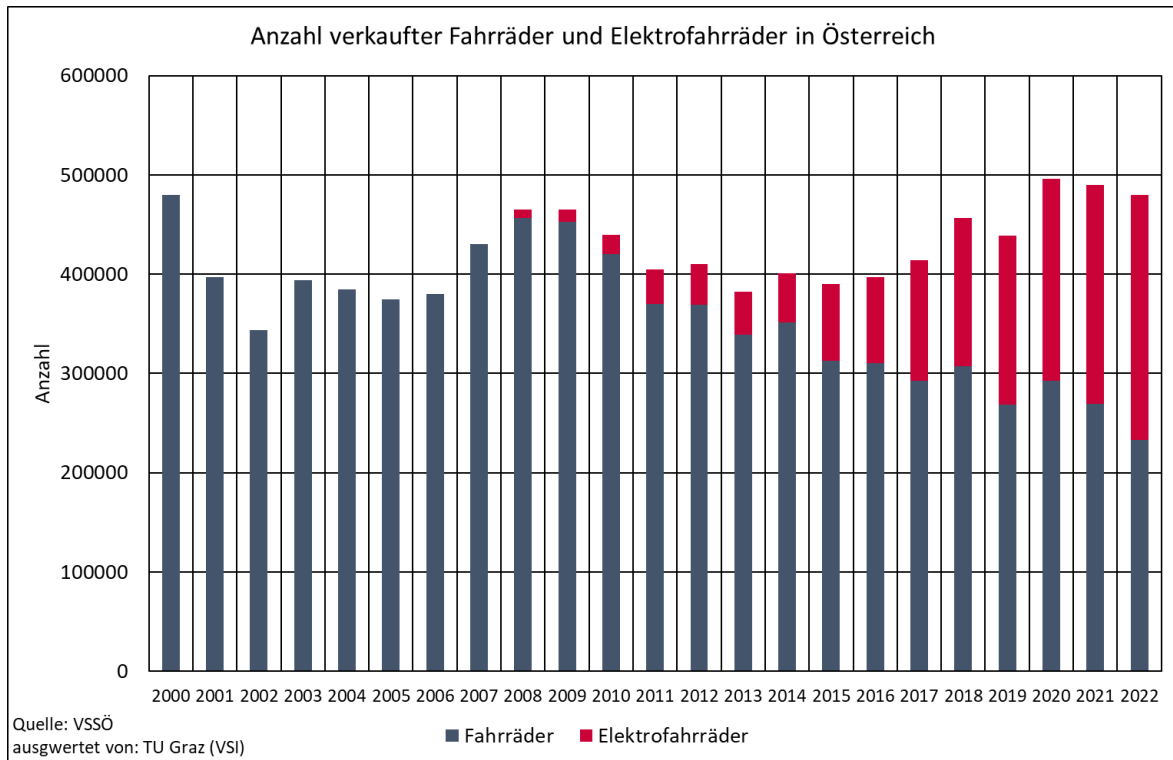


Abbildung 3: Lkw Bestand in Österreich

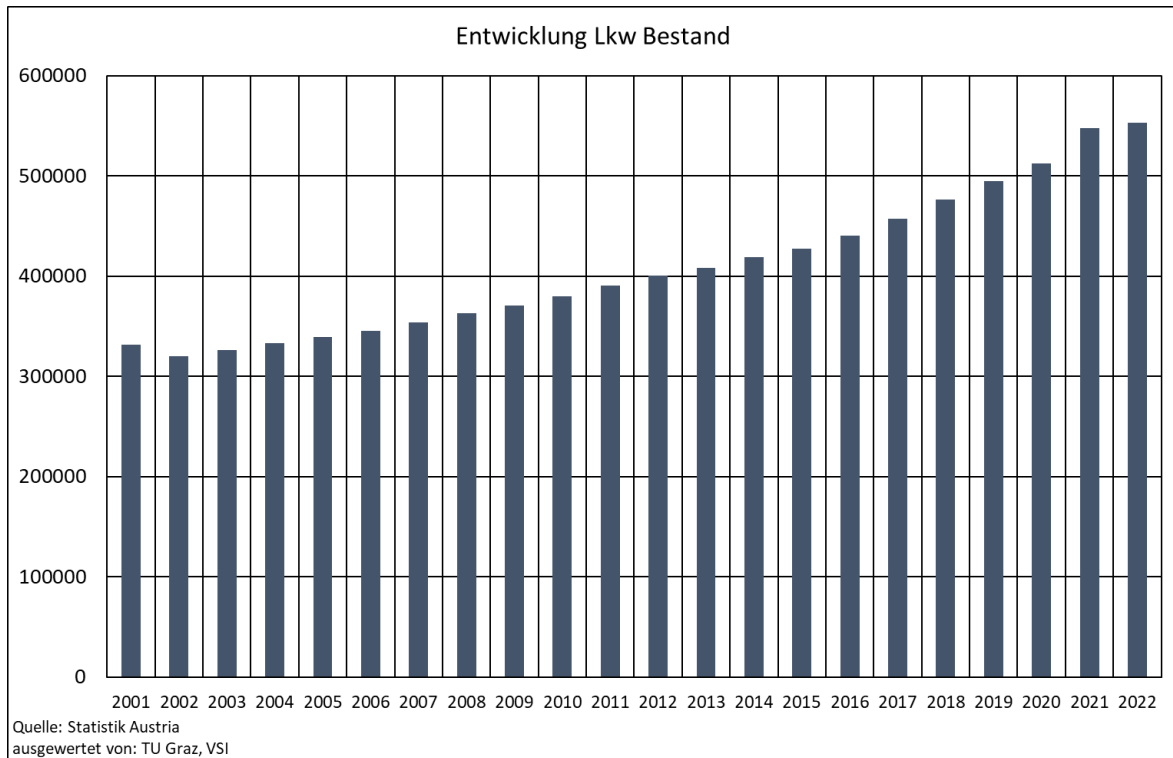
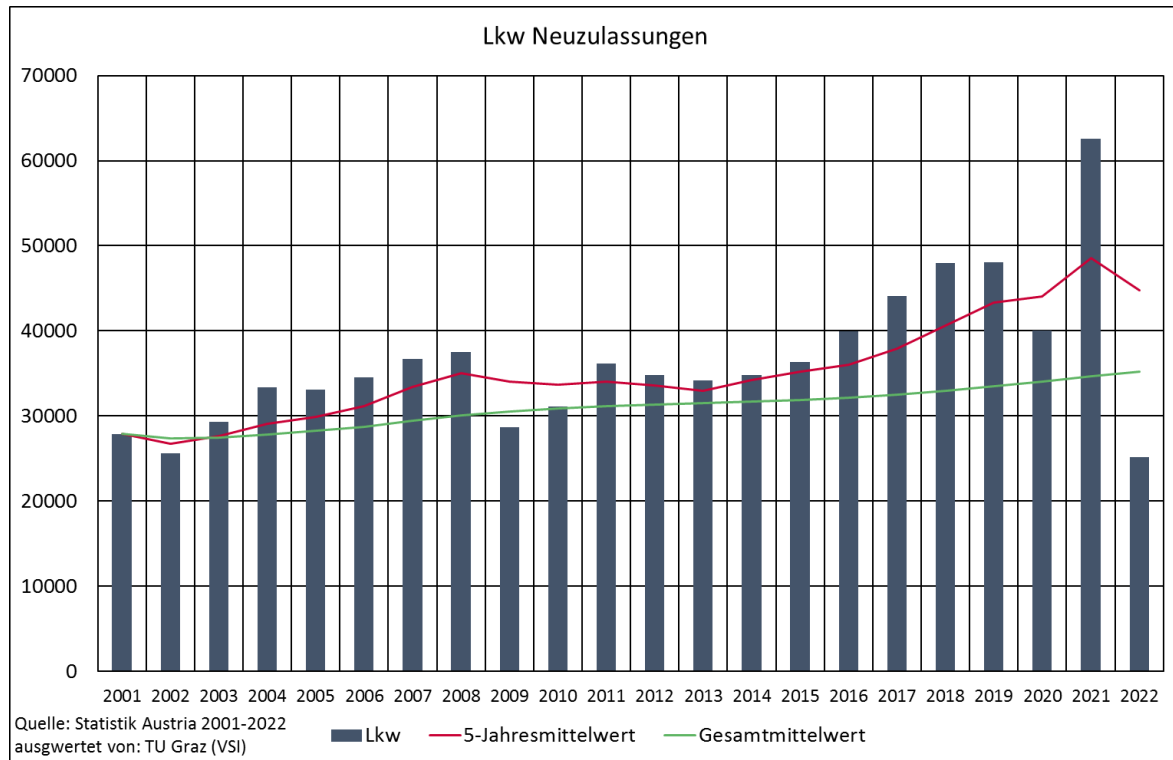


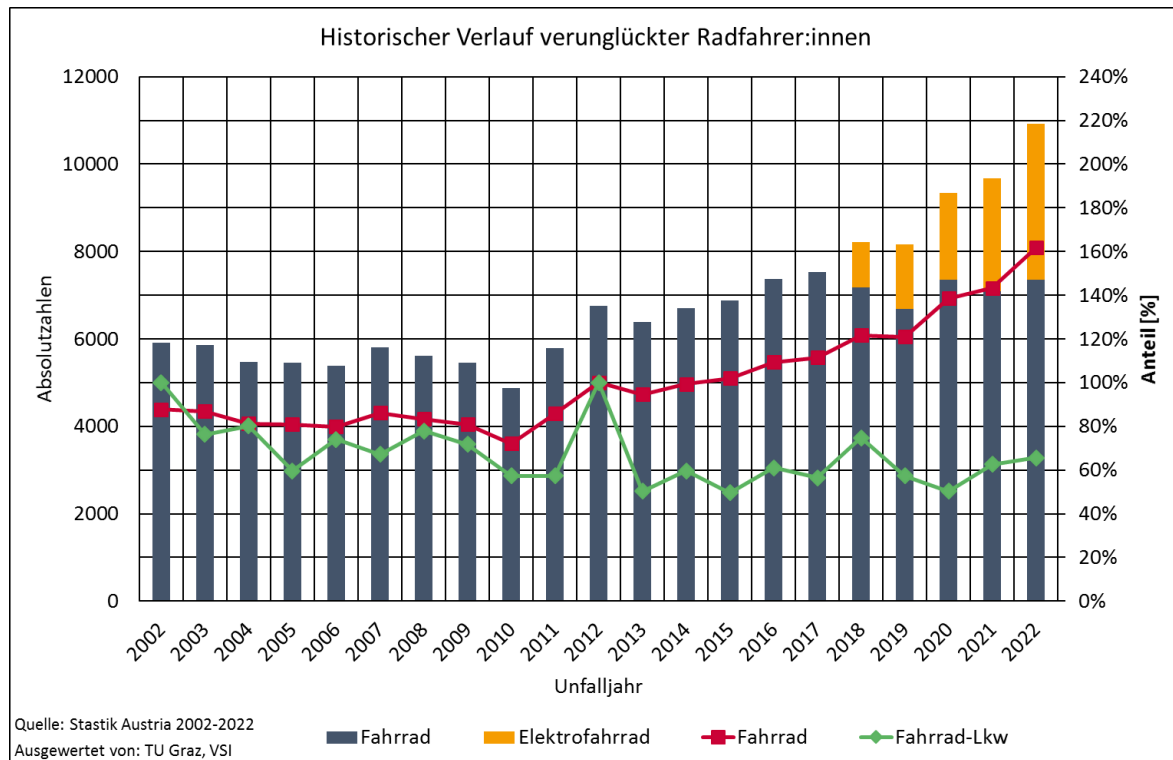
Abbildung 4: Verlauf Lkw Neuzulassungen in Österreich



2.3 Verkehrsunfälle von Radfahrer:innen mit Lkw

Die Zunahme an Fahrrädern im Straßenverkehr widerspiegelt sich auch in den Unfällen, wobei die Unfälle von Radfahrer:innen in den letzten Jahren überproportional zugenommen haben (Abbildung 5). Unfälle mit Elektrofahrrädern in Österreich können ab 2018 ausgewertet werden. Während die Unfälle mit konventionellen Fahrrädern eher konstant blieben, hat sich der Anteil an Unfällen mit Elektrofahrrädern mehr als verdreifacht. 2018 wurden ca. 1.000 verunglückte Radfahrer:innen festgestellt und 2022 waren es bereits mehr als 3.500. Bei Unfällen mit Lkw verunglücken jedes Jahr durchschnittlich (als 5-Jahresmittelwert) 81 Radfahrer:innen und fünf Radfahrer:innen werden im Durchschnitt getötet. Auch in diesen Unfällen ist ein deutlicher Zuwachs der Elektrofahrräder festzustellen und hatte 2022 bereits einen Anteil von 30 %, doppelt so hoch wie noch 2018. Über die Jahre betrachtet bleibt allerdings der Anteil an Radfahrer:innen Unfälle mit Lkw, mit Schwankungen, annähernd gleich. Der Anteil an ausländischen Lkw ist dabei ca. 14 %.

Abbildung 5: Historischer Verlauf verunglückter Radfahrer:innen und relative Veränderung bezogen auf das Unfalljahr 2012



In den meisten Ländern sind Fahrradverletzungen in den Polizeidaten notorisch unterrepräsentiert [35–37]. Selbst von den schweren Fahrradverletzungen, die eine Krankenhauseinweisung erfordern, werden die meisten nicht in den Polizeidaten erfasst [38]. Dies könnte auf den Anteil der Fahrradunfälle als Alleinunfall zurückzuführen sein, der in den Niederlanden einen hohen Anteil der Unfälle selbst bei schweren Fahrradunfällen ausmacht [39].

Nach offiziellen Daten kommen weltweit ca. 6 % der Verkehrsteilnehmer:innen als Radfahrer:innen ums Leben [40]. In Europa ist der Anteil an getöteten Radfahrer:innen ca. 9 %, d.h. über dem weltweiten Durchschnitt. Lkw-Fahrrad-Unfälle haben in der Regel schwerere Folgen für die beteiligten Radfahrer:innen als alle anderen Unfallarten [41] und Lkw sind bei tödlichen Fahrradunfällen überrepräsentiert [42]. 2021 wurden in der EU knapp 200 Radfahrer:innen in Unfällen mit schweren Lkw getötet [43]. Das sind 10,8 % aller getöteten Radfahrer:innen. Bei Lkw Unfällen ist der Anteil getöteter Radfahrer:innen 7,3 %. In manchen Ländern beträgt dieser Anteil sogar 30% [44,45]. Die bloße Anwesenheit von Lkw trägt bereits nachweislich zu einem höheren Unfallrisiko für Radfahrer:innen bei [46]. Adninaite et al. [47] beschreiben Kollisionen zwischen Lkw und ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen als besonders problematisch und weisen darauf

hin, dass der Hauptgrund für diese Kollisionen das problematische Sichtfeld der Lkw Fahrer:innen ist, so dass ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen besonders anfällig dafür sind, sich im toten Winkel zu befinden und von Lkw Fahrer:innen übersehen werden. Eine der häufigsten Kollisionssituationen zwischen Lastkraftwagen und Radfahrer:innen ist beim Rechtsabbiegen des Lkw und geradeausfahrenden Radfahrer:innen mit einem Anteil von 20 % [48–51]. Gemäß Silla et al. [9] sind in den Niederlanden 41 % der Lkw-Fahrradunfälle Tote-Winkel Unfälle. Auch Schindler et al. [49] identifizierten als häufigste Unfallszenarien beim Lkw a) ein Rechtsabbiegen an einer Kreuzung mit geradeaus fahrenden Radfahrer:innen und b) kreuzende Fußgänger:innen. In Szenario a) sind die Kollisionsgeschwindigkeiten in einem Bereich von durchschnittlich ca. 13 km/h bis maximal ca. 30 km/h und der Anprallpunkt zwischen den Radfahrer:innen und dem Lkw befindet sich innerhalb der ersten 2 m der Länge des Lkw, d. h. der Zugmaschine und nicht des Anhängers. In Szenario b) scheinen die Kollisionsgeschwindigkeiten damit zusammenzuhängen, ob die Fußgänger:innen vom Lkw überrollt werden - in den Fällen, in denen sie überrollt werden, sind die Kollisionsgeschwindigkeiten sehr niedrig (etwa 5 km/h), die Verletzungen sind jedoch schwer bis meistens tödlich.

Fußgänger:innen und Radfahrer:innen nehmen nur einen kleinen Teil des Straßenraumes ein, können sich immer wieder im toten Winkel von Fahrzeugen befinden und sind daher besonders anfällig für Kollisionen [47]. Lastkraftwagen sind für die Beförderung von Gütern ausgelegt und haben ein eingeschränktes direktes Sichtfeld. Infolgedessen können die Fahrer:innen bestimmte Winkel vom Sitz aus nicht richtig sehen und müssen sich auf die Spiegel und das Sichtfeld durch die Front- und Seitenscheiben verlassen. Die Abmessungen der Front- und Seitenscheiben führen zu großen toten Winkeln im Sichtfeld der Fahrer:innen. Diese toten Winkel ändern sich beim Abbiegen des Fahrzeugs, vor allem, weil der Anhänger immer in einem kürzeren Radius abbiegt als das Zugfahrzeug. Dies führt dazu, dass die Lkw Lenker:innen Fußgänger:innen und Radfahrer:innen, die sich in der Nähe des Fahrzeugs befinden, nicht sehen können, insbesondere beim Abbiegen [52]. In Abbildung 6 sind die Erfassungsbereiche der vorgeschriebenen Spiegel (bzw. deren Klassen) am Lkw eingezeichnet [49]. Ebenso die Bereiche, wo es keine direkte Sicht geben kann. Radfahrer:innen bzw. Fußgänger:innen, welche sich in unmittelbarer Nähe zum Fahrzeug aufhalten, können keinesfalls direkt gesehen werden (Abbildung 7). Ein kleiner Teil des roten bzw. grünen Helms der Radfahrer:innen ist sichtbar. Der blaue Helm ist gänzlich verborgen.

Abbildung 6: Erfassungsbereich der Lkw Spiegel [49]

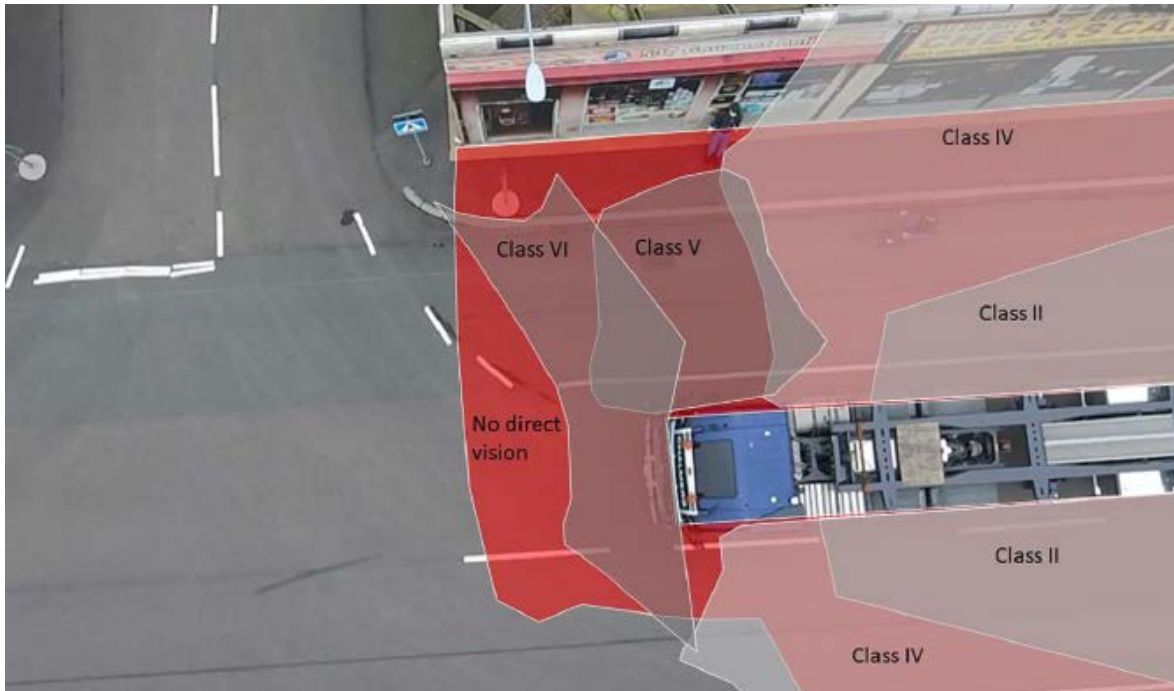


Abbildung 7: Direkte Sichtbeziehungen auf Radfahrer:innen aus Sicht der Lkw Lenker:innen [53]



Nach Pokorny et al. [44] sind 12 % der Kollisionen zwischen Lkw und Radfahrer:innen eine unmittelbare Folge des toten Winkel. Diese Unfälle waren im Durchschnitt schwerer als andere Arten von Unfällen zwischen Lkw und Radfahrern. Silla et al. [9] berichteten, dass Informationen über die Häufigkeit von Unfällen im toten Winkel begrenzt sind, aber frühere Studien zeigten, dass etwa 41 % der Unfälle zwischen Lkw und Radfahrer:innen in den Niederlanden als Unfälle im toten Winkel klassifiziert werden können. Ein

wesentlicher unfallbeitragender Faktor ist daher die fehlende direkte Sicht auf die Radfahrer:innen [54].

Warum sehen nun Lkw Lenker:innen ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen nicht im toten Winkel, obwohl die Lkw mit zahlreichen Spiegeln ausgestattet sind? Talbot et al. [55] erwähnen drei mögliche Ursachen. Erstens, die Lenker:innen schauen zwar in die richtige Richtung, doch übersehen sie die Radfahrer:innen. Als zweite Ursache nennen sie die durch das Verkehrsaufkommen notwendige Aufmerksamkeit auf andere Verkehrsteilnehmer:innen, welche auch von Summala et al. [56] festgestellt wurde. Drittens, die Lenker:innen schauen in die Spiegel, allerdings nicht zu dem Zeitpunkt, zu welchem die Radfahrer:innen in den Spiegeln sichtbar wären. Ein Problem ist, dass laut Europäischer Richtlinien, die Evaluierung der Spiegel im stationären Zustand erfolgt. Im Stillstand des Lkw sind die Sichtbedingungen mehr oder weniger gut, jedoch im fahrenden Zustand ist dies nicht mehr der Fall [55]. Durch die hohe Anzahl an Spiegeln benötigen die Fahrer:innen zudem auch eine gewisse Zeit bis alle Spiegel überprüft sind. Nach Molde und Wilkie [57] dauert es etwa vier Sekunden, bis die Fahrer:innen alle Spiegel überprüft haben. Sie haben festgestellt, dass die Fahrer:innen am schnellsten auf Objekte reagierten, die vor ihnen erschienen, und am langsamsten, wenn Objekte in Spiegeln erschienen, die weit von der Mitte des Displays entfernt waren (exzentrischer). Eine genauere Untersuchung des Reaktionsmusters über die verschiedenen Spiegel hinweg ergab eine systematische Beziehung zwischen dem Ausmaß der Verlangsamung und der Exzentrizität des Sichtfensters: Mit zunehmender horizontaler Exzentrizität und vertikaler Höhe des Sichtfensters verlangsamten sich die Reaktionszeiten auf dort erscheinende Objekte. Das bedeutet, dass das Hinzufügen weiterer Spiegel oder Kameras wahrscheinlich nicht die Gefahr, jemanden zu übersehen, verringert [57,58] und möglicherweise sogar zu neuen Arten von visuellen Unstimmigkeiten führt. Nach Mole und Wilkie [57] führt eine Erhöhung der Anzahl von Spiegeln zwar zu einer Reduktion der räumlichen toten Winkel, allerdings auch zu einer erhöhten Reaktionszeit bzw. Wahrnehmungszeit der Lkw-Lenker:innen. Obwohl die Verlängerung der Frontpartie und die Absenkung der Fensterlinie, eingeführt durch die neue europäische Verordnung [59], die Situation verbessern könnten, werden einige tote Winkel bestehen bleiben.

Kollisionen zwischen Lkw und UV (UV: Vulnerable Road User, UV: ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen) entstehen aus einer Kombination von visuellen Aufmerksamkeitsfehlern (z. B. Ablenkung, Unstimmigkeiten bei der visuellen Abtastung, zeitliche Blind Spots), eingeschränkter Sichtbarkeit der UV (z. B. räumliche tote Winkel) und falschen Erwartungen (z. B. Erwartungen der Lkw Fahrer:innen oder das Verhalten der

UV). Diese Faktoren sind oft miteinander verknüpft: Zum Beispiel kann eine Fehlanpassung der visuellen Beobachtung (z. B. wenn die Fahrer:innen den Blick nach vorne richten, während auf der rechten Seite eine sicherheitskritische visuelle Information auftaucht) durch einen UV entstehen, die sich im toten Winkel befindet, während die Fahrer:innen die Umgebung zuerst nach relevanten visuellen Informationen beobachtet haben [49].

Abhilfe sollen Assistenzsysteme schaffen. Sie überwachen den Bereich neben dem Lkw und warnen die Lenker:innen, wenn sich Radfahrer:innen im toten Winkel befinden. Deshalb ist es sinnvoll, dass die „General Safety Regulation“ [60] auf EU-Ebene eine europaweit verpflichtende Einführung vorsieht: Neu auf den Markt kommende Lkw-Modelle mit mehr als 3,5 Tonnen zulässigem Gesamtgewicht müssen seit 2022 und generell alle neu zugelassenen Lkw (ebenfalls ab 3,5 Tonnen) ab 2024 mit solchen Systemen ausgerüstet sein. Allerdings fahren ältere Fahrzeuge dann weiterhin ohne den elektronischen Helfer.

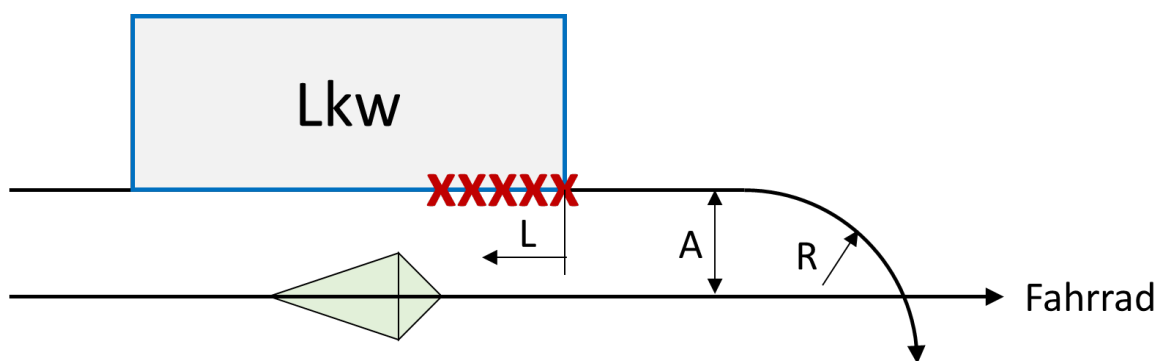
2.4 Effektivität von Assistenzsystemen

Nach Schätzungen von Wilmink et al. [61] könnten in Europa mit einem Totwinkel-Assistenten System jährlich ca. 39 getötete und ca. 1.900 verletzte ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen vermieden werden. Eine Untersuchung der Insurance Institute for Highway Safety (IIHS) bezifferte das Potenzial eines Totwinkel-Assistenten auf eine Verringerung der Getöteten um 428 und der Verletzten um 457.000 pro Jahr [62] zitiert in [7]. Ebenfalls könnten pro Jahr 39.000 Lkw Unfälle und 79 Getötete vermieden werden [63] zitiert in [7]. Nach Kingsley [64] wären mit einem Totwinkel-Assistenten 5,9 % an Unfällen mit Lkw vermeidbar. In wie weit auch ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen betroffen sind, wurde in der Studie nicht angegeben. Nach Kühn et al. [8] würden sich durch einen Abbiegeassistenten ein Potenzial zur Unfallvermeidbarkeit zwischen Lkw und Radfahrer:innen bzw. Fußgänger:innen von 42,8 % ergeben. Bezogen auf die Verletzungsschwere könnte ein Abbiegeassistent 31,4 % an Getöteten, 43,5 % an schwer und 42,1 % an leicht Verletzten vermeiden. Nach Wang und Wei [7] hätte ein Totwinkel Assistent ein Potenzial von 24 % bei Unfällen mit Fußgänger:innen, 10 % bei Radfahrer:innen und 11% bei Unfällen mit Motorrädern. In den von Hoedemaeker et al. [6] identifizierten Lkw-Fahrradunfällen, welche auf den toten Winkel zurückzuführen waren, könnten ca. 71 % mit einem Totwinkel-Assistenten potenziell vermieden werden. Silla et al. [9] beziffern das Potenzial auf ca. 78 %. Tomasch und Smit [65] beziffern, in

einer Vorher-Nachher-Studie, das Potenzial eines Totwinkel-Assistenten mit bis zu einem Drittel, unter der Annahme, dass sich die Unfälle im gleichen Ausmaß reduzieren, wie die Warnmeldungen nach Aktivierung eines nachgerüsteten Assistenten. In einer prospektiven Simulationsstudie von Unfalldaten wurde für ein derartiges System ein Potenzial zur Unfallvermeidbarkeit von durchschnittlich 15 % festgestellt [66].

Basierend auf dem Unfallszenario des rechtsabbiegenden Lkw und den geradeaus fahrenden Radfahrer:innen wurden zur Bewertung von Totwinkel-Assistenten eine Testmethodik vorgeschlagen [67–70]. Das Abbiegemanöver des Lkw hat dabei mit unterschiedlichen Kurvenradien (5 m, 10 m 25 m) und Abständen zu den Radfahrer:innen (1,5 m bis 4,5 m) zu erfolgen. Die Lkw Geschwindigkeiten werden mit 10 km/h, 20 km/h und 30 km/h und jene der Radfahrer:innen zwischen 10 km/h und 20 km/h vorgeschlagen. In der UN R 151 [71] wird ein Geschwindigkeit der Radfahrer:innen zwischen 5 km/h und 20 km/h festgelegt. Die theoretische Anprallstelle L am Lkw wäre zwischen Null und sechs Metern von der Fahrzeugfront gemessen. In Abbildung 8 ist eine Skizze des Testszenarios dargestellt. Diese Testszenarien sind auch in der UN R 151 [71] zur Bewertung von Totwinkel Assistenzsystemen (BLIS: Blind Spot Information System) zur Vermeidung von Kollisionen mit Radfahrer:innen vorgeschlagen. Obwohl die BLIS vom Stillstand aus bis zu einer Geschwindigkeit von 30 km/h funktionieren müssen, erfolgen die Tests mit den erwähnten Geschwindigkeiten bei konstanter Fahrt. Tests in welchen der Lkw aus dem Stillstand beschleunigt und sich das Fahrrad in den toten Winkel Bereich befindet, sind in der UN R 159 beschrieben [72].

Abbildung 8: Geometrische Skizze des Testszenarios [67,70]



Als Bewertungskriterien wurde die Kollisionsvermeidung definiert [70]. Der Unfall wird dann vermieden, wenn die Trajektorien von Lkw und Fahrrad sich nicht schneiden. Dafür muss der Abbiegevorgang entweder abgebrochen werden (Ausweichen), oder der Lkw










muss vorher zum Stillstand kommen. Für die vergleichsweise geringen Lkw-Fahrgeschwindigkeiten ist ein vollständiger Stillstand des Lkw weit einfacher zu erreichen als ein Abbruch des Abbiegevorgangs durch Lenken. Es wird daher erwartet, dass ein Abbiegeassistenzsystem die Information spätestens zu dem Zeitpunkt zur Verfügung gestellt hat, zu dem der Unfall rechnerisch noch vermieden werden kann.

In der Verordnung EU 2019/2144 ist für neu zugelassene Lkw ein Totwinkel Assistent vorgeschrieben, jedoch sind keine spezifischen Tests festgelegt, mit welchen die Effektivität bewertet werden könnte [60].

2021 untersuchte der ADAC neun unterschiedliche nachgerüstete Abbiegeassistenten [73]. Neben einer möglichst hohen Anzahl an unterschiedlichen Alltagssituationen wie die Erkennung von Jogger:innen, Inlineskater:innen, Rollstuhlfahrer:innen, welcher Bereich abgedeckt wird, Funktion auch bei Dunkelheit, Einfluss von parkenden Autos oder Büschen zwischen Lkw und Radfahrer:innen, wurden auch die Fehlwarnungen, als Maß für die Akzeptanz, in der Bewertung berücksichtigt. Insbesondere weil es sich bei den untersuchten Systemen lediglich um warnende Assistenten handelt und bei häufigen Fehlwarnungen die Lenker:innen im Ernstfall den Assistenten ignorieren könnten. Vier der untersuchten Systeme fielen bei den Tests durch (Abbildung 9) und wurden mit der Note „mangelhaft“ bewertet (Notenbereich schlechter als 4,6). Zwei der Systeme erhielten die Note Gut (Notenbereich 1,6 bis 2,5), zwei Systeme waren im Bereich zwischen 2,6 und 3,5 (Note Befriedigend) und ein System hatte die Bewertung 4,4 (Genügend, Notenbereich 3,6 bis 4,5). Mit einem „Sehr Gut“ (Notenbereich zwischen 1,0 und 1,5) wurde keines der untersuchten Systeme bewertet. Gute Systeme produzierten keine Fehlmeldungen und konnten Radfahrer:innen auch in einem größeren Abstand zum Lkw erkennen. Ferner sind die Rückmeldungen an die Lkw Lenker:innen leicht und verständlich. Weiters zeichnen derartige Systeme aus, dass ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen und statische Objekte unterschieden werden können und die ungeschützten Verkehrsteilnehmer:innen werden bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Abständen und Testvarianten rechtzeitig erkannt und die Lenker:innen gewarnt. Mangelhafte Abbiegeassistenten produzierten eine hohe Anzahl an Fehlwarnungen und verfügten nur über einen kleinen Sichtbereich und dadurch können die Lenker:innen nicht rechtzeitig gewarnt werden. Manche Systeme erkennen Radfahrer:innen nur, wenn diese den Lkw überholen, allerdings nicht, wenn die Radfahrer:innen neben dem Lkw fahren oder der Lkw die Radfahrer:innen überholen. Bei einem der untersuchten Systeme funktionierte die Warnung nur, wenn auch der Blinker gesetzt wurde.

Der Testsieger ist auch der teuerste Assistent, wobei die besten drei Systeme die teuersten sind. Zumindest bei diesen untersuchten Systemen korreliert ein höherer Preis mit der Gesamtbewertung. Billige Systeme können demnach die komplexen Anforderungen im Straßenverkehr nur mangelhaft erfüllen.

Abbildung 9: Ergebnis der Fahrversuche [73]

| Hersteller | Produktbezeichnung | Produktkosten ² in Euro | Gesamterfüllungsgrad in Prozent | Note | ADAC Urteil |
|--------------------------------|-------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|------|---|
| <u>EYYES</u> | TASET001 | 3.690 | 71,1 | 2,2 |  |
| <u>H3M</u> | Truck!Warn FLEX | 2.135 | 66,1 | 2,5 |  |
| <u>Knorr-Bremse</u> | ProFleet+ GEN 2 | 2.631 | 60,0 | 2,8 |  |
| <u>Wüllhorst</u> | WUE AAS-4.0 | 1.409 | 57,4 | 3,0 |  |
| <u>Dometic</u> | BSC01 | 1.710 | 33,2 ¹ | 4,4 |  |
| <u>Rosho</u> | TurnCAM | 1.366 | 29,0 ¹ | 4,6 |  |
| <u>AXION</u> | ICA Turn-Assist AAS Set | 1.499 | 28,7 ¹ | 4,6 |  |
| <u>H3M</u> | Truck!Warn DELUXE | 967 | 21,5 | 4,8 |  |
| <u>Continental³</u> | RightViu | 1.780 | 16,6 ¹ | 5,0 |  |

Anmerkungen zur Abbildung 9:

1. Durchschlageffekt: Bei den dynamischen und/oder statischen Tests wurden weniger als 20 % der Testszenarien erfolgreich absolviert. Das System wurde deshalb abgewertet.
2. Produktkosten spezifisch für das Testfahrzeug
3. Abbiegeassistent darf nicht am Testfahrzeug montiert werden. Das System wurde alternativ an einem Lkw mit 18 t zGG eingebaut, welcher die Voraussetzungen der Montage erfüllt.

2.5 Akzeptanz

Für den Begriff der Akzeptanz gibt es in der wissenschaftlichen Literatur keine einheitlich anerkannte Definition [74]. Die verschiedenen Definitionen von Akzeptanz können vielmehr über die unterschiedlichen Dimensionen von Akzeptanz, den Kontext, die Ausprägungen von Akzeptanz und verschiedene Einflussfaktoren unterschieden werden.

Kollmann [75] unterscheidet in Bezug auf Akzeptanz drei Dimensionen: die Einstellungsdimension, die Handlungs- bzw. Verhaltensdimension und die normative oder Wertedimension. Die Einstellungsdimension bedeutet dabei rein die positive Haltung oder Einschätzung gegenüber eines Akzeptanzobjektes, also den Gegenstand, auf den sich die Akzeptanz in unserem Projekt Assistenzsysteme bezieht. Diese kann bis zu einer bestimmten Handlungsintention oder -bereitschaft reichen, aber nicht darüber hinaus. In den meisten Modellen hat Akzeptanz jedoch nicht nur eine Einstellungskomponente, sondern auch eine Handlungskomponente. Im Zusammenhang mit Akzeptanz kann dabei eine Handlung erfolgen, muss aber nicht. Zum Beispiel kann auch das Unterlassen einer Handlung die Folge sein. Die normative Dimension von Akzeptanz betrifft die Bewertung eines Gegenstandes aufgrund von Normen und Werten. Eine klare Abgrenzung zur Einstellungsdimension ist hier nicht immer möglich.

Die Ausdrucksformen von Akzeptanz können nicht nur in Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz, sondern in verschiedene Zwischenstufen unterteilt werden. Beispielsweise gibt es eine achtstufige Inakzeptanz-Akzeptanz-Skala von Sauer et al. [76], die verschiedenen Stufen von Akzeptanz unterscheidet und dabei auch die Handlungsdimension miteinbezieht. Diese Skala reicht von aktiver Gegnerschaft über Ablehnung, zu Zwiespalt, Gleichgültigkeit, Duldung, konditionale Akzeptanz, zu Zustimmung bis hin zu Engagement. Wobei nur die ersten drei Stufen Inakzeptanz symbolisieren und laut Sauer et al. ab Gleichgültigkeit Akzeptanz vorliegt.

Gleichzeitig gibt es verschiedene Faktoren auf verschiedenen Ebenen, die die Akzeptanz beeinflussen können. Zunächst können Einflüsse auf das Akzeptanzsubjekt, also das handelnde Individuum, einwirken. Dies können Faktoren wie Einstellungen, Normen und Wertevorstellungen, Emotionen, soziodemografische Faktoren, aber z.B. auch wahrgenommene Handlungsmöglichkeiten sein. Auf einer weiteren Ebene wirken Faktoren auf das Akzeptanzobjekt, ein. Einflussfaktoren hier sind die Kosten und Nutzen des Einsatzes der Technik (individuell, gesellschaftlich, finanziell, sozial, ökologisch), Risiken (individuell und gesellschaftlich), Usability, Eignung der Technik zur Erfüllung der

Aufgaben und ästhetische Aspekte. Auf einer dritten Ebene, der Kontextebene, können Faktoren, die den Kontext prägen, die Akzeptanz beeinflussen. Hier fallen folgende Einflussfaktoren darunter: Die Art der Arbeitsaufgaben, die mit dem Gegenstand in unserem Fall Assistenzsysteme verrichtet werden sollen, soziale Prozesse in Gruppen, die in die Implementierung des Gegenstandes involviert sind, das soziale Umfeld, (sozial-) räumliche Kontexte und Bezüge, der gesamtgesellschaftliche Kontext sowie die Art und Weise, wie der Gegenstand eingeführt wird.

2.5.1 Akzeptanzmodelle

Auf Basis verschiedener Dimensionen, Ausdrucksformen und Einflussfaktoren von Akzeptanz sind eine Vielzahl an Akzeptanzmodellen entstanden. Die verschiedenen Akzeptanzmodelle unterscheiden sich ihren Schwerpunktsetzungen und ihrer Komplexität. Sie helfen dabei Einflussfaktoren, Phasen und Mechanismen, die aus empirischer Forschung oder aus Theorieansätzen abgeleitet wurden in einen Zusammenhang zu bringen. Die Akzeptanzmodelle, die hier beschrieben werden, beziehen sich allesamt auf Technikakzeptanz. Schäfer und Keppler [74] unterschieden dabei zwischen vier verschiedenen Modelltypen:

- Input-Modelle
- Input-Output-Modelle
- Rückkopplungsmodelle
- Phasenmodelle

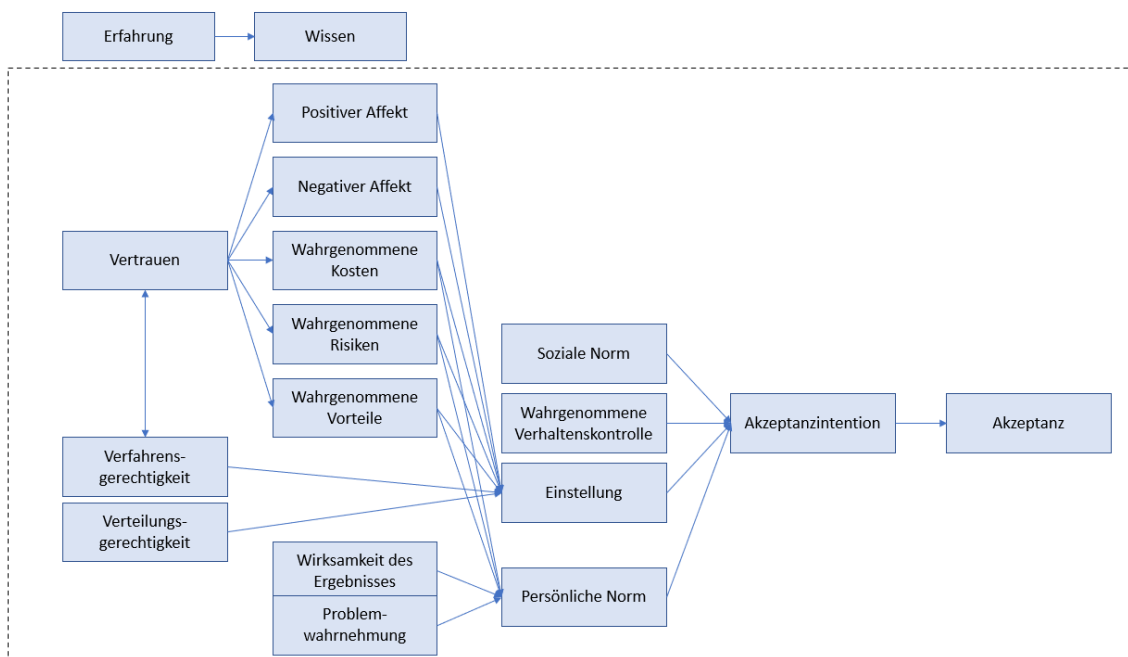
2.5.1.1 Input-Modelle

Input-Modelle beinhalten nur die direkte Einwirkung von Einflussfaktoren auf Akzeptanz, beschreiben also in erster Weise die Einflussfaktoren, die auf Akzeptanz wirken. Ein gutes Beispiel hierfür ist das Modell der Technologieakzeptanz von Huijts et al. [77], das aus psychologischen Theorien und Resultaten zur Technikakzeptanz abgeleitet wurde (siehe Abbildung 10). In diesem Modell wirken vier Hauptfaktoren auf die Akzeptanz ein:

- Haltungen, gegenüber Technik und bestimmten Verhaltens als Antwort auf Technikeinführung
- Persönliche Normen
- Wahrgenommene individuelle Verhaltenskontrolle
- Soziale Normen

Diese Hauptfaktoren sind wiederum durch verschiedene Subfaktoren beeinflusst. Auf die Haltungen wirken positive und negative Gefühle, die wahrgenommenen Kosten, Risiken und Nutzen (gesellschaftlich und individuell) sowie die verfahrensbezogene Fairness der Verteilung von Kosten, Risiken und Nutzen ein. Alle diese Bereiche sind wiederum beeinflusst von dem Vertrauen, das den Akteur:innen, die die Technologie einführen, entgegengebracht wird. Die persönliche Norm wird beeinflusst von der Problemwahrnehmung des Akzeptanzsubjekts, als dem Bewusstsein für die mit dem Themenbereich verbundenen Probleme. Außerdem wirkt die Wirksamkeit der Ergebnisse oder die der Technologie auf die persönliche Norm ein. Wissen in Form von Faktenwissen und Erfahrungswissen wirkt laut Huijts et al. [77] nur indirekt auf die Akzeptanz ein.

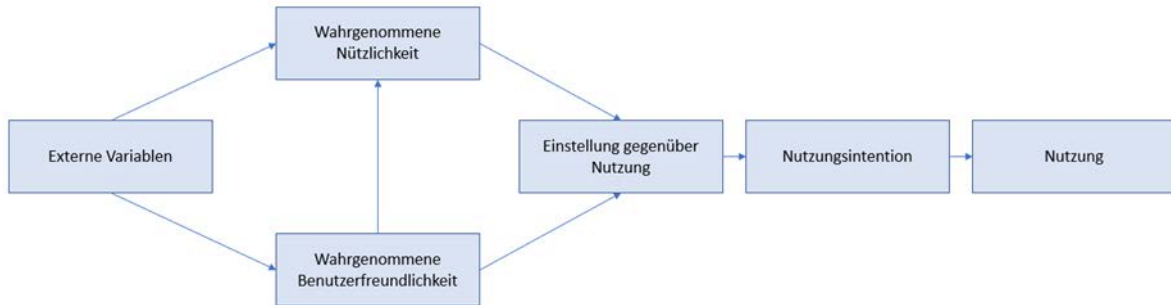
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Modells nach Huijts et al. [77]



Das wohl bekannteste Input-Modell ist das Technologie-Akzeptanz-Modell (TAM) von Davis [78]; siehe Abbildung 11). Akzeptanz ist in diesem Fall die tatsächliche Nutzung einer Technologie. Die zwei Hauptfaktoren, die hier auf die Akzeptanz wirken, sind der wahrgenommene Nutzen (perceived usefulness) und die Einfachheit der Benutzbarkeit (perceived ease of use). Die perceived usefulness wird beschrieben als das Ausmaß, in dem eine Person glaubt, dass die Verwendung eines bestimmten Systems ihre Arbeitsleistung verbessern würde [79]. Der perceived ease of use ist als das Ausmaß, in dem eine Person glaubt, dass die Nutzung eines bestimmten Systems ohne Aufwand möglich ist. Diese zwei Faktoren wirken zunächst auf die Intention zur Handlung ein,

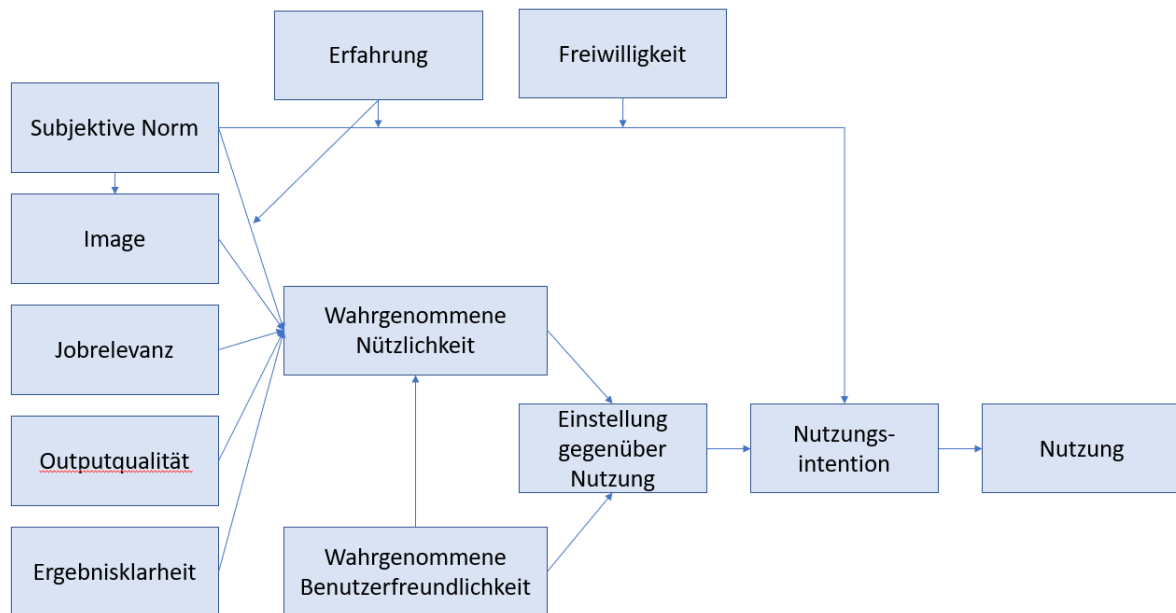
welche sich dann wiederum auf das tatsächliche Verhalten auswirkt. Die externen Stimuli, die auf die kognitive Reaktion einwirken, sind hier noch nicht näher bestimmt.

Abbildung 11: TAM nach Davis aus Claßen [79]



Das TAM-Modell wurde in der Folge zwei Mal weiterentwickelt - zu TAM2 und TAM3. In TAM2 wurden Einflussfaktoren, die auf die wahrgenommene Nützlichkeit und die Intention zum Nutzen einwirken, in das Modell integriert (siehe Abbildung 12). Dabei wirken soziale Einflussfaktoren, wie die subjektive Norm, Freiwilligkeit und Selbstdarstellung, und kognitiv instrumentelle Prozesse, wie Relevanz für die Arbeit, Qualität der Ergebnisse, Verständlichkeit der Leistung und die Leichtigkeit der Nutzung auf die Nützlichkeit und die Verhaltensintention. Außerdem wirkt wachsende Erfahrung auf die Faktoren ein.

Abbildung 12: TAM2 nach Davis aus Claßen [79]



Die subjektive Norm ist dabei die Wahrnehmung einer Person, inwieweit ihr wichtige Menschen, der Meinung sind, dass sie das betreffende Verhalten zeigen sollte bzw. nicht zeigen sollte. Die subjektive Norm wirkt nicht nur auf die erwartete Nützlichkeit ein, sondern auch direkt auf die Verhaltensintention. Die Freiwilligkeit wirkt direkt auf die Beziehung von subjektiver Norm auf die Intention ein: Die subjektive Norm hat nur einen direkten Einfluss, wenn die Nutzung nicht freiwillig erfolgt, sonst nicht.

Die subjektive Norm wirkt sich außerdem auf die Selbstdarstellung aus, welche sich wiederum auf die Nützlichkeit auswirkt. Die Erfahrung mit einem System beeinflusst die Wirkung von sozialen Normen: Ist die Erfahrung mit einem System gering, orientieren sich Nutzer:innen eher an der subjektiven Norm. Je höher die Erfahrung, desto mehr können Sie zwischen den Vor- und Nachteilen differenzieren und sind weniger von sozialen Einflüssen abhängig.

Die vier Faktoren „Relevanz für die Arbeit“, „Qualität der Ergebnisse“, „Verständlichkeit der Leistung“ und „Einfachheit der Nutzung“ (bereits aus TAM bekannt) wirken sich direkt auf die Nützlichkeit aus. Relevanz der Arbeit ist die Einschätzung des Einzelnen, inwieweit das Zielsystem auf seine Arbeit anwendbar ist. Qualität der Ergebnisse beschreibt das Ausmaß, in dem eine Person der Meinung ist, dass das System die Arbeitsaufgaben gut

erfüllt. Die Verständlichkeit der Leistung beschreibt die Greifbarkeit der Ergebnisse in der Anwendung des Systems.

Die Validität des TAM2 konnte in mehreren Längsschnittstudien nachgewiesen werden [80]. Durch das Modell können bis zu 52% der Varianz der Nutzungsintention erklärt werden.

Das TAM3 erweitert das Modell um die Prozesse Verankerung und Anpassung, die als Determinanten der Leichtigkeit der Nutzung berücksichtigt wurden [79]. Die generelle Einstellung von Personen gegenüber Computern beeinflusst demnach die anfängliche Meinung über die Leichtigkeit der Nutzung durch sogenannte Anker. Diese Anker sind Computer-Selbstwirksamkeit, Angst vor Computern, Verspieltheit der Computernutzung und die Wahrnehmung externaler Kontrolle. Neben den Ankern beeinflussen die tatsächlichen Erfahrungen, die mit dem System gemacht wurden, die wahrgenommene Einfachheit der Benutzung und führen zur Anpassung der eigenen Meinung. Anpassungsprozesse hier beruhen auf dem empfundenen Spaß und der objektiven Nützlichkeit. Die persönliche Erfahrung wirkt dabei unterschiedlich, sowohl abschwächend als auch verstärkend, auf die verschiedenen Anker und Anpassungen ein.

Die Validität der Anwendbarkeit des TAM3 konnte in verschiedenen Längsschnittstudien nachgewiesen werden [81]. Das TAM3 konnte zwischen 52% und 67% der Varianz in der Nützlichkeit aufklären sowie die Moderatoreffekte von Erfahrung erklären [79].

2.5.1.2 Input-Output Modelle

Input-Output Modelle ergänzen laut Schäfer & Keppler [74] die Input-Modelle um die Ergebnisse des Akzeptanzprozesses. Hier werden also neben den verschiedenen Einflussfaktoren auch die Ergebnisse stärker differenziert. Beispielsweise in Zufriedenheit / Unzufriedenheit mit der Arbeitssituation und Umfangreiche / geringe Nutzung neuer Bürotechnologie [75].

2.5.1.3 Rückkopplungsmodelle

Rückkopplungsmodelle stellen im Vergleich zu den bisherig genannten Modellen vorwiegend die Rückwirkungen des Akzeptanzprozesses auf die Einflussfaktoren dar [74]. Die Einflussfaktoren selbst, stehen also gar nicht besonders im Fokus und die Einflussfaktoren wirken nicht nur auf die Akzeptanz selbst. Vielmehr geht es in diesen

Modellen auch um die Rückwirkungen des Prozesses auf z.B. das organisatorische Umfeld oder das Individuum selbst. Ein Beispiel ist das Modell von Reichwald [82], dass neben diesen Rückkopplungsprozessen auch die Situationsbezogenheit von Akzeptanz miteinbezieht.

2.5.1.4 Phasenmodelle

Ähnlich wie Rückkopplungsmodelle legen Phasenmodelle den Fokus ebenfalls auf den Prozesscharakter der Akzeptanzentstehung. Hier wird der Akzeptanzprozess in verschiedene Phasen aufgeteilt. Das Modell von Rogers aus dem Jahr 1995 [83] unterscheidet beispielsweise zwischen den fünf Phasen: Wissen, Überzeugung, Entscheidung, Implementierung, und Bestätigung, die in dieser Reihenfolge durchlaufen werden müssen. Wissen ist dabei von sozioökonomischen Merkmalen, Persönlichkeitsvariablen und Kommunikationsverhalten abhängig. Die Überzeugung wird durch die Merkmale der Innovation (Nutzen, Kompatibilität, Komplexität, Erprobbarkeit und Beobachtbarkeit) beeinflusst. Im Schritt der Entscheidung fällt dann die Wahl zwischen Adoption oder Ablehnung der Innovation und über den Implementierungsprozess hinweg dann, ob die Adoption fortgesetzt oder abgebrochen wird, oder die Ablehnung in eine spätere Adoption oder in einer fortgesetzten Ablehnung endet.

Die Akzeptanzmodelle veranschaulichen, dass die Akzeptanz eines Akzeptanzobjektes ein sehr komplexer Vorgang ist und von vielen Faktoren abhängt. In den empirischen Erhebungen konzentrierten wir uns vor allem auf das erste TAM-Modell, wie die Assistenzsysteme hinsichtlich ihrer Nützlichkeit und Einfachheit in der Verwendung wahrgenommen werden.

Das Erforschen von verkehrssicherheitsrelevantem Verhalten von Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen und Meinungen zu Assistenzsystemen erfolgte dabei in zwei Schritten:

- Qualitativ mit Fokusgruppen und Einzelinterviews mit Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen und
- Quantitativ mit einer standardisierten Online-Umfrage von Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen

2.5.2 Akzeptanz von Assistenzsystemen

Insgesamt konnten nur wenige Studien zur Akzeptanz von Fahrassistenzsystemen unter Lkw-Fahrer:innen gefunden werden.

Camden et al. [84] untersuchten die Akzeptanz von kamerabasierten Assistenzsystemen unter Fahrer:innen von Nutzfahrzeugen. Diese Kameras sollten dazu dienen, den toten Winkel für die Fahrer:innen zu reduzieren. Die Teilnehmer:innen gaben an, dass das System Ihnen dabei half, sich in den Verkehr einzuordnen. Das System sei einfach zu benutzen und nicht nervig. Alle Teilnehmer:innen würden ein Fahrzeug mit solch einem System, einem ohne vorziehen. Einziger Nachteil, war die zu starke Helligkeit des Displays in der Nacht.

Eine Studie von Al Haddad et al. [85] erfasste vergleichend die Akzeptanz von Fahrassistenzsystemen (allerdings kein Totwinkel-Assistent) unter Autofahrer:innen, Lkw-Fahrer:innen und Tramfahrer:innen. Die Experimente fokussierten auf verschiedene Risikofaktoren: Frontkollision, überhöhte Geschwindigkeit, Interaktionen mit vulnerablen Verkehrsteilnehmer:innen (Fußgänger:innen), Ablenkung und Müdigkeit.

Das Assistenzsystem wurden über alle drei Modi hinweg positiv wahrgenommen. Die Akzeptanz ist dabei an erster Stellen durch die Faktoren perceived usefulness und ease of use (siehe TAM-Modell) beeinflusst. Das getestete System warnte sowohl visuell als auch per Audio. Die visuelle Warnungen wurden als gut empfunden, während die Audiowarnungen von einigen Teilnehmer:innen als zu laut, oder zu leise beschrieben wurden.

Die Akzeptanz des Assistenzsystems drückte sich auch in verschiedenen Zustimmungswerten zu Statements aus (Tabelle 1).

Tabelle 1: Zustimmung zu verschiedenen Items in der Studie von Al Haddad et al. [85]

| Das Assistenzsystem ... | Zustimmung in Prozent |
|--|-----------------------|
| erfordert Aufmerksamkeit | 36,1% |
| verbessert meine Fahrleistung | 61,1% |
| hilft mir, mein Ziel sicher zu erreichen | 55,4% |
| ist nervig | 21,6% |
| lenkt mich vom Fahren ab | 25% |

Lie et al. [86] untersuchte Unterschiede in der Akzeptanz von Fahrassistenzsystemen nach Geschlecht, Alter und Aggression der Fahrer:innen. Dabei zeigte sich, dass ältere Personen offener gegenüber Assistenzsystemen (Frontalkollisionswarnassistent) waren als jüngere. Hinsichtlich Geschlecht und Aggressionen, konnten keine eindeutigen Unterschiede festgestellt werden.

In Xu et al. [87] wurden Fahrassistenzsysteme unter Fahrer:innen von Nutzfahrzeugen untersucht. Hier konnte eine Akzeptanz gegenüber Frontalkollisionsassistenten (69,52%), aber eine geringere gegenüber Spurhalteassistenten (38,76%) gefunden werden.

Von Bosurgi et al. [88] wurde die Überforderung, die beim Fahren durch die Zuhilfenahme von Fahrassistenzsystemen entstehen kann, untersucht. Teilnehmer:innen fuhren eine Strecke in einem Fahrsimulator, in dem eine On-Board Unit zusätzliche Informationen vermittelte. Dabei wurden unterschiedliche Schwierigkeitsgrade von Szenarios verwendet und das Fahrverhalten anhand mehrerer Leistungsindikatoren bewertet. Die Ergebnisse zeigten, dass in einfachen Situation die zusätzlichen Informationen helfen können, jedoch aufgrund der Einfachheit der Situation nicht benötigt werden. In komplexen Situationen hingegen, konzentrieren sich die Fahrer:innen auf eine geringere Zahl von Informationsquellen, und schließen die On-board Unit als Informationsquelle aus.

Fahrräder sind derzeit noch äußerst selten mit einem Assistenzsystem ausgestattet. Ganz oben auf der Wunschliste von Radfahrer:innen würden allerdings ABS (50 %), gefolgt von einer automatischen Lichtassistenz bzw. Blinker (40 %), Notbremsassistent (30 %) und einem Spurwechselassistenten (29 %) sowie Abstandssensoren bzw. Hinderniswarnung (24 %) und ESC (19 %) stehen [16]. Die Warnelemente sollten am Elektrofahrrad angebracht sein, unabhängig davon, ob diese optisch, akustisch oder haptisch warnen. Unter der Voraussetzung einer optimalen Detektion bzw. Messung durch die Sensorik

könnten durch eine Frontkollisionswarnung 18,9 %, Einbiege/Kreuzungsassistent 15,2 %, Notbremsassistent 12,6 % und Spurwechsel- bzw. Totwinkelassistenten 7,5 % an Unfällen beeinflusst werden [16]. Weitere Zahlen sind der entsprechenden Studie zu entnehmen.

3 Methodik

Für die Studie kam ein Methodenmix aus Fokusgruppen- und Einzelinterviews sowie Online-Fragebogen und der Analyse von Unfalldaten der nationalen Statistik als auch Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen der Unfalldatenbank CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) zum Einsatz. Aus einer Stichprobe an Lkw-Radfahrer:innenunfällen werden die Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. aktiv eingreifendes Fahrassistenzsystem abgeleitet und die potenzielle Wirksamkeit der Unfallvermeidung bewertet.

3.1 Fokusgruppen- und Einzelinterviews

Ein Fokusgruppeninterview [89–92] ist eine Form der Gruppendiskussion, bei der in einem strukturierten Prozess vorgegebene Inhalte diskutiert werden. Die Anzahl der Teilnehmer:innen variiert dabei üblicherweise zwischen 5 bis 8 Personen [93], die auf Grund themenrelevanter Eigenschaften als Teilnehmer:innen in Frage kommen. Auf Grundlage eines Leitfadens führt die Diskussionsleiterin/der Diskussionsleiter die Teilnehmer:innen durch die zu erörternden Themen. Um ein möglichst breites Feld im Hinblick auf unterschiedliche Zielgruppen und entsprechend verschiedene Standpunkte abzudecken, werden häufig mehrere Fokusgruppeninterviews zu einem Themengebiet durchgeführt. Als Teil des qualitativen Instrumentariums dienen Fokusgruppeninterviews dazu verschiedene Aspekte, Bedürfnisse und Meinungen zu einem Themenbereich offen zu legen.

Die Auswahl der Teilnehmer:innen erfolgt anhand der Zweckmäßigkeit für das Thema und folgt dem Prinzip des theoretischen Samplings, statistische Repräsentativität ist kein gültiges Kriterium in diesem qualitativen Datenerhebungsprozess, sondern eine Repräsentation verschiedener Ansichten und Meinungen [89]. Die Teilnehmer:innen sollten sich vorher möglichst nicht kennen [94]. Die Anzahl der Fokusgruppeninterviews richtet sich nach dem Prinzip der Sättigung [92,95–97]. Der untersuchte Gegenstandsbereich wird dabei so weit erschlossen, dass auch durch weitere Interviews keine neuen Erkenntnisse mehr erwartet werden können. Die Ergebnisse, die in den Fokusgruppeninterviews gewonnen werden, dienen der Exploration des Themas. Anhand

der Ergebnisse wurden in weiterer Folge die Items für die standardisierten Befragungen entwickelt und Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit erarbeitet.

Als Einzelinterview bezeichnet man alle Formen der mündlichen Befragung, die nicht mit standardisierten Fragen arbeiten und ein geringes Maß an Strukturierung aufweisen [98]. Ein Einzelinterview erfolgt nach denselben Prinzipien wie eine Fokusgruppe, jedoch findet kein Austausch zwischen unterschiedlichen Teilnehmer:innen statt. Ziel eines Einzelinterviews ist es, detaillierte Beschreibungen von Befragten zu erlangen, wobei auf die Perspektive, Sprache und Bedürfnisse der Befragten Rücksicht genommen wird. Dazu gehört erstens die Erweiterung des Antwortspielraums durch die Befragten, indem offene Fragen gestellt werden und zweitens Fragen, die den spezifischen Problemen und Bedürfnissen der Befragten entsprechen.

Ziel der Fokusgruppeninterviews (FGI) bzw. Einzelinterviews war es, verkehrssicherheitsrelevantes Verhalten von Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen zu identifizieren und Einstellungen und Herausforderungen in Bezug auf Assistenzsysteme zu erheben. Die Ergebnisse der Interviews dienten als Grundlage für die Erarbeitung eines quantitativen Fragebogens für eine Online-Befragung. Interviewt wurden sowohl Radfahrer:innen sowie ein Geschäftsführer eines Fahrradbotendienstes als auch Lkw-Fahrer:innen bzw. Geschäftsführer:innen von Transportunternehmen. Es fanden zwei Fokusgruppen mit insgesamt 11 Personen und zusätzlich fünf Einzelinterviews mit Radfahrer:innen statt. Bei den Radfahrer:innen waren zwei Personen dabei, die regelmäßig mit einem E-Scooter unterwegs waren. Zehn Lkw-Fahrer:innen wurden im Einzelgespräch interviewt, da kein gemeinsamer Termin für eine Fokusgruppe gefunden werden konnte.

Insgesamt nahmen daher 26 Personen an den Interviews teil. Die Einzelinterviews wurden zum größten Teil telefonisch, aber auch persönlich geführt. Die Fokusgruppen dauerten 1,5 Stunden, die Einzelinterviews variierten zwischen 15 und 50 Minuten.

3.1.1 Inhalt und Struktur der Fokusgruppen- und Einzelinterviews

Für die Fokusgruppeninterviews bzw. Einzelinterviews wurde unter Einbeziehung einer Literaturstudie ein Leitfaden erarbeitet. Der Leitfaden gliederte sich in vier Abschnitte:

- Einstieg
 - Vorstellungsrunde (Name, Radtyp - Alltags- oder Freizeitradler-, Fahrstil, welchen Lkw (Tonnen) fährt man)
 - Spontane Assoziationen zum Thema Begegnungen zwischen Rad- und Lkw-Verkehr
- Verhalten und Wahrnehmung
 - Begegnungen mit Lkws/Radfahrer:innen eigene Erfahrungen
 - Herausforderungen
 - Riskantes Verhalten von Lkw-Fahrer:innen/Radfahrer:innen
- Fahrassistenzsysteme
 - Nur Lkw-Fahrer:innen: Welche Assistenzsysteme im Lkw?
 - Für Lkw Vor-/Nachteile, Erfahrungen
 - Für Fahrrad mögliche Vor-/Nachteile
 - Veränderung des Verkehrsverhaltens
- Maßnahmenvorschläge zur Erhöhung der Sicherheit
 - Bewusstseinsbildung
 - Infrastruktur
 - Sonstiges

In einer Abschlussrunde hatte die Interview-Teilnehmer:innen die Möglichkeit, zusätzliche Themen anzusprechen, die noch nicht erwähnt, aber noch als wichtig erachtet wurden.

Die Fokusgruppe bzw. die Einzelinterviews wurden mit Tonband aufgezeichnet, transkribiert und anhand der Themenanalyse nach Froschauer & Lueger [99] ausgewertet. Dabei wurde vor allem die Strategie des Textreduktionsverfahrens und des Kodierverfahrens angewandt. Bei diesem Verfahren wird das vorhandene Interviewmaterial in Kategorien analog zu den behandelten Themen/Fragen zusammengefasst und benannt, damit man einen Überblick über die Vielzahl an Gesichtspunkten erhält. Die erhaltenen Aussagen werden anhand von zusammenfassenden Begriffen strukturiert, sodass sie als Antwortkategorien den gestellten Fragen zugeordnet werden können. Damit werden die charakteristischen Elemente der unterschiedlichen Themen herausgearbeitet.

3.1.2 Teilnehmer:innencharakteristik

Bei den Radfahrer:innen wurden insgesamt 16 Personen (zwei E-Scooterfahrer:innen inkludiert) zum Thema interviewt. Sieben Personen waren davon weiblich und 8 männlich im Alter zwischen 21 und 53 Jahren. Die Interviewten nutzten das Rad vorwiegend als Alltagsverkehrsmittel. Eine Person war primär in der Freizeit mit dem Rad unterwegs und zwei Personen verwendeten das Fahrrad auch beruflich als Fahrradboten. Die Fahrstile der Interviewteilnehmer:innen variierten von langsam und entspannt bis flott und zügig.

Mit den Lkw-Fahrern bzw. Geschäftsführer:innen von Transportunternehmen wurden Einzelinterviews durchgeführt. Insgesamt nahmen 10 Personen teil, wobei davon fünf Lkw-Fahrer waren, zwei Lkw-Fahrer, die auch gleichzeitig Eigentümer des Unternehmens waren, zwei Geschäftsführer:innen, die nicht mehr aktiv Lkw fahren, sondern das Unternehmen leiteten und ein Fuhrparkleiter. Die Lkw-Fahrer waren durchgehend männlich, bei den leitenden Personen war eine Frau dabei. Die interviewten Lkw-Fahrer lenkten unterschiedlichste Fahrzeuge von Baufahrzeugen zu Sattelschlepper. Alle Lkw-Fahrer waren in ihrer beruflichen Tätigkeit zu 95% mit ein- und demselben Fahrzeug unterwegs.

Drei Lkw-Fahrer verfügten über Assistenzsysteme (Spurhalteassistent, Notbremsassistent, Abbiegeassistent) in ihrem Lkw, die anderen Lkws waren nicht mit Assistenzsystemen ausgestattet.

3.2 Online-Umfrage

In je einer standardisierten Online-Befragung für Lkw-Fahrer:innen und Radfahrer:innen wurden verkehrssicherheitsrelevante Themen und die Akzeptanz von Assistenzsystemen (für den Lkw und für Fahrräder) abgefragt.

3.2.1 Vorgehensweise

Die Online Befragung [100,101] zielte darauf ab, die in den Interviews identifizierten verkehrssicherheitsrelevanten Faktoren hinsichtlich ihrer Verteilung abzufragen und ein Meinungsbild der radfahrenden und lkw-fahrenden Bevölkerungen hinsichtlich Fahrassistenzsysteme zu bekommen. Es wurde je ein Fragebogen für Radfahr:innen und ein Fragebogen für Lkw-Fahrer:innen erarbeitet.

Die Gestaltung der Fragebögen erfolgte auf Basis der Fokusgruppen- und Einzelinterviews und der State of the Art Literaturrecherche. Vor allem bei der Wahl und Formulierung der Antwortkategorien, aber auch bei der Interpretation der Ergebnisse des quantitativen Fragebogens leisteten die erhobenen qualitativen Daten wertvolle Dienste.

Die Fragebögen wurden ausführlichen Pre-Tests unterzogen und mehrmals überarbeitet. Sie standen auf der Plattform [soscisurvey.de](https://www.soscisurvey.de) zur Verfügung. Der Fragebogen für die Lkw-Fahrer:innen, konnten neben Deutsch auch in den Sprachen Englisch, Tschechisch und Serbisch ausgefüllt werden.

Die Rekrutierung der Teilnehmer:innen fand zum Großteil online statt. Zur Rekrutierung von Radfahrer:innen wurde hauptsächlich mit Social Media gearbeitet: Die Links wurden in einschlägigen Facebook-Gruppen zum Radfahren geteilt (Gruppen der Radlobby, Radfahrgruppen). Die Radlobby teilte außerdem den Link auf ihrer Facebook-Seite und in ihrem Newsletter. Des Weiteren wurde auf eine Teilnehmer:innen Datenbank von FACTUM zurückgegriffen, sowie professionelle Netzwerke (z.B. wimen, ICTCT, radkompetenz) bemüht. Für die Rekrutierung der Lkw-Fahrer:innen wurden ca. 115 Speditionen und andere Unternehmen (z.B. Post, MA48), die Lkw-Fahrer:innen beschäftigen, per E-Mail angeschrieben sowie telefonisch kontaktiert. Außerdem wurde der Link in einschlägigen Lkw-Fahrer:innen Gruppen auf Facebook geteilt.

Die Rücklaufquote unter Lkw-Fahrer:innen war trotz immenser Anstrengungen lange Zeit sehr niedrig. Aufgrund dessen, wurde eine alternative Kurzversion des Fragebogens erstellt, um die Bearbeitungsdauer des Fragebogens kurz zu halten und so die Abschlussquote zu erhöhen. In dieser Version wurden die Fragen zur Position im Unternehmen, zu bisherigen Unfällen, Herausforderungen bei Begegnungen von Lkws und Fahrradfahrer:innen und Verhaltensweisen bei Begegnungen mit Fahrradfahrer:innen herausgenommen.

Insgesamt schlossen 365 Personen die Fragebögen ab. 255 Personen davon waren Radfahrer:innen und 110 Lkw-Fahrer:innen. Unter den Lkw-Fahrer:innen bearbeiteten 101 die vollständige Version und 9 die Kurzversion.

3.2.2 Inhalt und Struktur

Die Fragebögen beinhalteten unterschiedliche Fragenkomplexe und betrafen folgende Themenbereiche:

Demographisches, Verkehrsverhalten und Einstellungen

Es wurden die herkömmlichen demographischen Variablen wie Alter, Geschlecht, Bundesland und Wohngegend abgefragt. Zusätzlich wurden die Teilnehmer:innen zu ihrer alltäglichen Verkehrsmittel-Nutzung befragt, die mit dem Fahrrad zurückgelegten km pro Woche bzw. die Erfahrung als Lkw-Fahrer:in, Position im Unternehmen (bei Lkw-Fahrer:innen), welchem Radfahr-Typ sie sich zuordnen würden (nur Radfahrer:innen), Frage nach Anzahl bisheriger Unfälle und das Sicherheitsgefühl beim Radfahren (nur bei Radfahrer:innen). Zusätzlich bekamen beide Gruppen noch Statements zu bewerten, die die Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen betreffen und in den Interviews aufgekommen sind (z.B. *„Mit Klein-Transportern habe ich als Radfahrer:in mehr konfliktreiche Begegnungen als mit Lkws“* oder *„Lkw-Fahrer:innen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung“*).

Herausforderungen bei Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen

Die Items in diesem Fragenblock wurden ausschließlich aus den Interviews gewonnen. Die Teilnehmer:innen sollten hier bis zu 5 Situationen ankreuzen, die sie am unangenehmsten empfinden (z.B. *„Zu geringer seitlicher Sicherheitsabstand beim Überholt werden“*, *„Schlechte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Rad- und Lkw-Fahrer:innen“*). Die Items im Lkw-Fragebogen und Radfahr-Fragebogen überschneiden sich nur zum Teil.

Verhalten bei Begegnungen mit dem jeweils anderen Verkehrsmittel (Rad oder Lkw)

Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen erhielten jeweils spezifische Fragen zu ihrem Verhalten bei Begegnungen mit dem/der jeweils anderen Verkehrsteilnehmer:in. Die Teilnehmer:innen bekamen Statements vorgelegt, welche sie als für sich zutreffend oder nicht zutreffend ankreuzen konnten (z.B. *„Ich reduziere die Geschwindigkeit“*, *„Ich versuche Sichtkontakt aufzunehmen“*). Die Statements entstammten wiederum Aussagen, die in den Fokusgruppeninterviews getätigt wurden.

Bewertung und Einstellungen gegenüber Fahrassistenzsystemen

Erneut bekamen die zwei unterschiedlichen Zielgruppen unterschiedliche Fragen vorgelegt. Bei den Lkw-Fahrer:innen wurde zudem unterschieden zwischen Lkw-Fahrer:innen, die Fahrassistenzsysteme in ihren Lkws eingebaut haben und solchen ohne. Bei Lkw-Fahrer:innen mit Fahrassistenzsystemen bezogen sich die Fragen auf ihre Erfahrungen mit und Bewertung von Assistenzsystemen (z.B. *„Ich kenne mich mit den Assistenzsystemen in meinem Lkw gut aus“*), während bei Lenker:innen ohne Assistenzsysteme nur die Einstellungen gegenüber Fahrassistenzsystemen abgefragt wurden (z.B. *„Wenn ich Fahrassistenzsysteme hätte, würde ich mich sicherer fühlen“*). In diesen Fragen wurde die Zustimmung zu den Statements auf einer Skala von 1 (*„Stimme zu“*) bis 5 (*„Stimme nicht zu“*) abgefragt. In der Folge wurde noch die Zustimmung zu Statements zu Totwinkel-Assistenten unter allen Lkw-Fahrer:innen abgefragt (z.B. *„Totwinkel-Assistenten sollten nur warnen und nicht eingreifen“*, oder *„Mit einem Totwinkel-Assistenten fühle ich mich sicherer“*).

Bei den Radfahrer:innen wurde neben der Auswirkungen von Lkw-Fahrassistenzsysteme auf die eigene Sicherheit primär abgefragt, ob Radfahrer:innen Assistenzsysteme für Räder akzeptieren würden, wo diese angebracht werden sollten oder wie das System sie warnen soll (z.B. visuell, akustisch etc.).

Die Fragen in diesem Themenkomplex basieren einerseits auf den in der Literatur gefundenen Assistenzsystemen aber auch auf Aussagen aus den Fokusgruppeninterviews.

Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Bezug auf Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen

In diesem Fragenkomplex wurde danach gefragt, wie sinnvoll bestimmte Maßnahmen, die in den Fokusgruppen vorgeschlagen worden waren, zur Erhöhung der Verkehrssicherheit empfunden werden. Die Teilnehmer:innen konnten die Items auf einer Skala von 1 (*„sinnvoll“*) bis 5 (*„nicht sinnvoll“*) bewerten. Die vorgeschlagenen Maßnahmen waren bis auf wenige Ausnahmen gleich für Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen.

3.2.3 Hypothesen

Auf Basis der Literatur und Fokusgruppen wurden verschiedene Thesen für die Inferenzstatistischen Analysen aufgestellt und nach Hypothesen für Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen unterteilt.

Radfahrer:innen

- Hypothesen zu Verhalten und Wahrnehmung
 - HR1: Das Bewusstsein für den toten Winkel steigt bei den Radfahrer:innen mit der Höhe der gefahrenen Kilometer/Woche.
 - HR2: Je mehr Kilometer Radfahrer:innen in der Woche mit dem Fahrrad fahren, desto eher denken sie, dass Radfahrer:innen ein schlechtes Image in der Bevölkerung haben.
 - HR3: Radfahrer:innen, die sich (eher) sicher fühlen (generell und bei Lkw-Begegnungen), verhalten sich bei Begegnungen mit Lkws anders als Radfahrer:innen, die sich (eher) unsicher fühlen.
 - HR4: Es gibt Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Radfahrer:innen in Bezug auf das Sicherheitsgefühl, das Verhalten bei Lkw-Begegnungen und der Bewertung von bewusstseinsbildenden Maßnahmen.
 - HR5: Es gibt Unterschiede zwischen Radfahrer:innen aus ländlichen und urbanen Gebieten (z.B. in Bezug auf die Häufigkeit von Lkw-Begegnungen oder dem Sicherheitsgefühl).
- Hypothesen zu Fahrradassistenzsystemen
 - HR6: E-Bike-Fahrer:innen sind offener gegenüber Assistenzsysteme für das Fahrrad als Fahrer:innen von herkömmlichen Rädern.
 - HR7: Je älter Radfahrer:innen sind, desto offener sind sie gegenüber Assistenzsystemen.
 - HR8: Radfahrer:innen, die bereits einen Unfall hatten, sind offener für Fahrrad-assistenzsysteme.

Lkw-Fahrer:innen

- Hypothesen zu Verhalten und Wahrnehmung
 - HL1: Es gibt Unterschiede zwischen älteren und jüngeren Lkw-Fahrer:innen in Bezug auf die Bewertung des Images von Lkw-Fahrer:innen in der Bevölkerung und bewusstseinsbildenden Maßnahmen.
 - HL2: Erfahrene Lkw-Fahrer:innen sehen andere Schwierigkeiten bei Begegnungen mit Radfahrer:innen als unerfahrene Lkw-Fahrer:innen.
 - HL3: Lkw-Fahrer:innen, die selbst Radfahren verhalten sich anders bei Begegnungen mit Radfahrer:innen als jene, die nicht Radfahren.
 - HL4: Es gibt Unterschiede zwischen Lkw-Fahrer:innen aus ländlichen und urbanen Räumen in Bezug auf die Bewertung des Images des/der Lkw-Fahrer:in in der Bevölkerung.
- Hypothesen zu Fahrassistenzsystemen
 - HL5: Ältere Lkw-Fahrer:innen sind skeptischer gegenüber Assistenzsystemen als jüngere.
 - HL6: Lkw-Fahrer:innen mit mehr Fahrerfahrung sind skeptischer gegenüber Assistenzsystemen als unerfahrene.
 - HL7: Fuhrparkleiter:innen/Geschäftsführer:innen sind weniger offen gegenüber Assistenzsystemen als aktive Lkw-Fahrer:innen.
 - HL8: Lkw-Fahrer:innen, die bereits Assistenzsysteme nutzen, sind Assistenzsystemen gegenüber positiver eingestellt als Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsysteme.
 - HL9: Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsysteme gehen eher davon aus, dass der Fahrstil beeinflusst wird als jene mit Assistenzsystemen.
- Hypothesen zu Vergleichen zwischen Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen
 - HRL1: Lkw-Fahrer:innen sehen Überholmanöver durch Lkws als geringeres Problem an als Radfahrer:innen.
 - HRL2: Es gibt keine Unterschiede in der Bewertung von Maßnahmen zwischen Lkw-Fahrer:innen und Radfahrer:innen.

Nach einer Überprüfung und Säuberung der Daten wurden diese mittels SPSS und Excel statistisch ausgewertet. Um die Hypothesen zu überprüfen, wurden die jeweiligen Items in einem ersten Schritt, falls notwendig, zuerst recodiert. Die Hypothesenprüfung selbst erfolgte je nach Hypothese und Items mit verschiedenen Analysemethoden (u.a. t-tests, Chi-Quadrat-Tests, Korrelationen) bei der die möglichen signifikanten Unterschiede zwischen den jeweiligen Gruppen und Zusammenhänge zwischen Variablen berechnet wurden.

Für die Recodierung wurden die Antworten auf die für die Auswertung relevanten Fragebogenfragen entweder zu einer Variablen zusammengefasst, in die gleiche Aussagerichtung (mehr/weniger) oder zu einem Index (Zusammenfassung über mehrere Fragebogenfragen) umgewandelt.

3.3 Expert:inneninterviews

Auf Basis der Fokusgruppen- und Einzelinterviews sowie der Online-Befragung und der Analyse von Verkehrsunfällen wurden Maßnahmen und Empfehlungen erarbeitet, die in der Folge von Expert:innen unterschiedlicher Disziplinen im Rahmen von Interviews hinsichtlich ihrer praktischen Relevanz diskutiert wurden.

Bei einem Expert:inneninterview handelt es sich um eine qualitative Befragungsmethode bei der eine Thematik nicht in geschlossenen Antwortkategorien (standardisierte Befragung- quantitativer Zugang) sondern in einer ganzheitlichen Form diskutiert wird.

Es wurden insgesamt sechs Expert:innen aus unterschiedlichen Fachbereichen und Institutionen interviewt:

- Verkehrsplaner und Radfahrexperte der TU – Wien
- Masterradfahrtrainerin des Vereins Schulterblick
- Raumplaner und Experte von Fahrassistenzsystemen der Austria Tech
- Chefinstruktor Lkw/Bus ÖAMTC – Fahrtechnik
- Verkehrsplaner des BMK der Sektion IV Straßenverkehr und Kraftfahrwesen
- Verkehrspsychologin, Expertin für Fahrassistenzsysteme Lkws des KfV

Die Interviews dauerten rund 30 Minuten. Sie wurden entweder mittels Diktiergerät aufgezeichnet und anschließend transkribiert oder unmittelbar protokolliert. Die Interviews wurden anhand eines Leitfadens geführt.

3.4 Makroskopische Unfallanalyse

Die makroskopische Unfalldatenauswertung erfolgt auf Grund der Unfalldaten im UDM (Unfalldatenmanagement). In einer Analyse wurden die entsprechenden Unfalltypen mit speziellem Augenmerk auf die Kinderunfälle kategorisiert. Es wurden unterschiedliche Altersgruppen gebildet und Geschlechterunterschiede bei Unfällen aufbereitet.

3.5 Tiefenanalyse von Verkehrsunfällen

Eine Tiefenanalyse liefert eine weitaus größere Datentiefe als es bei makroskopischen Daten der nationalen Statistiken der Fall ist. Die Tiefenanalyse berücksichtigt eine Unfallrekonstruktion und Vermeidbarkeitsanalyse.

3.5.1 Unfallrekonstruktion

Mittels der Unfallrekonstruktion erfolgt eine detailgetreue Analyse von Verkehrsunfällen. Dabei werden Unfälle in eine Vorkollisions-, Kollisions- und Nachkollisionsphase unterteilt und bestimmte Indikatorwerte wie z.B. Ausgangsgeschwindigkeit, Reaktionszeit, Bremsverzögerung, Kollisionsgeschwindigkeit, Kollisionswinkel etc. berechnet. Es werden all jene Faktoren berücksichtigt, die einen wesentlichen Einfluss auf den Unfall haben (z.B. Straßenzustand, Witterungsverhältnisse, Geschwindigkeitslimit an der Straße bzw. Tempolimit, Straßenbreite, etc.). Damit sollen sämtliche Phasen des Unfallablaufs räumlich und zeitlich berechnet werden [102,103]. Eine Unfallrekonstruktion erfolgt auf Grund von Unterlagen wie beispielsweise beteiligte Fahrzeuge, Beschädigungsmerkmale, Fahr- bzw. Bremsspuren, Straßenverhältnisse, Infrastrukturdaten, Zeugenaussagen, etc. [104]. Ausgehend von der potenziellen Kollisionsstelle und den Endlagen der Unfallbeteiligten werden iterativ die Kollisionsgeschwindigkeiten der Beteiligten, Kollisionswinkel etc. ermittelt. Auf Grund der Spurenlagen vor der Kollision werden nachfolgend die Ausgangsgeschwindigkeiten, Reaktionszeitpunkte, etc. berechnet, sodass der vollständige Hergang des Unfalls dargestellt werden kann. Die Kollisionsstelle bzw. die Kollisionspositionen der Unfallbeteiligten bilden die Ausgangsbasis. In einer Vorwärtssimulation werden die kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung, Auslaufbewegungen und Endlagen der Unfallbeteiligten ermittelt [104]. Durch eine Rückwärtsrechnung werden die Ausgangsgeschwindigkeiten auf Grund von Fahrspuren, Bremsspuren, Fahrlinien etc. bis zurück in den Reaktionspunkt der Unfallbeteiligten berechnet [104]. Die Unfallrekonstruktion erfolgt mit der Simulationssoftware PC-Crash

[105], welches von Unfallsachverständigen und in der Unfallforschung verwendet wird. PC-Crash wurde in unterschiedlichen Untersuchungen validiert [106–108].

3.5.2 Vermeidbarkeitsanalyse

Zur Bewertung von Vermeidbarkeiten ist die detaillierte Kenntnis des Unfallhergangs von entscheidender Bedeutung [104]. Hier sind zwei grundsätzliche Fragen zu klären:

- Ist der Verkehrsunfall zeitlich zu vermeiden, d.h. wo wurde reagiert und wurde rechtzeitig reagiert und
- Ist der Unfall räumlich zu vermeiden, d.h. wie hoch hätte die Ausgangsgeschwindigkeit sein dürfen und wie hoch hätte die Bremsverzögerung sein müssen.

Eine **zeitliche** Vermeidbarkeit liegt vor, wenn die Verkehrsteilnehmer:innen später am Kollisionsort eintreffen, sodass andere Verkehrsteilnehmer:innen die Kollisionsstelle bereits vollständig verlassen haben. Sofern nach Auftauchen einer Gefahr rechtzeitig reagiert wurde und es dennoch zur Kollision kam, liegt keine zeitliche Vermeidbarkeit vor. Ist dies nicht der Fall, so besteht ein Zeitverzug zwischen objektiv feststellbarem Auftauchen einer Gefahr und tatsächlicher Reaktion. Dieser Zeitverzug wird als Reaktionsverspätung bezeichnet.

Die **räumliche** Vermeidbarkeit ist dadurch gekennzeichnet, dass das betrachtete Fahrzeug vor dem Kollisionspunkt zum Stillstand gebracht werden kann. Insbesondere soll bei einer Geschwindigkeitsübertretung beurteilt und festgestellt werden, ob bei Einhaltung der zulässigen Geschwindigkeit der Unfall vermeidbar gewesen wäre, d.h. das Fahrzeug vor einer Kollision zum Stillstand kommt.

In beiden Fällen ist die Ermittlung des Reaktionspunktes notwendig, da von diesem Punkt aus die Vermeidbarkeitsberechnungen erfolgen.

3.5.3 Stichprobenbeschreibung

Die Datengrundlage für eine vertiefende Analyse bildet die Unfalldatenbank CEDATU [109,110]. Die CEDATU wurde an der TU Graz am Institut für Fahrzeugsicherheit entwickelt. Derzeit sind ca. 4.700 Verkehrsunfälle zur Analyse vorliegend. Der Datensatz wird jährlich um bis zu 200 Fälle erweitert. In Abbildung 13 ist der Datenbestand in Bezug auf die Unfalljahre dargestellt und in Abbildung 14 die Verteilung der Verkehrsart. Am häufigsten sind Unfälle, in welchen Pkw (rd. 59%) beteiligt sind, gefolgt von Unfällen mit Beteiligung von einspurigen Fahrzeugen (rd. 13 %, Moped und Motorrad). Fußgänger:innen haben einen Anteil von 8 % und rd. 4 % Radfahrer:innen sind im Datenbestand.

Die Unfälle können über Parameter, welche auch in den Datensätzen der Statistik Austria vorliegen, mit der nationalen Statistik verknüpft werden, wie beispielsweise dem Unfalltyp oder der Unfallörtlichkeit.

Abbildung 13: Entwicklung der Unfalldaten in der CEDATU nach dem Verletzungsgrad

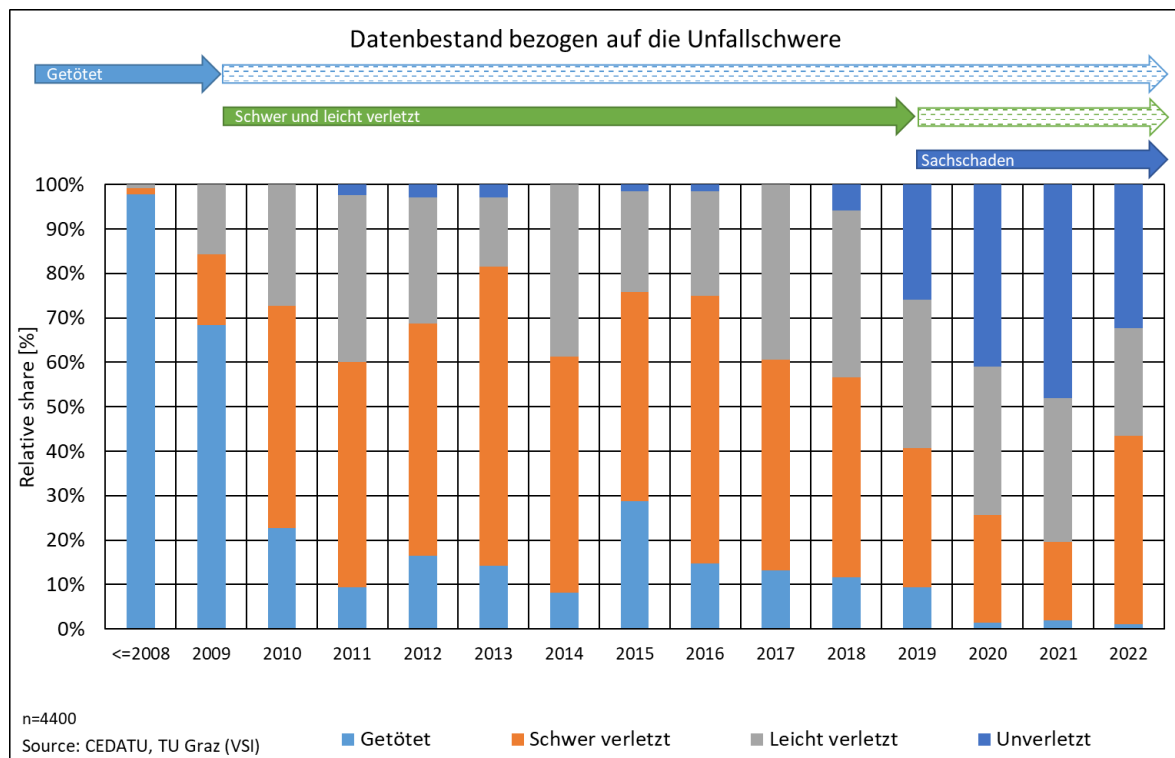
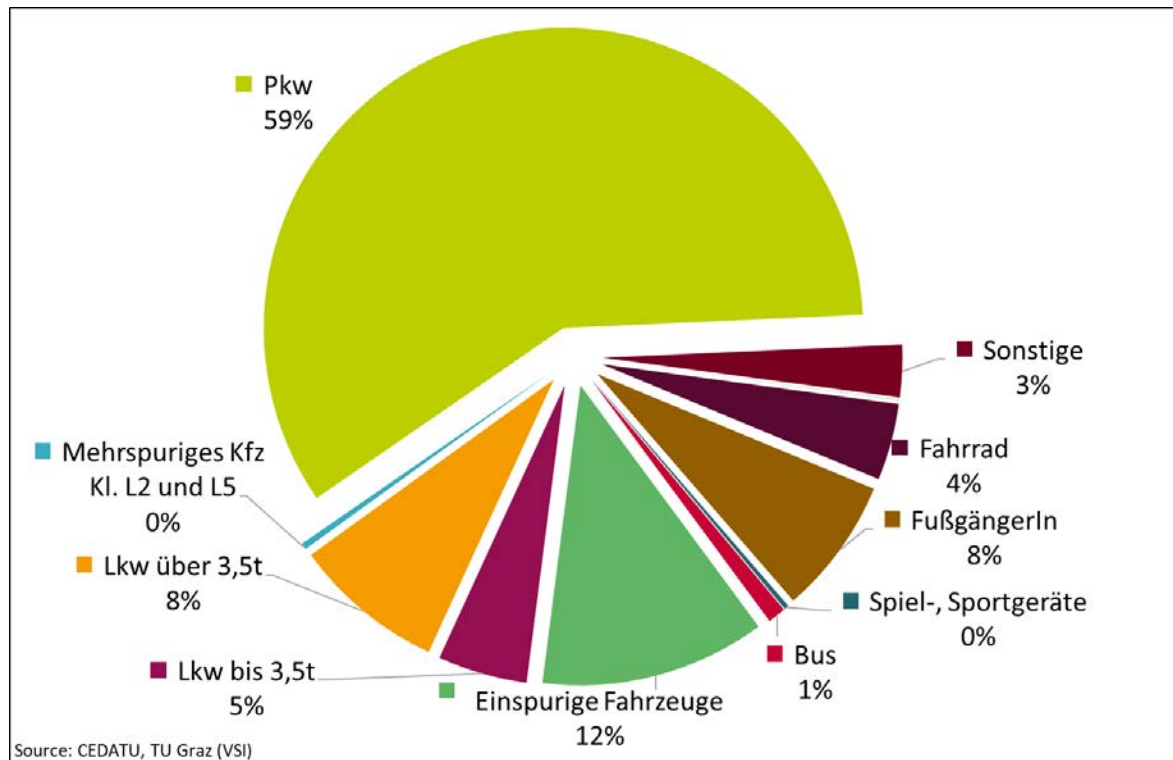


Abbildung 14: Verteilung der Verkehrsart bei Unfällen mit Personenschaden in der CEDATU



Der wesentliche Unterschied der CEDATU zur Nationalen Unfallstatistik besteht in der vollständigen Unfallrekonstruktion der Verkehrsunfälle. Diese erfolgt in der CEDATU mit dem Unfallrekonstruktionsprogramm PC-Crash [105]. Dadurch stehen Unfallparameter wie beispielsweise Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit der Beteiligten, Fahrlinie, Reaktionspunkt, Zeit-Weg-Geschwindigkeitszusammenhänge etc. für die weitere Auswertung zur Verfügung. Es sind Daten zu den Beteiligten, Fahrzeugen und der Infrastruktur vorliegend. Zusätzlich stehen Informationen über die Vorkollisionsphase zur Verfügung. Dadurch kann einerseits der Konfliktzeitpunkt ermittelt werden, ab welchem die kritische Unfallsituation entsteht und andererseits können Vermeidbarkeitsszenarien untersucht werden bzw. Veränderungen und deren Auswirkungen berechnet und analysiert werden.

Aus den Unfalldaten der CEDATU konnten 39 Unfälle mit Lkw und Fahrradbeteiligung gefiltert werden. In Abbildung 15 ist die Verteilung der Unfalltypen Obergruppe in der Stichprobe zur Tiefenanalyse im Vergleich zum UDM sowie in Abbildung 17 die nach Systematik zusammengefassten Unfalltypen dargestellt. In Abbildung 16 ist die Verteilung der Unfalltypen in der Stichprobe nach der Örtlichkeit dargestellt.

In den Unfällen der Stichprobe waren drei Unfälle mit einem Elektrofahrrad.

Abbildung 15: Verteilung der Unfalltypen Obergruppen in der Stichprobe zur Tiefenanalyse

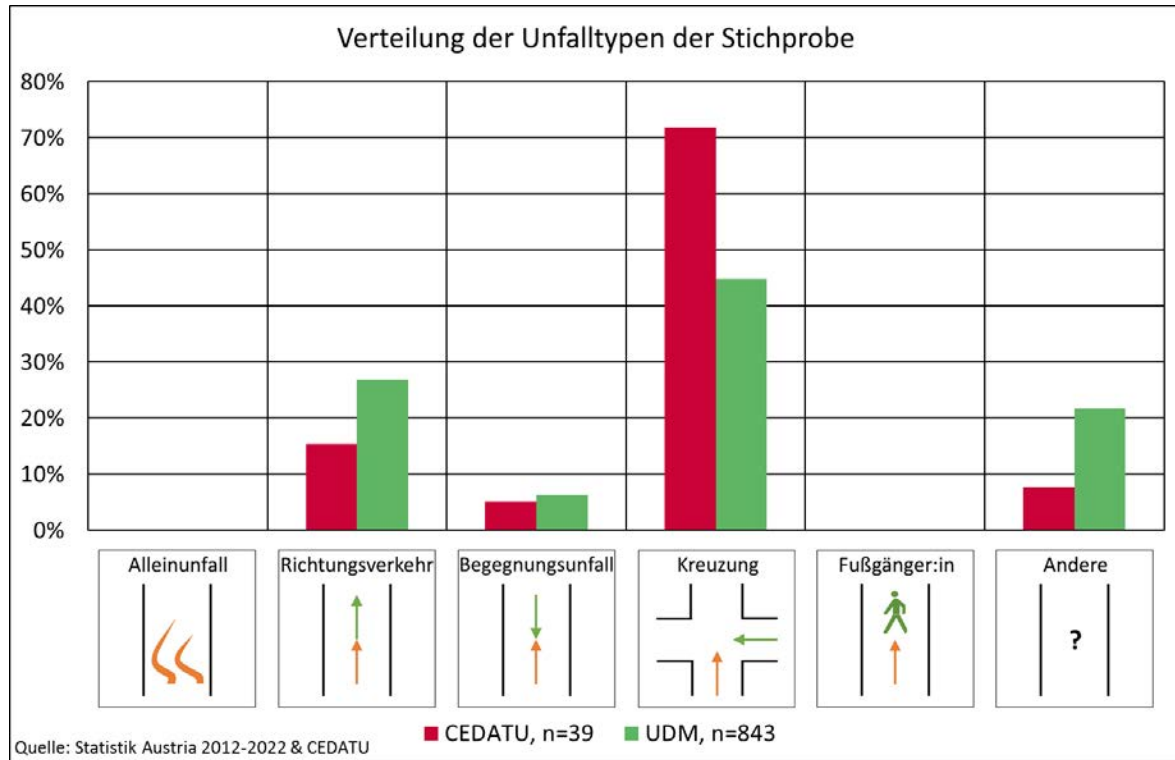


Abbildung 16: Verteilung der Unfalltypen der Stichprobe in der Stichprobe zur Tiefenanalyse

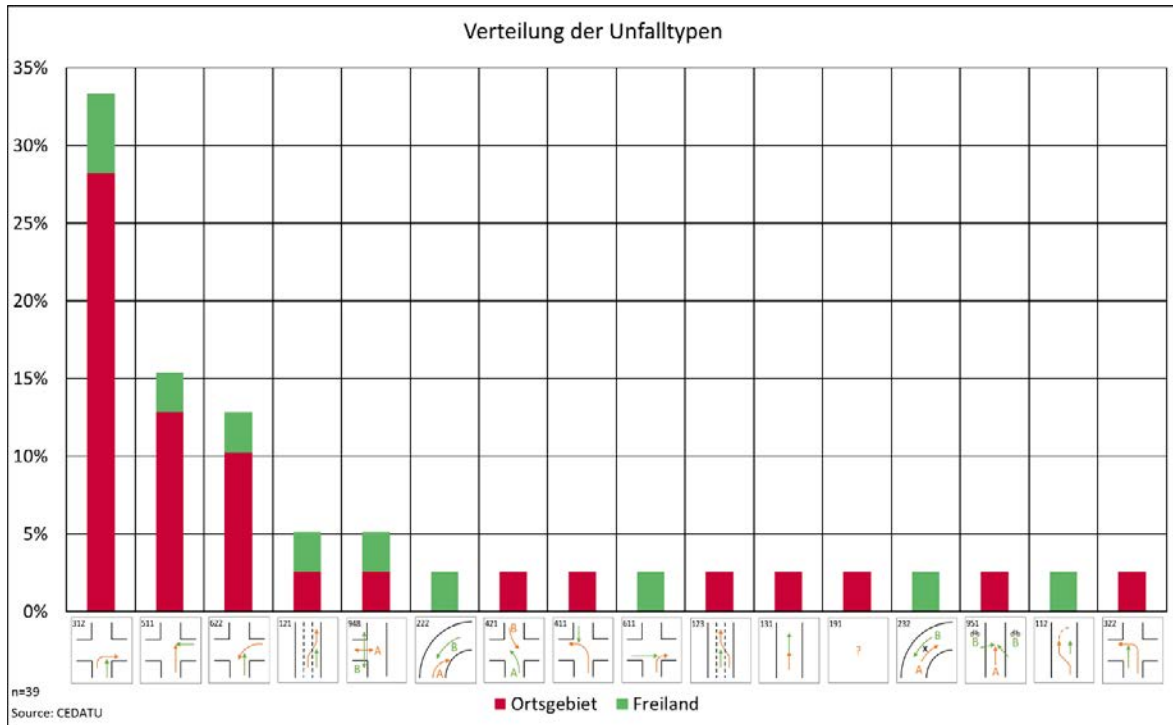
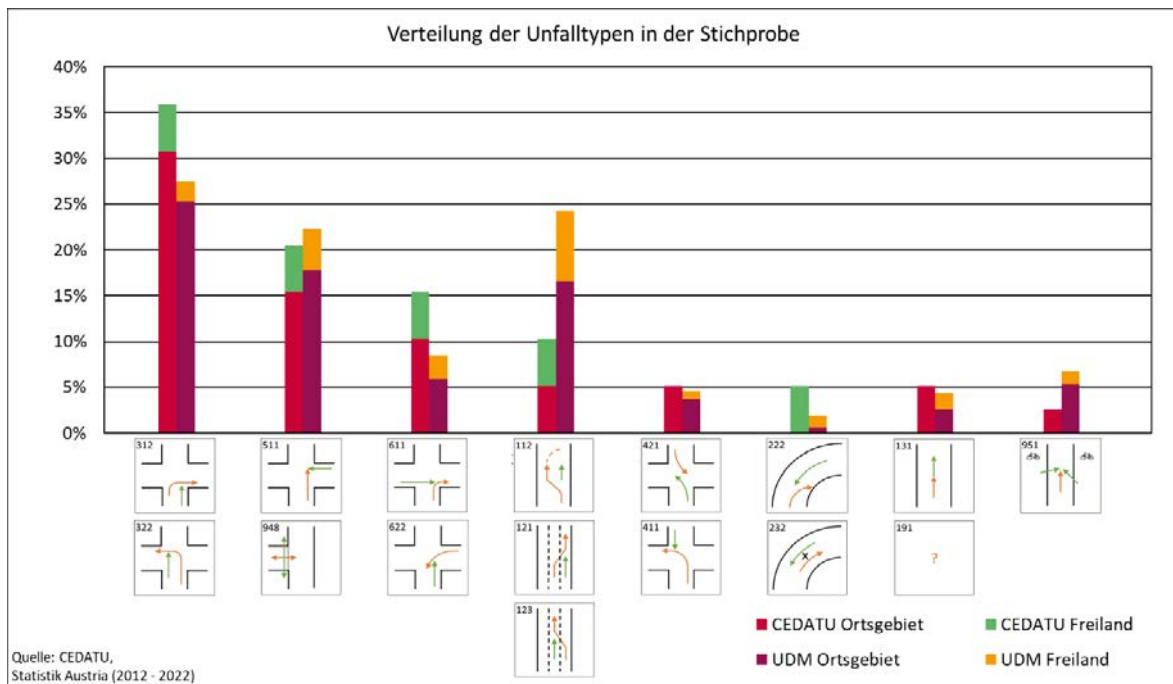


Abbildung 17: Gruppierte Verteilung der Unfalltypen der Stichprobe im Vergleich zu den Unfalldaten im UDM



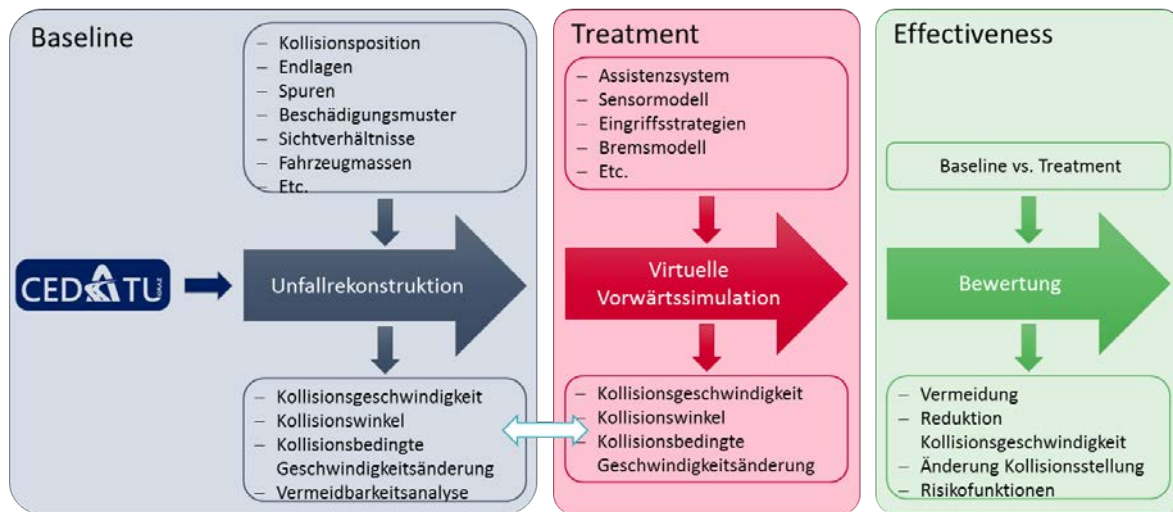
3.6 Effektivitätssimulation

Um die Wirkung von Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit bereits vorab, d.h. prospektiv, bewerten zu können und damit zu prognostizieren, in welchem Ausmaße diese das Unfallgeschehen beeinflusst, werden basierend auf objektivierten Daten der Unfallrekonstruktion Vermeidbarkeitsanalysen durchgeführt. Damit dies nun prospektiv bewertet werden kann, wird die Kollisionseinlaufphase aller Beteiligten in einem ausreichend langen Zeitraum rekonstruiert. Je nach Unfallszenario wird der Geschwindigkeits-Beschleunigungsverlauf der Kollisionseinlaufphase teilweise bis zu zehn Sekunden vor dem Anprall rekonstruiert. Dadurch ist es möglich die Effektivität von Sicherheitskonzepten (geänderte Sichtweiten, Fahrzeugsysteme, etc.) bereits im Vorfeld, das heißt prospektiv, zu bewerten und ihre positiven oder aber auch negativen Auswirkungen auf die Vermeidung von Unfällen bzw. Minderung der Verletzungsschwere aufzuzeigen. Hierzu können sowohl fahrzeugseitige Entwicklungen (beispielsweise Kollisionsvermeidungssysteme für Fußgänger:innen-Unfälle [66,111–114], Einfluss von Kreuzungsassistenten [115], Kollisionsminderungssysteme bei Motorradunfällen [116], Untersuchung neuer Fahrzeugarten und das Verletzungsrisiko [117,118], Fahrassistenzsysteme in Kombination mit Verkehrsflussbetrachtungen [119]) als auch infrastrukturspezifische Maßnahmen (beispielsweise Rumpelmarkierungen [120–122], Geschwindigkeitsbeschränkungen [123]) oder Fahrzeug-zu-Infrastrukturkommunikation [124–127] bewertet werden.

3.6.1 Vorwärtssimulation

In dieser Methode wird die sogenannte prospektive Vorwärts-Simulation von rekonstruierten Verkehrsunfällen angewendet. Dabei werden die beteiligten Fahrzeuge von rekonstruierten Verkehrsunfällen mit einem virtuellen Assistenzsystem ausgestattet und erneut simuliert. Die rekonstruierten Verkehrsunfälle werden als „Baseline“ bezeichnet und die Simulationen mit dem virtuellen Assistenzsystem als „Treatment“. Aus dem Vergleich der Treatment- zur Baseline-Simulation ergibt sich ein entsprechendes Potenzial zur Unfallvermeidung bzw. Minderung der Verletzungsschwere (Abbildung 18). Diese Methode wird international angewandt [128] und wird bereits für einen ISO Standard (ISO/TC 22/SC 36/WG 7) evaluiert.

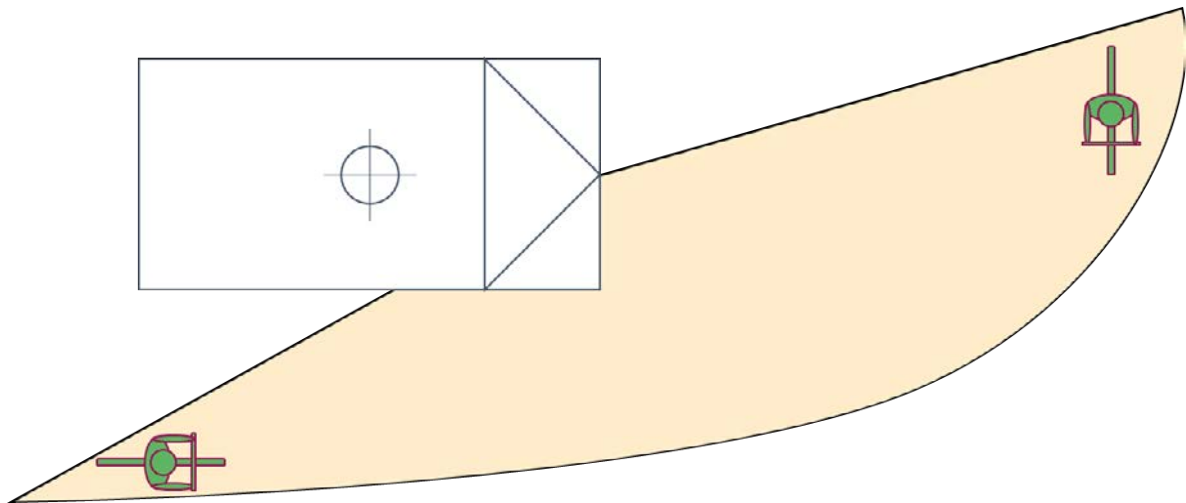
Abbildung 18: Vorgehensweise zur Effektivitätsbewertung von Realunfällen



In die betrachteten Fahrzeuge von Realunfällen wird virtuell ein Assistenzsystem eingebaut (Abbildung 19). Sobald sich ein Objekt in den Sichtbereich des Sensors befindet, wird das Objekt detektiert. Es wird daraufhin aus der Relativbewegung der Kollisionsbeteiligten zueinander eine mögliche Kollision errechnet. Es erfolgt entweder eine Warnung an den Fahrer oder die Fahrerin bzw. das System kann vollautomatisch beispielsweise als Notbremsassistent (AEB, Autonomous Emergency Brakeassist) eingreifen und die Kollisionsschwere verringern oder idealerweise die Kollision verhindern.

Die Positionierung der Sensoren am Fahrzeug erfolgte nach Angaben der Hersteller. Anhand von Realunfällen werden unterschiedliche Assistenzsysteme untersucht und die Wirksamkeit aktueller Assistenzsysteme bewertet.

Abbildung 19: Generische Erfassungsbereich (Draufsicht) eines Sensors



3.6.2 Sensorkonfiguration und Eingriffsstrategie

Die Sensoren wurden über den Öffnungswinkel und die Sensorreichweite (Abbildung 20) definiert, wobei der Sensor auch von der Position am Lkw abhängt. Ist er vorne am Fahrzeug angebracht, kann er den Raum vor dem Fahrzeug überwachen, allerdings ergeben sich unterschiedlich mögliche Positionen am Fahrzeug. In dieser Untersuchung wurde der Sensor in einer Höhe von 2 m am Fahrzeug positioniert. Dadurch ist auch eine vertikale Ausrichtung notwendig (Abbildung 21), wenn man davon ausgeht, dass sich der/die Radfahrer:in im Sensorbereich befinden muss. Es wurde ein vertikaler Sensorwinkel von 70° angenommen.

Ebenso wurde ein seitlicher Sensor in einer Höhe von 2 m am Fahrzeug positioniert. Der Sensor wurde dabei an der rechten vorderen Seite (Ecke) des Lkw angebracht.

Abbildung 20: Symbolische Darstellung der Sensorkonfiguration im Grundriss mit horizontalem Öffnungswinkel

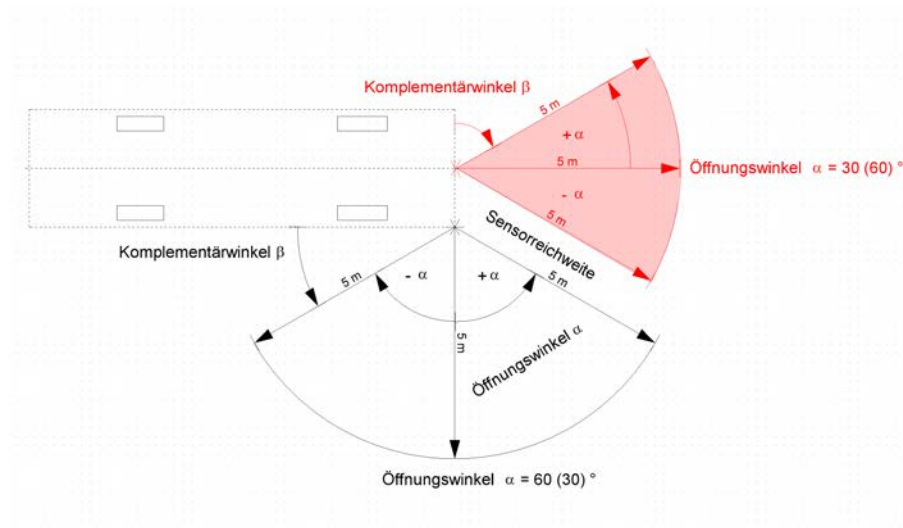
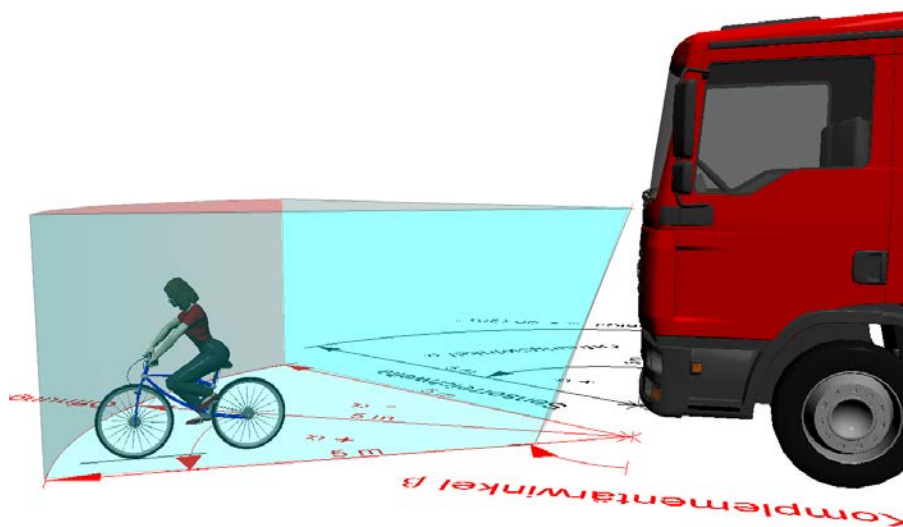


Abbildung 21: Symbolische Darstellung der Sensorkonfiguration bei seitlicher Ansicht mit vertikalem Öffnungswinkel



Bei den Effektivitätssimulationen wurden zwei Strategien unterschieden. In einer Strategie sollte das System die Fahrer:innen warnen und auf Grund dieser Warnung die Fahrer:innen ein Bremsmanöver einleiten und bei der zweiten Strategie sollte das Fahrzeug selbstständig auf die Situation reagieren. Sobald die Radfahrer:innen vollständig

im Erfassungsbereich des Sensorbereichs waren, wurde beim warnenden System eine Reaktionszeit von 0,8 s [129–132] angenommen. Das System bzw. der Sensor wurde als Funktion modelliert, unabhängig davon, ob ein System akustisch, haptisch oder visuell warnen würde. Beim autonom eingreifenden System wurde die Reaktionszeit mit 0,2 s festgelegt. Als weitere Annahmen wurde ein Lenkradwinkel von $>50^\circ$ und das Setzen des Blinkers getroffen. Abhängig vom Straßenzustand wurde eine maximale Bremsverzögerung von 5 m/s^2 angenommen. Die Schwellzeit wurde mit 0,5 s festgelegt.

3.6.3 Rechtsabbiegender Lkw

Ein Lkw ist im Ortsgebiet an einer lichtsignalgeregelten Kreuzung nach rechts abgebogen, während eine Radfahlerin die Kreuzung geradeaus überqueren wollte (Abbildung 22). Der Unfall war bei Tageslicht auf trockener Fahrbahn. Die Radfahlerin (72 Jahre) wurde tödlich verletzt. Der Lkw befand sich hinter zwei Pkw und begann loszufahren. Um nach rechts abbiegen zu können, musste der Lkw leicht nach links auslenken. Zeitgleich kamen weitere Fahrzeuge entgegen, sodass die Aufmerksamkeit des Lenkers auch auf den Gegenverkehr zu richten war (Abbildung 23). Zu diesem Zeitpunkt kann die Radfahlerin kurzzeitig im Blickfeld gewesen sein, allerdings auch nur wenn der Lkw Lenker aktiv zur rechten Seite blickt. In den Spiegeln auf der rechten Seite war die Radfahlerin nicht zu erkennen. Nachdem dieser kurze Augenblick vorüber war, ist die Radfahlerin für den Lkw Lenker nicht mehr sichtbar.

Abbildung 22: Unfallszenario beim Rechtsabbiegen



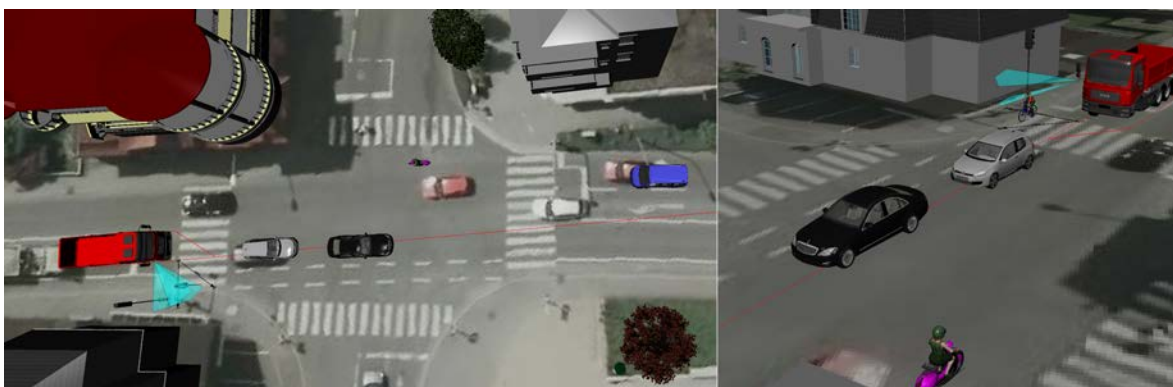
Abbildung 23: Lkw Sicht beim Losfahren und Spiegelübersicht bei aktiver Sicht zur rechten Seite



Nach der vollständigen unfalltechnischen Rekonstruktion wurde der Lkw mit einem Fahrerassistenzsystem ausgestattet und in einer erneuten Simulation die Wirkung eines warnenden bzw. aktiv eingreifenden Systems bewertet.

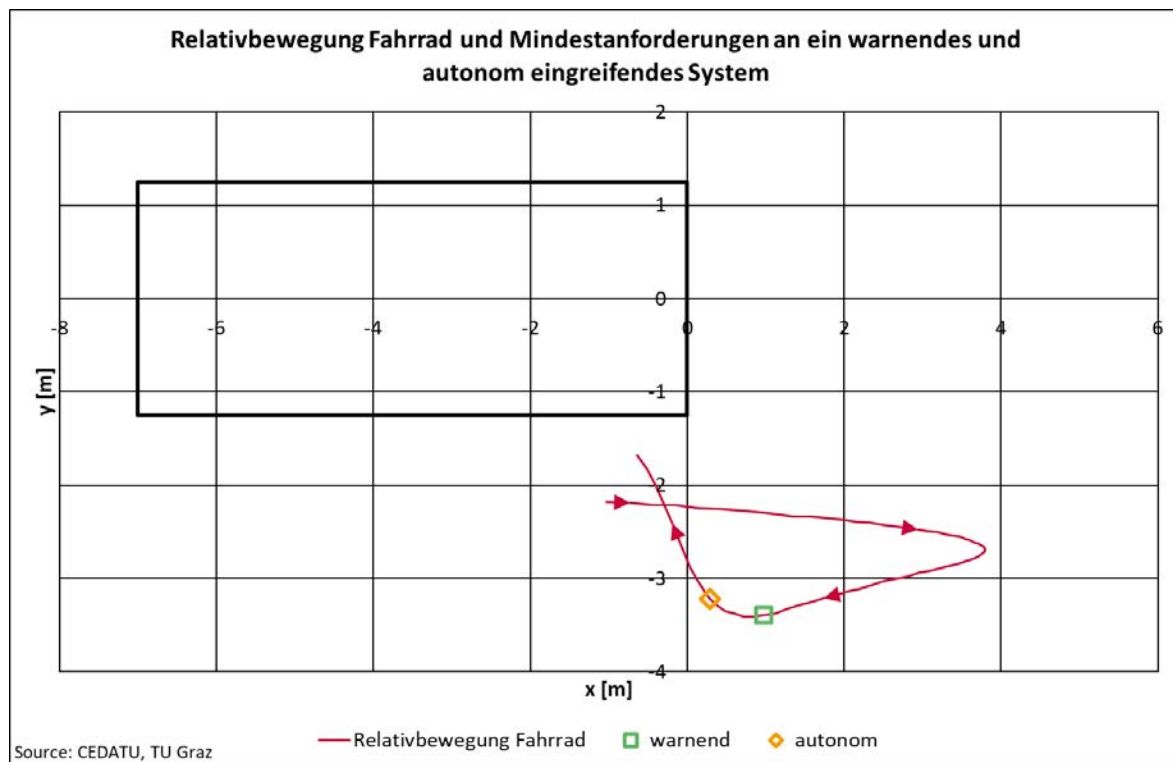
Damit sich die Radfahrer:in ständig im Sensorbereich befindet, müsste das System eine Reichweite von ca. 5 m in Längsrichtung und ca. 3,5 m zur Seite aufweisen. Die Warnung müsste bei einem warnenden System in einer Entfernung von 10 m vor der Kollisionsstelle bzw. ca. 8 m vor der Radfahrerüberfahrt erfolgen. Für ein autonom eingreifendes System wäre die Position des Lkw ca. 6 m vor der Kollisionsstelle bzw. 5 m vor der Radfahrer:innenüberfahrt.

Abbildung 24: Sensorkonfiguration beim Rechtsabbiegen



Die Warnung durch ein System müsste erfolgen, wenn sich die Radfahrer:in ca. 1 m vor und ca. 3,4 m seitlich der Fahrzeugfront des Lkw befindet (Abbildung 25). Für ein autonom eingreifendes System müsste der Eingriff erfolgen, wenn sich der Schwerpunkt des Radfahrers ca. 0,3 m vor und ca. 3,2 m seitlich der Fahrzeugfront des Lkws befindet.

Abbildung 25: Relativbewegung des Fahrrads und Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. autonom eingreifendes Assistenzsystem

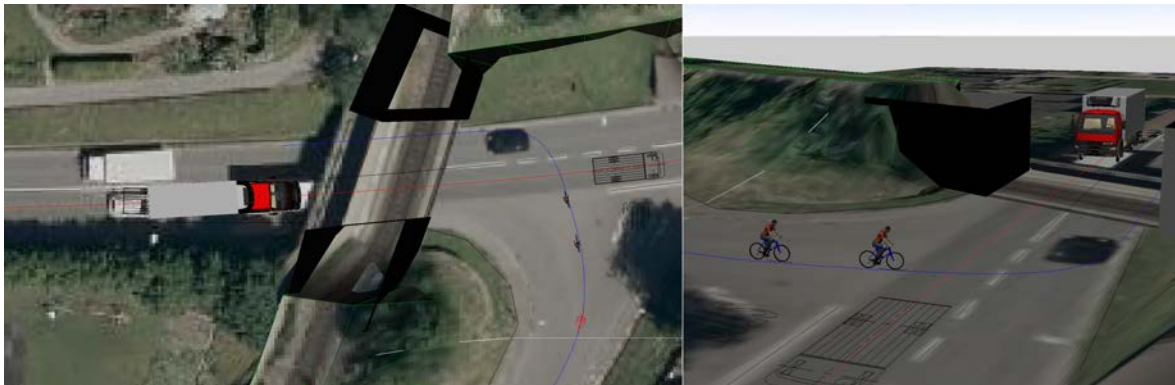


Als schwierig gilt, im Hinblick auf Fehlmeldungen oder Fehleingriffen, in diesem Zusammenhang die fehlende Information zur Absicht der Radfahrerin. Es ist zum Zeitpunkt der Warnung bzw. des notwendigen autonomen Eingriffs noch nicht erkennbar, ob die Radfahrerin tatsächlich geradeaus fährt, oder nach rechts abbiegt. Bei einem Totwinkelassistenten würden zumindest der uneinsichtige Bereich ständig überwacht und die Lenker:innen gewarnt werden können.

3.6.4 Infrastrukturelle Sichtbeeinträchtigung

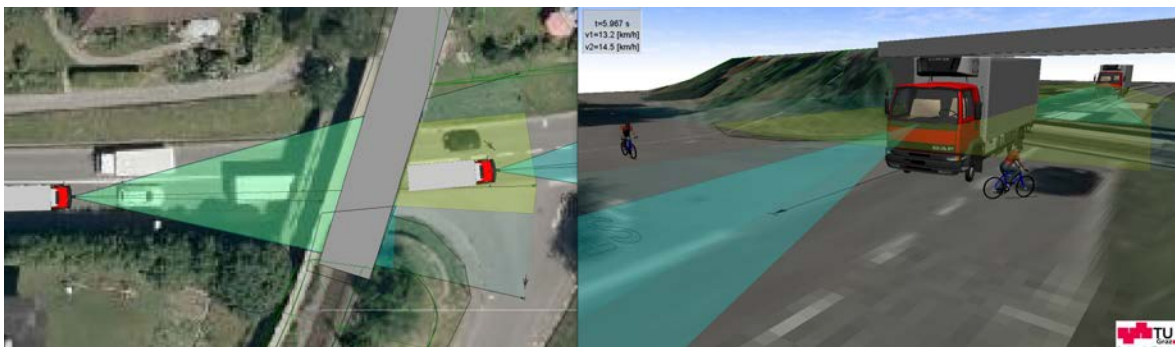
Ein Lkw fuhr eine Straße entlang und unter einer Brücke hindurch (Abbildung 26), als von rechts ein Radfahrer unter Missachtung der Vorrangregelung in die Kreuzung einfuhr. Der Lkw Lenker konnte durch die Sichtbeeinträchtigung des Brückenfundaments den Radfahrer erst sehr spät erkennen, reagierte jedoch unmittelbar nachdem er den Radfahrer gesehen hatte, ohne Reaktionsverspätung. Dennoch konnte eine Kollision nicht verhindert werden. Der Radfahrer wurde tödlich verletzt.

Abbildung 26: Unfallszenario bei infrastrukturellen Sichtbeeinträchtigungen



Durch ein Assistenzsystem mit entsprechendem Sichtfeld ist der Radfahrer, auf Grund der Sichtbeeinträchtigung, ebenfalls erst sehr spät zu erkennen (Abbildung 27). Im Prinzip kann dieser ebenfalls erst erkannt werden, wenn auch der Lkw Lenker den Radfahrer sieht. In diesem Fall bringt auch eine größere Reichweite eines Systems keine weitere Verbesserung mit sich.

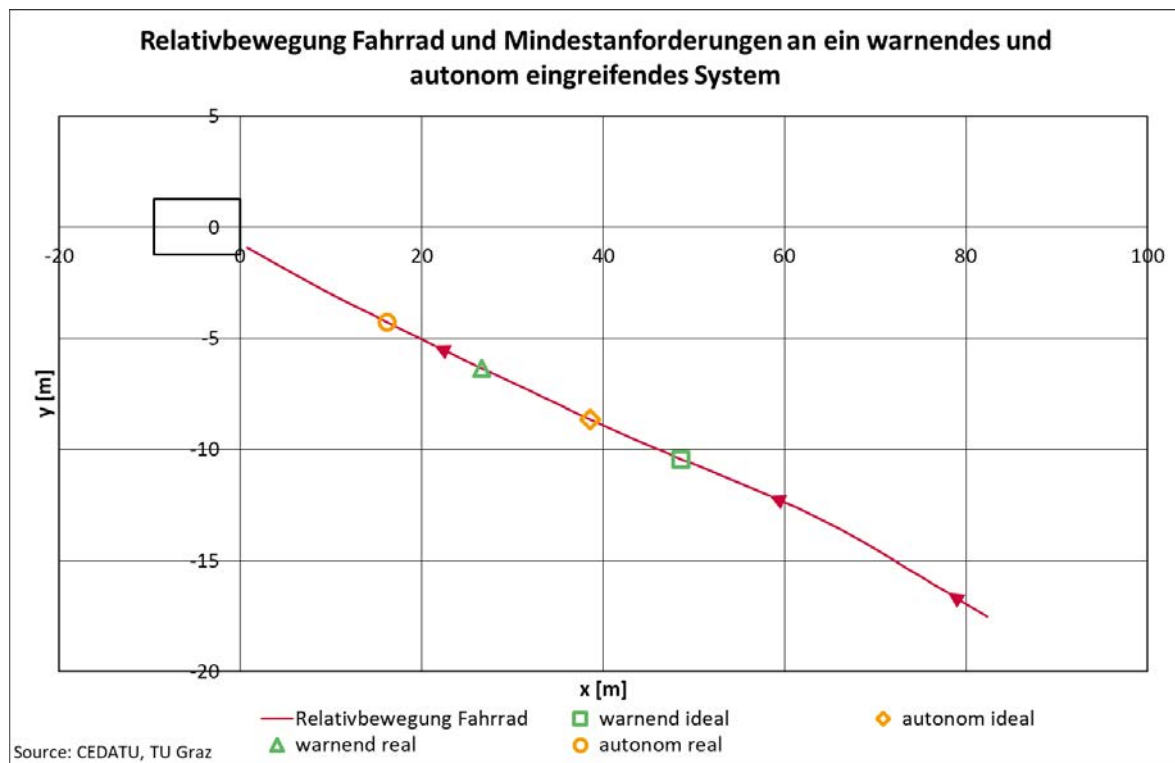
Abbildung 27: Sensorkonfiguration bei infrastrukturellen Sichtbeeinträchtigungen



Um mit einem warnenden, idealen System die Kollision zu vermeiden, müsste ein System mit einer Reichweite von ca. 50 m in Längsrichtung und ca. 10 m in Querrichtung vorliegen. Für ein autonom eingreifendes, ideales System wären in Längsrichtung ca. 39 m und in Querrichtung ca. 9 m notwendig. Allerdings liegt für diesen Unfall eine Sichtbeeinträchtigung vor, sodass ein System den Radfahrer erst spät erfassen kann. Die realen Sichtbeziehungen betragen ca. 27 m in Längsrichtung und ca. 7 m in Querrichtung. Unter diesen Voraussetzungen kann eine Kollision nicht verhindert werden. Ebenso liegen für ein autonom eingreifendes System diese Sichtbeeinträchtigungen vor, sodass auch hierbei erst reagiert werden kann, wenn sich der Radfahrer im Sichtbereich des Systems

befindet. Realistisch wäre eine autonome Reaktion, wenn der Radfahrer nicht mehr stehenbleiben kann bzw. wenn er in den Fahrstreifen des Lkw einfährt. Auch für ein autonom eingreifendes System ist dieser Unfall nicht zu vermeiden.

Abbildung 28: Relativbewegung des Fahrrads und Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. autonom eingreifendes Assistenzsystem unter Berücksichtigung der Sichtbeeinträchtigung



Sichtbeeinträchtigungen können die Wirkung von Assistenzsystemen maßgeblich reduzieren, sodass bestenfalls noch eine Reduktion der Geschwindigkeit ermöglicht wird. Es besteht unter Umständen keine Möglichkeit derartige Unfälle zu vermeiden. Realistisch sollte ein autonom eingreifendes System erst reagieren, wenn der Radfahrer nicht mehr stehen bleiben kann bzw. in die Fahrbahn des Fahrzeugs eindringt. Andernfalls kann es zu überproportional hohen Falscheingriffen kommen und die Akzeptanz für Assistenzsysteme massiv reduzieren.

3.6.5 Missachtung von Vorschriften

Ein Lkw Fahrer wollte an einem lichtsignalgeregelten Fußgänger:innen-Übergang mit einem Zebrastreifen und einer Radfahrüberfahrt geradeaus passieren (Abbildung 29), als gleichzeitig ein Radfahrer die Radfahrüberfahrt querte. Es kam zu einer Kollision und der Radfahrer wurde tödlich verletzt. Aus den Zeugenaussagen geht nicht klar hervor, ob der Lkw Lenker bei Rotlicht die Stelle befahren hat oder ob der Radfahrer bei Rotlicht die Fahrbahn gekreuzt hat.

Abbildung 29: Unfallszenario bei Missachtung von Vorschriften und Regeln



Der Lkw wird nachfolgend mit einem Assistenzsystem ausgestattet. Es werden hierzu drei Fälle unterschieden (Abbildung 30):

- Der Lkw Lenker hat das Rotlicht missachtet und das System reagiert auf die Ampelschaltung.
- Mindestanforderungen an das System damit der Unfall durch den Lkw jedenfalls vermieden werden kann unter der Annahme der Radfahrer quert jedenfalls die Fahrbahn.
- Anforderungen an das System, sobald der Radfahrer die Straße zu queren beginnt und somit das Rotlicht missachtet.

Abbildung 30: Sensorconfiguration bei Missachtung von Vorschriften und Regeln

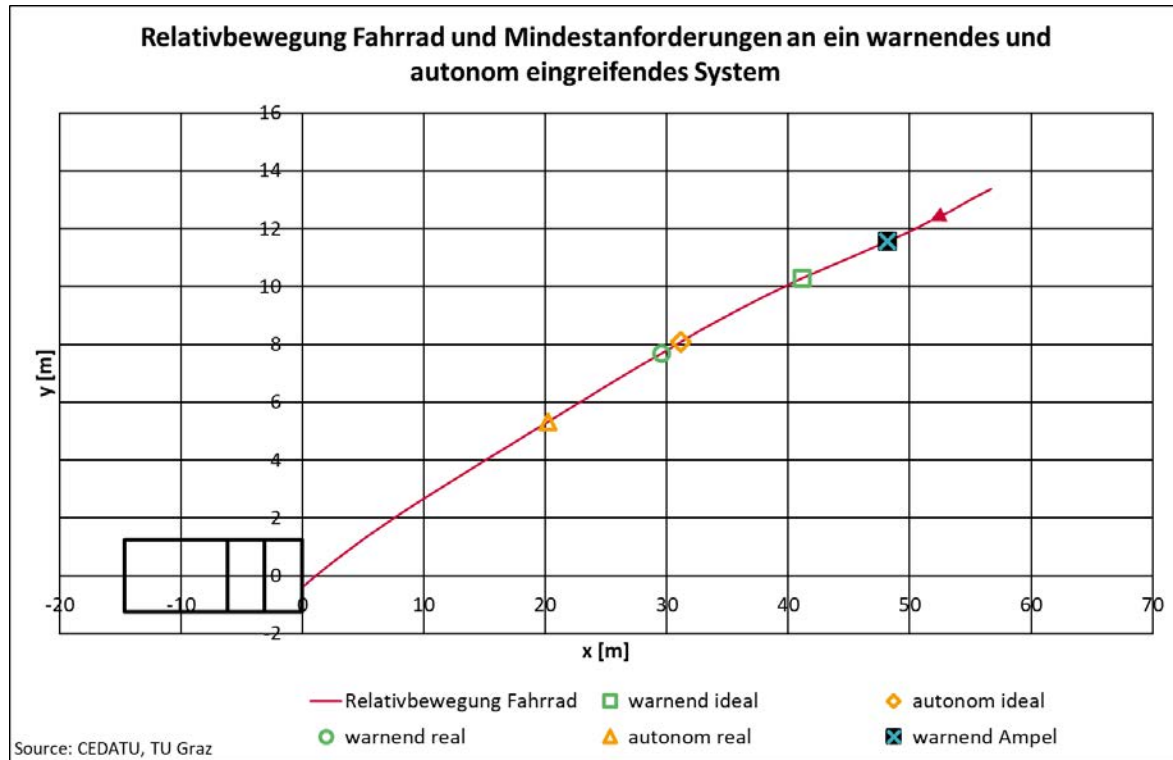


Bei einer Rotlichterkennung müsste die Warnung erfolgen, wenn sich der Lkw ca. 48 m vor der Ampel befindet (Abbildung 31). Dabei wäre ein vertikaler Öffnungswinkel des Sensors von 10° erforderlich. Mit dieser Konfiguration würde der Lkw vor dem Radfahrer zum Stillstand kommen.

Sofern der Lkw jedoch bei Grünlicht die Unfallstelle befahren hatte, so müsste ein ideales warnendes System zur Kollisionsvermeidung den Radfahrer bereits ca. 41 m in Längsrichtung und ca. 10 m in Querrichtung erfassen und den Lenker warnen. Für ein ideal autonom eingreifendes System benötigt eine Reichweite in Längsrichtung von ca. 31 m und in Querrichtung von ca. 8 m. Zu diesen Zeitpunkten bzw. Distanzen hat der Radfahrer allerdings noch alle Möglichkeiten rechtzeitig und kontrolliert vor der Querung stehen zu bleiben. Eine Warnung oder ein autonomer Eingriff würde für diese Situationen einen überproportional hohen Anteil an Falschauslösungen bedeuten.

Für die dritte Fallunterscheidung werden die Sensorreichweiten ermittelt, sobald der Radfahrer die Fahrbahn zu queren beginnt. Dazu ist für ein warnendes System die Längsrichtung eine Reichweite von ca. 30 m und in Querrichtung von ca. 8 m notwendig. Ein autonom eingreifendes System benötigt dazu eine Reichweite in Längsrichtung von ca. 20 m und in Querrichtung von ca. 7 m.

Abbildung 31: Relativbewegung des Fahrrads und Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. autonom eingreifendes Assistenzsystem unter Berücksichtigung der Regelbefolgung aller Beteiligten



Der Unfall wäre sowohl mit einem warnenden als auch mit einem autonom arbeitenden System nur bedingt vermeidbar. Die Herausforderungen hierbei sind jedenfalls die Vermeidung von Falschmeldungen und Fehleingriffen. Realistisch dürfte eine Warnung bzw. ein autonomer Eingriff erst erfolgen, wenn der Radfahrer auf die Fahrbahn fährt. Allerdings ist in diesem Fall eine Kollisionsvermeidung nicht mehr möglich. Eine Reduktion der Geschwindigkeit ist festzustellen, allerdings beim Anprall mit einem Lkw und seinen steifen Strukturen dennoch mit schweren Verletzungen zu rechnen. Des Weiteren ist unklar, ob der Radfahrer nicht trotzdem auch überfahren wird.

3.7 Bewertung

3.7.1 SWOT Analyse

Um quantitativ nicht vergleichbare Ergebnisse (subjektive Meinungen) einzubeziehen wurde eine SWOT-Analyse (Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – Stärken, Schwächen, Chancen, Gefahren) angewandt. Die Entstehung der SWOT Analyse ist nicht vollständig bekannt [133]. Nachdem jedoch Learned et al. [134] die SWOT Analyse beschrieben hat, gewann diese Methode zunehmend an Bedeutung. Die SWOT-Analyse ist eine zweidimensionale Matrix in Tabellenform [135,136], in die sowohl quantitative als auch qualitative Ergebnisse eingetragen werden. Auf diese Weise werden alle Resultate des Projekts übersichtlich zusammengeführt, sodass auch Ergebnisse aus den Fokusgruppen- und Einzelinterviews berücksichtigt werden konnten.

3.7.2 Volkswirtschaftliche Kostenabschätzung

Die volkswirtschaftlichen Folgekosten von Verkehrsunfällen beliefen sich 2021 auf ca. 7,6 Milliarden Euro [137]. Die durchschnittlichen Kosten für ein Unfallopfer sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Zur Abschätzung des Reduktionspotentials an volkswirtschaftlichen Kosten wird vereinfacht der Anteil an vermeidbaren Verkehrsunfällen bzw. Verletzten mit den Unfallkosten je Unfallopfer skaliert.

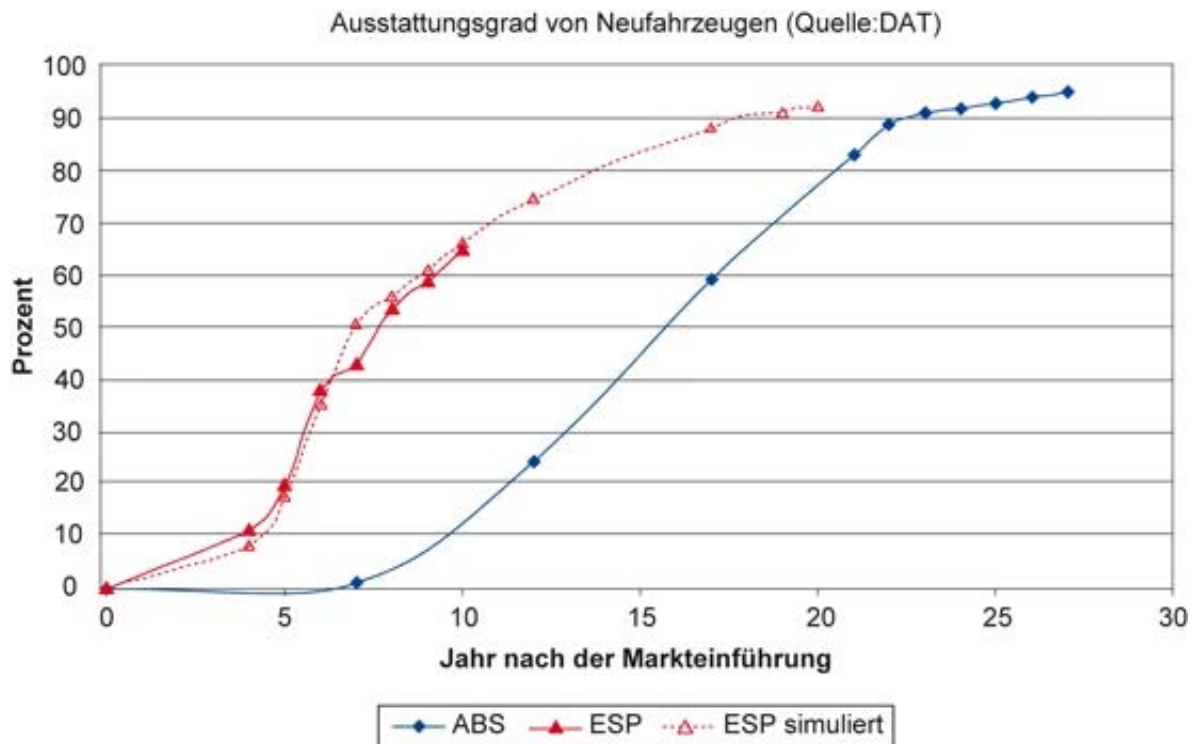
Tabelle 2: Unfallkosten für einen Verunglückten in Österreich mit menschlichem Leid [137]

| Unfallkosten | Preisstand 2004 | Preisstand 2011 | Preisstand 2016 | Preisstand 2021 |
|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Getötet | 2.461.345,00 € | 3.016.194,00 € | 3.316.309,00 € | 4.801.407,00 € |
| Schwerverletzt | 281.275,00 € | 381.480,00 € | 429.517,00 € | 593.479,00 € |
| Leichtverletzt | 20.896,00 € | 26.894,00 € | 30.575,00 € | 42.899,00 € |

Die Entwicklung des Ausstattungsgrades mit einem System in Neufahrzeugen kann durch eine gesetzliche Regelung beeinflusst werden. In Abbildung 32 ist die unterschiedliche Entwicklung von ABS und ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm) dargestellt. So benötigte ABS rund 16 Jahre bis etwa 50% der Neufahrzeuge damit ausgerüstet waren. Beim ESP hingegen konnte bereits nach ca. 7 Jahren ein Ausstattungsgrad von 50% erreicht werden. Dementsprechend länger dauert der Ausstattungsgrad im Bestand. Die

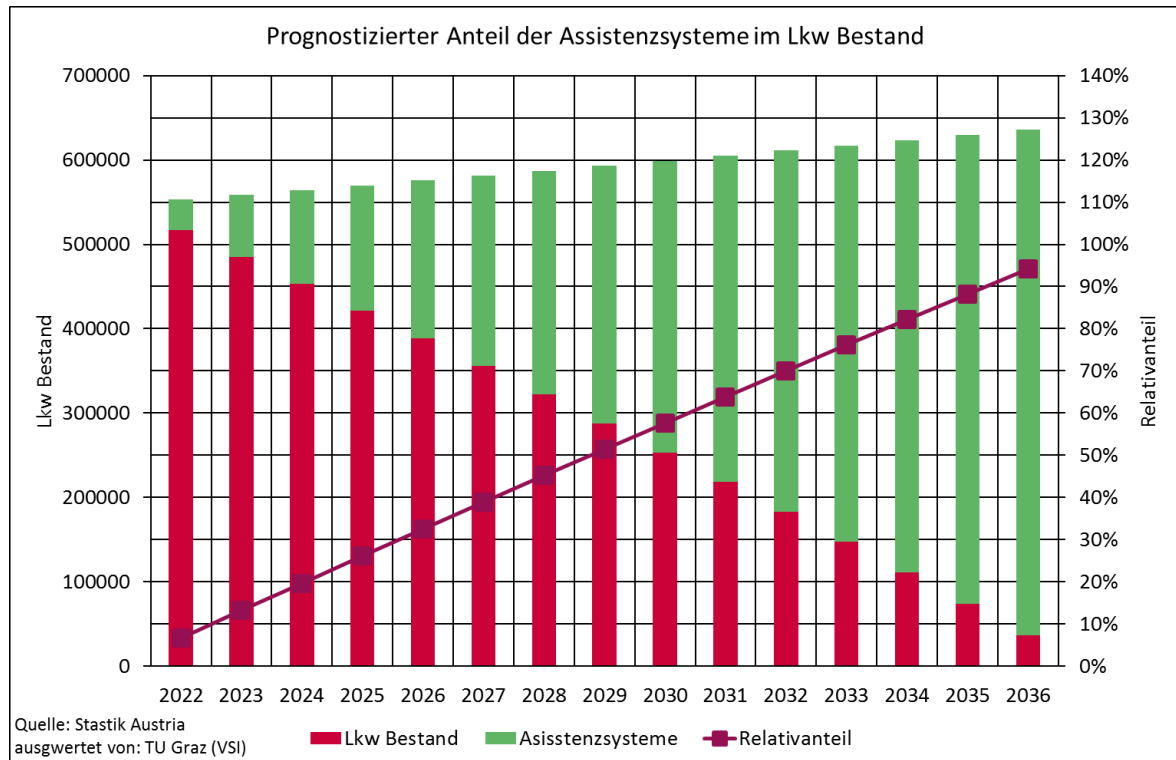
Reifendrucküberwachung wurde 2014 gesetzlich vorgeschrieben. 2015 war der Anteil an Fahrzeugen mit Reifendrucküberwachung in Deutschland 29 % [138] und 2017 wurde im Bestand ein Anteil von 41 % festgestellt [139].

Abbildung 32: Entwicklung Ausstattungsgrad ABS und ESP bei Neufahrzeugen [140]



Für die Bewertung der volkswirtschaftlichen Kosten wird die Änderung des Lkw Bestandes berücksichtigt. Alle neu angemeldeten Lkw sind fortan mit einem Assistenzsystem ausgestattet, welches den „Toten Winkel“ kontinuierlich überwacht und diese Lkw einen alten ersetzen. Durchschnittlich würden jährlich ca. 36.000 neu zugelassene Lkw alte ersetzen [34]. Ergänzend wurde ein jährlicher Zuwachs des Lkw Bestandes von 1,0 % und die jährliche Änderung an Neufahrzeugen von 1,3 % angenommen (Abbildung 33). Zudem wurde die Annahme getroffen, dass bereits eine Anzahl an Fahrzeugen mit derartigen Assistenzsystemen ausgestattet sind, sodass ab 2024 der Relativanteil bereits ca. 20 % beträgt. Wenn man die gesetzliche Einführung des Reifendruckkontrollsystems beim Pkw als Referenz nimmt, so scheint diese Annahme und der Anstieg des Relativanteils plausibel. Unter diesen Voraussetzungen würde im Lkw Bestand ein Ausstattungsgrad von 50 % nach ca. 8 Jahren erreicht werden.

Abbildung 33: Prognostizierter Anteil an Assistenzsystemen im Lkw Bestand in Österreich



Gemäß einer Untersuchung des ADAC von unterschiedlichen Abbiegeassistenten ist die Wirksamkeit teilweise auch sehr mangelhaft [73]. In vielen Fällen wird der Lkw vom Stillstand aus beschleunigt, die Systeme werden aber erst ab einer gewissen Geschwindigkeit aktiv bzw. sind abhängig von der Blinkeraktivierung. Auch diese Verkehrsunfälle lassen sich positiv beeinflussen, allerdings wurden diese unterschiedlichen Systemkonfigurationen in den Effektivitätssimulationen nicht im Detail untersucht. Es wurden die Unfälle für derartige Systeme als bedingt vermeidbar klassifiziert, sofern dieser von einem optimalen System vermieden hätten werden können.

4 Ergebnisse

Es werden die Ergebnisse der Fokusgruppen- und Einzelinterviews und den Online-Befragungen, jeweils getrennt nach Lkw Lenker:innen und Radfahrer:innen zusammengefasst. In weiterer Folge werden die Tiefenanalyse und das Potenzial eines Fahrrad-Assistenzsystems, d.h. eine Funktion, beschrieben und mit einer volkswirtschaftlichen Kostenabschätzung quantifiziert.

4.1 Fokusgruppen- und Einzelinterviews

Die Fokusgruppen- und Einzelinterviews mit Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen trugen dazu bei, gemeinsame Themen, Problemstellungen und Herausforderungen zu identifizieren, die sich bei Begegnungen dieser beiden Verkehrsteilnehmer:innengruppen ergeben. Zusätzlich wurde der Beitrag von Assistenzsystemen zur Verkehrssicherheit diskutiert. Die Ergebnisse werden getrennt nach Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen dargestellt und anhand der Themenschwerpunkte strukturiert.

4.1.1 Ergebnisse Radfahrer:innen

Wahrnehmung und Verhalten

Die Fokusgruppenteilnehmer:innen wurden zu Beginn gebeten, aufzuschreiben, was ihnen spontan zu Lkws und Radverkehr einfällt. Die spontanen Assoziationen waren stark mit Unsicherheit und Gefahr bzw. mit erhöhter Vorsicht verbunden. So wurde von etlichen der Tote Winkel erwähnt und die Angst von Lkw-Fahrer:innen übersehen zu werden, entweder im Kreuzungsbereich oder beim Rückwärtsfahren des Lkws. Der Größen- und Masseunterschied zwischen Lkw und Fahrrad – *„Das augenfällig ist, dass die Reifen einfach so groß sind, manchmal ja fast auf Schulterhöhe“* (R8), mit hoher Geschwindigkeit und geringem seitlichen Sicherheitsabstand überholt zu werden - *„Lkws überholen schnell, ohne sich bewusst zu sein, wie verletzlich eine Radfahrer:in ist“* (R6) -, der Sog beim Überholt werden, wurden als bedrohlich beschrieben – *„der Sog zieht einem rein und durch den Lärm hört man nichts“* (R2). Zudem wurden die schlechten Kommunikationsmöglichkeiten aufgrund der Größe des Lkws zwischen Lkw-Fahrer:in und

Radfahrer:in als Problem angesehen und die Interviewten gingen davon aus, dass die Arbeitsbedingungen der Lkw-Fahrer:innen stressig sind, das sich wiederum negativ auf die Verkehrssicherheit der anderen Verkehrsteilnehmer:innen auswirken könnte. Aber auch stehende Lkws in Ladezonen wurden als potenzielle Gefahr betrachtet, da die Sicht auf den/die Fahrer:in oft nicht gegeben ist und nicht klar ist, ob der Lkw sich nicht bewegen wird.

Die FGI-Teilnehmer:innen fühlten sich zudem von Lkw-Fahrer:innen nicht ernst genommen. *„Sie vermitteln einem, man gehört hier nicht her und wird angehupt.“* (R2).

Begegnungen mit Lkws fanden laut Aussagen der FGI-Teilnehmer:innen jedoch selten statt, am meisten noch bei Supermarktaus- bzw. einfahrten und im Kreuzungsbereich, wenn der Lkw rechts abbiegt und man selbst geradeaus fährt.

Als problematischer wurden Begegnungen mit Klein-Lkws, Sprinter und Kastenwägen angesehen, mit denen man als Radfahrer:in häufiger in Kontakt komme, und die laut Meinung der FGI-Teilnehmer:innen rücksichtsloser unterwegs seien als Lkw-Fahrer:innen. *„Fahrer:innen von Kastenwägen haben keine spezielle Ausbildung, halten sich nicht an die Vorrangregeln, verparken den Radweg, überholen mit hoher Geschwindigkeit und sind bedrohlicher als Lkws.“* (R9)

Strategien bei Begegnungen mit Lkws

Um sich bei Begegnungen mit Lkws sicherer zu fühlen, verhalten sich FGI-Teilnehmer:innen unter anderem wie folgt:

Defensive Fahrweise: Verzicht auf den eigenen Vorrang, Reduzierung der Geschwindigkeit, erhöhter Sicherheitsabstand, erhöhte Achtsamkeit
"Bei Lkws bin ich immer bereit nachzugeben." (R6)

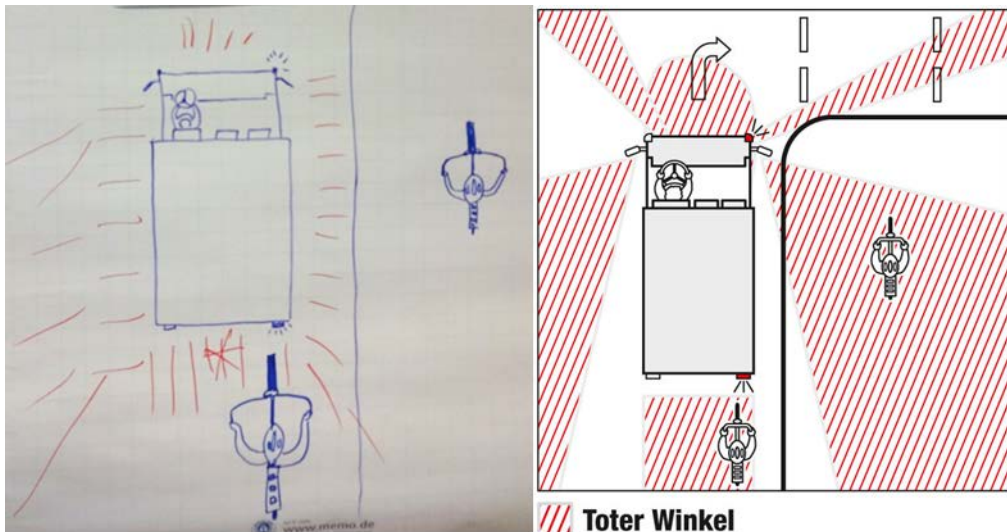
Sichtbar machen: Mittiges fahren in engen Straßen, um nicht überholt werden zu können, nebeneinander fahren, im Kreuzungsbereich auf den Zebrastreifen stellen, Blickkontakt aufnehmen
„Wenn es eine zu enge Straße ist, wo ich zu knapp überholt werden könnte, fahre ich mittig, damit sie mich nicht überholen können, das mag sie ärgern, aber da ist mir meine Sicherheit wichtiger als Rücksicht.“ (R4)

Direkte Kontaktvermeidung: Meiden von Straßen mit Lkw-Verkehr, Ausweichen auf den Gehsteig, Vorbeischieben des Rades am Gehsteig bei stehendem Lkw, im Kreuzungsbereich in großem Abstand hinter einem Lkw stehen bleiben, auch wenn es einen Radfahrstreifen daneben gäbe

Toter Winkel – Bewusstsein

Da der tote Winkel in Bezug auf Radfahrunfälle mit Lkws als einer der Hauptunfallursachen gilt, wurden die FGI-Teilnehmer:innen gefragt, inwieweit ihnen bewusst ist, wie weit der tote Winkel reicht. Sie wurden gebeten auf einer Zeichnung mit einem Lkw, der rechts abbiegt und einem auf einem Radweg geradeausfahrenden Radfahrer, den toten Winkel einzuzeichnen (siehe Abbildung 34).

Abbildung 34: Links in roten Linien eingezeichneter toter Winkel durch die FGI-Teilnehmer:innen; Rechts: tatsächlicher Bereich des toten Winkels [141]



Wie die Zeichnung veranschaulicht, ist den FGI-Teilnehmer:innen das Ausmaß des toten Winkels nicht bewusst. Die Radfahrer:in am Radweg würde laut Annahme der Teilnehmer:innen vom/von der Lkw-Fahrer:in gesehen werden.

Assistenzsysteme für Lkws

Inwieweit Assistenzsysteme für Lkws, die Sicherheit von Radfahrer:innen erhöhen können, wurde unterschiedlich gesehen. Während manche die verpflichtende Einführung von Systemen wie Totwinkel-Assistent, Notbremsassistent begrüßten und eine Verbesserung der Sicherheit für Radfahrer:innen erwarteten, gingen andere davon aus, dass sich dadurch wenig ändern würde, ein scheinbares Sicherheitsgefühl erzeugt werden könnte, die Lkw-Fahrer:innen mitunter abgelenkter wären, man zu sehr technische Lösungen suche und Infrastrukturmaßnahmen, wie den Ausbau und Verbreiterung von Radwegen dadurch vernachlässige.

Assistenzsysteme für Fahrräder

Die FGI-Teilnehmer:innen waren bezüglich Assistenzsysteme für Fahrräder geteilter Meinung. Während einige davon ausgingen, dass Assistenzsysteme für Fahrräder eine interessante Möglichkeit wären, die eigene Sicherheit beim Radfahren zu erhöhen, glaubten andere, dass solche technischen Innovationen die Radfahrer:innen ablenken und das Unfallrisiko erhöhen würden. Die folgenden Vor- und Nachteile wurden genannt:

- Vorteile
 - Erhöhung der Sicherheit: Verringerung von Unfällen, Unterstützung für Radfahrer:innen, die sich beim Radfahren unsicher fühlen, entspannteres Fahren
 - Bewusstseinsbildung: Sensibilisierung für z.B. toten Winkel
 - Flexibilität: falls Systeme ein- und ausschaltbar bei Bedarf einsetzbar z.B. bei viel Verkehr in der Stadt
- Nachteile
 - Ablenkung & Überforderung: *"Im Stadtverkehr ist man ständig im toten Winkel von parkenden Autos, aber auch von fahrenden Autos, ein Totwinkel-Assistent würde ständig warnen, so dass der Radfahrer permanent abgelenkt ist."*(R1)
 - Delegation der Verantwortung: Man verlässt sich auf die Systeme, und wird selbst unachtsamer
 - Kontrollverlust: *"Ich mag das nicht so sehr. Im Verkehr soll ich die Kontrolle behalten. Das sind Handlungen, die mit gesundem Menschenverstand zu tun haben, die in mein Wissen, in mein Fleisch und Blut übergehen sollten. Es sollte nicht etwas von außen sein, das piepst und mich warnt."* (R7)
 - Mangelndes Vertrauen: *"Es müsste zu 90 % zuverlässig funktionieren. Sonst entsteht eine trügerische Sicherheit, und es besteht die Gefahr, dass die Aufmerksamkeit nachlässt. Das wiederum provoziert kritische Situationen."* (R5)

- Falsche Priorisierung: *"Ich stehe technischen Assistenzsystemen sehr kritisch gegenüber. Im Straßenverkehr ist die Kommunikation wichtig, um Unfälle zu vermeiden. Erfolgreiche Kommunikation ist aber nicht Teil der Ausbildung, wie kommuniziere ich mit anderen Verkehrsteilnehmern im Straßenverkehr sollte viel mehr in die Ausbildung integriert werden."*(R7)
- Luxusgut Fahrrad: Assistenzsysteme werden mit höheren Anschaffungskosten verbunden sein *"Wenn sich der Preis eines Fahrrads aufgrund der technischen Ausstattung dem Preis eines Autos annähert, wäre es für viele Menschen unerschwinglich und wenig attraktiv."* (R16)

Die kritischen Stimmen zu Fahrassistenzsystemen für Radfahrer:innen waren lauter als die Befürworter:innen. Drei Teilnehmer:innen konnten sich vorstellen, Assistenzsysteme auszuprobieren. Die anderen sahen keinen wirklichen Bedarf und keine Notwendigkeit, ihre Fahrräder mit solchen Systemen auszustatten, da ihrer Meinung nach die Nachteile überwogen. Assistenzsysteme konnte man sich am ehesten für E-Bikes vorstellen.

Generell wird laut Meinung der Interviewten noch viel Aufklärungsarbeit nötig sein, um den/die Alltagsradler:in von Assistenzsystemen zu überzeugen. Schließlich wird das Fahrrad vor allem auch wegen seiner Einfachheit geliebt.

„Ich möchte, dass mein Fahrrad ein einfaches Fortbewegungsmittel bleibt, das wenig Wartung und nicht wie ein Auto ein Pickerl braucht, und ich leichte Reparaturen auch selbst durchführen kann.“ (R16)

Maßnahmenvorschläge

Die Maßnahmenvorschläge der FGI-Teilnehmer:innen bezüglich einer Erhöhung der Verkehrssicherheit von Radfahrer:innen bezogen sich sowohl auf die Infrastruktur als auch auf bewusstseinsbildende Maßnahmen.

- Bewusstseinsbildende Maßnahmen
 - „Radfahrausbildung“ für Lkw-Fahrer:innen: Lkw-Fahrer:innen z.B. sollen ausprobieren, wie sich das anfühlt, wenn man von einem Lkw mit zu geringen Sicherheitsabstand überholt wird
 - App für Radfahrer:innen, die Straßen mit viel und wenig Lkw-Verkehr anzeigt
 - Verstärkte Kontrollen der Lkw-Fahrer:innen in Bezug auf Einhaltung des seitlichen Sicherheitsabstandes beim Überholen

- Bei gefährlichen Kreuzungen Hinweistafeln z.B. Achtung starker Lkw-Verkehr
- In der Ausbildung stärkeren Fokus auf die Kommunikation mit anderen Verkehrsteilnehmer:innen legen: Wie kommuniziere ich mit Lkw-Fahrer:innen, wie kommuniziere ich mit Radfahrer:innen?
- In der Bewusstseinsbildung weniger mit Angst als mit konkretem Verhalten arbeiten → wie verhalte ich mich bei Begegnungen mit Lkw-Verkehr
- Infrastrukturmaßnahmen
 - Konsequente Trennung des Rad- vom Kfz-Verkehr auf Hauptstraßen
 - Kein Schrägparken in Einbahnstraßen
 - Mehr vorgezogene Haltelinien für Radfahrer:innen im Kreuzungsbereich
 - Vereinfachung von Kreuzungen, um Sichtbarkeit von Radfahrer:innen zu erhöhen: weniger Verkehrsschilder, Parkverbotszone im Kreuzungsbereich auf mehr als 5m erhöhen (in Deutschland gilt bei Kreuzungen, die einen baulich getrennten Radweg rechts neben der Fahrbahn aufweist, 8m Abstand einzuhalten), Anbringen von Spiegeln, Abbiegespur für Radfahrer:innen bei Kreuzungen farblich kennzeichnen
 - Generelle Weiterführung des Radweges im Kreuzungsbereich
 - Schnellverbindungen für Radfahrer:innen anbieten

Zusätzlich zu den Infrastruktur- und bewusstseinsbildenden Maßnahmen wurde vorgeschlagen Lkws im innerstädtischen Bereich zu verbieten, Fahrräder standardmäßig mit Rückspiegeln auszustatten und bessere Arbeitsbedingungen für Lkw-Fahrer:innen zu schaffen, um deren Stressbelastung zu reduzieren.

4.1.2 Ergebnisse Lkw-Fahrer:innen

Wahrnehmung und Verhalten

Wie bei den Radfahrer:innen, waren auch bei den Lkw-Fahrer:innen spontane Assoziationen zu Begegnungen mit Radfahrer:innen eher negativ besetzt. Die Interviewten erwähnten dabei das Hinwegsetzen der Radfahrer:innen über die Verkehrsregeln, das mangelnde Bewusstsein in Bezug auf die Schwerfälligkeit des Lkws und den toten Winkel. Als kritisch wurde das Nebeneinanderfahren von Radfahrer:innen betrachtet, die Nichtbenutzung des Radweges, provokante Fahrweisen der Radfahrer:innen, die sich zwischen Autos vorschlingeln, Kreuzungen ohne zu schauen queren oder ein plötzliches Ausscheren des/der Radfahrer:in beim Überholvorgang. Die interviewten Lkw-Fahrer

sahen Radfahrer:innen als potentielle Unfallquelle an, deren Verhalten schwer abschätzbar ist. Problematisch wurde gesehen, dass viele Radfahrer:innen laut Meinung der Interviewten mit Kopfhörern unterwegs sind und dadurch vom eigentlichen Verkehrsgeschehen abgelenkt werden. Die Interviewten bemängelten, dass Radfahrer:innen beim Einordnen oft kein Handzeichen, geben, ungeduldig und rücksichtslos sind, wobei vermerkt wurde, dass Stress, Ungeduld und Aggressivität im Verkehr in den letzten Jahren generell zugenommen haben.

"Die Leute haben keinen Respekt mehr und die Leute wissen nicht, was es heißt mit einem Lkw unterwegs zu sein. Sie sind viel ungeduldiger und denken nicht daran, dass ein Lkw viel länger zum Stehen bleiben braucht." (L5)

E-Bike Fahrer:innen und E-Scooter-Fahrer:innen wurden als problematischer angesehen als Radfahrer:innen, da sie schneller unterwegs sind. Bei den E-Scooter-Fahrer:innen kommt hinzu, dass sie noch schlechter gesehen werden, da sie kleiner sind und sich unkontrollierter im Straßenverkehr bewegten.

"E-Bikes und E-Scooter sind viel zu schnell und die Leute können damit nicht umgehen, es ist eine Katastrophe im Verkehr. Wie sie über die Kreuzung fahren, ohne zu schauen! Diese schnellen Fahrzeuge machen die Situation auf den Straßen noch gefährlicher." (L2)

Von den Lkw-Fahrer:innen wurde erwähnt, dass sie bei Begegnungen mit Radfahrer:innen vorsichtiger und aufmerksamer fahren und auf den Vorrang tendenziell verzichten.

Als belastende Faktoren beim Lkw-Fahren wurden zudem folgende Aspekte angeführt:

- Zeitdruck „Zeitstress hat man immer im Nacken, das ist ein Punkt, der immer ärger wird. Das war vor ein paar Jahren noch anders.“ (L1)
- Zunehmende Flexibilität wird gefordert „Früher hat man einen Tagesplan bekommen, heute erfährt man kurzfristig über das Handy, wohin man als nächstes hinfahren muss.“ (L2)
- Langer Arbeitstag: ein 10-11 Stunden Arbeitstag ist üblich, am Abend ist man dann meist müde und nicht mehr ganz so konzentriert
- Zusätzliche Arbeitsbelastung: z.B. Nicht nur mehr Auf- und Abladen wird bei Supermärkten gefordert, sondern auch das Entfernen von Karton und Folie

- Digitale Fahrerkarte: positiv, dass Pausen gemacht werden müssen, negativ, dass mitunter 15 min vor Arbeitsschluss noch eine Pause notwendig ist, um keine Strafe zu bekommen.
- Lkw-Fahrer:innen Mangel: Es gibt immer weniger Lkw-Fahrer:innen, wodurch der Stress mehr wird
- Schlechtes Image der Lkw-Fahrer:innen „*Wenn man ein Lastwagenfahrer ist, dann ist man immer nur der Böse... Im Prinzip will jeder einkaufen gehen und seine Sachen haben, aber den Lkw-Verkehr wollen sie nicht.*“ (L9)

Assistenzsysteme

Unabhängig, ob die Interviewten über einen Lkw mit Assistenzsystemen oder einen Lkw ohne Assistenzsysteme verfügten, Assistenzsystemen waren sie offen gegenüber.

Als **Vorteile** wurden folgende Aspekte angesehen:

- Sicherheitsfeatures „*Ich bin begeistert vom Notbremsassistent und auch vom Spurhalteassistent, das System bremst wirklich ab im Notfall. Ich möchte die Systeme nicht mehr missen.*“ (L4)
- Vermeidung von Unfällen
- Führt zur defensiveren Fahrweise generell

Nicht nur jene Interviewten, die keine Assistenzsysteme im Lkw hatten, sondern auch jene mit Assistenzsystem-Erfahrung, verbanden auch **Nachteile** damit:

- Systeme sind zum Teil noch nicht voll ausgereift: Fehlfunktionen z.B. bei Schnee, Überempfindlichkeit der Systeme;
"Das ist aber alles nicht so ausgegoren, weil jegliches andere nahe Hindernis z.B. Verkehrszeichen kann das nicht unterscheiden. Jetzt piepst das dann ganz laut im Fahrzeug, jetzt schaut' automatisch auf die Kamera, siehst, das ist nur ein Verkehrszeichen und ein Stückchen weiter ist das nächste Verkehrszeichen oder ein parkendes Auto, dann fährst du durch die Gasse und permanent bei jedem zweiten parkenden Auto piepst das, das ist gefährlich, was ist wenn jetzt ein Fußgänger oder Radfahrer kommt, dann denkst du das ist schon wieder ein parkendes Auto." (R1- Fahrer mit Assistenzsystemen)

- Überforderung und Ablenkung *„Sie wissen gar nicht, wie viele Dinge da herumpiepsen, das kann man sich gar nicht vorstellen, wenn man nicht selbst drinnen gesessen ist, man muss auf alles aufpassen und es ist wirklich sehr kompliziert und unangenehm.“* (L4 – Fahrer mit Assistenzsystemen)
„Es ist viel besser, wenn ich mich auf das Geschehen auf der Straße konzentriere.“ (L3 Fahrer ohne Assistenzsysteme)
- Falsche Prioritätensetzung *„Durch Assistenzsystem wird keine gegenseitige Rücksichtnahme gefördert, was viel wichtiger wäre.“* (L2-Fahrer ohne Assistenzsysteme)
- Höhere Anschaffungskosten (Geschäftsführer:innen)

Jene, die über Assistenzsysteme verfügten, gaben an, dass sie von externen Personen in die Assistenzsysteme eingeschult worden sind und dass die Systeme laut Vorgesetzten aktiviert sein müssen.

Maßnahmenvorschläge

Folgende Maßnahmenvorschläge wurden von den Interviewten eingebracht, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen:

- Bewusstseinsbildende Maßnahmen *„Bewusstsein schaffen, das ist das Allerwichtigste!“* (L4)
 - Schulung Radfahrer:innen – in einem Lkw mitfahren, toten Winkel bewusst machen, schärfen des Verantwortungsbewusstseins, Problematik von Kopfhörern und Mobiltelefon bewusst machen
 - Mobilitätserziehung ab dem Kindergarten mit einem Fokus auf den Lkw-Verkehr: Wie verhalte ich mich gegenüber Lkws?
 - Generelle Sensibilisierungskampagnen zu mehr Rücksichtnahme im Verkehr
- Infrastrukturmaßnahmen
 - Konsequente Trennung des Rad- vom Kfz-Verkehr auf Hauptstraßen
„Wenn die die Radwege weiter so ausbauen, wie jetzt, dann haben eh alle gut Platz zum Fahren.“ (L1)
 - Getrennte Grünphasen für Rad- und Kfz-Verkehr bei ampelgeregelten Kreuzungen

4.1.3 Zusammenfassung

Die Interviews veranschaulichen, dass Begegnungen zwischen Radfahrer:innen und Lkws von beiden Gruppen als unangenehm erlebt werden. Beide Seiten sehen rücksichtsloses, nicht regelkonformes Verhalten der jeweiligen anderen Verkehrsteilnehmer:innengruppen als problematisch und gefährlich an. Hier plädieren beide Gruppen für mehr bewusstseinsbildende Maßnahmen, die das Miteinander im Straßenverkehr propagieren. Während Assistenzsysteme für Lkws sowohl von Lkw-Fahrer:innen als auch Radfahrer:innen als ein Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit angesehen werden, scheinen Radassistenzsysteme für Radfahrer:innen laut Interviewten wenig Zustimmung zu finden. Die Teilnehmer:innen der Interviews gehen davon aus, dass es zur Erhöhung der Verkehrssicherheit einem Gesamtkonzept bedarf, das infrastrukturelle und bewusstseinsbildende Maßnahmen mit technischen Lösungen kombiniert.

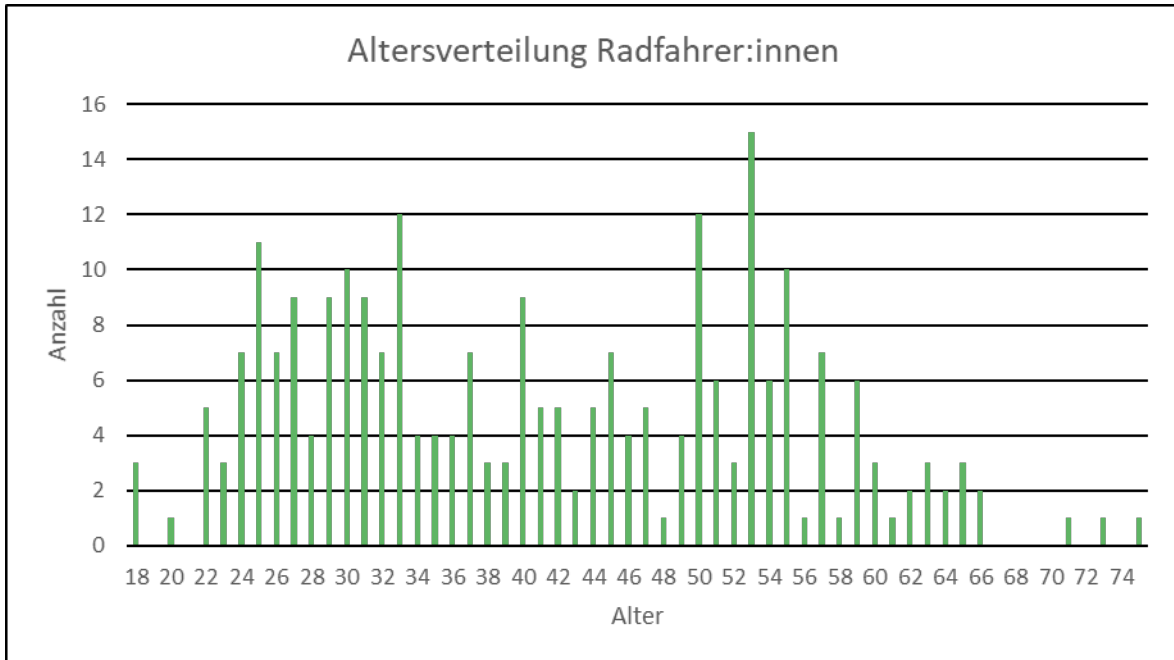
4.2 Online-Befragung Ergebnisse Radfahrer:innen

Die standardisierte Online-Befragung ermöglichte die Meinungen, Themen, die in den Interviews erwähnt wurden in einer größeren Stichprobe abzufragen und zu quantifizieren. Theoretisch umrahmt wurden die empirischen Erhebungen anhand von Akzeptanzmodellen aus der Literatur. In der Folge werden zunächst die Ergebnisse der Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen separat deskriptiv beschrieben und anschließend die Hypothesen überprüft.

4.2.1 Demographie, Verkehrsverhalten und Einstellungen

Das Durchschnittsalter der Radfahrer:innen lag bei 41,13 Jahren. Wie Abbildung 35 zeigt, waren verschiedene Altersgruppen gut verteilt. Personen ab 60 Jahren sind in der Studie allerdings unterrepräsentiert.

Abbildung 35: Altersverteilung der Radfahrer:innen (n=255)



59,1% waren Männer, 40,6% Frauen und 0,4% divers. Die Überrepräsentation von Männern entspricht den Daten der österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“ [142], wonach mehr Männer als Frauen mit dem Rad unterwegs sind (7% Männer, 6% Frauen).

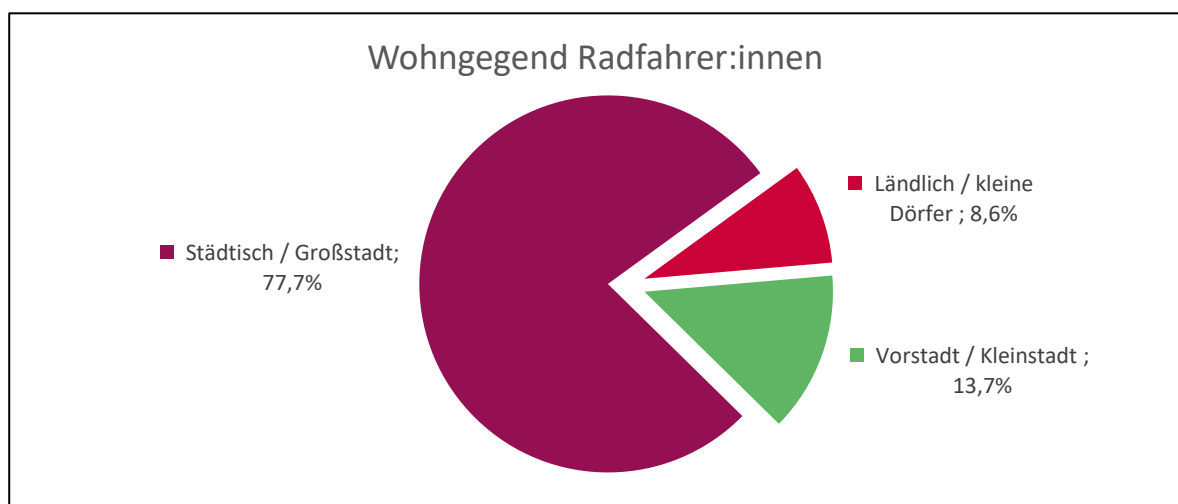
Über die Hälfte der teilnehmenden Radfahrer:innen wohnen in Wien (Tabelle 3). Zudem nahmen Radfahrer:innen aus der Steiermark, Niederösterreich, Oberösterreich und Tirol teil. Die Beteiligung im Kärnten, Salzburg, Vorarlberg und Burgenland war gering bis nicht vorhanden. Knappe 5% der Radfahrer:innen hatten ihren Wohnort außerhalb von Österreich.

Tabelle 3: Wohnort der Radfahrer:innen nach Bundesland (n=255)

| Bundesland | Prozent |
|--------------------------|---------|
| Burgenland | 0% |
| Kärnten | 0,4% |
| Niederösterreich | 11% |
| Oberösterreich | 8,6% |
| Salzburg | 0,8% |
| Steiermark | 17,3% |
| Tirol | 3,1% |
| Vorarlberg | 0,8% |
| Wien | 53,3% |
| Außerhalb von Österreich | 4,7% |

Parallel dazu zeigen die Daten (Abbildung 36), dass die große Mehrheit (77,7%) der Radfahrer:innen in städtischen Gebieten lebt, während Kleinstädte (13,7%) und ländliche Gemeinden (8,6%) wesentlich schwächer repräsentiert sind.

Abbildung 36: Wohngegend der Radfahrer:innen (n=255)



Die Verkehrsmittelnutzung der Radfahrer:innen zeichnet sich durch aktive Mobilitätsformen aus (Abbildung 37 und Tabelle 4): 85,1% fahren täglich oder mehrmals pro Woche mit dem Rad, 80,4% gehen täglich oder mehrmals die Woche zu Fuß. Mit öffentlichen Verkehrsmitteln sind rund 38,0% regelmäßig unterwegs. Das Auto wird von 17,3% täglich oder mehrmals die Woche genutzt und 47,1% fahren weniger als einmal pro Monat mit dem Auto.

Abbildung 37: Verkehrsmittelnutzung der Radfahrer:innen (n=255)

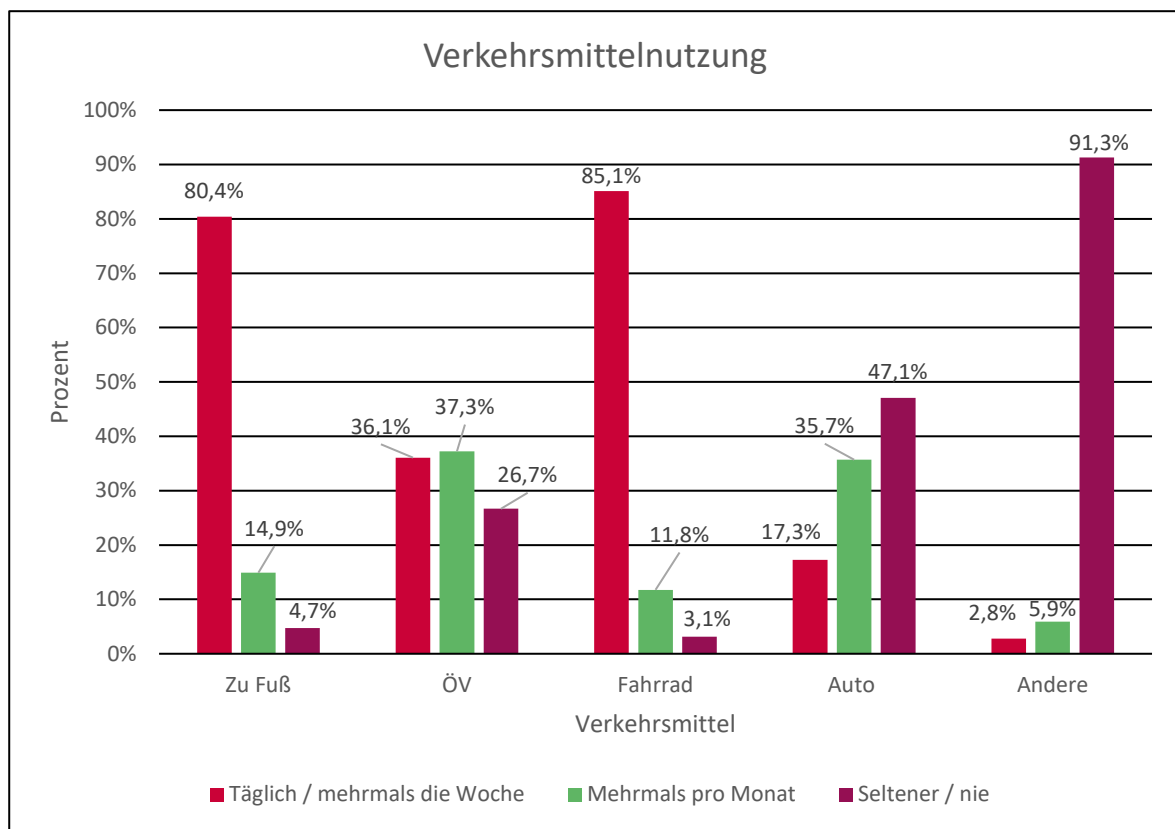


Tabelle 4: Verkehrsmittelnutzung der Radfahrer:innen (n=255)

| Häufigkeit | Zu Fuß | Öffentliche Verkehrsmittel | Fahrrad | Auto / Lkw | Andere |
|------------------------------|--------|----------------------------|---------|------------|--------|
| Täglich / mehrmals pro Woche | 80,4% | 36,1% | 85,1% | 17,3% | 2,8% |
| Mehrmals pro Monat | 14,9% | 37,3% | 11,8% | 35,7% | 5,9% |
| Seltener / Nie | 4,7% | 26,7% | 3,1% | 47,1% | 91,3% |

Die große Mehrheit der Radfahrer:innen (87,8%) ist im Alltag mit herkömmlichen Fahrrädern unterwegs, 12,2% fahren mit einem E-Bike. 31,4% der Radfahrer:innen fahren mehr als 50 km pro Woche mit dem Rad, 28,2% zwischen 21 und 50 km, 24,7% zwischen 11 und 20 km und 15,7% unter 10 km pro Woche (Abbildung 38). Dabei bezeichnen sich 81,2% Radfahrer:innen als Alltagsradler (Rad wird min. 1x pro Woche für Alltagswege z.B. Weg zur Arbeit und Einkauf genutzt) und 43,1% als Freizeitradler (Radfahren als Sport oder Freizeitbeschäftigung). 10,2% empfinden sich selbst als Gelegenheitsradler (Rad wird nur hin und wieder genutzt) und 2% sind beruflich, z.B. als Botenfahrer:in oder in einem Lieferdienst, auf dem Rad unterwegs (Abbildung 39).

Abbildung 38: Verteilung der mit dem Rad gefahrenen Kilometer pro Woche (n=255)

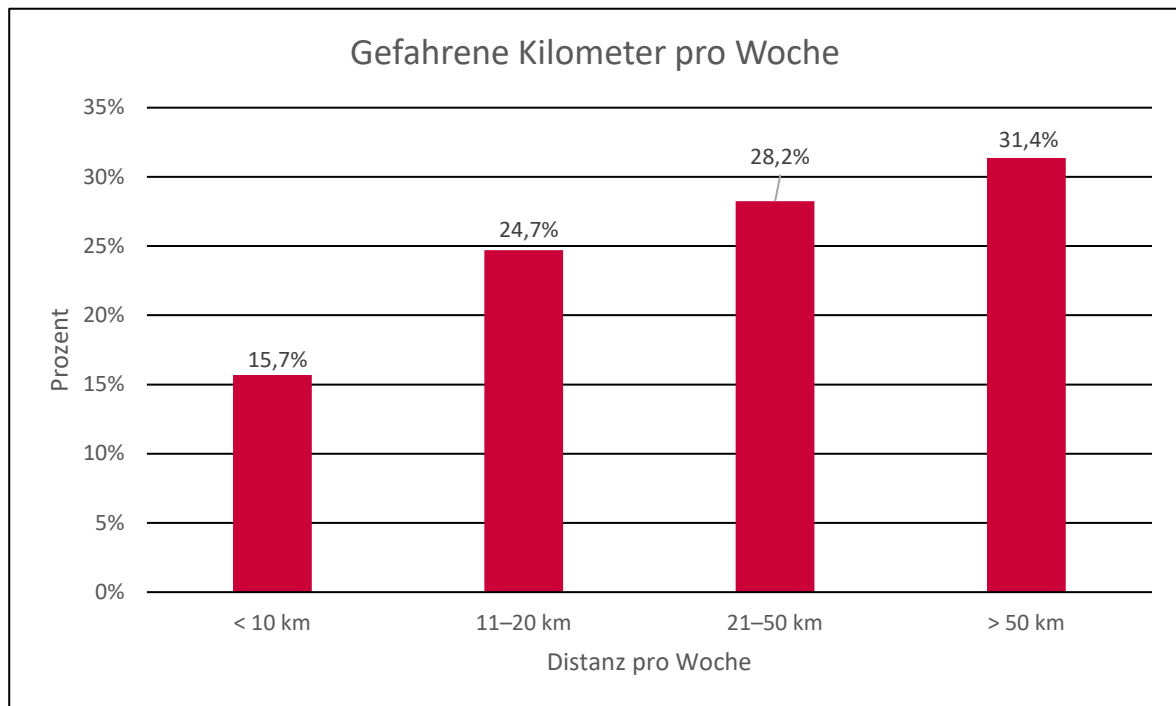
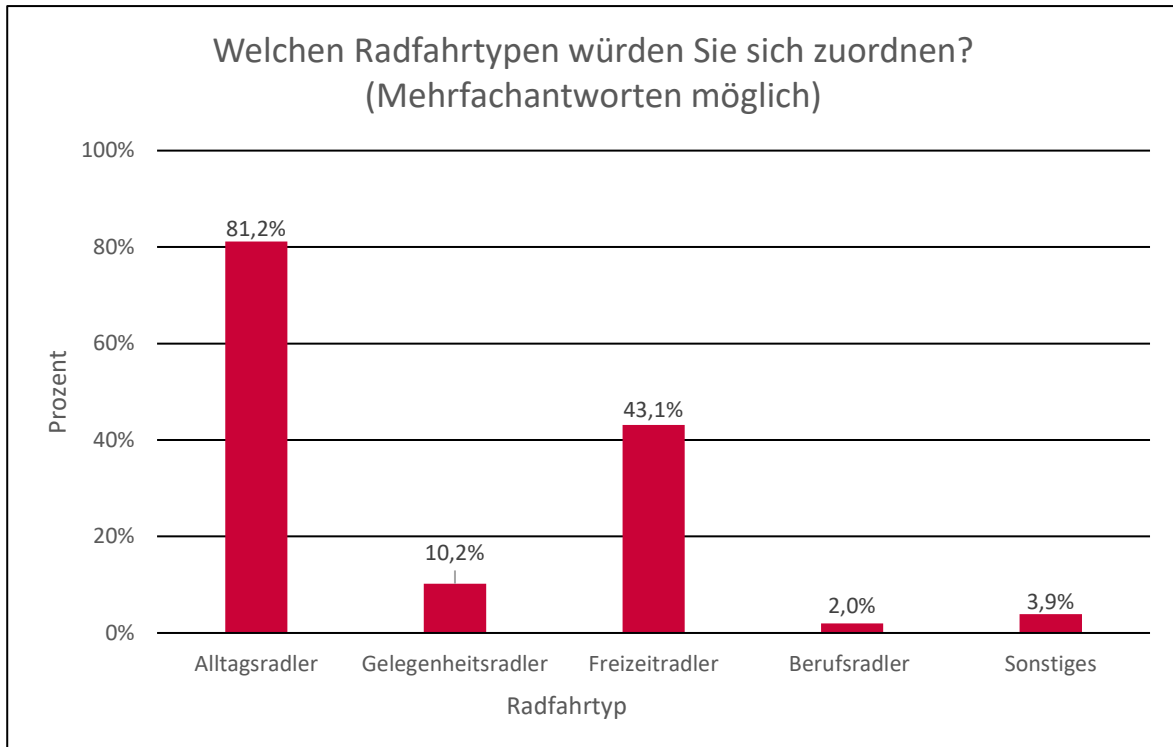
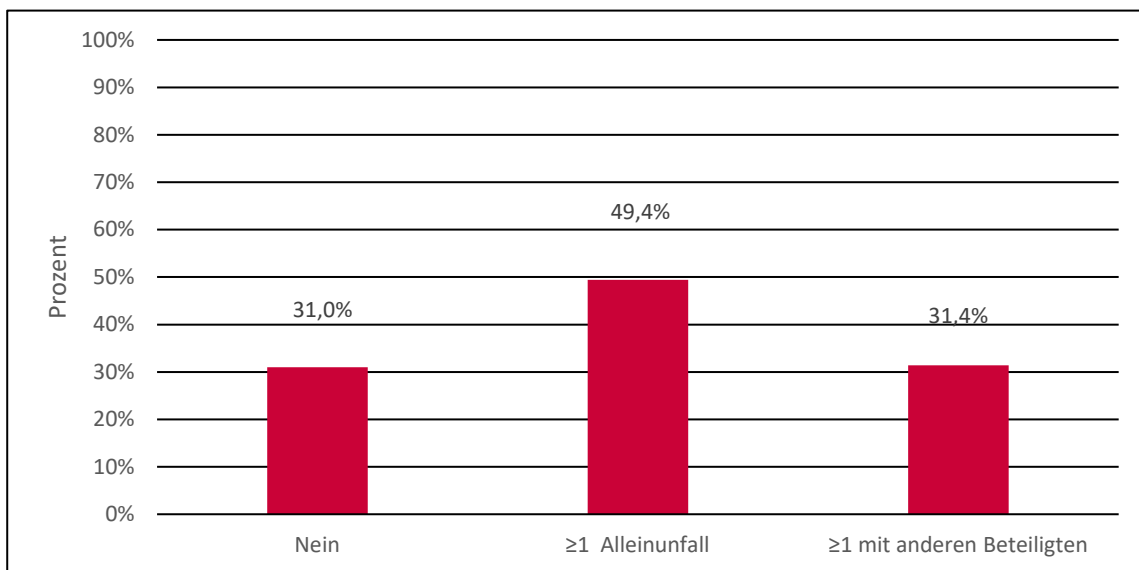


Abbildung 39: Selbst-Typologisierung der Radfahrer:innen (n=255)



Etwa die Hälfte der Radfahrer:innen (49,4%) hatte mindestens einen Alleinunfall mit dem Fahrrad (Abbildung 40). 31,4% hatten mindestens einen Unfall mit anderen Beteiligten, und 31% noch keinen Unfall mit dem Fahrrad.

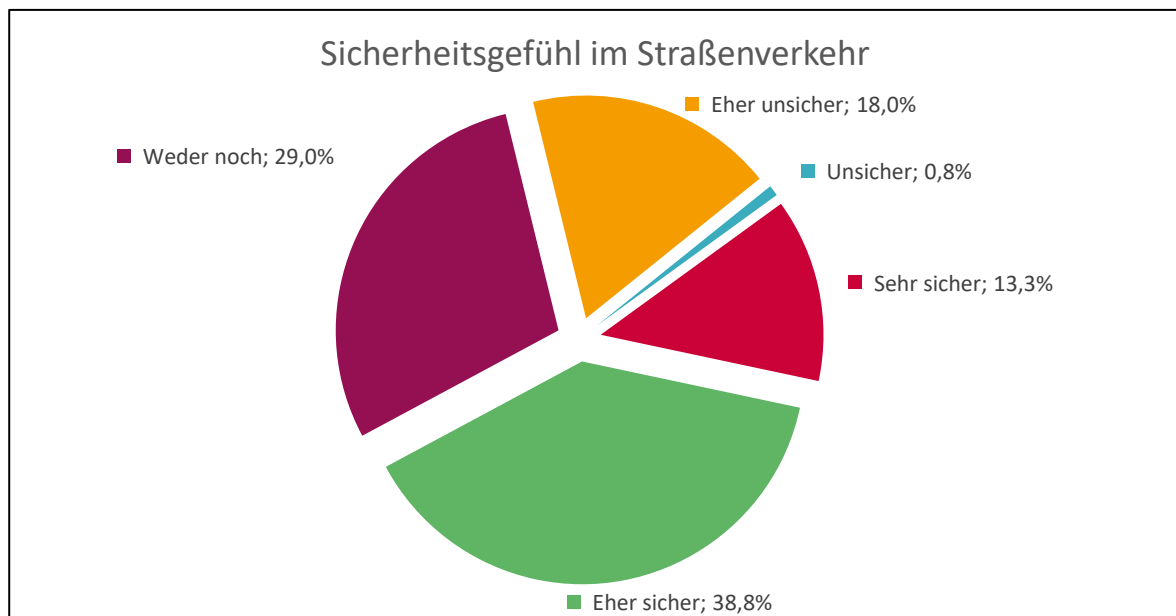
Abbildung 40: Unfälle Radfahrer:innen (n=255)



Von den Unfällen mit anderen Beteiligten waren 62 Unfälle mit Pkws, 17 mit anderen Radfahrer:innen, 10 mit Fußgänger:innen, 4 mit Lkws und jeweils 2 mit Kleintransportern, E-Scootern und Bussen.

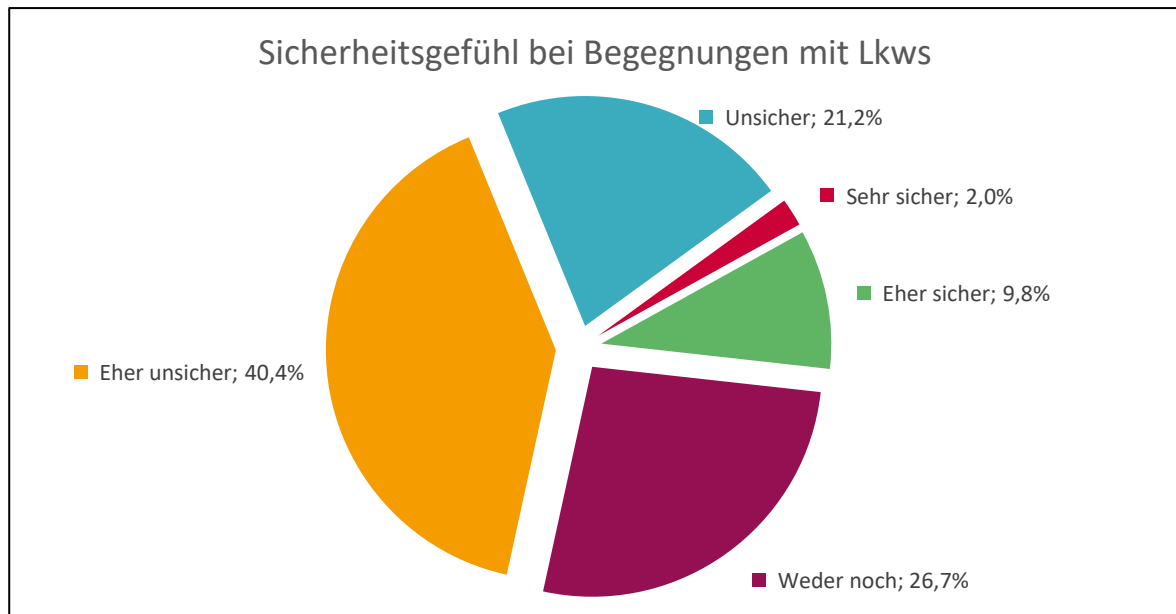
Die Radfahrer:innen wurden gefragt, wie sicher sie sich auf einer Skala von 1 („Sehr sicher“ bis 5 („Unsicher“) allgemein beim Radfahren und bei Begegnungen mit Lkws fühlen. Der Mittelwert für das Sicherheitsgefühl allgemein lag bei 2,5 (SD=0,96). Dabei fühlen sich 13,3% sehr sicher, 38,8% eher sicher, 29,0% weder noch, 18,0% eher unsicher und 0,8% unsicher (Abbildung 41).

Abbildung 41: Wie sicher bzw. unsicher fühlen Radfahrer:innen im Straßenverkehr (n=255)



Bei Begegnungen mit Lkws fühlten sich mehr Radfahrer:innen unsicher: Der Mittelwert lag bei 3,69 (SD=0,977). 2,0% fühlten sich sehr sicher, 9,8% eher sicher und 26,7% weder noch. 40,4% gaben an sich eher unsicher und 21,2% unsicher zu fühlen (Abbildung 42).

Abbildung 42: Wie sicher fühlen sich Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws (n=255)



Fünf weitere Fragestellungen erfassten die Zustimmung der Radfahrer:innen zu bestimmten Aussagen auf einer Skala von 1 („Stimme zu“) bis 5 („Stimme nicht zu“). Die errechneten Mittelwerte befinden sich eher im Mittelfeld der Skala, zeigen also keine Tendenz der Radfahrer:innen: „Ich begegne selten Lkws.“ $M=2,95$; „Mit Kleintransportern habe ich als Radfahrer:in mehr konfliktreiche Begegnungen als mit Lkws.“ $M=2,63$; „Lkw-Fahrer:innen verhalten sich rücksichtsvoll gegenüber Radfahrer:innen.“ $M=3,03$; „Radfahrer:innen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung.“ $M=2,49$; „Lkw-Fahrer:innen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung.“ $M=2,86$. Abbildung 43 zeigt die Verteilung der Antworten.

Rund 40% der befragten Radfahrer:innen begegneten häufig Lkws bei ihren Fahrten (siehe Abbildung 43 und Prozentwerte in Tabelle 5). Konfliktreiche Begegnungen mit Kleintransportern hatten knappe 50% häufiger als mit Lkws. 45% der Radfahrer:innen gingen davon aus, dass Lkw-Fahrer:innen weder besonders rücksichtsvoll noch rücksichtslos sind. Das Image der Radfahrer:innen in der Bevölkerung wurde von rund 58% der Befragten als (eher) schlecht beurteilt. Das Image der Lkw-Fahrer:innen wurde etwas besser bewertet. Hier gingen 40% der Befragten davon aus, dass Lkw-Fahrer:innen ein neutrales bis positives Image in der Bevölkerung haben.

Abbildung 43: Zustimmung von Radfahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=255)

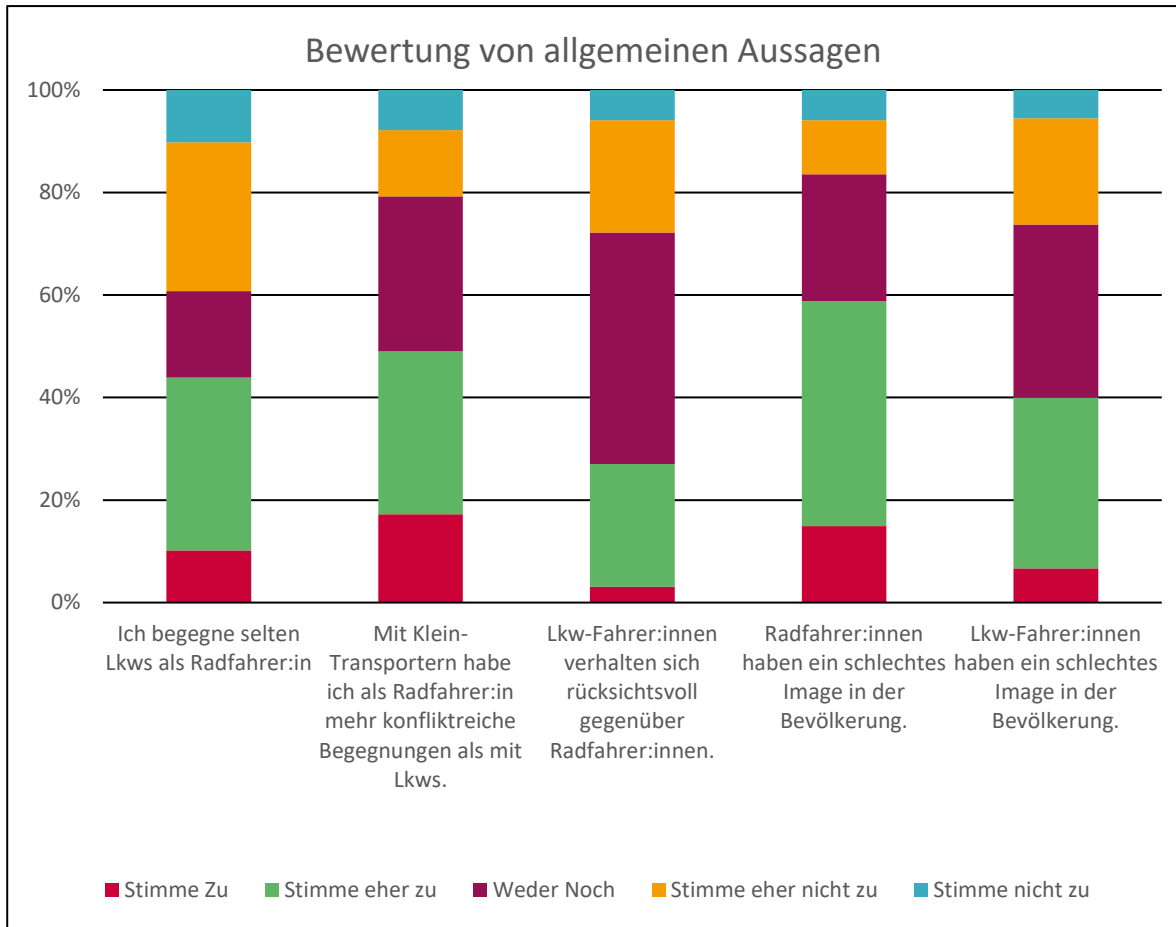


Tabelle 5: Zustimmung von Radfahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=255)

| Aussagen | Stimme zu | Stimme eher zu | Weder Noch | Stimme eher nicht zu | Stimme nicht zu |
|---|-----------|----------------|------------|----------------------|-----------------|
| Ich begegne selten Lkws als Radfahrer:in | 10,2% | 33,7% | 16,9% | 29,0% | 10,2% |
| Mit Klein-Transportern habe ich als Radfahrer:in mehr konfliktreiche Begegnungen als mit Lkws | 17,3% | 31,8% | 30,2% | 12,9% | 7,8% |
| Lkw-Fahrer:innen verhalten sich rücksichtsvoll gegenüber Radfahrer:innen | 3,1% | 23,9% | 45,1% | 22,0% | 5,9% |
| Radfahrer:innen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung | 14,9% | 43,9% | 24,7% | 10,6% | 5,9% |
| Lkw-Fahrer:innen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung | 5,5% | 20,8% | 33,7% | 33,3% | 6,7% |

4.2.2 Herausforderungen bei Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen

Die Radfahrer:innen sollten hier bis zu 5 Situationen ankreuzen, die sie am unangenehmsten bei Begegnungen mit Lkws empfinden. Als größte Herausforderung wird der zu geringe seitliche Sicherheitsabstand beim Überholtwerden empfunden (84,3%). 56,9% der Radfahrer:innen empfinden die Situation, rechts neben einem Lkw zu stehen oder zu fahren, der rechts abbiegen will, als unangenehm (Tabelle 6). Diese Situation deckt sich mit dem Hauptanwendungsfall für Abbiegeassistenten. Es zeigt, dass ein gewisses Bewusstsein für die Gefährlichkeit dieser Situation unter Radfahrer:innen besteht. Die weiteren Herausforderungen erhielten unter 50% Zustimmung: Der Sog beim Vorbeifahren des Lkws (45,5%), sowie hinter einem Lkw zu stehen, welcher rückwärtsfährt (42,4%). Die geringste Gefahr sahen Radfahrer:innen darin, vor einem Lkw zu stehen (16,9%).

Tabelle 6: Herausforderungen bei Begegnungen von Radfahrer:innen und Lkws, sortiert nach der Zustimmungsrates, ob Radfahrer:innen diese Situation als unangenehm empfinden (n=255)

| Herausforderung | Zustimmung |
|--|------------|
| Zu geringer seitlicher Sicherheitsabstand beim Überholtwerden | 84,3% |
| Rechts neben dem Lkw stehen/fahren, welcher nach rechts abbiegen will | 56,9% |
| Sog beim Vorbeifahren des Lkws | 45,5% |
| Hinter einem Lkw sein, der rückwärtsfährt | 42,4% |
| Neben einem Lkw im Kreuzungsbereich stehen | 36,9% |
| Überhöhte Geschwindigkeiten des Lkws beim Überholt werden | 34,5% |
| Schlechte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Rad- und Lkw-Fahrer:innen | 33,0% |
| Lkw-Fahrer:innen, die beim Fahren telefonieren | 28,2% |
| Links neben dem Lkw stehen/fahren, welcher nach links abbiegen will | 20,0% |
| Vor einem Lkw stehen | 16,9% |
| Sonstiges | 3,9% |

4.2.3 Verhaltensweisen von Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws

Die Teilnehmer:innen kreuzten hier Statements zu Verhaltensweisen bei Begegnungen mit Lkws als für sie zutreffend oder nicht zutreffend an. Die Zustimmungsrates zu den einzelnen Verhaltensweisen befinden sich in Tabelle 7. Am häufigsten versuchen Radfahrer:innen Sichtkontakt mit Lkw-Fahrer:innen herzustellen (65,9%). Etwa die Hälfte der Radfahrer:innen erhöht ihren Sicherheitsabstand zu Lkws (52,6%). 50,6% fahren mittig in engen Straßen, damit sie nicht überholt werden können. Bezogen auf gefährliche Situationen mit Lkws an Kreuzungen, bleiben 36,1% der Radfahrer:innen an Kreuzungen nicht neben einem Lkw stehen und 33,3% verzichten auf Ihren Vorrang. 21,2% versuchen vor den Lkw zum Stehen zu kommen und rund 4% beharren auf ihren Vorrang. Unter der Kategorie „Sonstiges“ wurden Verhaltensweisen genannt wie: Ausweichen auf Gehwege oder Anpassung des Verhaltens an das Fahrverhalten des Lkw-Fahrenden.

Tabelle 7: Verhaltensweisen von Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws, sortiert nach Zustimmung in Prozent (n=255)

| Verhaltensweise | Zustimmung |
|--|------------|
| Ich versuche Sichtkontakt mit Lkw-Fahrer:innen herzustellen. | 65,9% |
| Wenn ich hinter einem Lkw fahre, werde ich langsamer und erhöhe den Sicherheitsabstand. | 52,6% |
| In engen Straßen in der Mitte der Fahrbahn fahren, damit nicht überholt werden kann | 50,6% |
| Ich meide Straßen mit Lkw-Verkehr. | 41,2% |
| Ich bleibe bei Kreuzungen nicht neben einem Lkw stehen, auch wenn es einen Radfahrstreifen gibt. | 36,1% |
| Im Kreuzungsbereich verzichte ich auf meinen Vorrang. | 33,3% |
| Wenn ein Lkw von hinten kommt, fahre ich an den Rand, bleibe stehen und warte bis der Lkw vorbeigefahren ist. | 23,5% |
| Ich versuche an Kreuzungen vor den Lkw zu kommen. | 21,2% |
| Wenn ein Lkw von hinten kommt, fahre ich auf den Gehsteig und fahre erst wieder auf die Straße, wenn der Lkw vorbeigefahren ist. | 14,5% |
| An Kreuzungen beharre ich auf meinen Vorrang. | 3,9% |
| Sonstiges | 3,9% |

4.2.4 Bewertung und Einstellung gegenüber Assistenzsystemen

Bei dieser Fragestellung wurde unter den Radfahrer:innen die Zustimmung zu Statements in Bezug zu Assistenzsystemen auf einer Skala von 1 („Stimme zu“) bis 5 („Stimme nicht zu“) abgefragt. Tabelle 8 zeigt die Mittelwerte und Standardabweichungen, Abbildung 44 und Tabelle 9 die Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements. Die Radfahrer:innen sind sich zum Großteil bewusst, dass sie sich bei Begegnungen mit Lkws im toten Winkel befinden können (M=1,26). Außerdem gibt es eine starke Zustimmung dazu, dass Totwinkel-Assistenten für Lkws die Sicherheit für Radfahrer:innen erhöhen können (M=1,72). Gleichzeitig gehen die meisten Radfahrer:innen davon aus, dass eine Ausstattung von Lkws mit Assistenzsystemen nichts an ihrem eigenen Fahrverhalten ändern wird (M=1,64). Ablehnend standen die meisten Radfahrer:innen hingegen der Ausstattung des eigenen Fahrrads mit Assistenzsystemen gegenüber: Sowohl die Bereitschaft sich für sein Fahrrad einen Totwinkel-Assistenten zu kaufen (M=4,24), als auch die Bereitschaft sich einen Kollisions-Warn-Assistenten zu kaufen (M=4,07) wurden eher ablehnend bewertet. Bei dem Item, ob Fahrradassistenten die Sicherheit von

Radfahrer:innen erhöhen könnten, war keine Tendenz zu erkennen. Ebenso bei der Frage ob, Assistenzsysteme für Fahrräder zur Überforderung beim Radfahren führen könnten.

Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmung zu Statements mit Bezug zu Assistenzsystemen. 1 entspricht „Stimme zu“, 5 entspricht „Stimme nicht zu“ (n=255)

| Item Nr. | Statement | M | SD |
|----------|---|------|------|
| 1 | Mir ist bewusst, dass ich mich bei Begegnungen mit Lkws in einem toten Winkel des Lkw-Fahrenden befinden kann. | 1,26 | 0,67 |
| 2 | Totwinkel-Assistenten für Lkws erhöhen die Sicherheit für Radfahrer:innen. | 1,72 | 0,89 |
| 3 | Auch wenn Lkws mit Fahrassistenzsystemen ausgestattet sind, ändert das nichts an meinem Fahrverhalten. | 1,64 | 0,83 |
| 4 | Ein Assistent für Fahrräder, der davor warnt, im toten Winkel eines Lkws zu sein, erhöht die Sicherheit von Radfahrer:innen. | 2,90 | 1,28 |
| 5 | Ich würde mir für mein Fahrrad einen Totwinkel-Assistenten kaufen. | 4,24 | 1,00 |
| 6 | Ein Assistent für Fahrräder, der bei unübersichtlichen Kreuzungen vor einer möglichen Kollision warnt, erhöht die Sicherheit von Radfahrer:innen. | 3,11 | 1,25 |
| 7 | Ich würde mir für mein Fahrrad einen Assistenten kaufen, der vor Kollisionen warnt. | 4,07 | 1,10 |
| 8 | Fahrassistenzsysteme für Radfahrer:innen können dazu beitragen, Unfälle zu verhindern. | 3,00 | 1,15 |
| 9 | Fahrassistenzsysteme für Radfahrer:innen führen zu Überforderung beim Radfahren. | 2,79 | 1,06 |

Abbildung 44: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 8) (n=255)

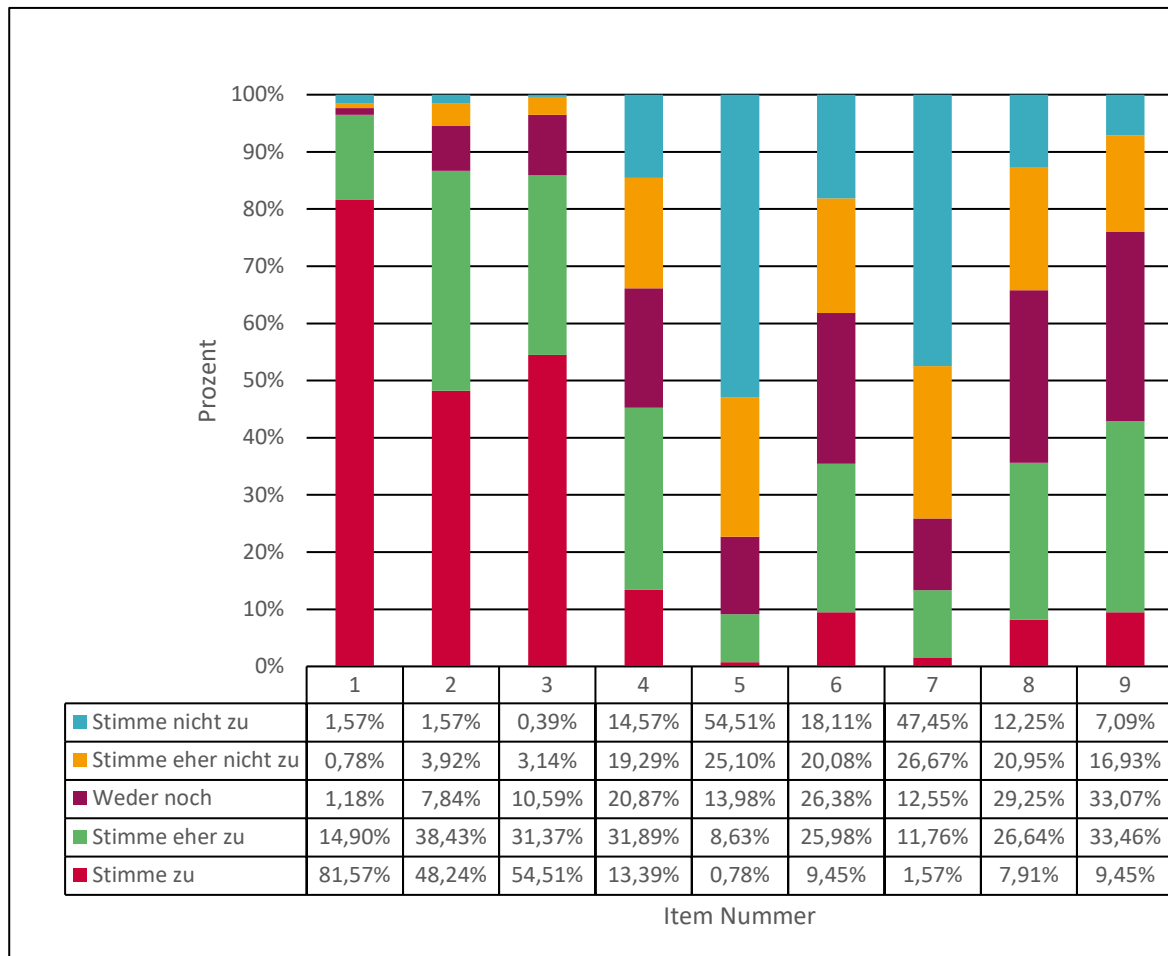


Tabelle 9: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 8) (n=255)

| Antwort | Item | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Stimme zu | 81,6% | 48,2% | 54,6% | 13,4% | 0,8% | 9,5% | 1,6% | 7,9% | 9,5% |
| Stimme eher zu | 14,9% | 38,4% | 31,4% | 31,9% | 8,6% | 6,0% | 11,8% | 26,6% | 33,5% |
| Weder Noch | 1,2% | 7,8% | 10,6% | 20,9% | 14,0% | 26,4% | 12,6% | 29,3% | 33,1% |
| Stimme eher nicht zu | 0,8% | 3,9% | 3,1% | 19,3% | 25,1% | 20,1% | 26,7% | 20,9% | 16,9% |
| Stimme nicht zu | 1,6% | 1,6% | 0,4% | 14,6% | 54,5% | 18,1% | 47,5% | 12,3% | 7,1% |

Die Radfahrer:innen wurden zusätzlich dazu befragt, wo sie ein Fahrradassistenzsystem am ehesten anbringen würden, und auf welche Art sie vor Gefahren gewarnt werden wollen. Wie Abbildung 45 zeigt, würden Radfahrer:innen Assistenzsysteme am liebsten direkt am Fahrrad anbringen (60,8%). Für die Optionen am Fahrradhelm (15,3%), als Handy-App (12,2%) und an der Kleidung (3,5%) konnten sich weniger Radfahrer:innen begeistern. Zusätzliche Vorschläge waren am Handgelenk mit Vibration und in die Brille integriert. Die offenen Kommentare unterstrichen unter anderem die Ablehnung gegenüber Fahrradassistenzsystemen hin. So wurde eine trügerische Sicherheit, noch mehr unnötige Technik, Ablenkung vom Verkehr und eine Problemverschiebung auf Radfahrer:innen genannt.

Abbildung 45: Von Radfahrer:innen gewünschter Ort zur Anbringung von Fahrradassistenzsystemen (n=255)

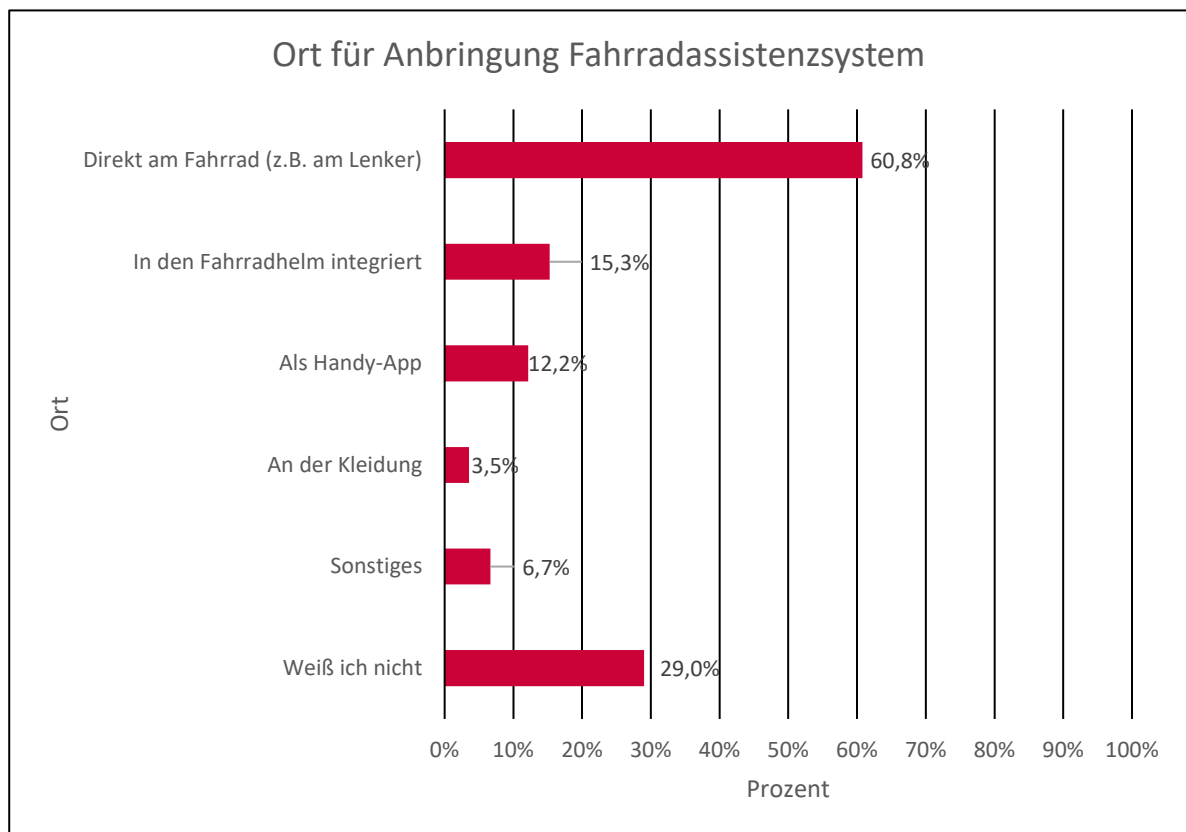
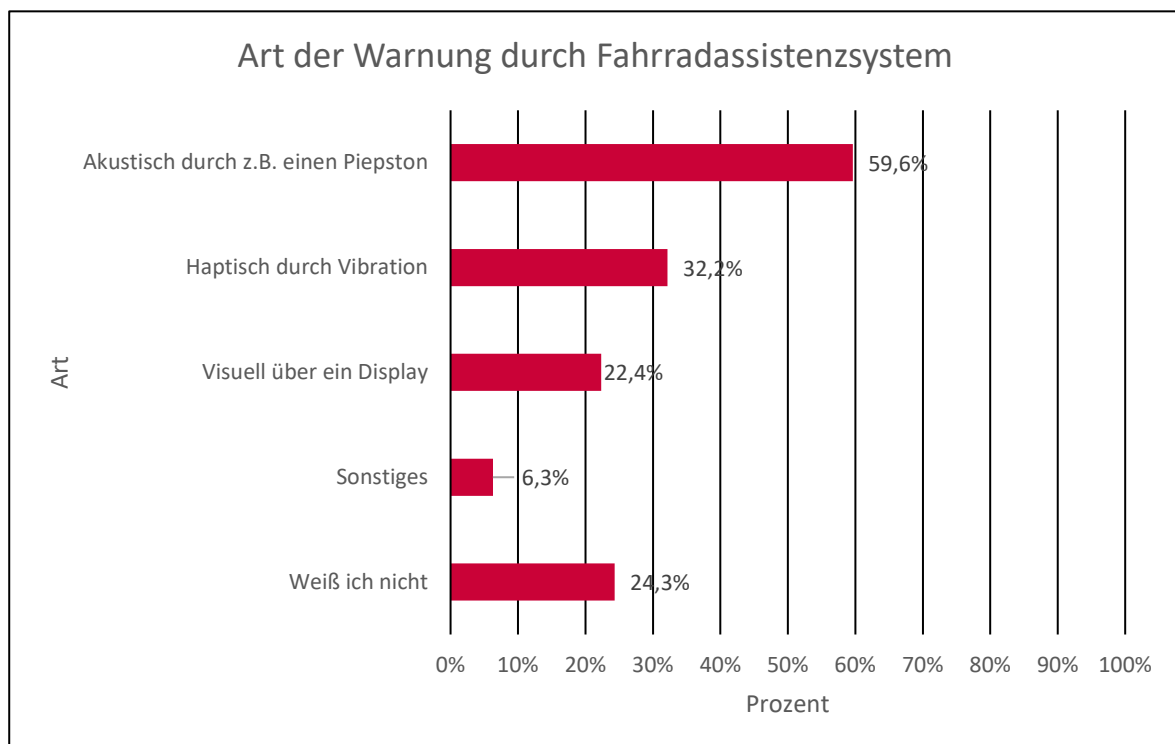


Abbildung 46 veranschaulicht, dass sich die meisten der Radfahrer:innen (59,6%) eine akustische Warnung durch Assistenzsysteme wünschen. 32,2% können sich eine haptische Warnung durch Vibration vorstellen und 22,4% eine visuelle Warnung über ein Display. Erneut gab es einige Anmerkungen. So wünschten sich einige der Radfahrer:innen eine

Kombination aus akustischer, haptischer und visueller Warnung, also ein multisensorischer Hinweis auf Gefahr. Weiterhin wurde von mehreren Teilnehmer:innen ein visueller Hinweis durch ein blinkendes Licht vorgeschlagen. Erneut deuten Zusatzkommentare auf Ablehnung gegenüber Fahrradassistenzsystemen hin.

Abbildung 46: Die sensorische Art der Warnung durch Fahrradassistenzsysteme, die von Radfahrer:innen gewünscht wird (n=255)



4.2.5 Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Bezug auf Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen

Die Radfahrer:innen wurden befragt, welchen Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Bezug auf Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen sie auf einer Skala von 1 („Stimme zu“) bis 5 („Stimme nicht zu“) zustimmen würden. Das Ergebnis zeigt, dass eine Vielzahl der Maßnahmen von den Radfahrer:innen hohe Zustimmungswerte haben (Tabelle 10). Die höchste Zustimmung erzielte der Ausbau der Radinfrastruktur und getrennter Radwege (M=1,22), gefolgt von Bewusstseinsbildung für den Radverkehr unter Lkw-Fahrer:innen (M=1,3), und der verpflichtenden Ausstattung von Lkws mit Fahrassistenzsystemen (M=1,5). Auch vorgezogene Haltelinien für Radfahrer:innen an Ampeln (M=1,61), Bewusstseinsbildung für Radfahrer:innen in Bezug

auf Lkw-Verkehr (M=1,62), generelle Sensibilisierungskampagnen zu mehr Rücksichtnahme im Verkehr (M=1,65) und frühere Grünphasen für Radfahrer:innen an Ampeln (M=1,83) erhielten hohe Zustimmungswerte. Eher ablehnende Zustimmungswerte erhielten die Ausstattung von Fahrrädern mit Assistenzsystemen (M=3,62) und eine verstärkte Kontrolle von Radfahrer:innen (M=3,27). Die genaue Verteilung der Antworten zeigt Abbildung 47.

Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmungswerte für Verkehrssicherheitsmaßnahmen unter Radfahrer:innen (n=255)

| Item Nr. | Statement | M | SD |
|----------|--|------|------|
| 1 | Verpflichtende Ausstattung von Lkws mit Fahrassistenzsystemen. | 1,50 | 0,77 |
| 2 | Ausstattung von Fahrrädern mit Fahrassistenzsystemen. | 3,62 | 1,78 |
| 3 | Bewusstseinsbildung für Lkw-Fahrer:innen in Bezug auf den Radverkehr. | 1,30 | 0,59 |
| 4 | Bewusstseinsbildung für Radfahr:innen in Bezug auf den Lkw-Verkehr. | 1,62 | 0,81 |
| 5 | Generelle Sensibilisierungskampagnen zu mehr Rücksichtnahme im Verkehr. | 1,65 | 1,03 |
| 6 | Ausbau der Radfahrinfrastruktur – mehr getrennte Radwege. | 1,22 | 0,61 |
| 7 | Vorgezogene Haltelinie: Radfahrer:innen halten an der Ampel vor den Autos. | 1,61 | 1,08 |
| 8 | Radfahrer:innen bekommen an der Ampel vor den Autos grün. | 1,83 | 1,22 |
| 9 | Verstärkte Kontrollen der Lkw-Fahr:innen. | 2,41 | 1,18 |
| 10 | Verstärkte Kontrollen der Radfahrer:innen. | 3,27 | 1,26 |
| 11 | Fahrverbote für große Lkws in innerstädtischen Gebieten. | 2,25 | 1,24 |

Abbildung 47: Verteilung der Antworten gegenüber den Maßnahmvorschlägen unter Radfahrer:innen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 10) (n=255)

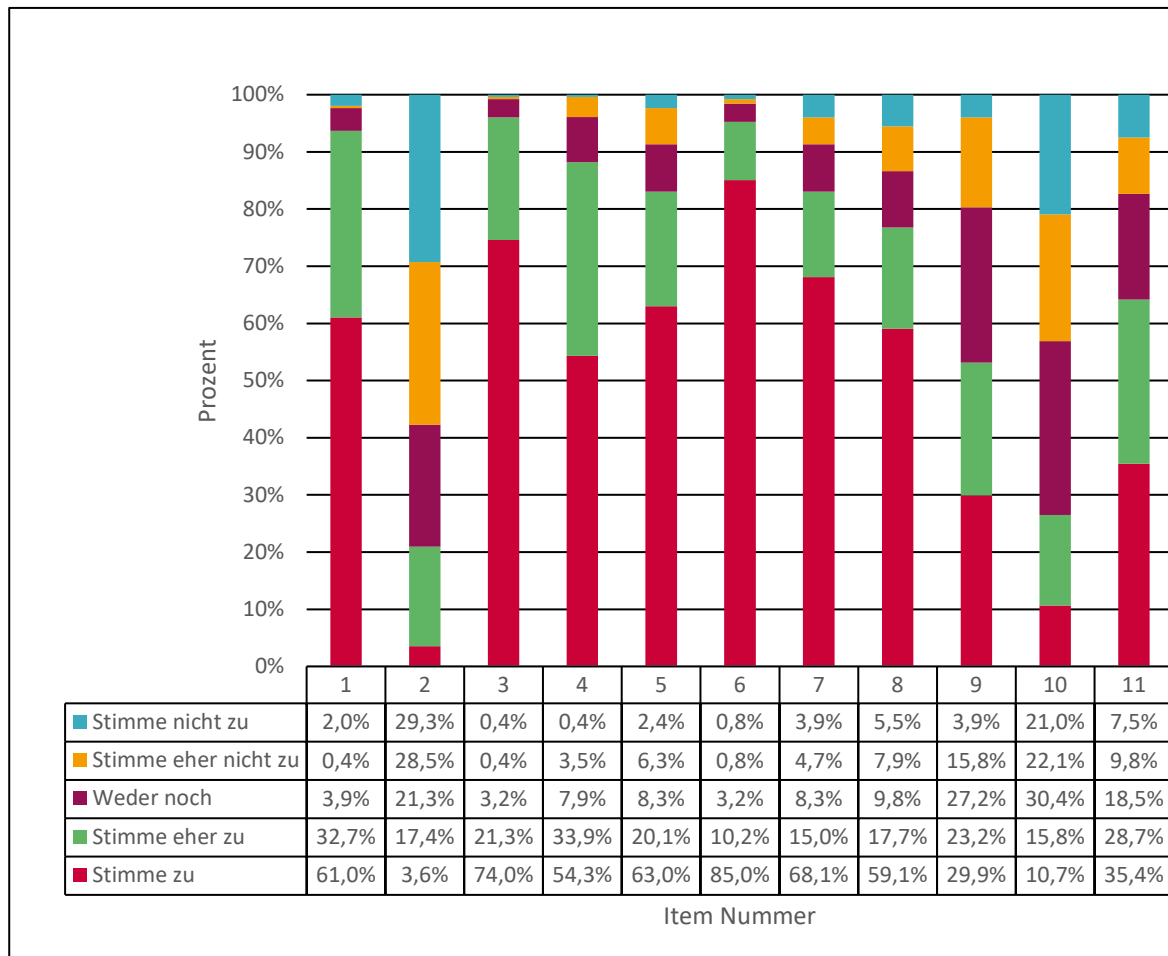


Tabelle 11: Verteilung der Antworten gegenüber den Maßnahmvorschlägen unter Radfahrer:innen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 7) (n=255)

| Antwort | Item | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| Stimme zu | 61,0% | 3,6% | 74,0% | 54,3% | 63,0% | 85,0% | 68,1% | 29,9% | 35,4% |
| Stimme eher zu | 32,7% | 17,4% | 21,3% | 33,9% | 20,1% | 10,2% | 15,0% | 23,2% | 28,7% |
| Weder Noch | 3,9% | 21,3% | 3,2% | 7,9% | 8,3% | 3,2% | 8,3% | 27,2% | 18,5% |
| Stimme eher nicht zu | 0,4% | 28,5% | 0,4% | 3,5% | 6,3% | 0,8% | 4,7% | 15,8% | 9,8% |
| Stimme nicht zu | 2,0% | 29,3% | 0,4% | 0,4% | 2,4% | 0,8% | 3,9% | 3,9% | 7,5% |

Unter den Radfahrer:innen ergänzten 48 Personen weitere Maßnahmvorschläge. Darunter waren Themenbereiche, die bereits in den Statements abgefragt wurden, wie Strafen und Bewusstseinsbildung für Lkw- und Radfahrer:innen und Infrastrukturmaßnahmen. Zusätzliche Maßnahmvorschläge betrafen Radfahrtrainings, weniger MIV und Lkw Verkehr in Städten z.B. auch durch Fahrverbote, erhöhte Sichtbarkeit von Radfahrer:innen, finanzielle Förderungen für Fahrradassistenzsysteme, Geschwindigkeitslimits (z.B. Tempo 30 in der gesamten Stadt), Überholverbote für Radfahrer:innen oder Lkws, Verbesserung des Arbeitsklimas von Lkw-Fahrer:innen (weniger Zeitdruck und Stress), Videoüberwachung an Kreuzungen und Änderung von Lkw-Designs für mehr Überblick für die Fahrer:innen.

4.2.6 Gruppenspezifische Unterschiede unter den Radfahrer:innen – Hypothesenabgeleitete Auswertung

Welche individuellen Einflussgrößen das Verhalten von Radfahrer:innen bestimmen und wie sie die Akzeptanz von Assistenzsysteme beeinflussen, wird in diesem Kapitel anhand der auf Basis der erstellten Hypothesen überprüft.

4.2.6.1 Hypothesen zu Verhalten und Wahrnehmung

HR1: Das Bewusstsein für den Toten Winkel steigt bei den Radfahrer:innen mit der Höhe der gefahrenen Kilometer/Woche.

Es konnte kein Unterschied zwischen Personen, die viel oder wenig pro Woche fahren gefunden werden im Hinblick auf das Bewusstsein gegenüber dem toten Winkel.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

HR2: Je mehr Kilometer Radfahrer:innen in der Woche mit dem Fahrrad fahren, desto eher denken sie, dass Radfahrer:innen ein schlechtes Image in der Bevölkerung haben.

Es konnte kein Unterschied zwischen Personen, die viel oder wenig pro Woche fahren gefunden werden in Bezug auf das wahrgenommene Image.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

HR3: Radfahrer:innen, die sich (eher) sicher fühlen (generell und bei Lkw-Begegnungen), verhalten sich bei Begegnungen mit Lkws anders als Radfahrer:innen, die sich (eher) unsicher fühlen.

Personen, die sich sicher fühlen, versuchen häufiger an Kreuzungen vor Lkws zu kommen, als Radfahrer:innen, die sich unsicher fühlen, $\chi^2(2) = 7.90$, $p \leq .001$, $\phi_c = 0.176$. Ebenso beharren Personen, die sich sicher fühlen, eher auf ihren Vorrang an Kreuzungen, als Personen, die sich unsicher fühlen, $\chi^2(2) = 6.11$, $p = .047$, $\phi_c = 0.071$, wobei dieser Zusammenhang sehr schwach ist. Dieser Zusammenhang war hingegen stärker bei Personen, die sich bei Begegnungen mit Lkws sicher fühlen, $\chi^2(2) = 23.678$, $p = .001$, $\phi_c = 0.305$. Personen, die sich generell unsicher fühlen, meiden häufiger Straßen mit viel Lkw-Verkehr, $\chi^2(2) = 8.92$, $p = .001$, $\phi_c = 0.187$.

Die Hypothese kann gehalten werden.

HR4: Es gibt Unterschiede zwischen jüngeren und älteren Radfahrer:innen in Bezug auf das Sicherheitsgefühl, das Verhalten bei Lkw-Begegnungen und der Bewertung von bewusstseinsbildenden Maßnahmen.

Statistische Analysen konnten keinen Zusammenhang zwischen Alter und dem Versuch Sichtkontakt mit Lkw-Fahrer:innen aufzunehmen finden, ebenso zwischen Alter und dem Wunsch nach bestimmten Maßnahmen, sowie dem Sicherheitsempfinden.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

HR5: Es gibt Unterschiede zwischen Radfahrer:innen aus ländlichen und urbanen Gebieten (z.B. in Bezug auf die Häufigkeit von Lkw-Begegnungen oder dem Sicherheitsgefühl).

Die Hypothese, dass Radfahrer:innen aus ländlichen Gebieten seltener mit Lkw-Verkehr in Kontakt kommen, als Personen in städtischen Gebieten, konnte nicht bestätigt werden. Ebenso nicht bestätigt hat sich die Hypothese, dass Radfahrer:innen aus ländlichen Gebieten sich bei Begegnungen mit Lkws unsicherer fühlen, als Radfahrer:innen aus urbanen Gebieten.

Signifikant wurde jedoch die Hypothese, dass Radfahrer:innen in urbanen Gebieten eher zustimmen, dass Lkw-Fahrer:innen rücksichtsvoll sind, als Radfahrer:innen aus ländlichen

Gebieten, ($r(253)=-.195$, $p=.002$). Ebenso bestätigt wurde die Hypothese, dass Radfahrer:innen in urbanen Gebieten eher davon ausgehen, ein schlechtes Image zu haben, als Radfahrer:innen aus ländlichen Gebieten, ($r(253)=-.287$, $p\leq .001$).

Radfahrer:innen aus ländlichen Gebieten bewerten außerdem bestimmte Probleme bei Begegnungen mit Lkws anders als Radfahrer:innen aus urbanen Gebieten: Für Personen aus ländlichen Gegenden ist der Sog beim Vorbeifahren des Lkws ein größeres Problem, als für Personen aus urbanen Gebieten, $\chi^2(1) = 5.22$, $p = .022$, $\phi_c = 0.152$. Im Gegensatz dazu, empfinden Radfahrer:innen aus urbanen Räumen das Stehen neben einem Lkw im Kreuzungsbereich als größeres Problem, als Personen aus ländlichen Räumen, $\chi^2(1) = 4.12$, $p = .042$, $\phi_c = 0.137$.

Weiterhin priorisieren Radfahrer:innen aus ländlichen Gebieten andere Maßnahmen als Radfahrer:innen aus urbanen Gebieten. Ein größerer Anteil an Personen aus städtischen Gebieten stimmt der Maßnahme zu, dass Radfahrer:innen an Ampeln vor Lkws grün bekommen sollten, als Personen aus ländlichen Gebieten ($r(253)=-.173$, $p=.006$). Außerdem bevorzugen Personen aus städtische Gebieten auch eher vorgezogene Haltelinien an Ampeln für Radfahrer:innen, $r(253)=-.191$, $p=.002$.

4.2.6.2 Hypothesen zu Fahrassistenzsystemen

HR6: E-Bike-Fahrer:innen sind offener gegenüber Assistenzsysteme für das Fahrrad als Fahrer:innen von herkömmlichen Rädern.

Bezüglich der Offenheit gegenüber Assistenzsystemen für Fahrräder generell, konnten keine signifikanten Unterschiede gefunden werden. Allerdings konnten sich Nutzer:innen von E-Bikes eher vorstellen Totwinkel-Assistenten für das Fahrrad zu kaufen ($M=3,61$), als Fahrer:innen von herkömmlichen Rädern ($M=4,33$), $t(34.33)=2.93$, $p = .006$. Abgesehen davon konnten keine Unterschiede zwischen Nutzer:innen von E-Bikes und herkömmlichen Fahrrädern gefunden werden.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

HR7: Je älter Radfahrer:innen sind, desto offener sind sie gegenüber Assistenzsystemen.

Mit zunehmendem Alter würden sich Personen eher ein Assistenzsystem kaufen ($r(253)=-.127, p=.004$), wobei dieser Zusammenhang sehr schwach ist. Gleichzeitig stimmen ältere Personen weniger zu, dass Totwinkel-Assistenzsysteme für das Fahrrad die Sicherheit erhöhen können, $r(253)=.176, p=.005$. Ebenso denken ältere Personen weniger, dass Kollisionswarnsysteme für das Fahrrad die Sicherheit erhöhen können ($r(253)=.192, p = .002$), oder dass Fahrassistenzsysteme für das Fahrrad helfen können, Unfälle zu vermeiden ($r(253)=.228, p\leq.001$).

Die Hypothese kann gehalten werden.

HR8: Radfahrer:innen, die bereits einen Unfall hatten, sind offener für Fahrrad-assistenzsysteme.

Die Hypothese, dass Radfahrer:innen, die bereits einen Unfall mit dem Fahrrad hatten, offener für Fahrradassistenzsysteme sind ($M=3,19$), als Personen ohne Unfall ($M=3,58$) bestätigte sich in der statistischen Analyse, $t(164.52) = 3.36, p \leq .001$ und kann gehalten werden. Allerdings lag der Mittelwert der Personen mit Unfall immer noch über dem Mittelpunkt der Skala, wodurch auch hier noch eher eine Gleichgültigkeit bzw. leichte Ablehnung gegenüber Assistenzsystem vorhanden ist.

HR9 Radfahrer:innen, die sich sicher beim Radfahren fühlen, sind kritischer gegenüber Fahrradassistenzsystemen als jene, die sich unsicher fühlen.

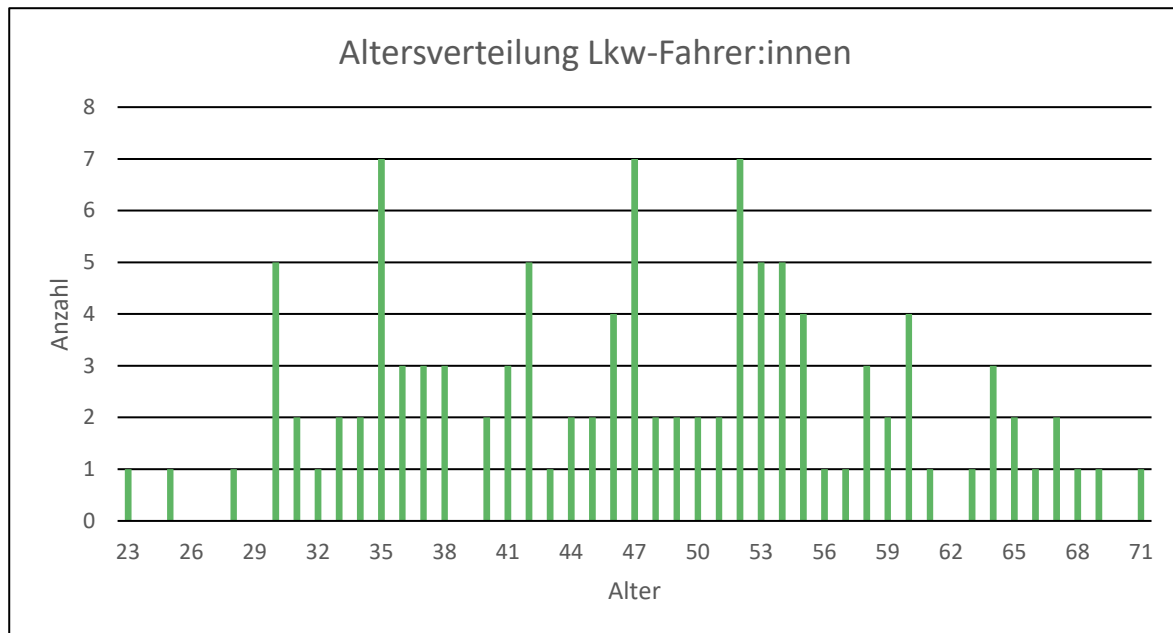
Die Hypothese, dass Radfahrer:innen die sich sicher beim Radfahren und bei Begegnungen mit Lkws fühlen, kritischer gegenüber Assistenzsystemen sind, konnte sich durch statistische Analysen nicht bestätigen und kann daher nicht gehalten werden.

4.3 Online-Befragung Ergebnisse Lkw-Fahrer:innen

4.3.1 Demographie, Verkehrsverhalten und -einstellungen

Das Durchschnittsalter der Lkw-Fahrer:innen lag bei 47,21 Jahren. Daten aus Deutschland zeigen, dass rund ein Drittel der Lkw-Fahrer:innen älter als 55 sind [143]. In Österreich ist mit ähnlichen Zahlen zu rechnen. D.h. das Durchschnittsalter der Umfrage spiegelt den hohen Anteil an älteren Berufskraftfahrer:innen wider.

Abbildung 48: Altersverteilung der Lkw-Fahrer:innen (n=110)



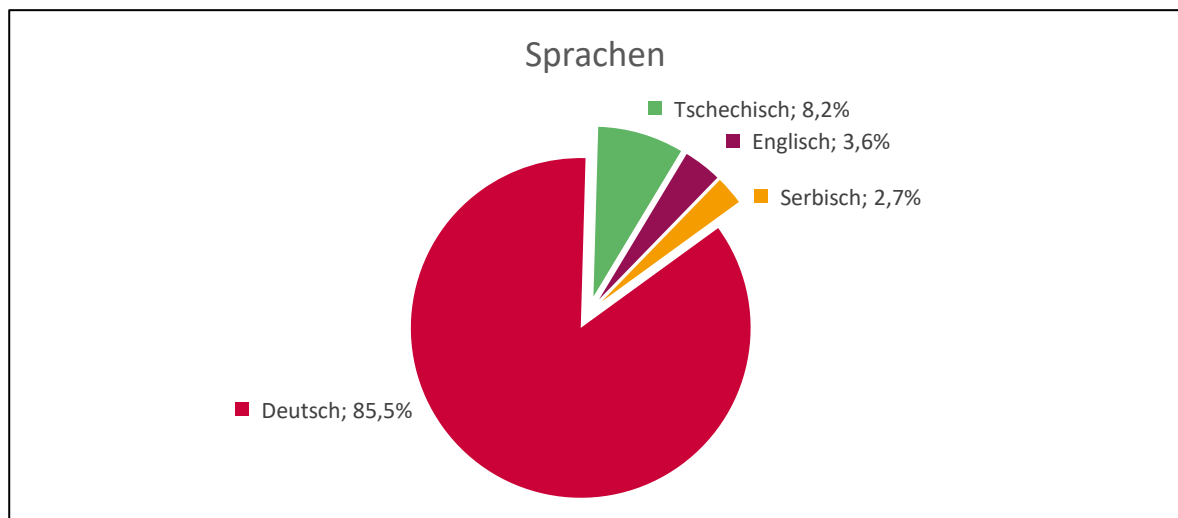
91,7% waren Männer und 8,3% Frauen. Die Überrepräsentation von Männern entspricht auch Erhebungen des statistischen Bundesamtes Deutschland, wonach nur 3% der Berufskraftfahrer:innen weiblich sind [143]. Über die Hälfte der teilnehmenden Lkw-Fahrer:innen wohnten außerhalb von Österreich (Tabelle 12). Knapp ein Fünftel (19,3%) kam aus Niederösterreich und 16,5% aus Wien. Die restlichen 13% teilten sich auf Burgenland, Kärnten, Tirol, Oberösterreich und Steiermark auf.

Tabelle 12 Wohnort der Lkw-Fahrer:innen nach Bundesland (n=109)

| Bundesland | Prozent |
|--------------------------|---------|
| Burgenland | 4% |
| Kärnten | 2,8% |
| Niederösterreich | 19,3% |
| Oberösterreich | 0,9% |
| Salzburg | 0,9% |
| Steiermark | 0,9% |
| Tirol | 2,8% |
| Vorarlberg | 0,9% |
| Wien | 16,5% |
| Außerhalb von Österreich | 51,4% |

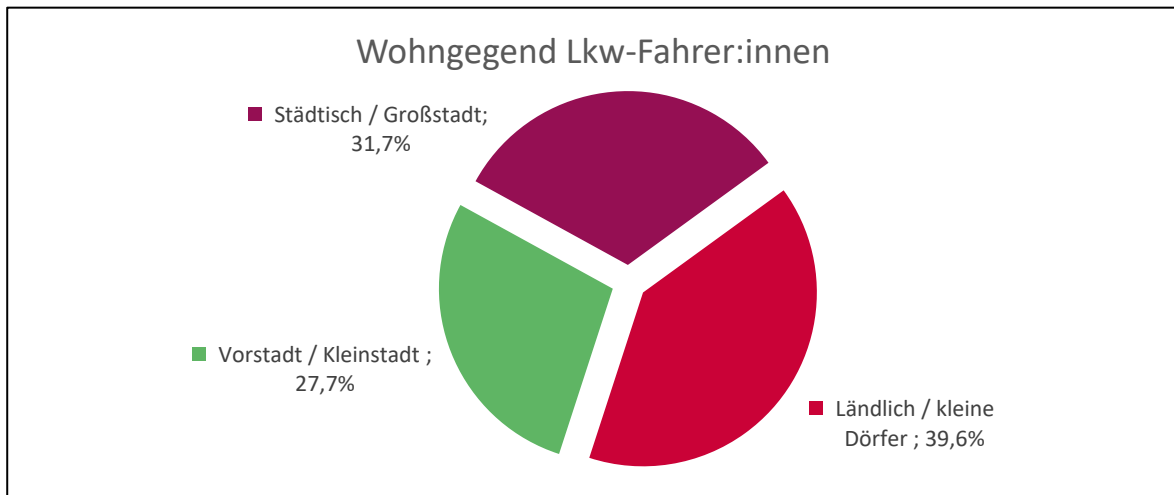
Ein wenig Aufschluss darüber, woher die Teilnehmer:innen, die außerhalb von Österreich wohnen, kommen, gibt die Sprache, in der der Fragebogen ausgefüllt wurde (Abbildung 49). Der Fragebogen wurde neben Deutsch (84,5%), auf Tschechisch (8,2%), Englisch (3,6 %) und Serbisch (2,7%) ausgefüllt.

Abbildung 49: Sprachen in denen Lkw-Fahrer:innen den Fragebogen ausfüllten (n=110)



Parallel dazu zeigen die Daten (Abbildung 50), dass die Wohngegenden der Lkw-Fahrer:innen einigermaßen gleich verteilt sind. 39,6% wohnen in ländlichen Gegenden, 27,7% in Vor- oder Kleinstädten und 31,7% in städtischen Gebieten.

Abbildung 50: Wohngegend der Lkw-Fahrer:innen (n=101)



Die Verkehrsmittelnutzung der Lkw-Fahrer:innen zeichnet sich bei 91,8% durch eine (fast) tägliche Nutzung des Autos bzw. des Lkws aus (Abbildung 51 und Tabelle 13). Der öffentliche Verkehr wird von 84,5% fast nie genutzt. Aktive Mobilitätsformen sind weiterverbreitet: 35,5% gehen täglich oder mehrmals die Woche zu Fuß und 40% nutzen das Rad mehrmals pro Monat.

Abbildung 51: Verkehrsmittelnutzung der Lkw-Fahrer:innen (n=110)

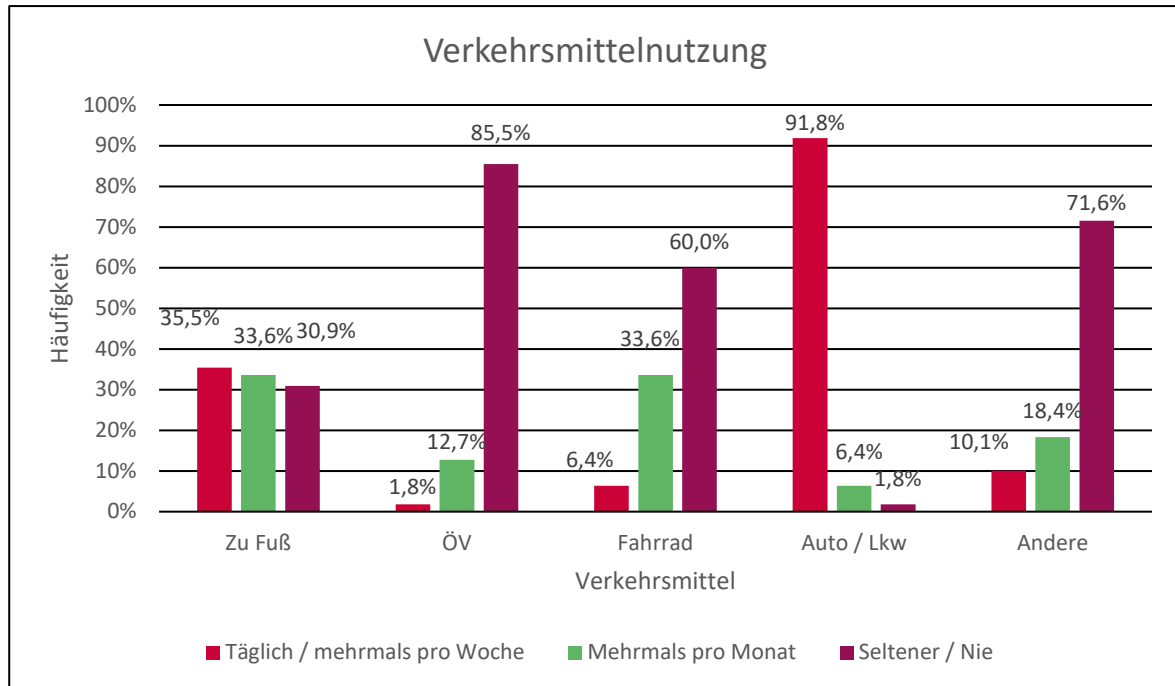


Tabelle 13: Verkehrsmittelnutzung der Lkw-Fahrer:innen (n=110)

| Häufigkeit | Zu Fuß | Öffentliche Verkehrsmittel | Fahrrad | Auto / Lkw | Andere |
|-------------------------------------|--------|----------------------------|---------|------------|--------|
| Täglich / mehrmals pro Woche | 35,5% | 1,8% | 6,4% | 91,8% | 10,1% |
| Mehrmals pro Monat | 33,6% | 12,7% | 33,6% | 6,4% | 18,4% |
| Seltener / Nie | 30,9% | 85,5% | 60,0% | 1,8% | 71,6% |

Die Jahre an Fahrerfahrung unter den Lkw-Fahrer:innen reicht von einem Jahr bis 49 Jahre (Abbildung 52). Der Mittelwert liegt bei 21,06 Jahren (SD=13,31). Abbildung 53 zeigt, dass 95,1 % der Teilnehmer:innen hauptsächlich als Lkw-Fahrer:innen beschäftigt sind. 8,9% sind zudem als Fuhrparkleitung tätig und 6,6% als Geschäftsführer:innen. Die meisten Teilnehmer:innen sind üblicherweise mit einem Sattelzug unterwegs (57,3%), die zweitmeisten mit schweren Lkws ab 12 Tonnen (29,1%), dann mit mittelschweren Lkws von 3,5 bis 12 Tonnen (7,3%) und 6,4% mit Lkws bis 3,5 Tonnen (Abbildung 54). Auf die Frage ob die Lkw-Fahrer:innen bereits Unfälle mit Beteiligung von Radfahrer:innen hatten, antworteten 94,1% mit „Nein“. Allerdings hatten immerhin 5,94% bereits einen Unfall mit Beteiligung von Radfahrer:innen (siehe Abbildung 55). Abbildung 56 zeigt, dass die

meisten Lkw-Fahrer:innen bereits mit Assistenzsystemen unterwegs sind. 79,1% haben einen Notbremsassistenten eingebaut, 71,8% einen Spurhalteassistenten, bereits 40% einen Abbiege- oder Totwinkelassistenten und 6,4% sonstige Assistenzsysteme. 0,9% wissen nicht, was für Systeme sie eingebaut haben und 15,5% haben keinerlei Systeme in ihrem Lkw eingebaut.

Abbildung 52: Verteilung der Fahrerfahrung der Lkw-Fahrer:innen in Jahren (n=110)

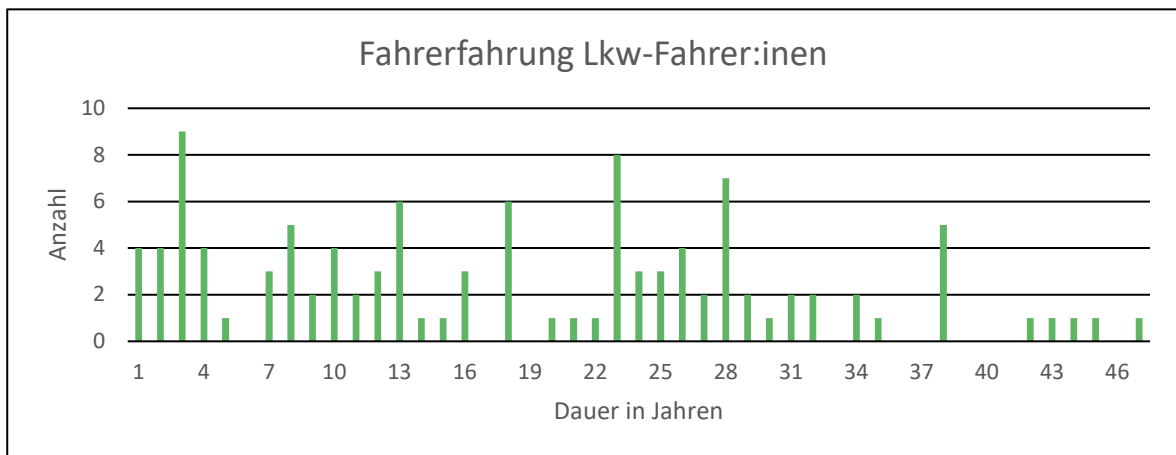


Abbildung 53: Position der Teilnehmer:innen im Unternehmen (n=110)

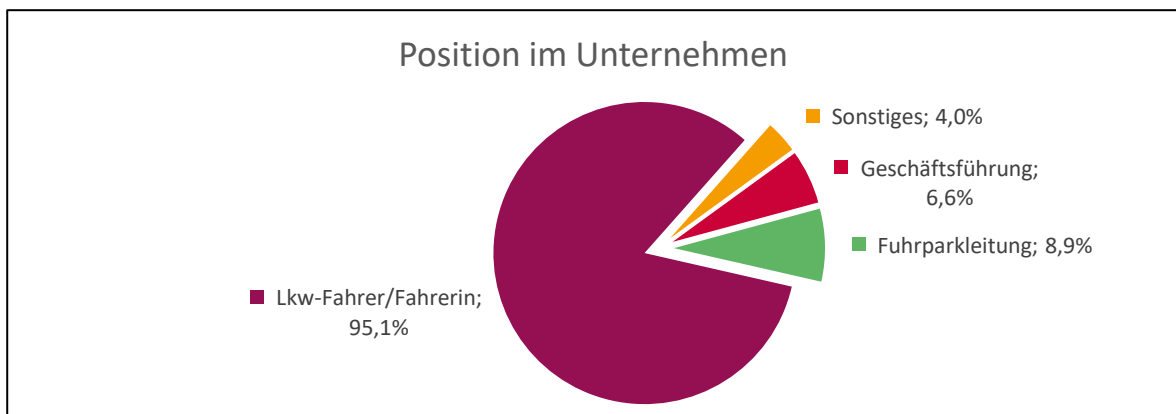


Abbildung 54: Verteilung mit welchem Lkw-Typ die Teilnehmer:innen üblicherweise unterwegs sind (n=110)

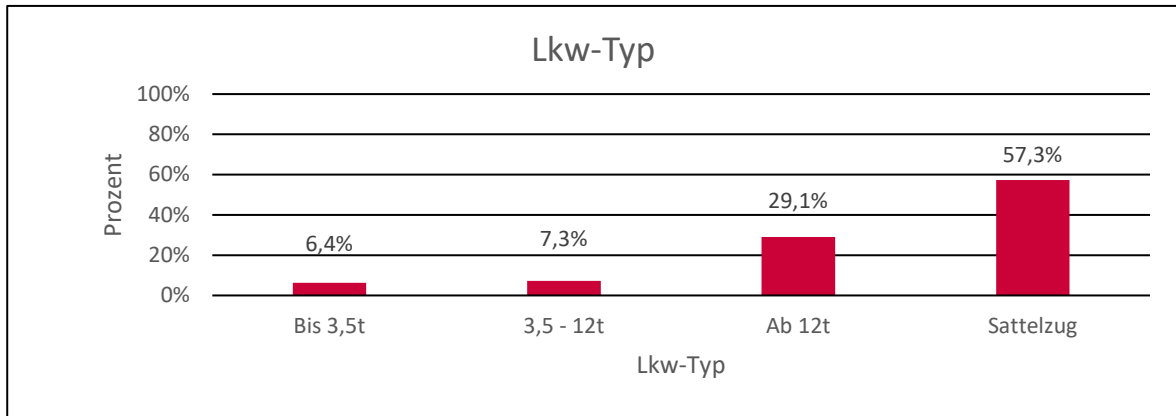


Abbildung 55: Prozentzahl der Lkw-Fahrer:innen, die bereits Unfälle mit Radfahrer:innen hatten (n=110)

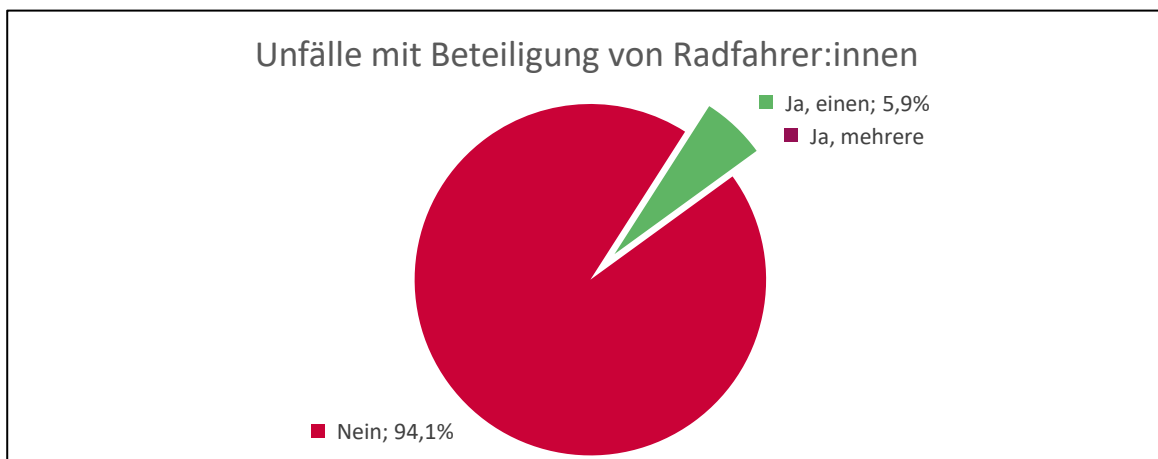
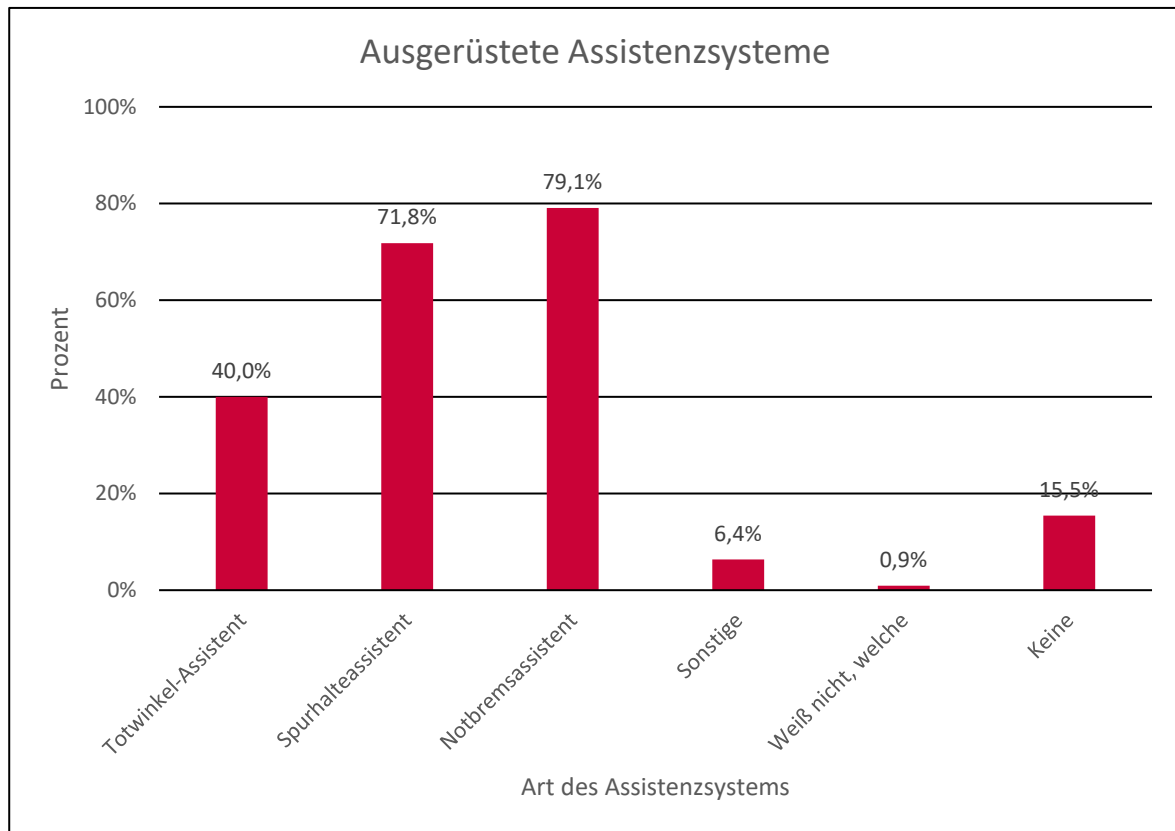


Abbildung 56: Angabe der Lkw-Fahrer:innen, welche Assistenzsysteme in ihren Lkws eingebaut sind (n=110)



Fünf weitere Fragestellungen erfassten die Zustimmung der Lkw-Fahrer:innen zu bestimmten Aussagen auf einer Skala von 1 („Stimme zu“) bis 5 („Stimme nicht zu“). Die Antworttendenz zur Aussage „Ich treffe im Verkehr selten auf Radfahrer.“ ging mit einem Mittelwert von 3,88 (SD=1) Richtung Ablehnung. Das bedeutet, dass Lkw-Fahrer:innen das Gefühl haben im Verkehr regelmäßig auf Radfahrer:innen zu treffen. Auch die Aussage „Radfahrer nehmen Rücksicht auf Lkws.“ wurde mit $M=4,08$ (SD=1,01) größtenteils eher ablehnend bewertet. Zur Aussage, dass E-Scooter ein größeres Problem darstellen, gab es keine Tendenz in eine Richtung ($M=2,46$, SD=1,34). Ebenso zur Aussage, dass Radfahrer:innen ein schlechtes Image in der Bevölkerung haben ($M=3,01$, SD=1,25). Die meisten Lkw-Fahrer:innen stimmten der Aussage eher zu, dass sie ein schlechtes Image in der Bevölkerung haben ($M=2,03$, SD=1,21). Die genauen Verteilungen der Zustimmungswerte sind in Abbildung 57 und Tabelle 14 zu finden.

Abbildung 57: Zustimmung von Lkw-Fahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=110)

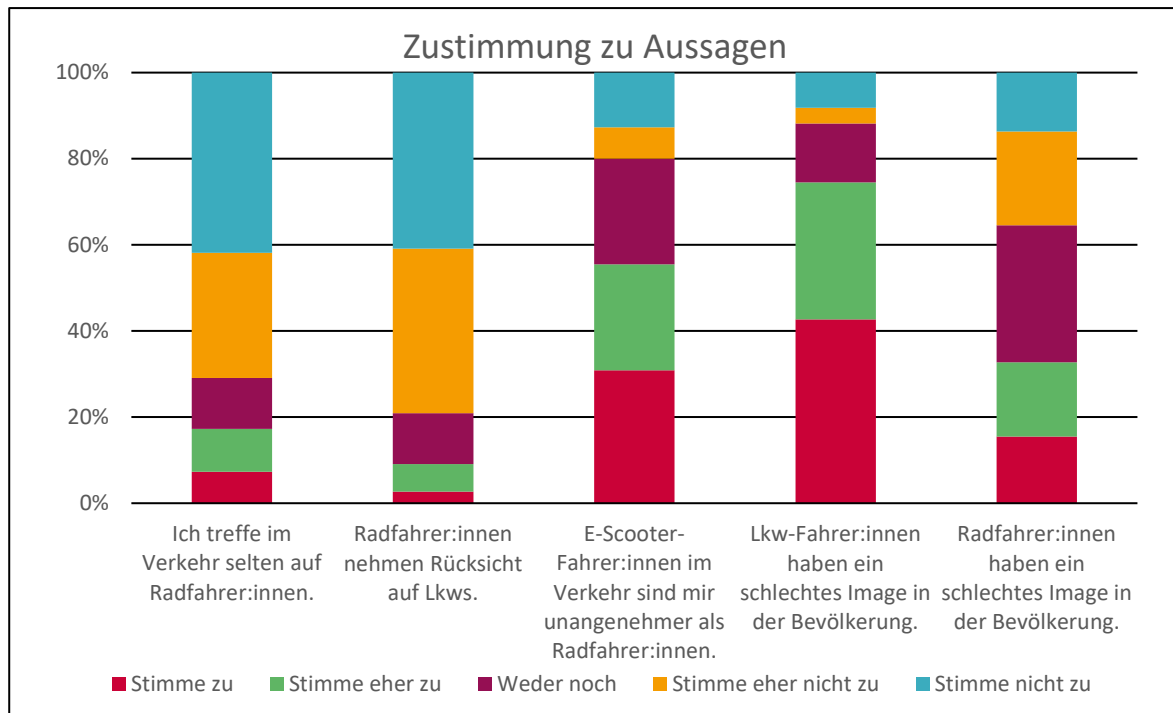


Tabelle 14: Zustimmung von Lkw-Fahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=110)

| Aussagen | Stimme zu | Stimme eher zu | Weder Noch | Stimme eher nicht zu | Stimme nicht zu |
|--|-----------|----------------|------------|----------------------|-----------------|
| Ich treffe im Verkehr selten auf Radfahrer:innen | 7,3% | 10,0% | 11,8% | 29,1% | 41,8% |
| Radfahrer:innen nehmen Rücksicht auf Lkws | 2,7% | 6,4% | 11,8% | 38,2% | 40,9% |
| E-Scooter-Fahrer:innen im Verkehr sind mir unangenehmer als Radfahrer:innen | 30,9% | 24,6% | 24,6% | 7,3% | 12,7% |
| Lkw-Fahrer:innen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung | 42,7% | 31,8% | 13,6% | 3,6% | 8,2% |
| Radfahrer:innen haben ein schlechtes Image in der Bevölkerung | 15,5% | 17,3% | 31,8% | 21,8% | 13,6% |

4.3.2 Herausforderungen bei Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen

Die Lkw-Fahrer:innen sollten hier bis zu 5 Situationen ankreuzen, die sie am unangenehmsten bei Begegnungen mit Radfahrer:innen erleben. Als größte Herausforderung wurden Radfahrer:innen, die sich nicht an Verkehrsregeln halten empfunden (84,2%). Beinahe gleich viele Lkw-Fahrer:innen (83,2%) kreuzten die Aussage „Radfahrer:innen, die sich beim Rechtsabbiegen im toten Winkel befinden“ als eine sehr unangenehme Situation (Tabelle 15) an. 72,3% fanden „Radfahrer:innen, die sich im Kreuzungsbereich neben dem Lkw finden“ herausfordernd. Für 55,0% der Lkw-Fahrer:innen sind Radfahrer:innen mit Kopfhörern ein Problem. Weitere Schwierigkeiten werden im unerwarteten Ausscheren von Radfahrer:innen bei Überholmanövern (47,5%) und generell beim Überholen von Radfahrer:innen gesehen (31,7%). Geringere Zustimmungsraten erhielten knappe Überholmanöver (18,8%), schlechte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Rad- und Lkw-Fahrer:innen (13,9%), Radfahrende im toten Winkel beim Linksabbiegen des Lkws (10,9%) und Überholmanöver mit großen Geschwindigkeitsunterschieden (5,0%).

Tabelle 15: Herausforderungen bei Begegnungen von Radfahrer:innen und Lkws, sortiert nach der Zustimmungsrate, ob Radfahrer:innen diese Situation als unangenehm empfinden (n=110)

| Herausforderung | Zustimmung |
|---|------------|
| Radfahrende, die Verkehrsregeln missachten | 84,2% |
| Radfahrende, die sich im toten Winkel befinden, beim Rechtsabbiegen des Lkws | 83,2% |
| Radfahrende, die im Kreuzungsbereich neben einem Lkw stehen | 72,3% |
| Radfahrende mit Kopfhörern | 55,5% |
| Unerwartetes Ausscheren von Radfahrenden während eines Überholmanövers des Lkws | 47,5% |
| Überholen von Radfahrenden | 31,7% |
| Knappe Überholmanöver | 18,8% |
| Schlechte Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Rad- und Lkw-Fahrenden | 13,7% |
| Radfahrende, die sich im toten Winkel befinden, beim Linksabbiegen des Lkws | 10,9% |
| Sonstiges | 5,9% |
| Überholen mit großen Geschwindigkeitsunterschieden | 5,0% |

4.3.3 Verhaltensweisen von Lkw-Fahrer:innen bei Begegnungen mit Radfahrer:innen

Die Teilnehmer:innen kreuzten hier Statements zu Verhaltensweisen als für sie zutreffend oder nicht zutreffend an. Die Zustimmungsraten zu den einzelnen Verhaltensweisen befinden sich in Tabelle 16. Die häufigste Verhaltensweise ist die Geschwindigkeit zu reduzieren (87,1%). Auch das vermehrte Schauen in Rück- und Seitenspiegel (85,2%) und das Überholen mit großem seitlichem Abstand (84,2%) gehören zu den häufigen Verhaltensweisen. Mehr als die Hälfte der Lkw-Fahrer:innen gaben an, an Kreuzungen hinter Radfahrer:innen stehen zu bleiben (69,3%) und Sichtkontakt mit Radfahrer:innen aufzunehmen (50,5%). 42,6% gaben an im Kreuzungsbereich auf ihren Vorrang zu verzichten, und 29,7 % auf Warnhinweise von Assistenzsystemen zu achten. Wobei insgesamt 40% der Fahrer:innen über einen Abbiegeassistenten in ihrem Lkw verfügten. (Abbildung 56). Weitere genannte Verhaltensweisen waren vorrausschauendes Fahren, Verzicht von Überholmanöver bei wenig Platz, rechts fahren, damit Radfahrer:innen nicht überholen können und hupen.

Tabelle 16: Verhaltensweisen von Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws, sortiert nach Zustimmung in Prozent (n=110)

| Verhaltensweise | Zustimmung |
|---|------------|
| Ich reduziere die Geschwindigkeit | 87,1% |
| Ich schaue vermehrt in Rück- und Seitenspiegel | 85,2% |
| Ich überhole mit großem seitlichem Abstand | 84,2% |
| Ich bleibe an Kreuzungen hinter den Radfahrenden stehen | 69,3% |
| Ich versuche Sichtkontakt mit Radfahrenden aufzunehmen | 50,5% |
| Ich verzichte auf meinen Vorrang im Kreuzungsbereich | 42,6% |
| Ich achte auf Warnhinweise der Assistenzsysteme | 29,7% |
| Sonstiges | 5,9% |

4.3.4 Bewertung und Einstellung gegenüber Assistenzsystemen

Die Lkw-Fahrer:innen wurden bei den Fragen zu Assistenzsystemen in zwei Gruppen eingeteilt, abhängig davon ob ihr Lkw mit Assistenzsystemen ausgerüstet ist oder nicht. Je nachdem bekamen sie verschiedene Fragen.

4.3.4.1 Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen (n=93)

Die Fragen führten zu unterschiedlichen Zustimmungswerten auf einer Skala von 1 („Stimme zu) bis 5 („Stimme nicht zu“) (siehe Tabelle 17, Abbildung 58 und Tabelle 18). Die größte Zustimmung erhielt das Statement „Ich kenne mich mit den Assistenzsystemen in meinem Lkw gut aus“ mit einem Mittelwert von 1,45 (SD=0,84). Auch die Aussage „Fahrassistenzsysteme können helfen, Unfälle zu verhindern.“ (M=1,73, SD=0,77) erhielt eine hohe Zustimmung. Die Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen stimmten auch eher zu, eine gute Einschulung in die Assistenzsysteme bekommen zu haben (M=2,22, SD=1,42). Hinsichtlich dem Vertrauen gegenüber Assistenzsystemen (M=2,66, SD=1,17) und der Angemessenheit eines höheren Preises für Lkws mit Assistenzsystemen (M=2,95, SD=1,38) gab es keine klare Tendenz. Ebenso, ob Assistenzsysteme etwas an ihrem Fahrstil verändern (M=2,75, SD=1,35).

Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichung zur Zustimmung zu Statements über Assistenzsysteme unter Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen (n=93)

| Item Nr. | Statement | M | SD |
|----------|--|------|------|
| 1 | Ich habe eine gute Einschulung in die Fahrassistenzsysteme in meinem Lkw bekommen. | 2,22 | 1,42 |
| 2 | Ich vertraue Fahrassistenzsystemen. | 2,66 | 1,17 |
| 3 | Fahrassistenzsysteme können helfen, Unfälle zu verhindern. | 1,73 | 0,77 |
| 4 | Fahrassistenzsysteme in meinem Lkw ändern nichts an meinem Fahrstil. | 2,75 | 1,35 |
| 5 | Ein höherer Preis für Lkws mit Assistenzsystemen ist in Ordnung. | 2,95 | 1,38 |
| 6 | Ich kenne mich mit den Assistenzsystemen in meinem Lkw gut aus. | 1,45 | 0,84 |

Abbildung 58: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Assistenzsystemen unter Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen (Item Nummern sind in Tabelle 17) (n=93)

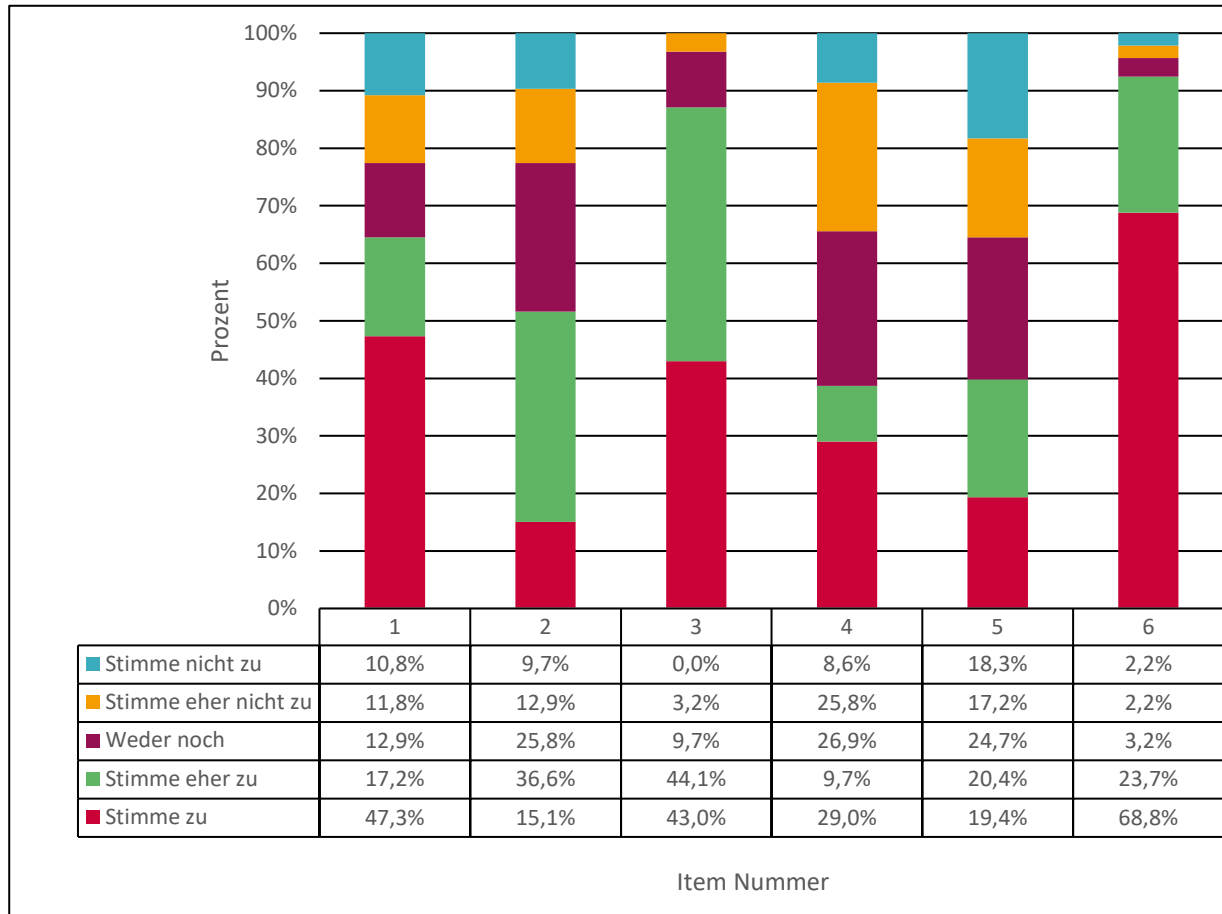


Tabelle 18: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Assistenzsystemen unter Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen (Item Nummern sind in Tabelle 17) (n=93)

| Antwort | Item | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Stimme zu | 47,3% | 15,1% | 43,0% | 29,0% | 19,4% | 68,8% |
| Stimme eher zu | 17,2% | 36,6% | 44,1% | 9,7% | 20,4% | 23,7% |
| Weder Noch | 12,9% | 25,8% | 9,7% | 26,9% | 24,7% | 3,2% |
| Stimme eher nicht zu | 11,8% | 12,9% | 3,2% | 25,8% | 17,2% | 2,2% |
| Stimme nicht zu | 10,8% | 9,7% | 0,0% | 8,6% | 18,3% | 2,2% |

4.3.4.2 Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsysteme (n=17)

Unter den Statements für Fahrer:innen von Lkws ohne Assistenzsysteme, erhielten die Statements „Fahrassistenzsysteme können helfen, Unfälle zu verhindern“ (M=2,12, SD=1,22) und „Wenn ich Fahrassistenzsysteme hätte, würde ich meinen Fahrstil nicht ändern“ (M=2,13, SD=1,20) die höchste Zustimmung. Bei den weiteren Statements gab es keine klare Tendenz (siehe Tabelle 19 und Abbildung 59).

Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmung zu Statements mit Bezug zu Assistenzsystemen. 1 entspricht „Stimme zu“, 5 entspricht „Stimme nicht zu“ (n=17)

| Item Nr. | Statement | M | SD |
|----------|---|------|------|
| 1 | Ich vertraue Fahrassistenzsystemen. | 3,65 | 1,00 |
| 2 | Fahrassistenzsysteme können helfen, Unfälle zu verhindern. | 2,12 | 1,22 |
| 3 | Wenn ich Fahrassistenzsysteme hätte, würde ich mich sicherer fühlen. | 3,06 | 1,03 |
| 4 | Wenn ich Fahrassistenzsysteme hätte, würde sich mein Fahrstil nicht ändern. | 2,13 | 1,20 |
| 5 | Ich hätte gerne einen Lkw mit Fahrassistenzsystemen. | 3,24 | 1,35 |

Abbildung 59: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 19 entnommen werden (n=17)

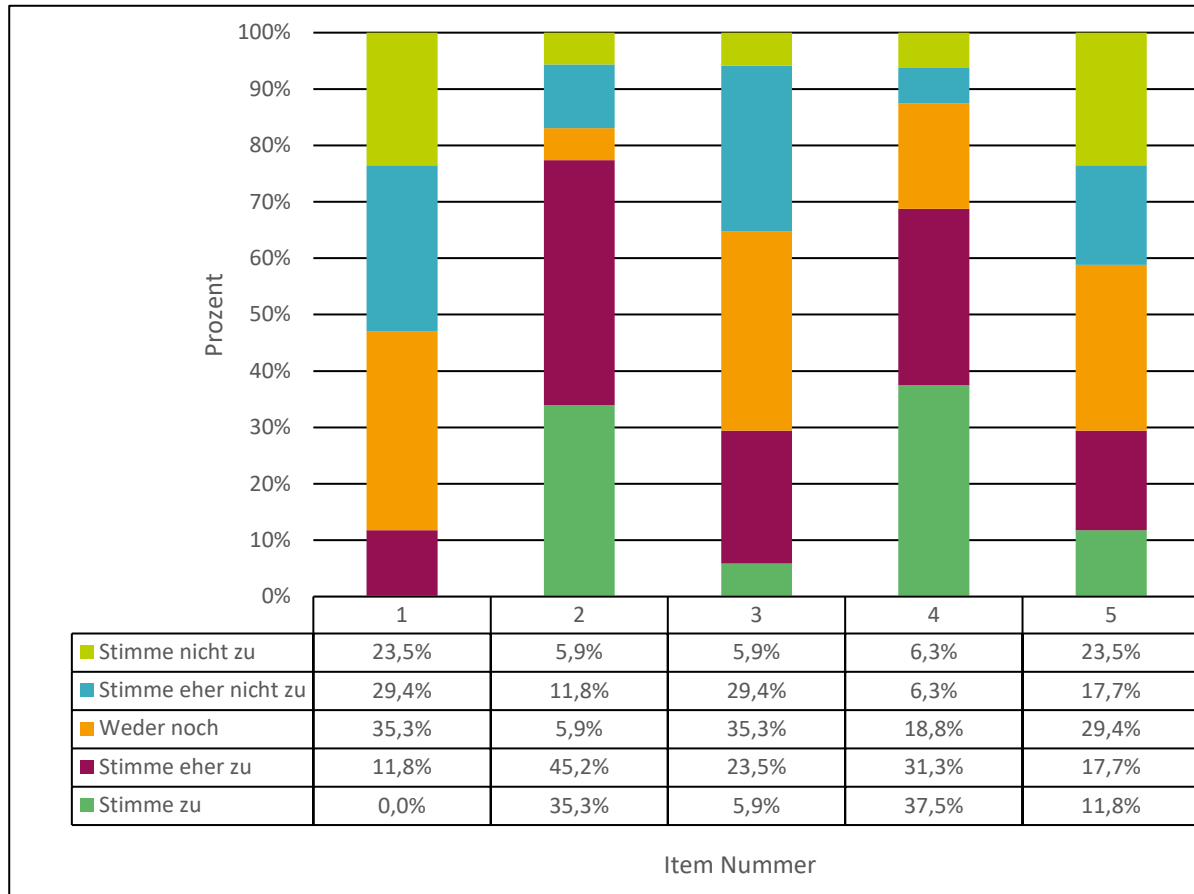


Tabelle 20: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 19 entnommen werden (n=17)

| Antwort | Item | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Stimme zu | 0,0% | 35,3% | 5,9% | 37,5% | 11,8% |
| Stimme eher zu | 11,8% | 45,2% | 23,5% | 31,3% | 17,7% |
| Weder Noch | 35,3% | 5,9% | 35,3% | 18,8% | 29,4% |
| Stimme eher nicht zu | 29,4% | 11,8% | 29,4% | 6,3% | 17,7% |
| Stimme nicht zu | 23,5% | 5,9% | 5,9% | 6,3% | 23,5% |

4.3.4.3 Einstellung gegenüber Totwinkel-Assistenten (n=110)

Alle Lkw-Fahrer:innen wurden zu ihrer Zustimmung zu Statements über Totwinkel-Assistenten befragt (Tabelle 21, Abbildung 60 und Tabelle 22). Die Ergebnisse zeigten, dass es vielen Lkw-Fahrer:innen wichtig ist, in die Nutzung eines Totwinkel-Assistenten umfassend eingeschult zu werden (M=1,78, SD= 1,01). Es besteht außerdem eine hohe Zustimmung dazu, dass Totwinkel-Assistenten die Sicherheit für Radfahrer:innen erhöhen (M=2,02, SD=1,00). Keine klare Tendenz gibt es bei den Items „Totwinkel-Assistenten erleichtern das Fahren mit einem Lkw“ (M=2,41, SD=1,20), „Totwinkel-Assistenten sollten nur warnen und nicht eingreifen“ (M=2,57, SD=1,37), „Totwinkel-Assistenten sollten im Notfall eingreifen und den Lkw stoppen“ (M=2,56, SD=1,42), „Mit einem Totwinkel-Assistenten fühle ich mich sicherer“ (M=2,66, SD=1,14), „Wenn Radfahrer:innen wissen, dass der Lkw einen Totwinkel-Assistenten hat, werden sie weniger vorsichtig fahren (M=2,64, SD=1,48) und „Totwinkel-Assistenten lenken beim Fahren ab“ (M=3,45, SD=1,22).

Tabelle 21: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmung zu Statements mit Bezug zu Totwinkel-Assistenten. 1 entspricht „Stimme zu“, 5 entspricht „Stimme nicht zu“ (n=110)

| Item Nr. | Statement | M | SD |
|----------|--|------|------|
| 1 | Totwinkel-Assistenten für Lkws erhöhen die Sicherheit für Radfahrer. | 2,02 | 1,00 |
| 2 | Totwinkel-Assistenten erleichtern das Fahren mit einem Lkw. | 2,41 | 1,20 |
| 3 | Totwinkel-Assistenten sollten nur warnen und nicht eingreifen. | 2,57 | 1,37 |
| 4 | Totwinkel-Assistenten sollten im Notfall eingreifen und den Lkw stoppen. | 2,56 | 1,42 |
| 5 | Totwinkel-Assistenten lenken beim Fahren ab. | 3,45 | 1,22 |
| 6 | Mit einem Totwinkel-Assistenten fühle ich mich sicherer. | 2,66 | 1,14 |
| 7 | Es ist wichtig, dass Lkw-Fahrer eine gute Einschulung in Totwinkel-Assistenten bekommen. | 1,78 | 1,01 |
| 8 | Wenn Radfahrer wissen, dass der Lkw einen Totwinkel-Assistenten hat, werden sie weniger vorsichtig fahren. | 2,64 | 1,48 |

Abbildung 60: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Totwinkel-Assistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 21 entnommen werden (n=110)

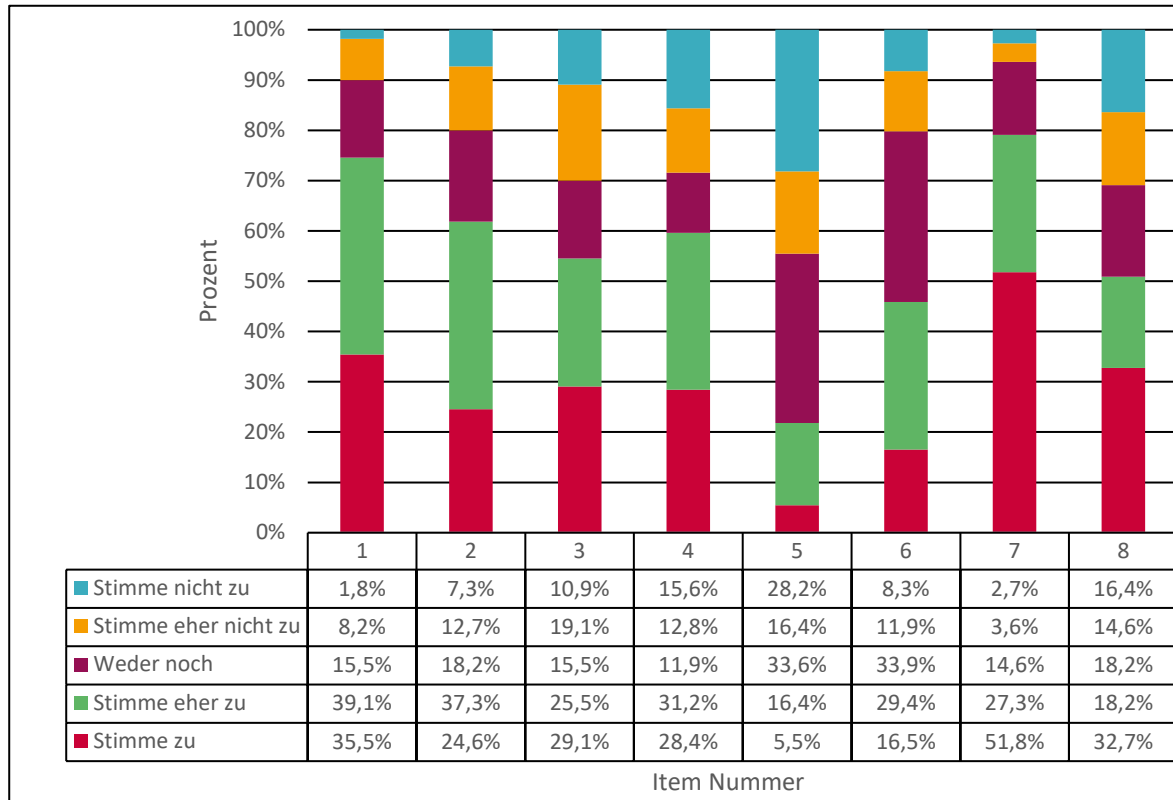


Tabelle 22. Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Totwinkel-Assistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 21 entnommen werden (n=110)

| Antwort | Item | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Stimme zu | 35,5% | 24,6% | 29,1% | 28,4% | 5,5% | 16,5% | 51,8% | 32,7% |
| Stimme eher zu | 39,1% | 37,3% | 25,5% | 31,2% | 16,4% | 29,4% | 27,3% | 18,2% |
| Weder Noch | 15,5% | 18,2% | 15,5% | 11,9% | 33,6% | 33,9% | 14,6% | 18,2% |
| Stimme eher nicht zu | 8,2% | 12,7% | 19,1% | 12,8% | 16,4% | 11,9% | 3,6% | 14,6% |
| Stimme nicht zu | 1,8% | 7,3% | 10,9% | 15,6% | 28,2% | 8,3% | 2,7% | 16,4% |

4.3.5 Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrssicherheit in Bezug auf Begegnungen von Lkws und Radfahrer:innen

Die Lkw-Fahrer:innen unterstützten einige der Maßnahmenvorschläge (Tabelle 23, Abbildung 61 und Tabelle 24). Die größte Zustimmung erhielten Bewusstseinsbildung für Radfahrer:innen in Bezug auf den Lkw-Verkehr (M=1,50, SD=0,93) und eine bessere und vom MIV getrennte Radinfrastruktur (M=1,51, SD=0,85). Hohe Zustimmungswerte erhielten auch verstärkte Kontrollen von Radfahrer:innen (M=1,62, SD=1,00), die Einschulung von Lkw-Fahrer:innen in Assistenzsysteme (M=1,73, SD=0,94), die verpflichtende Ausstattung von Lkws mit Assistenzsystemen (M=1,74, SD=0,88) und Werbung für mehr Rücksichtnahme im Verkehr (M=1,87, SD=1,16). Eher ablehnend wurden Fahrverbote für große Lkws in Stadtzentren gesehen (M=3,81, SD=1,37). Bei den weiteren Maßnahmen zeichnete sich keine klare Tendenz ab.

Tabelle 23: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmungswerte für Verkehrssicherheitsmaßnahmen unter Lkw-Fahrer:innen (Items 1-6: n=110, Items 7-11: n=109)

| Item Nr. | Statement | M | SD |
|----------|--|------|------|
| 1 | Lkws müssen Fahrassistenzsysteme haben. | 1,74 | 0,88 |
| 2 | Lkw-Fahrer:innen müssen in Fahrassistenzsysteme eingeschult werden. | 1,73 | 0,94 |
| 3 | Wenn Lkw-Fahrer:innen mehr über das Radfahren wissen. | 3,02 | 1,40 |
| 4 | Wenn Radfahrer:innen mehr über das Lkw-Fahren wissen. | 1,50 | 0,93 |
| 5 | Mehr Kontrollen von Lkw-Fahrer:innen. | 3,06 | 1,34 |
| 6 | Mehr Kontrollen von Radfahrer:innen. | 1,62 | 1,00 |
| 7 | Bessere Radfahrinfrastruktur – mehr getrennte Radwege. | 1,51 | 0,85 |
| 8 | Radfahrer:innen bekommen an der Ampel vor den Autos grün. | 2,55 | 1,56 |
| 9 | Vorgezogene Haltelinie: Radfahrer halten an der Ampel vor den Autos. | 2,74 | 1,58 |
| 10 | Fahrverbote für große Lkws im Stadtzentrum. | 3,81 | 1,37 |
| 11 | Werbung für mehr Rücksichtnahme im Verkehr. | 1,87 | 1,16 |

Abbildung 61: Verteilung der Zustimmungswerte zu Verkehrsmaßnahmen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 23 entnommen werden (n=109)

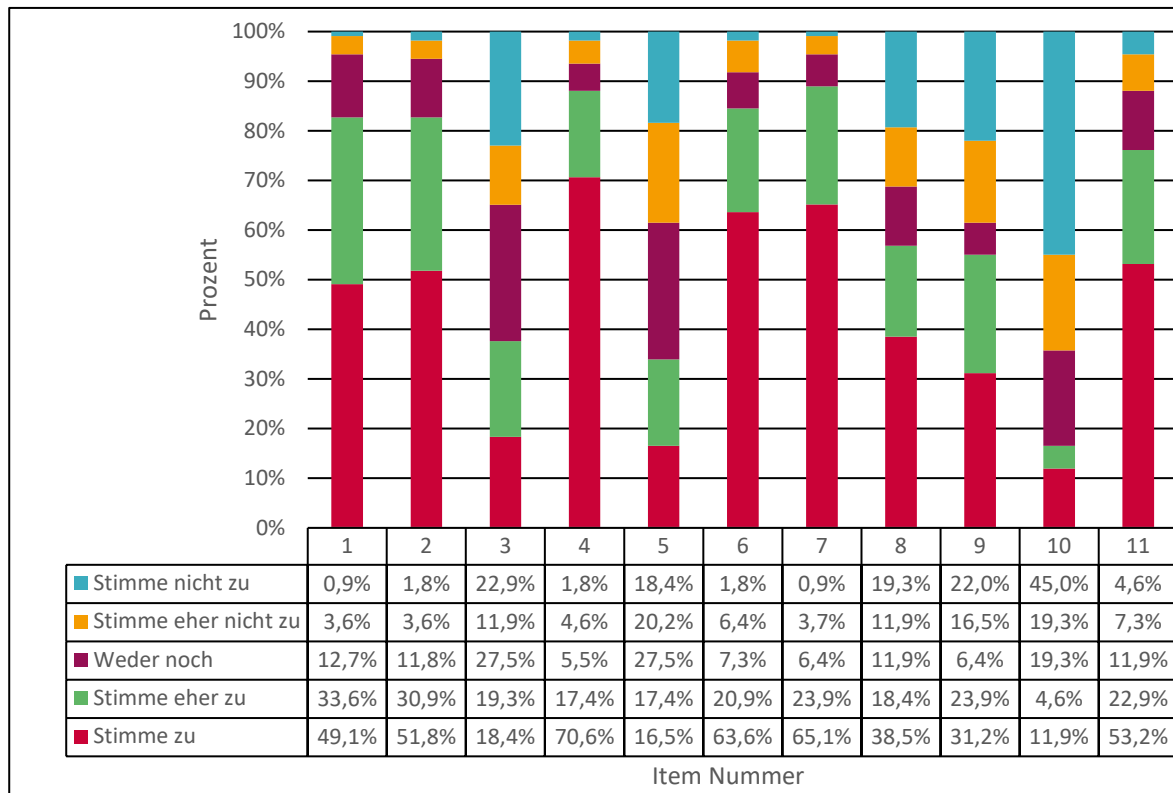


Tabelle 24: Verteilung der Zustimmungswerte zu Verkehrsmaßnahmen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 23 entnommen werden (n=109)

| Antwort | Item | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 |
| Stimme zu | 49,1% | 51,8% | 18,4% | 70,6% | 16,5% | 63,6% | 65,1% | 38,5% | 31,2% | 11,9% | 53,2% |
| Stimme eher zu | 33,6% | 30,9% | 19,3% | 17,4% | 17,4% | 20,9% | 23,9% | 18,4% | 23,9% | 4,6% | 22,9% |
| Weder Noch | 12,7% | 11,8% | 27,5% | 5,5% | 27,5% | 7,3% | 6,4% | 11,9% | 6,4% | 19,3% | 11,9% |
| Stimme eher nicht zu | 3,6% | 3,6% | 11,9% | 4,6% | 20,2% | 6,4% | 3,7% | 11,9% | 16,5% | 19,3% | 7,3% |
| Stimme nicht zu | 0,9% | 1,8% | 22,9% | 1,8% | 18,4% | 1,8% | 0,9% | 19,3% | 22,0% | 45,0% | 4,6% |

Unter den Lkw-Fahrer:innen erwähnten 20 Personen weitere Maßnahmenvorschläge. Darunter waren Themenbereiche, die bereits in den Items abgefragt wurden (z.B. getrennte Radwege, getrennte Grünphasen, härtere Strafen für Radfahrer:innen, Bewusstseinsbildung für Radfahrer:innen) aber auch neue Vorschläge wie Überholverbote für Radfahrer:innen an Kreuzungen, eine Radwegbenutzungspflicht, einen verpflichtenden Führerschein fürs Fahrrad, Versicherungen für alle Radfahrer:innen, die Reduzierung und Verlangsamung von Schwerverkehr in den Städten, Schulbildung über den toten Winkel, Haftstrafen für Lkw-Fahrer:innen bei tödlichen Unfällen und ein Verbot für Radfahrer:innen zu gewissen Uhrzeiten auf Straßen zu fahren. Ein Wunsch war außerdem die Fuß- und Radüberfahrten an Kreuzungen in die Straße hinein zu verlegen, sodass der Lkw, bis er zur Überfahrt kommt schon einen Großteil seines Abbiegemanövers hinter sich hat und frontal auf den Übergang schauen kann.

4.3.6 Gruppenspezifische Unterschiede unter den Lkw-Fahrer:innen – Hypothesenabgeleitete Auswertung

Welche individuellen Einflussgrößen das Verhalten von Lkwfahrer:innen bestimmen und wie sie die Akzeptanz von Assistenzsysteme beeinflussen, wird in diesem Kapitel anhand der auf Basis der erstellten Hypothesen überprüft.

4.3.6.1 Hypothesen zu Verhalten und Wahrnehmung

HL1: Es gibt Unterschiede zwischen älteren und jüngeren Lkw-Fahrer:innen in Bezug auf die Bewertung des Images von Lkw-Fahrer:innen in der Bevölkerung und bewusstseinsbildenden Maßnahmen.

Hinsichtlich Alter und dem wahrgenommenen Image konnten keine Zusammenhänge gefunden werden. Ebenso gab es keine altersspezifischen Verhaltensweisen und Wünsche für Maßnahmen.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

HL2: Erfahrene Lkw-Fahrer:innen sehen andere Schwierigkeiten bei Begegnungen mit Radfahrer:innen als unerfahrene Lkw-Fahrer:innen.

Bei der Einschätzung, welche Situationen als schwierig bei Begegnungen mit Radfahrer:innen erlebt werden, konnten kein Zusammenhang mit der Fahrerfahrung gefunden werden.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

Allerdings bewerteten Fahrer:innen mit viel Fahrerfahrung andere Maßnahmen als sinnvoll, als Fahrer:innen mit weniger Fahrerfahrung. So steigt mit zunehmender Fahrerfahrung die Zustimmung dazu, dass Lkw-Fahrer:innen in Assistenzsysteme eingeschult werden müssen, $r(108) = -.202$, $p = .034$. Hingegen sinkt mit zunehmender Fahrerfahrung die Zustimmung, dass getrennte Radwege eine sinnvolle Maßnahme sind, $r(108) = .226$, $p = .018$. Es konnte zudem ein Zusammenhang von Fahrerfahrung und Verhaltensweisen bei Begegnungen mit Radfahrer:innen gefunden werden. Es zeigte sich, dass bei geringerer Fahrerfahrung mehr Blicke in die Seiten- und Rückspiegel geworfen werden, $r(99) = .213$, $p = .032$.

HL3: Lkw-Fahrer:innen, die selbst Radfahren verhalten sich anders bei Begegnungen mit Radfahrer:innen als jene, die nicht Radfahren.

Lkw-Fahrer:innen, die häufiger mit dem Rad fahren, sind eher bereit dazu an Kreuzungen auf ihren Vorrang zu verzichten ($\chi^2(2) = 4.27$, $p = .039$, $\phi_c = 0.217$) und schauen im Kreuzungsbereich vermehrt und Rück- und Seitenspiegel ($\chi^2(2) = 4.18$, $p = .041$, $\phi_c = 0.222$). Lkw-Fahrer:innen, die häufiger Radfahren, stimmen zudem eher zu, dass Radfahrer:innen ein schlechtes Image in der Bevölkerung haben $t(98.49) = 2.48$, $p = .015$.

Die Hypothese kann gehalten werden.

HL4: Es gibt Unterschiede zwischen Lkw-Fahrer:innen aus ländlichen und urbanen Räumen in Bezug auf die Bewertung des Images des/der Lkw-Fahrer:in in der Bevölkerung.

Zwischen Lkws aus dem ländlichen und dem städtischen Raum konnten keine Unterschiede gefunden werden.

Die Hypothese kann nicht gehalten werden.

4.3.6.2 Hypothesen zu Assistenzsystemen

HL5: Ältere Lkw-Fahrer:innen sind skeptischer gegenüber Fahrassistenzsystemen als jüngere.

Ältere Lkw-Fahrer:innen zeigten tendenziell größeres Vertrauen in Assistenzsysteme, ($r(108) = -.215, p = .024$). Außerdem sind ältere Lkw-Fahrer:innen eher bereit dem Totwinkel-Assistenten mehr Kontrolle zu geben. Mit zunehmendem Alter stimmen Lkw-Fahrer:innen weniger zu, dass Totwinkel-Assistenten nur warnen und nicht eingreifen sollten ($r(108) = .258, p = .006$) und stimmen eher zu, dass Totwinkel-Assistenten eingreifen und den Lkw stoppen sollen ($r(108) = .288, p = .002$).

Die Hypothese, kann nicht gehalten werden.

HL6: Lkw-Fahrer:innen mit mehr Fahrerfahrung sind skeptischer gegenüber Assistenzsystemen als unerfahrene.

Es konnte kein Zusammenhang zwischen Fahrerfahrung (in Jahren) und Skepsis gegenüber Assistenzsystemen gefunden werden.

Die Hypothese, kann nicht gehalten werden.

Wie beim Alter konnte jedoch ein Zusammenhang in Bezug auf ein Eingreifen von Totwinkel-Assistenten festgestellt werden. Je höher die Fahrerfahrung, desto geringer die Zustimmung, dass Totwinkel-Assistenten nur warnen und nicht eingreifen sollten ($r(108) = .272, p = .004$) und desto höher die Zustimmung, dass Totwinkel-Assistenten eingreifen und den Lkw stoppen sollen ($r(108) = -.191, p = .046$).

HL7: Fuhrparkleiter:innen/Geschäftsführer:innen sind weniger offen gegenüber Assistenzsystemen als aktive Lkw-Fahrer:innen.

Die Hypothese, dass Fuhrparkleiter:innen / Geschäftsführer:innen weniger offen gegenüber Assistenzsystemen sind, als aktive Lkw-Fahrer:innen konnte nicht überprüft werden, da die Gruppe der Fuhrparkleiter:innen und Geschäftsführer:innen zu klein ist.

HL8: Lkw-Fahrer:innen, die bereits Assistenzsysteme nutzen, sind Assistenzsystemen gegenüber positiver eingestellt als Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsysteme.

Lkw-Fahrer:innen, die bereits Assistenzsysteme nutzen, vertrauen Assistenzsystemen mehr, als Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsysteme, $t(24.88) = -3.66$, $p=.001$.

Die Hypothese kann gehalten werden.

HL9: Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsysteme gehen eher davon aus, dass der Fahrstil beeinflusst wird als jene mit Assistenzsystemen.

Personen mit Assistenzsystemen stimmen auch eher zu, dass Assistenzsysteme nichts an ihrem Fahrverhalten verändern, als Personen ohne Assistenzsysteme, $t(23.05) = 2.22$, $p=.037$. Gleichzeitig denken Personen mit Assistenzsystemen weniger, dass Totwinkel-Assistenten beim Fahren ablenken, als Personen ohne Assistenzsysteme, $t(23.12) = 2.48$, $p=.021$.

Lkw-Fahrer:innen mit Abbiegeassistenten achten häufiger auf Hinweise von Assistenzsystemen als Personen ohne Abbiegeassistenten, $\chi^2(2) = 6.11$, $p \leq .001$, $\phi_c = 0.388$. Lkw-Fahrer:innen mit Abbiegeassistenten stimmten außerdem der Aussage weniger zu, dass Radfahrer:innen weniger vorsichtig fahren werden, wenn sie wissen, dass die Lkws Totwinkel-Assistenten eingebaut haben, $t(87.82) = -3.11$, $p=.003$.

Die Hypothese kann gehalten werden.

4.3.7 Vergleiche von Rad- und Lkw-Fahrer:innen – Hypothesenabgeleitete Auswertung

Vergleiche zwischen Rad- und Lkw-Fahrer:innen ($n=361$) wurden bezüglich der erlebten Schwierigkeiten bei Begegnungen im Straßenverkehr und der gewünschten Maßnahmen für mehr Sicherheit erhoben. Es zeigte sich, dass sowohl unterschiedliche Maßnahmen bevorzugt werden ($n=361$) als auch unterschiedliche Herausforderungen ($n=352$) gesehen werden.

HRL1: Lkw-Fahrer:innen sehen Überholmanöver durch Lkws als geringeres Problem an als Radfahrer:innen.

Lkw-Fahrer:innen sehen einen geringeren seitlichen Überholabstand als geringeres Problem, als Radfahrer:innen, $\chi^2(1) = 140.29$, $p < 0,001$, $\phi_c = 0.630$. Dabei empfinden 84,4 % der Radfahrer:innen den geringen Seitenabstand als Problem, während es nur 18,3% der Lkw-Fahrer:innen sind.

Die Hypothese kann gehalten werden.

Ebenso werden große Geschwindigkeitsunterschiede bei Überholmanövern von Radfahrer:innen als größeres Problem erlebt, als von Lkw-Fahrer:innen, $\chi^2(1) = 29.70$, $p < .001$, $\phi_c = 0.294$. Hier erleben 34,3% der Radfahrer:innen dies als Problem im Vergleich zu 5,8% der Lkw-Fahrer:innen. Gleichzeitig ist das Problembewusstsein für den toten Winkel an Kreuzungen unter Lkw-Fahrer:innen signifikant höher als unter Radfahrer:innen, $\chi^2(1) = 22.16$, $p = .003$, $\phi_c = 0.254$. Hier geben 83,4% der Lkw-Fahrer:innen an, Radfahrende beim Rechtsabbiegen im toten Winkel als großes Problem zu sehen, während es 56,8 % der Radfahrer:innen dies bejahen. Die fehlenden Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen werden erneut von den Radfahrer:innen als größere Herausforderung gesehen, $\chi^2(1) = 11.51$, $p < .001$, $\phi_c = 0.185$. Und zwar für 32,9% der Radfahrer:innen und für 13,9% der Lkw-Fahrer:innen.

HRL2: Es gibt keine Unterschiede in der Bewertung von Maßnahmen zwischen Lkw-Fahrer:innen und Radfahrer:innen.

Große Unterschiede zwischen Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen zeigten die gewünschten Maßnahmen. Wie erwartet befürworten Radfahrer:innen stärker vermehrte Verkehrskontrollen für Lkw-Fahrer:innen ($t(191.74) = -2.53$, $p = .012$, $M_{\text{Radfahrer:innen}} = 2.39$, $M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 3.01$), und Lkw-Fahrer:innen befürworten stärker vermehrte Kontrollen von Radfahrer:innen ($t(276,66) = 13.26$, $p < .001$, $M_{\text{Radfahrer:innen}} = 3.23$, $M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 1.60$).

- Radfahrer:innen befürworten zudem folgende Maßnahmen stärker, als Lkw-Fahrer:innen:
- Bewusstseinsbildung für Lkw-Fahrer:innen in Bezug auf Radverkehr ($t(129.57) = -2.53$, $p = .012$, $M_{\text{Radfahrer:innen}} = 1.30$, $M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 2.96$)
- Eine getrennte Radinfrastruktur ($t(167.15) = -3.22$, $p = .002$, $M_{\text{Radfahrer:innen}} = 1.21$, $M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 1.50$)

- Vorgezogene Grünphasen für Radfahrer:innen an Ampeln ($t(174.31) = -4.09, p < .001, M_{\text{Radfahrer:innen}} = 1.82, M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 2.50$)
- Vorgezogene Haltelinien für Radfahrer:innen an Ampeln ($t(159.04) = -6.50, p < .001, M_{\text{Radfahrer:innen}} = 1.60, M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 2.67$)
- Fahrverbote von Lkws in Innenstädten ($t(191.29) = -9.64, p < .001, M_{\text{Radfahrer:innen}} = 2.24, M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 3.74$)
- Eine verpflichtende Ausstattung von Lkws mit Assistenzsystemen ($t(191,74) = -2.53, p = .001, M_{\text{Radfahrer:innen}} = 1.49, M_{\text{Lkw-Fahrer:innen}} = 1.73$)

Die Hypothese kann gehalten werden.

4.4 Fazit Akzeptanzuntersuchung

Aus den Interviews und der Befragung können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden.

Akzeptanz von Assistenzsystemen bei Lkw-Fahrer:innen gegeben

Fahrassistenzsysteme sind unter den befragten Lkw-Fahrer:innen bereits weit verbreitet - Abbiege- bzw. Totwinkelassistenten wurden von 40% der Lkw-Fahrer:innen genannt. 87% der Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen finden, dass Fahrassistenzsysteme generell das Potential haben Unfälle zu verhindern. 75% gehen davon aus, dass sich durch einen Totwinkelassistenten, die Sicherheit für Radfahrer:innen erhöht. Das heißt, eine Sinnhaftigkeit von Assistenzsystemen wird gesehen. Gleichzeitig ist das Vertrauen in Assistenzsysteme bei Lkw-Fahrer:innen noch ausbaufähig: 52% der Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen und 12% der Lkw-Fahrer:innen, die über keine Assistenzsysteme verfügen, vertrauen Assistenzsystemen. Hier ist noch viel Bewusstseinsarbeit notwendig, um das Vertrauen in diese Systeme von den anderen 88% zu gewinnen. Jedoch steigt das Vertrauen und die Offenheit gegenüber einem Eingreifen des Systems in das eigene Fahrverhalten mit steigendem Alter und Fahrerfahrung der Lkw-Fahrer:innen.

Radfahrer:innen begrüßen die Ausstattung der Lkws mit Assistenzsystemen.

Bei den Radfahrer:innen gibt es eine hohe Zustimmung bezüglich Fahrassistenzsystem für Lkws. 94% der Radfahrer:innen befürworten eine verpflichtende Ausstattung der Lkws mit Fahrassistenzsystemen. 87% der Radfahrer:innen sehen darin eine Verbesserung ihrer eigenen Sicherheit.

Gute Einschulungen in Assistenzsysteme werden als wichtig bewertet.

75% der Befragten Lkw-Fahrer:innen sehen es als wesentlich an, in den Totwinkel-Assistenten bzw. Abbiegeassistenten gut eingeschult zu werden, um ihn auch adäquat nutzen zu können. 83% finden Einschulungen in Assistenzsysteme generell als wichtige Maßnahmen an, um die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Die Akzeptanz von Fahrradassistenzsystemen ist bei Radfahrer:innen gering.

Radfahrer:innen sehen bislang noch ein geringes Sicherheitspotenzial in Fahrradassistenzsysteme. Auch E-Bike-Fahrer:innen sehen wenig Bedarf. Ältere Personen sind offener gegenüber Assistenzsysteme als jüngere, sowie Radfahrer:innen, die bereits einen Unfall hatten.

Das Problembewusstsein für den toten Winkel ist bei Lkw- und Radfahrer:innen vorhanden, wie groß der tote Winkel reicht, wird von Radfahrer:innen unterschätzt.

Eine große Mehrheit der Lkw-Fahrer:innen ist sich des toten Winkels beim Rechtsabbiegen bewusst (83%). Auch die Mehrheit der Radfahrer:innen haben ein Bewusstsein für die Gefahren, die von Lkws ausgehen, und verhalten sich im Verkehr dementsprechend vorsichtiger. Allerdings empfinden nur 56% der Radfahrer:innen das Rechtsabbiegen von Lkws als große Gefahr. Auch die qualitativen Interviews haben gezeigt, dass sie sich nicht über das Ausmaß des toten Winkels bewusst sind, und sich z.B. auf einem Fahrradweg im Kreuzungsbereich sichtbar für den Lkw-Verkehr fühlen würden, obwohl sie sich im toten Winkel befinden.

Es gibt starke Unterschiede zwischen Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen in den subjektiv erlebten Schwierigkeiten und Verhaltensweisen, bei Begegnungen zwischen Lkws und Radfahrer:innen.

Ein zu geringer seitlicher Überholabstand stellt für die meisten Radfahrer:innen ein großes Problem dar (84%), während die Mehrheit der Lkw-Fahrer:innen davon ausgeht (84%) mit ausreichendem Sicherheitsabstand zu überholen. Hier besteht offenbar ein Widerspruch zwischen den Erfahrungen von Lkw-Fahrer:innen und Fahrradfahrer:innen. Bezüglich Überholvorgänge werden außerdem die starken Geschwindigkeitsunterschiede beim Überholen von Radfahrer:innen problematisch wahrgenommen. So sehen 46% der Radfahrer:innen den Sog beim Vorbeifahren eines Lkws als gefährlich an, 36% erleben überhöhte Geschwindigkeiten des Lkws beim Überholen als gefährlich, während nur 5% der Lkw-Fahrer:innen die Geschwindigkeitsunterschiede beim Überholen als kritisch ansehen. Zudem gaben 87% der Lkw-Fahrer:innen an die Geschwindigkeit bei Begegnungen zu reduzieren. Weiterhin werden fehlende Kommunikationsmöglichkeiten zwischen Lkw-Fahrer:innen und Radfahrer:innen (z.B. über Sichtkontakt) unterschiedlich bewertet 14% der Lkw-Fahrer:innen sehen es als Problem an und 33% der

Radfahrer:innen. Für Radfahrer:innen ist es auch ein größeres Bedürfnis Sichtkontakt herzustellen als für Lkw-Fahrer:innen (67% Radfahrer:innen, 50% Lkw-Fahrer:innen).

Lkw-Fahrer:innen sind gegenüber Radfahrer:innen kritischer eingestellt als umgekehrt.

Bedeutend mehr Lkw-Fahrer:innen (79%) gehen davon aus, dass sich Radfahrer:innen rücksichtslos gegenüber Lkw-Fahrer:innen verhalten. Bei den Radfahrer:innen sind 28% der Meinung, das Lkw-Fahrer:innen rücksichtslos sind. Dies hat sich auch bei den Interviews gezeigt, dass die Radfahrer:innen Verständnis für die schwierige Arbeitssituation der Lkw-Fahrer:innen äußerten, während Lkw-Fahrer:innen das regelwidrige Verhalten der Radfahrer:innen besonders hervorhoben und die Verletzbarkeit der Radfahrer:innen nicht erwähnten. Auch in der Befragung wurde das Missachten der Verkehrsregeln durch Radfahrer:innen als größtes Problem von den Lkw-Fahrer:innen (84%) bei Begegnungen genannt.

Das Image von Lkw-Fahrer:innen und Radfahrer:innen in der Bevölkerung wird als schlecht beurteilt.

Beide Verkehrsteilnehmer:innengruppen scheinen laut Befragten in der Bevölkerung wenig beliebt zu sein. 75% der Lkw-Fahrer:innen und 69% der Radfahrer:innen gehen (eher) davon aus ein schlechtes Image zu haben, wobei das Image der jeweils anderen Gruppe besser bewertet wird. Radfahrer:innen sind zu 40% der Meinung, dass Lkw-Fahrer:innen ein schlechtes Image haben und bei den Lkw-Fahrer:innen glauben dies 34% über Radfahrer:innen. D.h. es gibt einen Unterschied zwischen Selbst- und Fremdwahrnehmung.

Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen wünschen sich mehr Wissen übereinander.

95% der Radfahrer:innen würden es begrüßen, wenn Lkw-Fahrer:innen mehr über die Probleme und die Sichtweisen von Radfahrer:innen Bescheid wissen bzw. umgekehrt auch 88% der Lkw-Fahrer:innen wünschen sich, dass Radfahrer:innen mehr Einblick in die Schwierigkeiten von Lkw-Fahrer:innen bekommen.

Sensibilisierungskampagnen für mehr Rücksichtnahmen im Verkehr werden von beiden Verkehrsteilnehmer:innengruppen begrüßt.

83% der Radfahrer:innen und 76% der Lkw-Fahrer:innen sehen in Sensibilisierungskampagnen für ein Miteinander im Straßenverkehr ein Potenzial die Verkehrssicherheit zu erhöhen.

Getrennte Radinfrastruktur wird von beiden Gruppen als Verkehrssicherheitsmaßnahme gewünscht.

95% der Radfahrer:innen und 89% der Lkw-Fahrer:innen empfinden eine vom Autoverkehr getrennte Radinfrastruktur als gute Lösung für die Erhöhung der Verkehrssicherheit.

4.5 Makroskopische Unfallanalyse

Im Zeitraum von 2012 bis 2022 wurden 54 Radfahrer:innen in Unfällen mit einem Lkw getötet und 261 wurden schwer verletzt, d.h. jährlich kommen durchschnittlich fünf Radfahrer:innen ums Leben und es werden 24 schwer verletzt. Der größte Teil der Unfälle ist im Ortsgebiet (Abbildung 62 und Tabelle 25), bei Tageslicht (Tabelle 27) und trockenen Fahrbahnbedingungen (Tabelle 28). Die Verletzungsschwere der Radfahrer:innen von Elektrofahrrädern ist im Freiland deutlich höher, als im Vergleich zu Radfahrer:innen mit konventionellen (Abbildung 63 und Tabelle 26), wenngleich der Anteil an Getöteten etwas niedriger ist.

Abbildung 62: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2012 und 2022

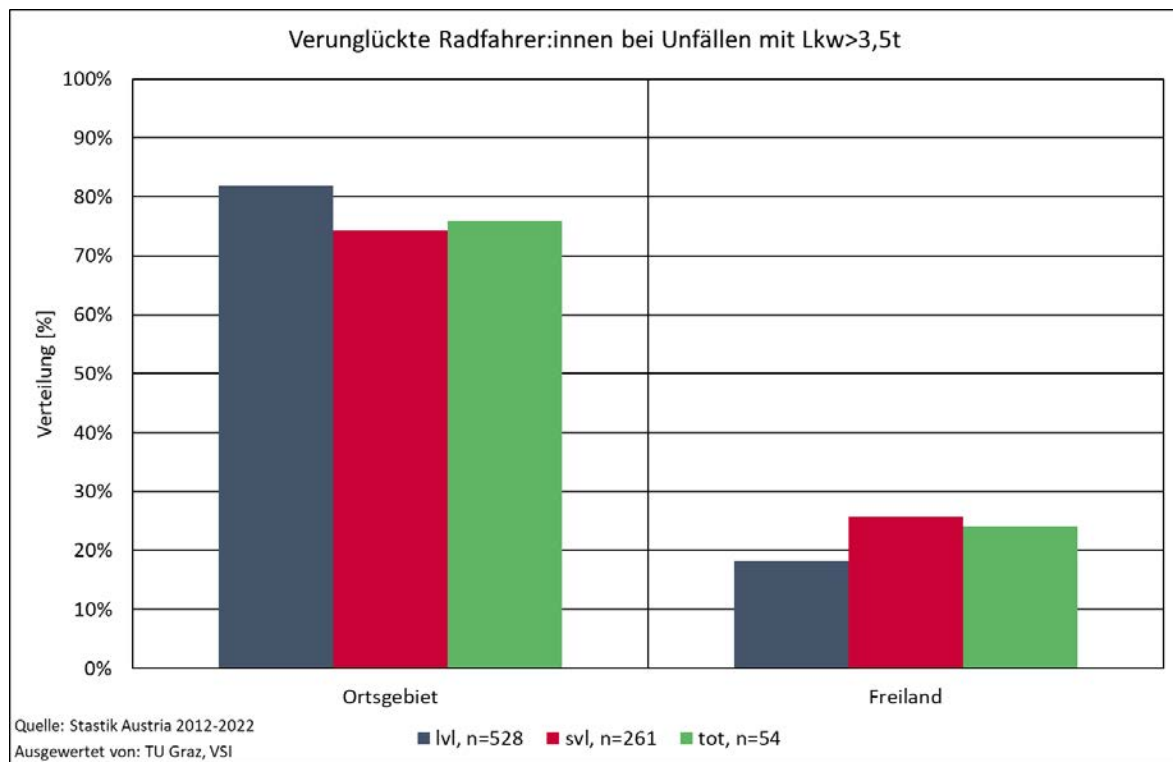


Tabelle 25: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2012 und 2022

| Örtlichkeit | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet |
|---------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Ortsgebiet | 432 | 194 | 41 |
| Freiland | 96 | 67 | 13 |
| Gesamt | 528 | 261 | 54 |

Abbildung 63: Verunglückte Radfahrer:innen von Elektrofahrrädern bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2018 und 2022

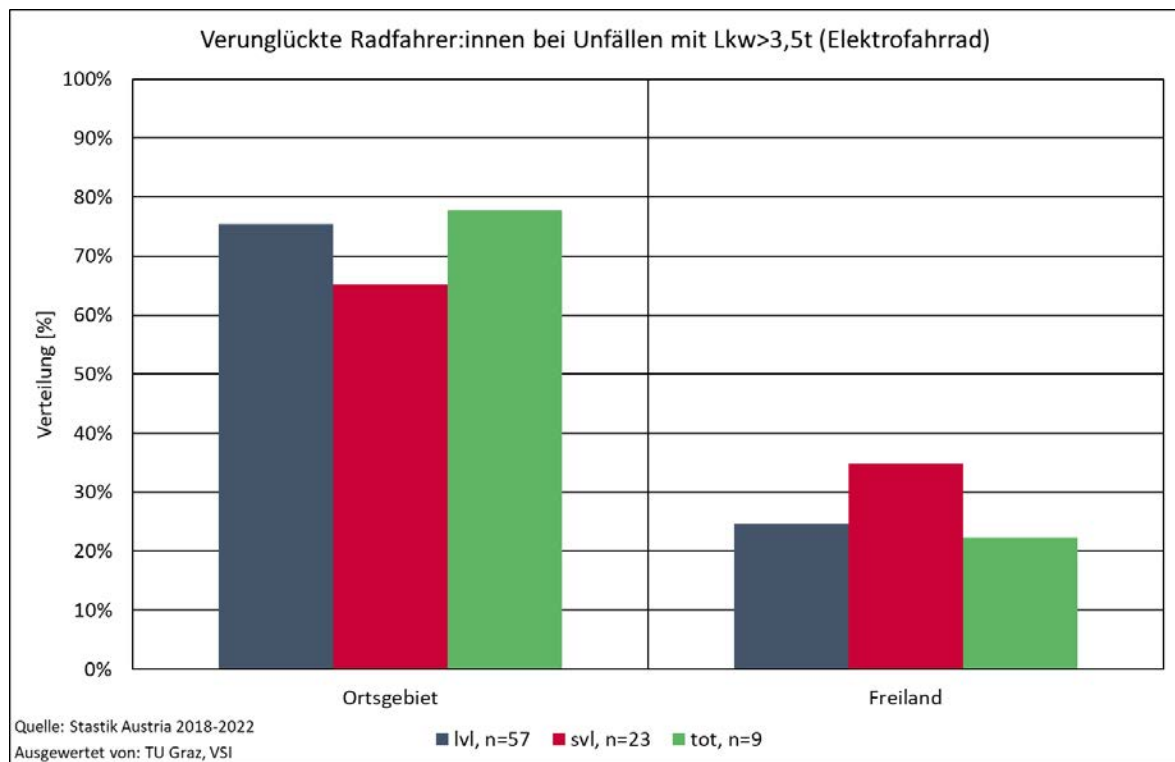


Tabelle 26: Verunglückte Radfahrer:innen von Elektrofahrrädern bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2018 und 2022

| Örtlichkeit | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet |
|---------------|-----------------|-----------------|----------|
| Ortsgebiet | 43 | 15 | 7 |
| Freiland | 14 | 8 | 2 |
| Gesamt | 57 | 23 | 9 |

Tabelle 27: Verletzte Radfahrer:innen in Bezug zu den Lichtverhältnissen zwischen 2012 und 2022

| Lichtverhältnisse | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet |
|---------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Dämmerung | 12 | 4 | 1 |
| Dunkelheit | 8 | 4 | 1 |
| Künstl. Beleuchtung | 8 | 3 | 1 |
| Tageslicht | 500 | 250 | 51 |
| Gesamt | 528 | 261 | 54 |

Tabelle 28: Verletzte Radfahrer:innen in Bezug zu den Witterungsverhältnissen zwischen 2012 und 2022

| Witterungsverhältnisse | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet |
|-----------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Kein Niederschlag oder Wind | 512 | 251 | 52 |
| Regen (Niesel) | 15 | 9 | 2 |
| Schneefall | 1 | 1 | |
| Gesamt | 528 | 261 | 54 |

Unabhängig der Verletzungsschwere sind Unfälle an Kreuzungen am häufigsten (Abbildung 64 und Tabelle 29). Der häufigste Unfalltyp ist ein Abbiegen nach rechts mit geradeaus fahrenden Radfahrer:innen (Abbildung 65 und Tabelle 30). Unfälle beim Überholen sind am zweithäufigsten. Hier zeigt sich auch, dass dieser Unfalltyp im Freiland einen deutlich höheren Anteil hat, als es bei anderen Unfalltypen der Fall ist. Unfälle beim Kreuzen sind am dritthäufigsten. Vergleichbar mit Kreuzungs-Unfällen, sind Unfälle bei Grundstückszu- und -ausfahrten. Allerdings ist hierbei die Sicht zusätzlich durch Zäune, Sträucher, Hecken, etc. beeinträchtigt.

Abbildung 64: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen von Lkw>3,5t und Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022

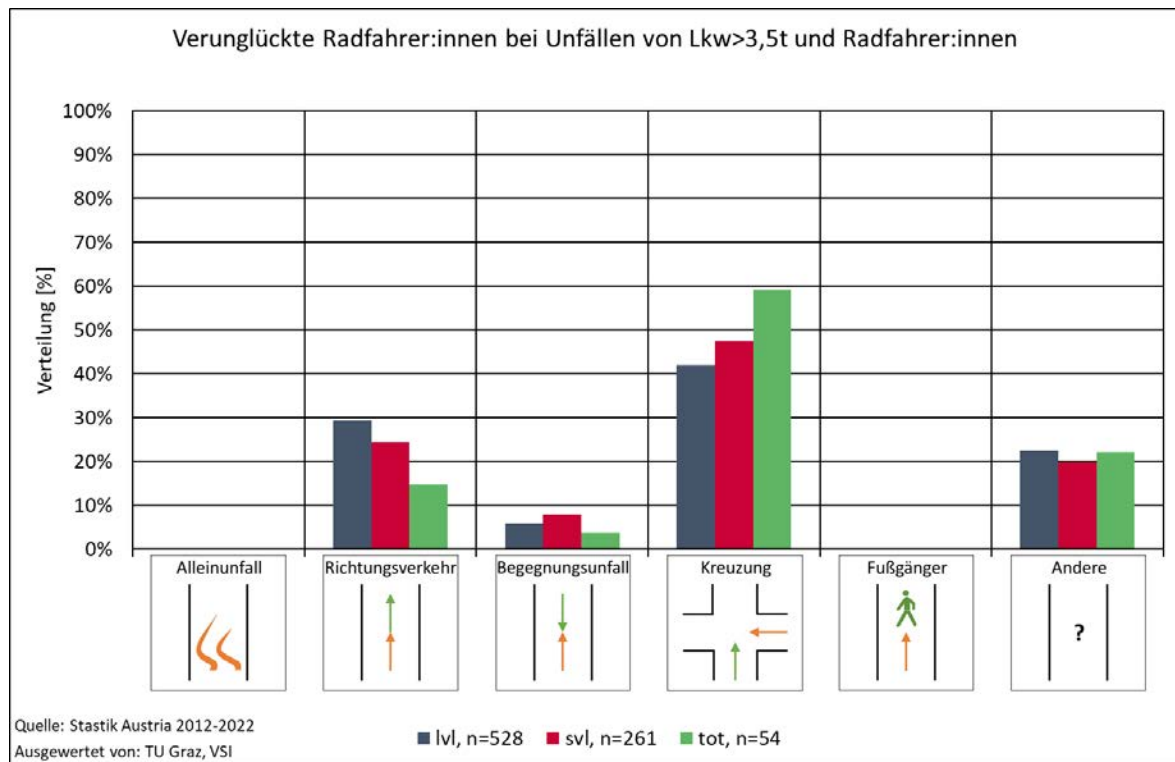


Tabelle 29: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen von Lkw>3,5t und Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022

| Unfalltyp Obergruppe | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet |
|------------------------------|-----------------|-----------------|-----------|
| Alleinunfall | 0 | 0 | 0 |
| Unfälle im Richtungsverkehr | 155 | 64 | 8 |
| Unfälle im Begegnungsverkehr | 31 | 21 | 2 |
| Kreuzungsunfälle | 222 | 124 | 32 |
| Fußgänger:innen Unfälle | 1 | 0 | 0 |
| Andere Unfälle | 119 | 52 | 12 |
| Gesamt | 528 | 261 | 54 |

Abbildung 65: Häufigste Unfalltypen bei Fahrrad gegen Lkw Unfällen zwischen 2012 und 2022

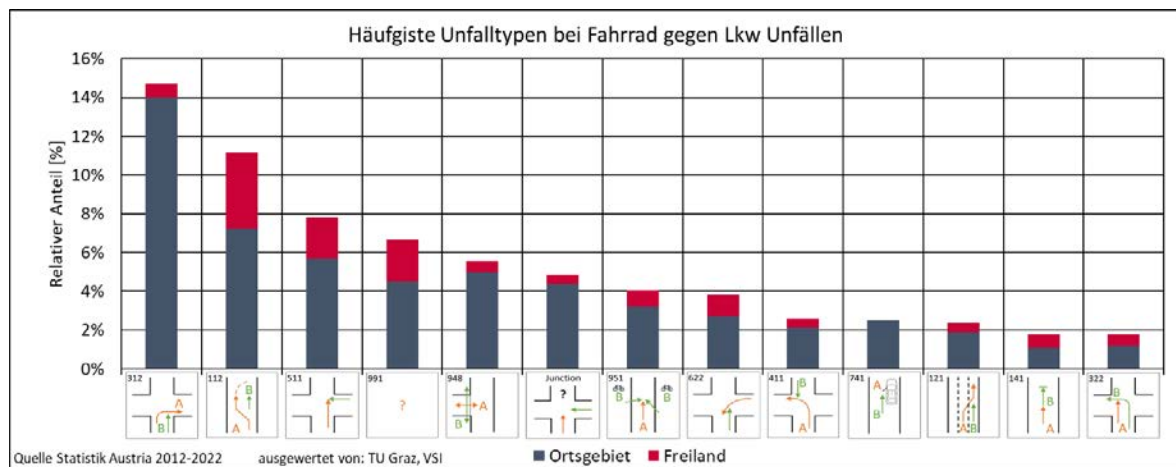


Tabelle 30: Häufigste Unfalltypen bei Fahrrad gegen Lkw Unfällen zwischen 2012 und 2022

| Unfalltyp | Ortsgebiet | Freiland |
|--|------------|------------|
| 312 – Abbiegen nach rechts mit geradeaus fahrenden | 118 | 6 |
| 112 – Überholen links | 61 | 33 |
| 511 – Rechtwinkelige Kollision | 48 | 18 |
| 991 - Sonstige Unfälle mit zwei oder mehreren Beteiligten | 38 | 18 |
| 948 - Haus- oder Grundstücks- Aus- oder Einfahrt | 42 | 5 |
| Kreuzungsunfall ohne weitere Angaben | 37 | 4 |
| 951 - Kollision mit querenden Radfahrern | 27 | 7 |
| 622 - Linksabbieger mit entgegenkommendem Fahrzeug | 23 | 9 |
| 411 - Kollision beim Linksabbiegen mit entgegen kommendem Fahrzeug | 18 | 4 |
| 741 – Kollision beim Vorbeifahren an parkenden Fahrzeugen links | 21 | 0 |
| 121 – Kollision beim Wechseln des Fahrstreifens nach rechts | 16 | 4 |
| 141 – Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug auf der Geraden | 9 | 6 |
| 322 - Linksabbieger mit Geradeausfahrendem | 10 | 5 |
| Rest | 199 | 57 |
| Gesamt | 667 | 176 |

Der Anteil männlicher verunglückter Radfahrer ist 57,2 %, wobei bei den Getöteten dieser Anteil geringfügig niedriger ist (54,2 %) (Tabelle 31 und Tabelle 32). Allerdings können bei der Antriebsart deutlichere Unterschiede festgestellt werden. Insbesondere bei Elektrofahrrädern ist der Anteil an männlichen Verunglückten in allen Verletzungsgraden deutlich höher als jener der weiblichen (Abbildung 66). Das Odds Ratio (OR) bei den Getöteten liegt für Männer bei 3,9. Bei konventionell angetriebenen Fahrrädern ist das jedoch umgekehrt, wenngleich nicht so hoch (OR ist für Frauen 2,4).

Abbildung 66: Verunglückte Radfahrer:innen unterschieden nach der Antriebsart und Geschlecht

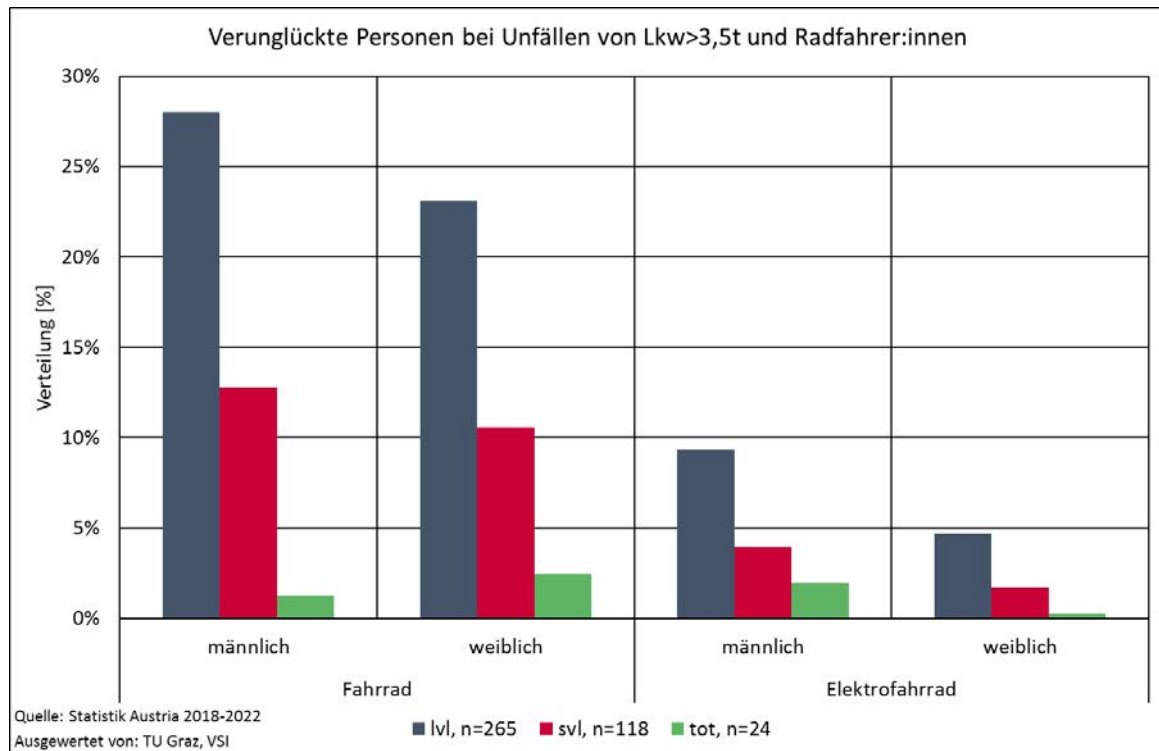


Tabelle 31: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2018 und 2022 auf konventionellen Fahrrädern

| Konventionelle Fahrräder | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet | Gesamt |
|--------------------------|-----------------|-----------------|---------|--------|
| Männlich | 114 | 52 | 5 | 171 |
| Weiblich | 94 | 43 | 10 | 147 |
| Gesamt | 208 | 95 | 15 | 318 |

Tabelle 32: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2018 und 2022 auf Elektrofahrrädern

| Elektrofahrräder | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet | Gesamt |
|------------------|-----------------|-----------------|---------|--------|
| Männlich | 38 | 16 | 8 | 62 |
| Weiblich | 19 | 7 | 1 | 27 |
| Gesamt | 57 | 23 | 9 | 89 |

Neben Unterschieden bei der Antriebsart, können auch Unterschiede bei den Unfalltypen festgestellt werden. So sind weibliche Radfahrerinnen am häufigsten in Unfällen beim Rechtsabbiegen des Lkw beteiligt (Abbildung 67 und Tabelle 33) und damit doppelt so häufig wie männliche. Bei Unfällen beim Überholen ist der Unterschied zwischen Radfahrer:innen nicht so deutlich. Bei den anderen Unfalltypen sind männliche Radfahrer durchwegs häufiger beteiligt als weibliche.

Abbildung 67: Häufigste Unfalltypen nach Unterscheidung des Geschlechts zwischen 2012 und 2022

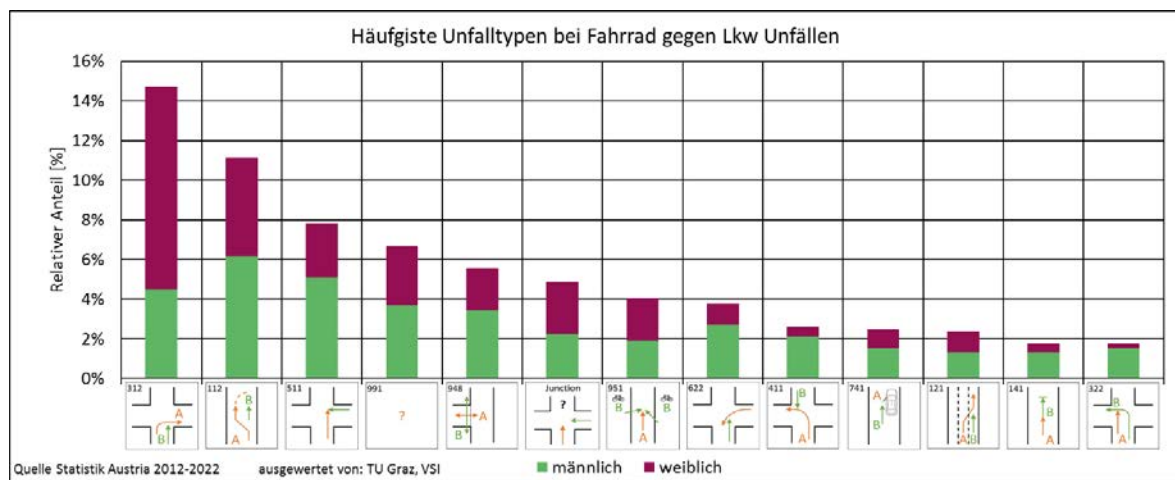


Tabelle 33: Häufigste Unfalltypen nach Unterscheidung des Geschlechts zwischen 2012 und 2022

| Unfalltyp | Männlich | Weiblich |
|--|----------|----------|
| 312 – Abbiegen nach rechts mit geradeaus fahrenden | 38 | 86 |
| 112 – Überholen links | 52 | 42 |
| 511 – Rechtwinkelige Kollision | 43 | 23 |
| 991 - Sonstige Unfälle mit zwei oder mehreren Beteiligten | 31 | 25 |
| 948 - Haus- oder Grundstücks- Aus- oder Einfahrt | 29 | 18 |
| Kreuzungsunfall ohne weitere Angaben | 19 | 22 |
| 951 - Kollision mit querenden Radfahrern | 16 | 18 |
| 622 - Linksabbieger mit entgegenkommendem Fahrzeug | 23 | 9 |

| Unfalltyp | Männlich | Weiblich |
|--|------------|------------|
| 411 - Kollision beim Linksabbiegen mit entgegen kommendem Fahrzeug | 18 | 4 |
| 741 – Kollision beim Vorbeifahren an parkenden Fahrzeugen links | 13 | 8 |
| 121 – Kollision beim Wechseln des Fahrstreifens nach rechts | 11 | 9 |
| 141 – Auffahren auf ein stehendes Fahrzeug auf der Geraden | 11 | 4 |
| 322 - Linksabbieger mit Geradeausfahrendem | 13 | 2 |
| Rest | 164 | 92 |
| Gesamt | 481 | 362 |

Das durchschnittliche Alter verunglückter Radfahrer:innen ist 52,3 Jahre ($s=20,3$) und das Medianalter liegt bei 53,7 Jahren (Abbildung 68 und Tabelle 34). Es lassen sich auch deutliche Unterschiede bei der Verletzungsschwere feststellen. So ist das durchschnittliche Alter bei getöteten Radfahrer:innen 63,2 ($s=22,4$) Jahre und der Median sogar bei 67,5 Jahren. Ebenso können Unterschiede bei Männern und Frauen als auch bei der Antriebsart festgestellt werden (Tabelle 35 bis Tabelle 38).

Abbildung 68: Verunglückte Radfahrer:innen bezogen auf das Alter

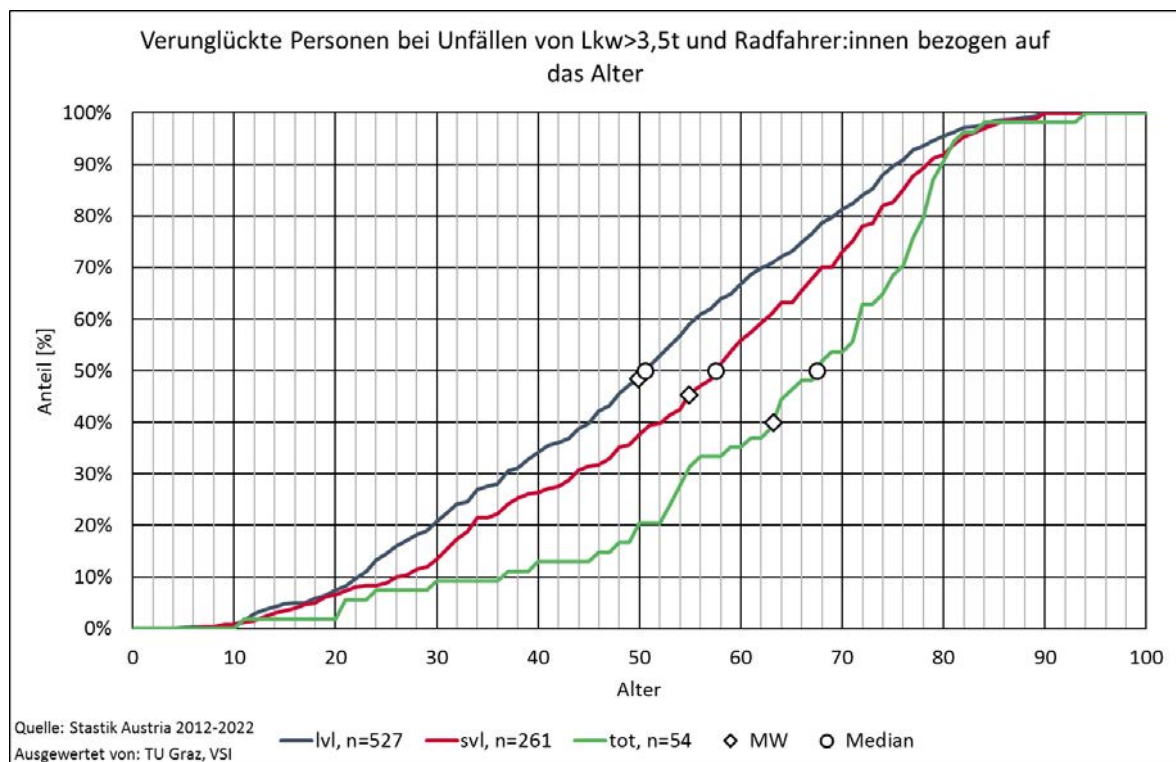


Tabelle 34: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022

| Verunglückte | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet | Gesamt |
|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------|---------------|
| Anzahl | 527 | 261 | 54 | 842 |
| Mittelwert | 49,9 | 54,9 | 63,2 | 52,3 |
| Standardabweichung | 19,9 | 20,6 | 22,4 | 20,3 |
| Median | 50,6 | 57,6 | 67,5 | 53,7 |

Tabelle 35: Verunglückte Radfahrer zwischen 2012 und 2022

| Männlich | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet | Gesamt |
|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------|---------------|
| Anzahl | 310 | 147 | 23 | 480 |
| Mittelwert | 51,3 | 56,9 | 68,8 | 53,8 |
| Standardabweichung | 19,9 | 20,9 | 22,3 | 20,4 |
| Median | 51,6 | 59,9 | 74,5 | 55,0 |

Tabelle 36: Verunglückte Radfahrerinnen zwischen 2012 und 2022

| Weiblich | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet | Gesamt |
|---------------------------|------------------------|------------------------|----------------|---------------|
| Anzahl | 217 | 114 | 31 | 362 |
| Mittelwert | 47,9 | 52,4 | 59,0 | 50,3 |
| Standardabweichung | 19,8 | 19,9 | 22,6 | 20,1 |
| Median | 47,9 | 54,3 | 64,5 | 52,1 |

Tabelle 37: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022 mit konventionellen Fahrrädern

| Fahrrad | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet | Gesamt |
|---------------------------|-----------------|-----------------|---------|--------|
| Anzahl | 470 | 238 | 45 | 753 |
| Mittelwert | 48,8 | 54,6 | 61,4 | 51,4 |
| Standardabweichung | 19,6 | 21,1 | 22,4 | 20,3 |
| Median | 48,9 | 57,5 | 65,5 | 52,8 |

Tabelle 38: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2018 und 2022 mit Elektrofahrrädern

| Elektrofahrrad | Leicht verletzt | Schwer verletzt | Getötet | Gesamt |
|---------------------------|-----------------|-----------------|---------|--------|
| Anzahl | 57 | 23 | 9 | 89 |
| Mittelwert | 58,8 | 58,4 | 72,0 | 60,1 |
| Standardabweichung | 20,1 | 15,5 | 17,9 | 18,8 |
| Median | 64,5 | 57,8 | 78,3 | 63,4 |

4.6 Tiefenanalyse und Effektivitätsbewertung

Die Verschuldensfrage bei den untersuchten Unfällen ist nahezu ausgeglichen. In den 38 Unfällen hat in 16 Fällen der Lkw den Unfall ausgelöst bzw. wurde als Hauptschuldiger identifiziert und in 15 Fällen waren es die Radfahrer:innen. Bei sieben Fällen waren beide Unfallbeteiligte mehr oder weniger in gleichem Maße Auslöser des Unfalls. Für die Radfahrer:innen wurde eine durchschnittliche Kollisionsgeschwindigkeit von 16,5 km/h ($s=8,9$) festgestellt. Die Mediangeschwindigkeit lag bei 15,0 km/h. Die durchschnittliche Ausgangsgeschwindigkeit der Radfahrer:innen war bei 19,3 km/h ($s=11,9$). Die Geschwindigkeit der Elektrofahrräder war zwischen 17 km/h und 24 km/h und liegt im Bereich der mit Muskelkraft betriebenen Fahrräder. Die höheren Geschwindigkeiten von bis zu 50 km/h wurden im Freiland erreicht und wurden mit Muskelkraft betriebenen Fahrrädern erreicht. Die durchschnittliche Kollisionsgeschwindigkeit der Lkw betrug 22,1 km/h ($s=20,0$) und die Mediangeschwindigkeit bei 16,0 km/h. Der Zusammenhang zwischen Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit ist in Abbildung 69 dargestellt. Bei fast 60 % der Radfahrer:innen war die Ausgangs- und Kollisionsgeschwindigkeit gleich und in

rund einem Drittel der Fälle konnte durch eine Bremsreaktion die Geschwindigkeit verringert werden. Bei den Lkw wurde eine Geschwindigkeitsreduktion in ca. 44 % der Unfälle festgestellt (Abbildung 70). Die Geschwindigkeitsreduktion betrug durchschnittlich 10,4 km/h ($s=10,9$). In knapp 40 % der Unfälle wurde das Fahrzeug vor der Kollision beschleunigt.

Abbildung 69: Ausgangsgeschwindigkeit vs. Kollisionsgeschwindigkeit bei Fahrrädern

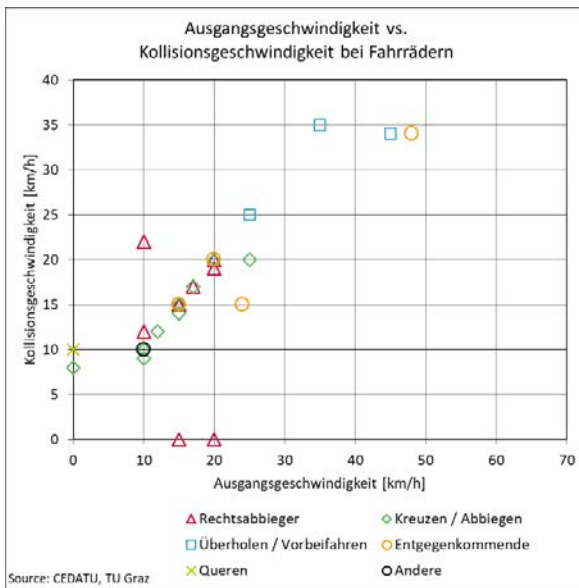
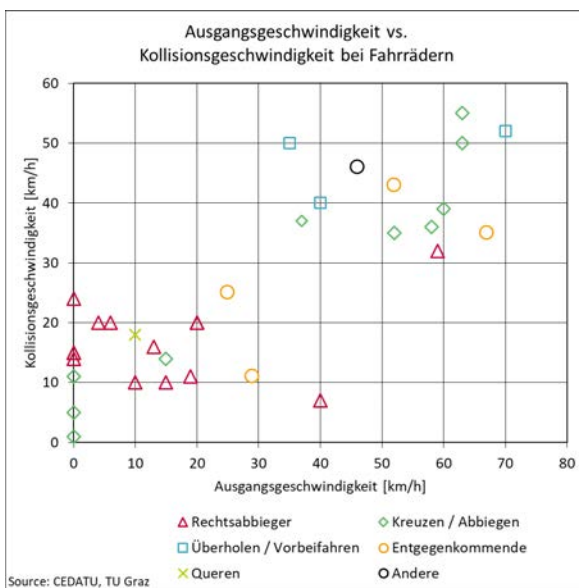
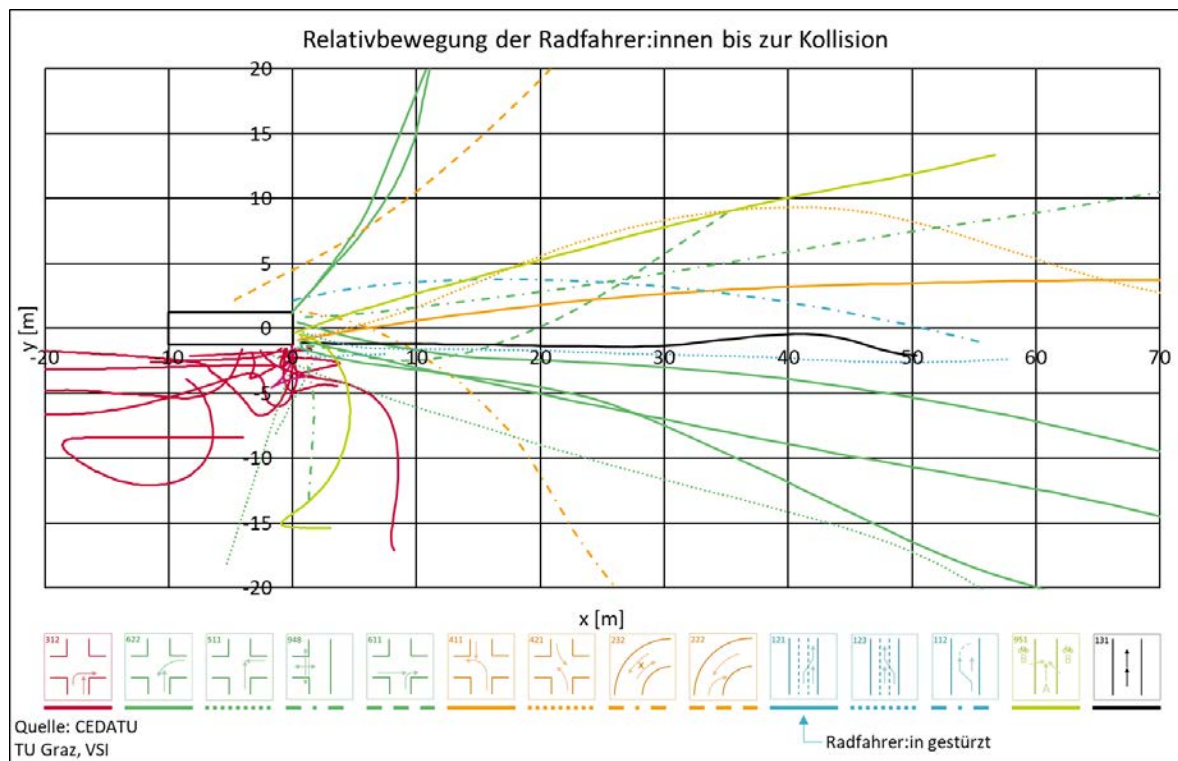


Abbildung 70: Ausgangsgeschwindigkeit vs. Kollisionsgeschwindigkeit bei Lkw



In Abbildung 71 ist die Relativbewegung der Radfahrer:innen in Bezug zum Lkw nach unterschiedlichen Unfallszenarien dargestellt. Eindeutig ist der Unfalltyp des Rechtsabbiegens an einer Kreuzung festzustellen. Je nach Geschwindigkeit des Lkw sowie der Radfahrer:innen sowie der Fahrlinien kann es dabei teilweise zu komplexen Bewegungsmustern kommen.

Abbildung 71: Relativbewegung der Radfahrer:innen bis zur Kollision gruppiert nach unterschiedlichen Unfallszenarien



Von den 38 untersuchten Unfällen könnten zehn Unfälle mit den angenommenen Eingriffsstrategien vermieden werden (Tabelle 40). In Tabelle 39 sind Informationen hinsichtlich der Unfallvermeidbarkeit angegeben. Eine Kennzeichnung mit * bedeutet, dass der Unfall nicht vermeidbar ist. Bei drei Fällen kam es zu Sichtbeeinträchtigungen, wobei ein Unfall dennoch vermeidbar wäre. Die größte Schwierigkeit ist die fehlende Kenntnis der Fahrlinie der Radfahrer:innen, d.h. die fehlende Information, wie sich die Radfahrer:innen verhalten werden – bleiben die Radfahrer:innen stehen oder kreuzen sie die Fahrspur. Wenn diese erkannt wird, ist es vielfach bereits zu spät, eine Kollision noch rechtzeitig zu verhindern. In acht Fällen würde eine rechtzeitige Absichtserkennung der Radfahrer:innen durch ein Assistenzsystem eine Kollision verhindern können. Bei drei Unfällen kam es zu einem Regelverstoß durch die Radfahrer:innen, in dem der Vorrang

missachtet wurde. Ein rechtzeitiges Reagieren und Vermeiden einer Kollision könnte weder durch ein warnendes noch ein autonom eingreifendes Assistenzsystem verhindert werden. In vier Fällen kamen die Radfahrer:innen ohne Kontakt mit dem Lkw zu Sturz. Gemäß der Richtlinie UN R 151 [71] wurden Testszenarien zur Bewertung von Totwinkel-Assistenten festgelegt. Dabei sind konstante Geschwindigkeiten definiert, mit welcher der Lkw und das Fahrrad bewegt werden. Ein Beschleunigungsmanöver aus dem Stillstand ist in der UN R 159 [72] definiert. Allerdings ist das eine geradlinige Fahrlinie. Eine Kombination der beiden Richtlinien wird nicht getestet, sodass bei den untersuchten Unfällen auch eine unter der Testgeschwindigkeit liegende Fahrgeschwindigkeit des Lkw als auch ein Beschleunigen aus dem Stillstand bei gleichzeitigem Abbiegen des Lkw als Unfallumstände klassifiziert wurden. Bei einer mehr oder weniger zu niedrigen Geschwindigkeit konnten sechs Unfälle und beim Beschleunigen aus dem Stillstand drei Unfälle identifiziert werden, welche ohne Berücksichtigung dieser Unfallumstände nicht vermeidbar wären. Zehn Unfälle könnten mit den getroffenen Annahmen jedenfalls nicht verhindert werden.

Tabelle 39: Hinweis zur Unfallvermeidbarkeit in Tabelle 40

| Nr. | Hinweis zur Unfallvermeidbarkeit |
|------------|--|
| 1 | Vermeidbar |
| 2 | Sichtbeeinträchtigung |
| 3 | Fahrlinie der Radfahrer:innen |
| 4 | Regelübertretung Radfahrer:innen |
| 5 | Keine Kollision zwischen Lkw und Radfahrer:innen |
| 6 | Niedrige Geschwindigkeit |
| 7 | Beschleunigung aus dem Stillstand des Lkw |
| 8 | Andere Umstände |
| 9 | Sichtbeeinträchtigung und Regelübertretung Radfahrer:innen |
| * | Nicht vermeidbar |

Tabelle 40: Anforderungen an ein ideal warnendes und ideal autonom eingreifendes Assistenzsystem unter Berücksichtigung unterschiedlicher Unfallumstände

| Nr. | Unfalltyp | Unfallgruppe | Warnend x [m] | Warnend y [m] | Autonom x [m] | Autonom y [m] | Vermeidbarkeit |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| # 01 | 312 | G1 | -11,0 | -5,2 | -9,2 | -5,4 | 1 |
| # 02 | 312 | G1 | -17,3 | -10,2 | -16,7 | -10,6 | 2 |
| # 03 | 312 | G1 | 1,5 | -1,7 | 1,5 | -1,6 | 6 |
| # 04 | 312 | G1 | -0,7 | -5,1 | -0,2 | -4,0 | 6 |
| # 05 | 312 | G1 | -3,6 | -2,3 | -2,4 | -2,1 | 6 |
| # 06 | 312 | G1 | -0,6 | -4,3 | -0,7 | -3,5 | 1 |
| # 07 | 312 | G1 | -0,9 | -5,9 | -0,2 | -5,4 | 1 |
| # 08 | 312 | G1 | -1,5 | -4,5 | -1,6 | -4,5 | 1 |
| # 09 | 312 | G1 | 1,0 | -3,4 | 0,3 | -3,2 | 1 |
| # 10 | 312 | G1 | 2,3 | -3,9 | 0,8 | -3,6 | 3 |
| # 11 | 312 | G1 | -3,0 | -3,8 | -3,4 | -3,8 | 1 |
| # 12 | 312 | G1 | -0,2 | -2,5 | -0,5 | -2,6 | 7 |
| # 13 | 312 | G1 | -0,5 | -2,8 | -0,7 | -2,9 | 1 |
| # 14 | 511 | G2 | 57,5 | -21,3 | 46,0 | -15,8 | 3* |
| # 15 | 511 | G2 | 1,6 | 2,7 | 1,8 | 1,9 | 7 |
| # 16 | 511 | G2 | -0,3 | -3,5 | -0,1 | -2,8 | 6 |
| # 17 | 622 | G2 | 0,0 | 3,0 | 0,0 | 3,0 | 6 |
| # 18 | 948 | G2 | 47,6 | 7,1 | 36,9 | 5,4 | 5* |
| # 19 | 948 | G2 | 1,6 | -5,1 | 1,4 | -3,4 | 7 |
| # 20 | 611 | G2 | 7,7 | -2,4 | 5,0 | -2,0 | 1 |
| # 21 | 622 | G2 | 6,3 | 8,2 | 4,2 | 5,7 | 6 |
| # 22 | 622 | G2 | 43,8 | -13,6 | 35,1 | -9,6 | 9* |
| # 23 | 622 | G2 | 57,5 | -6,7 | 46,8 | -4,8 | 4* |
| # 24 | 622 | G2 | 5,5 | 8,1 | 3,6 | 5,5 | 1 |

| Nr. | Unfalltyp | Unfallgruppe | Warnend x [m] | Warnend y [m] | Autonom x [m] | Autonom y [m] | Vermeidbarkeit |
|------|-----------|--------------|------------------|------------------|------------------|------------------|----------------|
| # 25 | 622 | G2 | 48,6 | -10,4 | 38,6 | -8,6 | 3 |
| # 26 | 222 | G3 | 30,0 | 31,4 | 23,7 | 23,0 | 8* |
| # 27 | 232 | G3 | 25,9 | -19,8 | 20,5 | -12,1 | 2 |
| # 28 | 411 | G3 | 44,7 | 3,4 | 33,5 | 2,9 | 4* |
| # 29 | 421 | G3 | 97,3 | 2,4 | 75,7 | 1,8 | 3 |
| # 30 | 112 | G4 | 32,7 | 2,2 | 22,9 | 0,6 | 8* |
| # 31 | 121 | G4 | - | - | - | - | 5* |
| # 32 | 121 | G4 | - | - | - | - | 5* |
| # 33 | 123 | G4 | 2,5 | -2,2 | 1,7 | -2,2 | 3 |
| # 34 | 951 | G5 | 41,1 | 10,3 | 31,1 | 8,1 | 3 |
| # 35 | 951 | G5 | -0,2 | -14,4 | 1,4 | -13,3 | 3 |
| # 36 | 322 | G6 | 34,3 | -2,1 | 25,7 | -1,9 | 3 |
| # 37 | 131 | G6 | 21,4 | -1,4 | 15,4 | -1,2 | 1 |
| # 38 | 191 | G6 | - | - | - | - | 5* |

Die Anforderungen an den Sichtbereich in Längsrichtung und zur Seite eines ideal warnenden bzw. ideal autonom eingreifenden Assistenzsystems ist in Abbildung 72 und Abbildung 73 dargestellt. Das erforderliche Sichtfeld in Längs- und Querrichtung für ein ideales Warnsystem oder ein ideales autonom eingreifendes System basiert auf der vollständigen Vermeidung einer Kollision, unabhängig von örtlichen Sichtbehinderungen, Regelverstößen durch Radfahrer etc. Ein ideales Warnsystem würde eine nach vorne gerichtete Sicht von etwa 98 Metern und eine nach hinten gerichtete Sicht von etwa 18 Metern erfordern. Seitlich müsste ein System in der Lage sein, Radfahrer:innen in einem Umkreis von etwa 31 Metern nach links und 21 Metern nach rechts erkennen können. Diese Anforderungen beziehen sich auf alle Fahrradunfälle und nicht nur auf Unfälle beim Rechtsabbiegen. Ein ideales autonomes System benötigt ein nach vorne gerichtetes Sichtfeld von etwa 76 Metern und ein nach hinten gerichtetes Sichtfeld von etwa 17 Metern. Seitlich müsste das System in der Lage sein, Radfahrer:innen innerhalb eines Bereichs von etwa 23 Metern nach links und etwa 16 Metern nach rechts erkennen können. Bei den genannten Abständen müssten die Lkw Lenker:innen oder das autonome

System eingreifen, um eine Kollision zu verhindern. Dies bedeutet aber auch, dass die Radfahrer:innen bereits vorher vollständig erkannt werden müssen.

Die Anforderungen an einen Abbiegeassistenten unterscheiden sich in Bezug auf das Sichtfeld zur Vermeidung aller untersuchten Radfahrerunfälle ganz erheblich. Um diese Unfälle zu vermeiden, müsste ein ideales Warnsystem oder ein ideales autonomes System mindestens etwa 6 Meter nach rechts, aber auch etwa 18 Meter nach hinten überwachen können. Mit diesen Spezifikationen könnten 13 Unfälle vollständig vermieden werden, sofern die Umstände des Unfalls berücksichtigt werden. Bei drei Unfällen wäre die Kollisionsgeschwindigkeit geringer als die Testgeschwindigkeit gemäß der UN R 151 [71] und wird als nicht explizit vermeidbar gekennzeichnet bzw. wäre nur vermeidbar, wenn ein Assistenzsystem dieses Kriterium ebenfalls erfüllen kann. Ein weiterer Unfall könnte nur verhindert werden, wenn das Assistenzsystem in der Lage wäre, die Radfahrer:innen auch beim Beschleunigen aus dem Stillstand und gleichzeitigem Abbiegen zu detektieren. Bei einem Unfall waren Sichtbehinderungen vorhanden und bei einem Unfall müsste die Fahrlinie der Radfahrer:innen bekannt sein, um den Unfall zu vermeiden.

Abbildung 72: Anforderungen an den Sichtbereich eines ideal warnenden Assistenzsystems

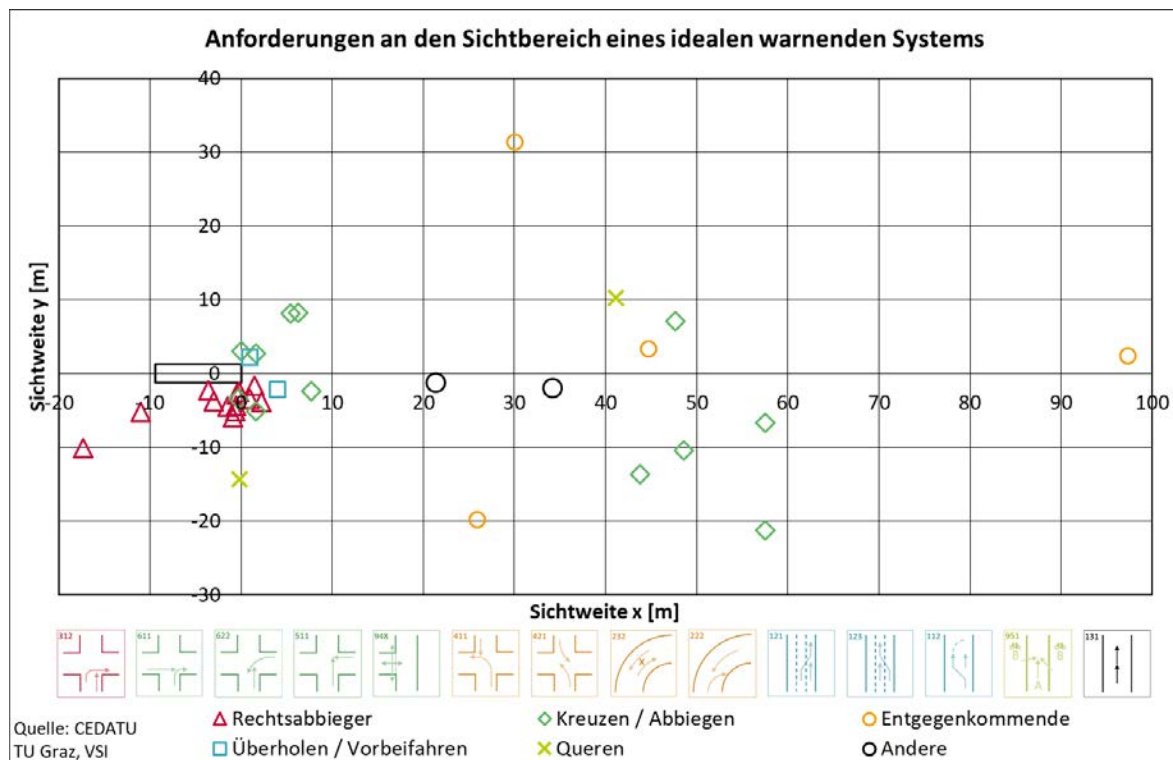
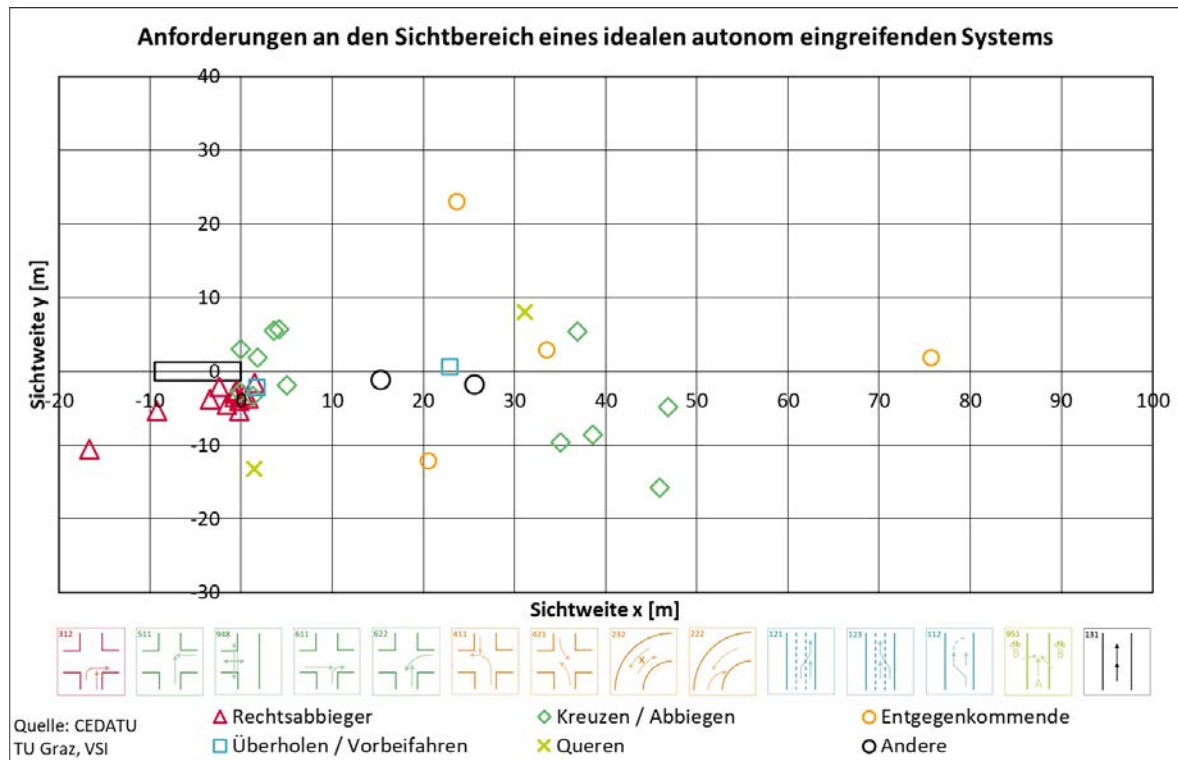


Abbildung 73: Anforderungen an den Sichtbereich eines ideal autonom eingreifenden Assistenzsystems



In Tabelle 41 sind verschiedene Reichweiten eines Assistenzsystems angegeben und die Anzahl der Unfälle, die durch diese Reichweite potenziell vermeidbar werden könnten. Ohne Berücksichtigung der spezifischen Unfallumstände könnten mit einem warnenden Assistenzsystem und einer Sensorreichweite von 10 Metern 50 % der Unfälle potenziell vermieden werden. Bis zu einer Entfernung von etwa 50 bis 60 Metern nimmt der Anteil der Unfälle zu. Bei einer Reichweite von mehr als 60 Metern werden keine weiteren Unfälle durch ein Warnsystem und bei 50 Metern durch ein autonomes System erfasst. Die Unfallanalyse ergab, dass bei einigen Unfällen der Radfahrer gestürzt ist und entweder keinen Kontakt mit dem Lkw hatte oder gegen den Lkw gerutscht ist. Es ist daher nicht möglich, das Potenzial zu hundert Prozent auszuschöpfen.

Tabelle 41: Maximale (theoretische) Wirksamkeit eines Assistenzsystems mit unterschiedlichen Reichweiten und Anteil an Unfällen, welche potenziell durch dieses System verhindert werden könnten, bezogen auf alle untersuchten Unfälle, ohne Berücksichtigung spezifischer

| System | Reichweite | 10 m | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m | 60 m | 70 m | 80 m | 90 m | 100 m |
|-------------------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Warnendes System | Effektivität | 50,0 % | 57,9 % | 63,2 % | 71,1 % | 84,2 % | 89,5 % | 89,5 % | 89,5 % | 89,5 % | 92,1 % |
| | Unfälle | 19 | 22 | 24 | 27 | 32 | 34 | 34 | 34 | 34 | 35 |
| Autonomes System | Effektivität | 52,6 % | 60,5 % | 71,1 % | 84,2 % | 89,5 % | 89,5 % | 89,5 % | 92,1 % | 92,1 % | 92,1 % |
| | Unfälle | 20 | 23 | 27 | 32 | 34 | 34 | 34 | 35 | 35 | 35 |

Neben den Unfällen, bei denen der Radfahrer gestürzt ist, gibt es weitere Faktoren, die eine Unfallvermeidung beeinflussen. Werden alle in Tabelle 40 genannten Umstände berücksichtigt, können 21,1 % (8 von 38) der Kollisionen vermieden werden, wenn die Sensorreichweite 10 m beträgt (Tabelle 42, in Tabelle 43 sind die entsprechenden Werte für ein autonom eingreifendes Assistenzsystem zusammengefasst). Wenn jedoch die Umstände des Unfalls berücksichtigt werden könnten, würde sich das Potenzial zur Unfallvermeidung erhöhen. Die Anzahl der vermeidbaren Unfälle in der Kategorie "Vermeidung" wird als Referenz genommen. Jeder Wegfall eines Unfallumstandes würde das Potenzial eines Assistenzsystems erhöhen. Bei einem Abstand von 10 Metern gab es jedoch keine Sichtbehinderungen, Regelverstöße der Radfahrer:innen oder andere Umstände, die sich auf die Wirksamkeit auswirken würden. Wäre jedoch die Fahrlinie der Radfahrer:innen bekannt, könnte die Wirksamkeit des Assistenzsystems von acht potenziell vermeidbaren Unfällen auf zehn (26,3 %) gesteigert werden. Für die Umstände Geschwindigkeit oder Anfahren könnte die Wirksamkeit auf 36,8 % (von 8 auf 14) bzw. 28,9 % (von 8 auf 11) erhöht werden. Bei infrastrukturellen Sichtbehinderungen wie Büsche, Hecken, Zäunen etc. kann auch ein Assistenzsystem die Radfahrer:innen nicht erkennen. Weitere wesentliche Umstände sind Regelverstöße der Radfahrer:innen. Unter Berücksichtigung aller Unfallumstände könnten insgesamt 19 Unfälle mit einer Reichweite des Assistenzsystems von 10 Metern abgedeckt werden (Tabelle 41). Wenn das System nur dann warnen oder eingreifen muss, wenn keine Möglichkeit mehr besteht, dass die Radfahrer:innen rechtzeitig vor der Überquerung anhalten, ist eine Unfallvermeidung nicht mehr möglich. Andernfalls würden Fehlalarme zunehmen und die Akzeptanz solcher

Systeme signifikant verringern. Mit einer größeren Reichweite des Systems und unter Berücksichtigung der genannten Umstände könnte die Wirksamkeit des Systems jedoch deutlich erhöht werden.

Tabelle 42: Maximale (theoretische) Wirksamkeit eines warnenden Assistenzsystems mit unterschiedlichen Reichweiten und Anteil an Unfällen, welche potenziell durch dieses System verhindert werden könnten, bezogen auf alle untersuchten Unfälle, ohne Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände.

| Unfallumstand | 10 m | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m | 60 m | 70 m | 80 m | 90 m | 100 m |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Vermeidung | 8 | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Sichtbeeinträchtigung | 8 | 10 | 12 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Fahrlinie Radfahrer:innen | 10 | 12 | 13 | 14 | 16 | 17 | 17 | 17 | 17 | 18 |
| Regelverstoß Radfahrer:innen | 8 | 9 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Niedrige Geschwindigkeit | 14 | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |
| Beschleunigen aus Stillstand | 11 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Andere Umstände | 8 | 9 | 10 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

Tabelle 43: Maximale (theoretische) Wirksamkeit eines autonom eingreifenden Assistenzsystems mit unterschiedlichen Reichweiten und Anteil an Unfällen, welche potenziell durch dieses System verhindert werden könnten, bezogen auf alle untersuchten Unfälle, ohne Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände.

| Unfallumstand | 10 m | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m | 60 m | 70 m | 80 m | 90 m | 100 m |
|-------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| Vermeidung | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| Sichtbeeinträchtigung | 9 | 11 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Fahrlinie Radfahrer:innen | 11 | 13 | 14 | 16 | 17 | 17 | 17 | 18 | 18 | 18 |
| Regelverstoß Radfahrer:innen | 9 | 10 | 10 | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| Niedrige Geschwindigkeit | 9 | 10 | 10 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Beschleunigen aus Stillstand | 15 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 | 16 |

| Unfallumstand | 10 m | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m | 60 m | 70 m | 80 m | 90 m | 100 m |
|------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Andere Umstände | 12 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |

Ein warnendes Assistenzsystem mit einem Sichtfeld von 360° und einer Reichweite von 10 Metern wäre in der Lage, 19 Unfälle zu erfassen. 11 dieser Unfälle betreffen nach rechts abbiegende Lkw und geradeaus fahrende Radfahrer:innen. Nur sechs davon könnten ohne weitere Einschränkungen wie Sichtbehinderungen, Informationen über die Fahrbahn des Radfahrers, Geschwindigkeit usw. vermieden werden (Tabelle 44, die potenziell vermeidbaren Unfälle für ein autonom eingreifendes Assistenzsystem und den genannten Spezifikationen sind in Tabelle 45 zusammengefasst). Gruppe G2 bezieht sich auf die Einbiege- und Kreuzungsunfälle und ist die zweitgrößte Gruppe von Unfällen, die durch ein Assistenzsystem mit einer Reichweite von 10 Metern verhindert werden können. Die beiden Hauptunfallursachen sind eine niedrige Geschwindigkeit und Beschleunigen aus dem Stillstand, so dass insgesamt sieben Unfälle verhindert werden könnten, wenn diese beiden Faktoren berücksichtigt werden.

Tabelle 44: Anzahl an Unfällen, unterteilt nach Unfallgruppen, welche potenziell mit einem warnenden Assistenzsystem mit einer Reichweite von 10 Metern und einer Rundum-Sicht unter Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände vermeidbar wären.

| Unfallumstand | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | Gesamt |
|-------------------------------------|----|----|----|----|----|----|--------|
| Vermeidung | 6 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 |
| Sichtbeeinträchtigung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fahrlinie Radfahrer:innen | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| Regelverstoß Radfahrer:innen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Niedrige Geschwindigkeit | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Beschleunigen aus Stillstand | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Andere Umstände | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Tabelle 45: Anzahl an Unfällen, unterteilt nach Unfallgruppen, welche potenziell mit einem autonom eingreifenden Assistenzsystem mit einer Reichweite von 10 Metern und einer Rundum-Sicht unter Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände vermeidbar wären.

| Unfallumstand | G1 | G2 | G3 | G4 | G5 | G6 | Gesamt |
|------------------------------|----|----|----|----|----|----|--------|
| Vermeidung | 7 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 |
| Sichtbeeinträchtigung | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Fahrlinie Radfahrer:innen | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| Regelverstoß Radfahrer:innen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Niedrige Geschwindigkeit | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 6 |
| Beschleunigen aus Stillstand | 1 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Andere Umstände | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Bezogen auf alle untersuchten Unfälle würde ein Assistenzsystem mit Rundum-Sicht und einer (fiktiven) unendlichen Reichweite 26,3 % der Unfälle von Lkw und Radfahrer:innen verhindern können. Werden alle Unfälle, die auf Basis der bestehenden Prüfbedingungen der UN R 151 [71] und UN R 159 [72] als möglicherweise vermeidbar eingestuft werden, ebenfalls durch das Assistenzsystem abgedeckt, würde sich die potenzielle Wirksamkeit auf 50,0 % erhöhen. Wenn auch örtliche Sichtbehinderungen beseitigt werden können, könnte die Wirksamkeit auf 57,9 % erhöht werden. Die Effektivität könnte auf 65,8 % gesteigert werden, sofern die Radfahrer:innen die Verkehrsregeln einhalten, also z. B. die Vorfahrt nicht missachten. Schwierig ist allerdings die Absicht und das Verhalten der Radfahrer:innen festzustellen. Hier fehlt es an ausreichender Kommunikation zwischen den Beteiligten.

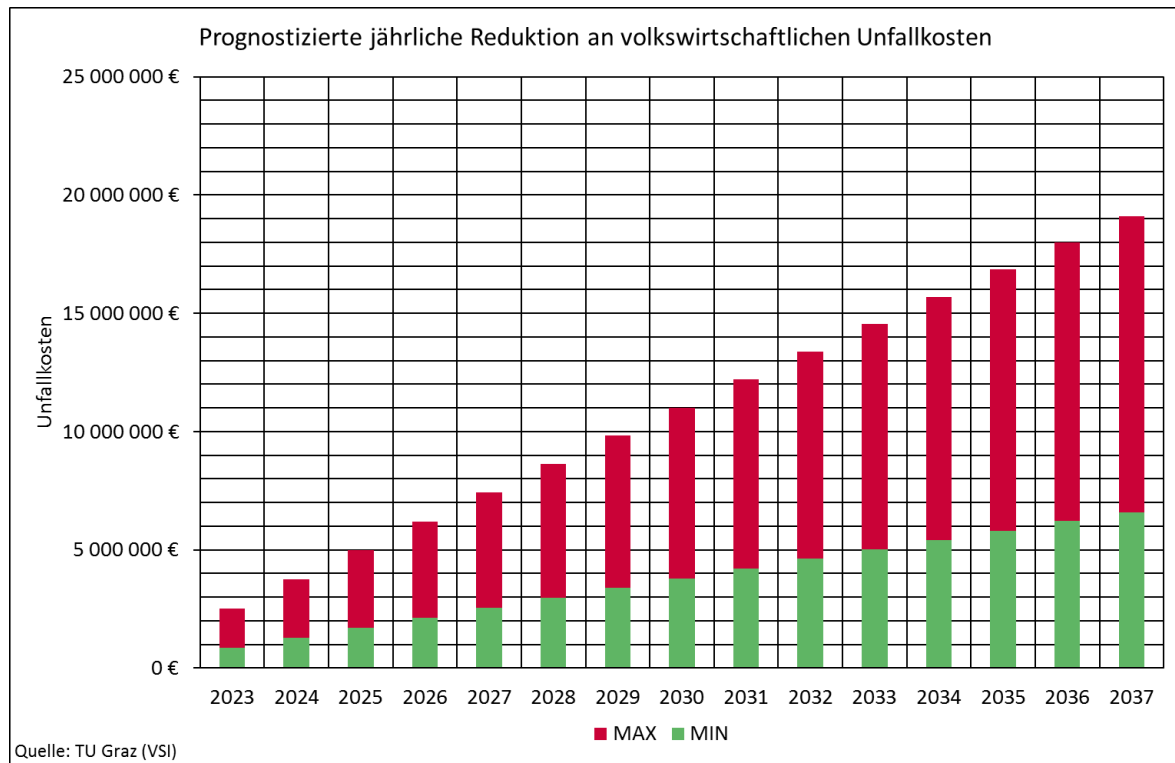
Nur wenige Studien in der Literatur beziehen sich auf das Vermeidungspotenzial von Totwinkel-Assistenten bei Lkw- und Fahrradunfällen. Hoedemaeker et al. [6] schätzen das Potenzial eines Totwinkel-Assistenten auf etwa 71 %. Silla et al. [9] schätzt das Potenzial auf ca. 78 %. Nach Wang und Wei [7] hätte ein Totwinkel-Assistenten ein Potenzial von 10 %. Andere Studien beziehen auch Fußgänger:innen mit ein. Basierend auf einer Studie (NDS: Naturalistic Driving Study) zur Potenzialschätzung eines nachträglich eingebauten Abbiegeassistenten in Lkw und Bussen, schätzen Tomasch und Smit [65] das Potenzial eines Totwinkel-Assistenten auf bis zu einem Drittel. Kühn et al. [8] schätzt das Potenzial zur Unfallvermeidung zwischen Lkw und Radfahrer:innen oder Fußgänger:innen auf 42,8 %.

4.7 Volkswirtschaftliche Kostenabschätzung

Das untersuchte Assistenzsystem wurde nicht ausschließlich auf den Rechtsabbiegeunfall bezogen, sondern es wurden alle in der Unfalldatenbank CEDATU verfügbaren Lkw-Fahrrad-Unfälle analysiert. Die häufigsten Unfälle zwischen Lkw und Fahrrad waren an einer Kreuzung und der häufigste Unfalltyp war ein rechtsabbiegender Lkw. Wie die Effektivitätsbewertung gezeigt hat, können Kollisionen mit Radfahrer:innen ohne Kenntnis der Fahrlinie nur schwer bis gar nicht vermieden werden. Weitere Aspekte, welche die Effektivität reduzieren sind infrastrukturelle Sichtbehinderungen und Regelmisssachtungen der Radfahrer:innen.

Basierend auf den durchschnittlichen Unfallzahlen der Jahre 2012 bis 2022 und den angenommenen Zuwachsraten an Abbiegeassistenzsystemen ab in Kraft treten der EU-Richtlinie, sind die prognostizierten jährlichen volkswirtschaftlichen Unfallfolgekosten in Abbildung 74 dargestellt. Beispielsweise würden sich 2030 die volkswirtschaftlichen Unfallkosten zwischen 4 Millionen Euro und 11 Millionen Euro im Vergleich zu 2022 reduzieren. Ab einer vollständigen Marktdurchdringung im Jahre 2037, welche auf den hier getätigten Annahmen beruhen, wäre eine Reduktion an volkswirtschaftlichen Folgekosten zwischen ca. 7 Millionen und 19 Millionen Euro zu erwarten. In wieweit sich diese Prognosen bestätigen, kann erst in künftigen Unfalldatenauswertungen evaluiert werden.

Abbildung 74: Prognostizierte Reduktion an jährlichen volkswirtschaftlichen Unfallkosten durch unterschiedliche Marktdurchdringungsraten und unterschiedlichen Wirksamkeiten



Entsprechend der Unfalltypen-Obergruppen profitieren insbesondere Unfälle an Kreuzungen von Lkw Radfahrer:innen-Assistenzsystemen, unabhängig davon, ob die Systemkonfigurationen optimal sind (Abbildung 75 und Abbildung 76). Unter optimale Systemkonfiguration werden jene Systeme verstanden, welche bereits ab der Beschleunigung, also aus dem Stillstand heraus, aktiv sind, auch ohne Blinker funktionieren, etc. Bei optimalen Sensorkonfigurationen würden am meisten Unfälle beim Rechtsabbiegen profitieren. Zählt man Grundstücks-, bzw. Hauszufahrten auch zu Kreuzungssituationen, so würden fast vier Fünftel der volkswirtschaftlichen Unfallfolgekosten zu diesem Unfalltyp zugeordnet werden können.

Abbildung 75: Anteil der volkswirtschaftlichen Unfallkosten nach Unfalltypen bei optimaler Systemkonfiguration

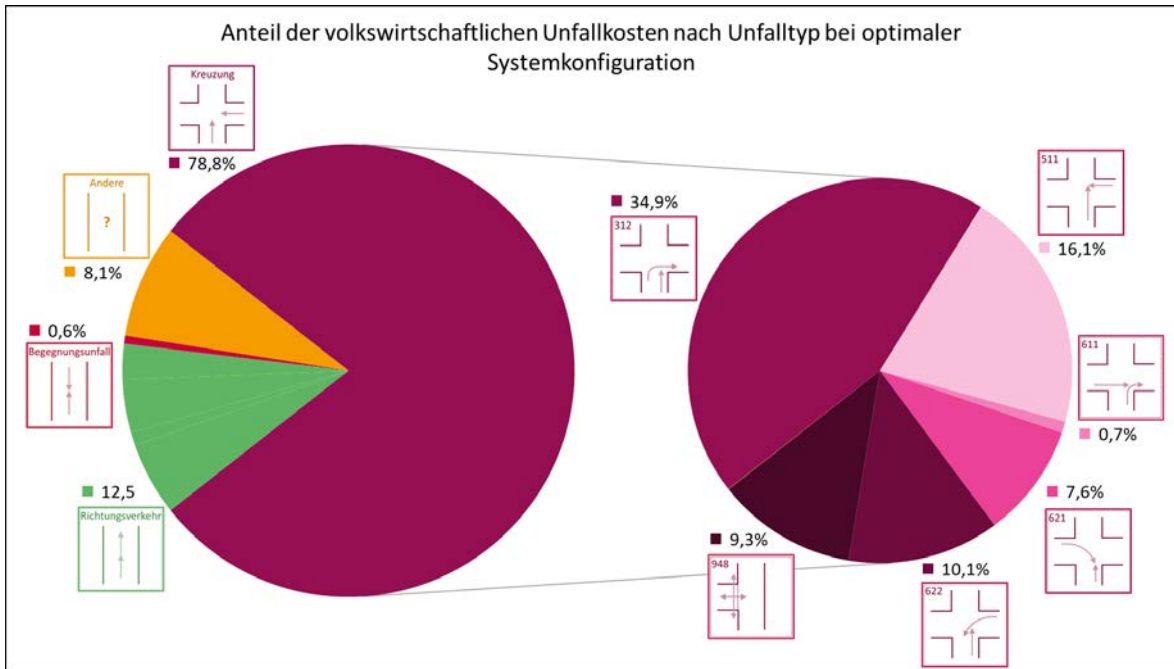
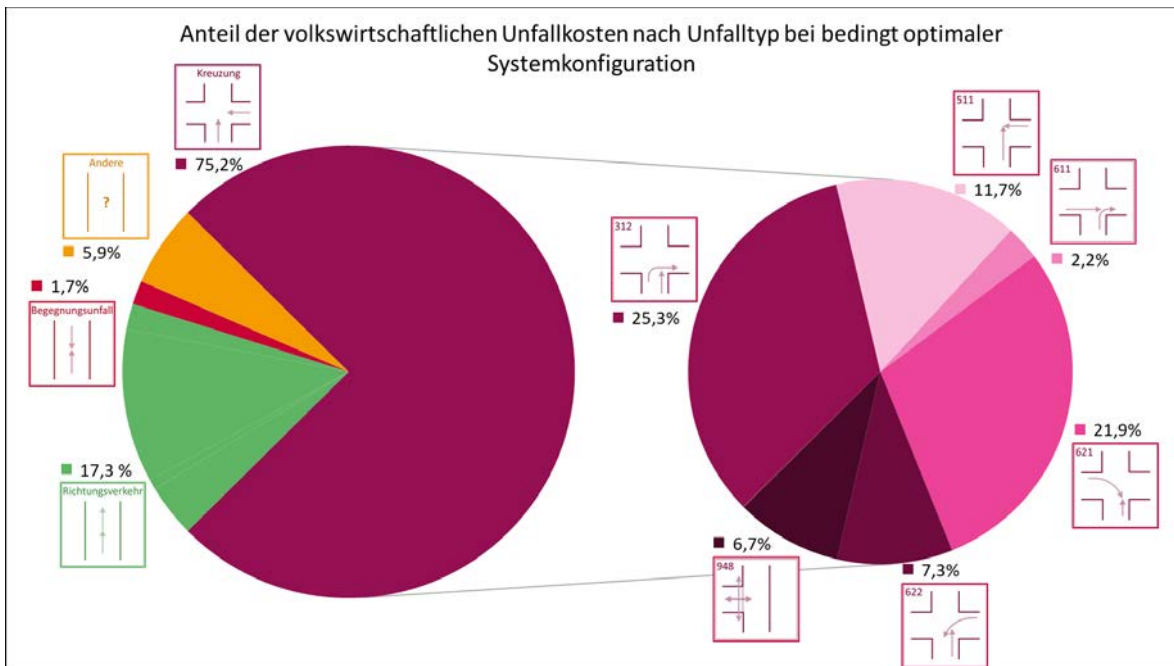


Abbildung 76: Anteil der volkswirtschaftlichen Unfallkosten nach Unfalltypen bei bedingt optimaler Systemkonfiguration



4.8 SWOT Analyse

Die nachfolgende SWOT-Analyse fasst die Potenziale von drei Assistenzsystemen – Totwinkel-Assistent für Lkw und Rad sowie Kollisionsassistent für Rad- zusammen.

In den folgenden Kapiteln wird mit den in Tabelle 46 benannten Bezeichnungen, gekennzeichnet, aus welchem Projektteil die genannten Punkte stammen.

Tabelle 46: Relevante Datenquelle zur SWOT-Analyse

| Bezeichnung | Ergebnis aus |
|-------------|------------------------|
| (a) | Fokusgruppeninterviews |
| (b) | Online-Befragung |
| (c) | Unfallsimulation |

4.8.1 Totwinkel-Assistent – Lkw

- Stärken
 - Kontinuierliche Überwachung des Toten Winkels (c)
 - Bis zu ca. 58 % an Verkehrsunfällen potentiell vermeidbar (c)
- Schwächen
 - Nicht voll ausgereift
 - Mangelndes Vertrauen in die Technik (a)
 - Höhere Anschaffungskosten (a)
 - Einschulung in die Systeme: mehr als ein Viertel der Befragten sehen Verbesserungspotential bei der Einschulung in Systeme (b)
- Chancen
 - Führt generell zu defensiverer Fahrweise (a)
 - Vermeidung von Unfällen: 56% der Lkw-Fahrer:innen gehen davon aus, dass Fahrassistenzsysteme Unfälle verhindern können (b)
 - Marktdurchdringung: 40% der Interviewten Lkw-Fahrer:innen verfügten bereits über einen Totwinkel-Assistenten (b)

- Gefahren
 - Überforderung zunehmend mit der Fülle an Assistenzsystemen (a)
 - Falsche Prioritätensetzung: Getrennte Infrastruktur hätte höheres Sicherheitspotential (a)
 - Ablenkung: 33% der Befragten denken, dass Totwinkel-Assistenten vom Fahren ablenken (b)
 - 48% lehnen eingreifende Systeme ab (b)
 - Geringe Bereitschaft mehr für Lkw mit FAS zu zahlen: 78% der Befragten wäre nicht dazu bereit, mehr für einen Lkw mit FAS zu bezahlen (b)

4.8.2 Totwinkel-Assistent – Fahrrad

- Stärken
 - Potential zur Erhöhung der Sicherheit: 45% denken, dass es ihre Sicherheit erhöht (a)
 - Verringerung von Unfällen (a)
 - Entspannteres Fahren (a)
 - Sensibilisierung für toten Winkel (a)
- Schwächen
 - Delegation der Verantwortung: Radfahrer:innen wollen nicht die Verantwortung dafür tragen, die Unfälle zu verhindern, wenn sie selbst nicht die Gefahr darstellen (a)
 - Mangelndes Vertrauen in die Technik (a)
 - Hohe Anschaffungskosten (a)
 - Fahrrad wird technisch komplexer (a)
 - Geringe Akzeptanz: Knappe 10% der Radfahrer:innen würden sich einen Totwinkel-Assistenten für ihr Rad kaufen (b)
- Chancen
 - Interessante Möglichkeit, die eigene Sicherheit zu erhöhen (a)
 - Sicherheitsfeature für Radfahrer:innen, die sich unsicher im Straßenverkehr fühlen (a)
- Gefahren
 - Lenkt vom Fahren ab (a)
 - Kontrollverlust: Radfahrer:innen wollen die Kontrolle behalten (a)
 - Überforderung: 43% der Radfahrer:innen denken, dass Radassistenzsysteme beim Fahren den/die Lenker:in überfordern würden (b)

4.8.3 Kollisions-Assistent – Fahrrad

- Stärken
 - Potential zur Erhöhung der Sicherheit: 36% denken, dass es ihre Sicherheit erhöht (a)
 - Verringerung von Unfällen (a)
 - Entspannteres Fahren (a)
- Schwächen
 - Delegation der Verantwortung: Radfahrer:innen wollen nicht die Verantwortung dafür tragen, die Unfälle zu verhindern, wenn sie selbst nicht die Gefahr darstellen (a)
 - Mangelndes Vertrauen in die Technik (a)
 - Hohe Anschaffungskosten (a)
 - Fahrrad wird technisch komplexer (a)
 - Geringe Akzeptanz: Ein Achtel der interviewten Radfahrer:innen würden sich einen Kollisions-Assistenten für ihr Rad kaufen (b)
- Chancen
 - Interessante Möglichkeit, die eigene Sicherheit zu erhöhen, vor allem für Radfahrer:innen, die sich unsicher im Straßenverkehr fühlen (a)
- Gefahren
 - Lenkt vom Fahren ab (a)
 - Kontrollverlust: Radfahrer:innen wollen die Kontrolle behalten (a)
 - Überforderung: 43% der Radfahrer:innen denken, dass Radassistenzsysteme beim Fahren den/die Lenker:in überfordern würden (b)

5 Maßnahmen und Empfehlungen

Die Empfehlungen lassen sich auf Basis der Akzeptanzanalyse und Simulationen sowie Expert:inneninterviews ableiten. Generell kann festgehalten werden, dass in den qualitativen und quantitativen Erhebungen als auch von den Expert:innen betont wurde, dass es ein Bündel an Maßnahmen benötigt, um Unfälle zwischen Rad und Lkw zu verhindern. Im optimalen Fall ist dies ein Zusammenspiel zwischen Infrastrukturmaßnahmen, bewusstseinsbildenden Maßnahmen und technischen Maßnahmen.

In der Folge werden die Empfehlungen nach den Kategorien technische, infrastrukturelle und bewusstseinsbildende Empfehlungen aufgegliedert dargestellt.

5.1 Technische Empfehlungen

Prinzipiell kann davon ausgegangen werden, dass die verpflichtende Ausstattung von Lkw mit Abbiege- und Totwinkelassistenten gut angenommen wird. Assistenzsysteme werden auch von den Expert:innen als ein Pfeiler für die Erhöhung der Verkehrssicherheit von Radfahrer:innen gesehen. Hier bedarf es laut Meinung der Expert:innen einer permanenten Weiterentwicklung der Systeme:

Einer Verbesserung der Objekterkennung und Identifizierung

„Die Assistenzsysteme sind beliebt und akzeptiert. Sie müssen nur gut funktionieren. Wenn die Systeme sensibel sind und ständig piepsen und abbremesen, dann werden sie deaktiviert und einfach nicht mehr beachtet.“ (Interview 6)

Aktivität der Sensoren beim Beschleunigen aus dem Stillstand

Assistenzsysteme müssen auch bei niedriger Geschwindigkeit und gleichzeitigem Abbiegen auf die Radfahrer:innen reagieren und warnen bzw. autonom eingreifen.

Testgeschwindigkeit für Totwinkel-Assistent bzw. Abbiegeassistent

Erhöhung der Testgeschwindigkeit der Radfahrer:innen auf 30 km/h.

5.2 Infrastrukturelle Empfehlungen

Guten Infrastrukturbedingungen wird von den Expert:innen als auch von den Befragten Rad- und Lkw-Fahrer:innen ein großes Potential zugeschrieben, um Unfälle zwischen Radfahrer:innen und Lkw-Fahrer:innen zu verhindern. Folgende Empfehlungen wurden erwähnt:

Vorgezogene Haltelinie (Advanced Stopping Line, ASL), (Advanced) Bike-Box, Kennzeichnung Bereich „Toter Winkel“

Als infrastrukturelle Maßnahme hat sich die vorgezogene Haltelinie für den Fahrradverkehr bewährt und wurde bereits in unterschiedlichen Studien evaluiert und es wurden positive Effekte in Bezug auf Reduktion von Konflikten und Unfällen festgestellt. Vorgezogene Haltelinien wurden auch in den Fokusgruppeninterviews mehrfach genannt.

Abbildung 77: Verbreiterte vorgezogene Haltelinie („Advanced“ Bike-Box) mit exemplarisch in grün gekennzeichnetem Bereich des „Toten Winkels“ im Frontbereich eines Lkw

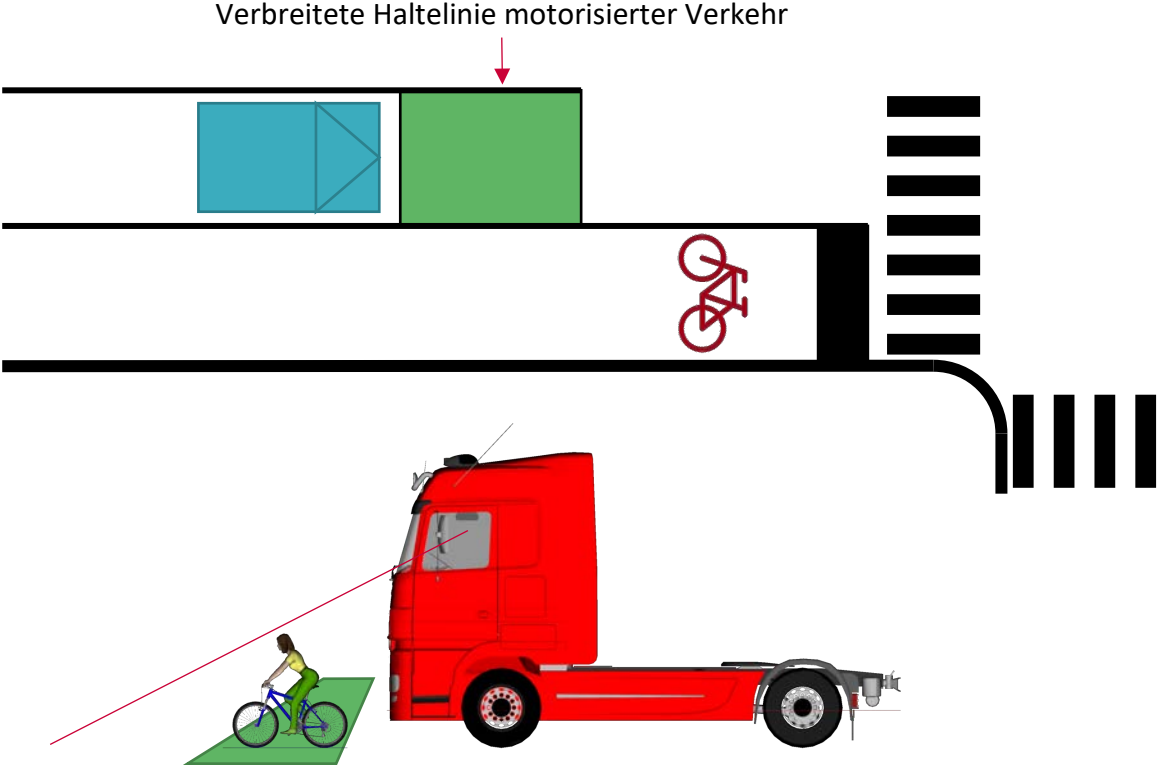
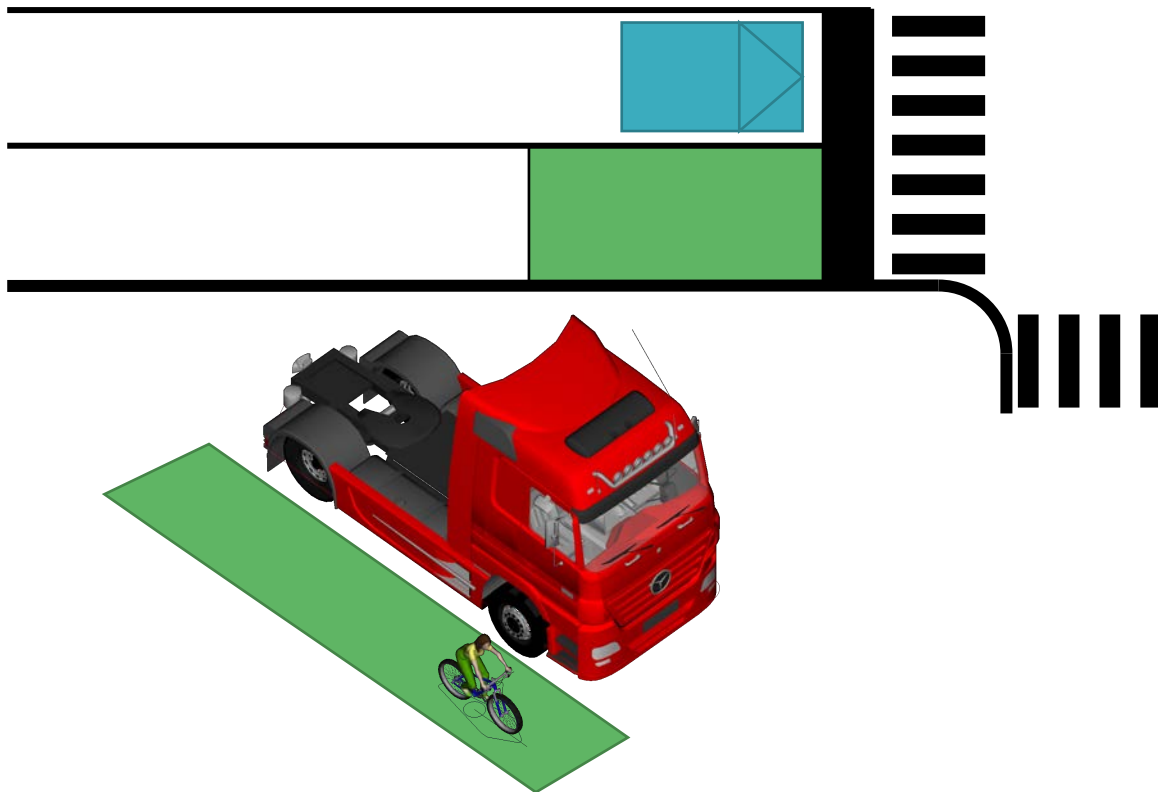


Abbildung 78: Exemplarische Kennzeichnung des „Toten Winkel“ beim Rechtsabbiegen



Konsequente Trennung des Rad- vom Kfz-Verkehr auf Hauptstraßen

Diese Maßnahme wurde sowohl von den Radfahrer:innen als auch von den Lkw-Lenker:innen benannt.

Verbesserung der Sichtbeziehungen an Kreuzungen

Abbiegespur für Radfahrer:innen bei Kreuzungen farblich kennzeichnen; weniger Verkehrsschilder, Parkverbotszone im Kreuzungsbereich auf mehr als 5m erhöhen.

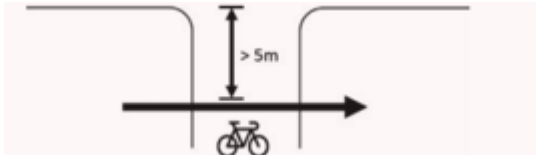
Vermeehrt Bodenmarkierungen einsetzen

Bodenmarkierungen sollten laut Expert:innen bei unübersichtlichen Kreuzungen vermehrt zum Einsatz kommen (z.B. Warnhinweise z.B. Radfahrer:innen kreuzen oder Vorsicht Lkw-Verkehr).

„Durch gute Planung können Unfälle verhindert werden. Die Rahmenbedingungen müssen jedoch passen, eine getrennte Infrastruktur für Radfahrer:innen wirkt bei gleichzeitiger übersichtlicher Gestaltung des Straßenraumes“ (Expert:interview 6)

Abgesetzte Radwege

In der RVS ist festgehalten, dass abgesetzte Radwege nur dann gemacht werden dürfen, wenn der Radweg im Kreuzungsbereich mind. 5 m abgesetzt ist.



In den Niederlanden werden abgesetzte Radwege kombiniert mit anderen gestalterischen Maßnahmen (z.B. „Ohrwascheln“).

Abbildung 79: Abgesetzter Radweg [144]



Getrennte Ampelschaltungen – Rundum Grün

5.3 Bewusstseinsbildende Empfehlungen

Sensibilisierungskampagnen für mehr Rücksichtnahme im Verkehr

In den Fokusgruppen und der Online-Befragung wünschen sich beide Seiten einen respektvolleren und rücksichtsvolleren Umgang im Verkehr. Rad- und Lkw-Fahrer:innen befürworten deshalb Kampagnen, die Verkehrsteilnehmer:innen sensibilisieren und zu mehr Rücksicht aufrufen. Beide Seiten wünschen sich zudem, dass die jeweils andere Seite einmal die Perspektive der anderen einnimmt, was laut Expert:innen erreicht werden kann durch:

- Kampagnen in Medien (Social Media, Radfahrzeitschriften, Spezielle Blogs von Radfahrer:innen, Radlobby, Radzusteller, Tafeln an kritischen Kreuzungen etc.) „Die Botschaft: mehr Zurückhaltung bei Lkws, ist sicher nicht falsch“ (Expert:inneninterview 2)
- Events: Information auf Verkehrssicherheitstagen, Mobilitätstagen, partymäßige Events wie Pub-Quiz zur Verkehrssicherheit, etc.
- Installationen (z.B. Dänemark 3D Installationen in Bezug auf „Dooring“)
- Vernetzung mit anderen Institutionen z.B. E-Scooter Betreiber in Bezug auf Kampagnen

Auch eine verbesserte Kommunikation zwischen Verkehrsteilnehmer:innen sollte angeregt werden. Den Perspektivenwechsel zu forcieren, wird auch von den Expert:innen als wichtige Maßnahmen erachtet.

Bewusstseinsbildung für Radfahrer:innen

Da die Problematik und die tatsächliche Größe des toten Winkels von Lkws vielen Radfahrer:innen nicht komplett bewusst ist, wäre eine Intensivierung von Bewusstseinsbildung in diese Richtung auch laut Expert:innen wünschenswert, sei es durch die Integration in die Radfahrausbildung oder durch reichweitenstarke Kampagnen. Aufgrund der Gefahr die von Lkws ausgeht, ist es wichtig Radfahrer:innen die Sichteinschränkungen von Lkw-Fahrer:innen aufzuzeigen. Mobilitätserziehung ab dem Kindergarten mit einem Fokus auf den Lkw-Verkehr: Wie verhalte ich mich gegenüber Lkws? Die Expert:innen betonen, dass die Mobilitätserziehung nicht in der Volksschule enden darf, sondern auch in der Sekundarstufe weitergeführt werden sollten und auch

z.B. Radfahrkurse in der Sekundarstufe gefördert werden sollte. „Radfahrkompetenz entsteht nur durch Übung.“ (Expertinneninterview 2)

Bewusstseinsbildung für Lkw-Fahrer:innen

Die Befragung ergab eklatante Unterschiede in der Wahrnehmung des eigenen Verhaltens von Lkw-Fahrer:innen und dem von Radfahrer:innen wahrgenommenen bezüglich Geschwindigkeit und Überholabständen. Auch hier empfiehlt sich Bewusstseinsbildung für Lkw-Fahrer:innen, um die Ängste von und Gefahren für Radfahrer:innen besser nachvollziehen zu können und das Fahrverhalten zukünftig dementsprechend anzupassen. Dies kann beispielsweise auch via Simulationen, VR etc. durchgeführt werden und kann Teil einer Ausbildung sein.

Weiterhin ist aufgrund der großen Skepsis von Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsystemen gegenüber Assistenzsystemen weitere Bewusstseinsarbeit nötig, um diese von einer Nutzung zu überzeugen. Von den Expert:innen wird vor allem auch in der Weiterbildung ein Potential zur Bewusstseinsbildung gesehen. Lkw-Fahrer:innen haben eine Weiterbildungspflicht von 35 Stunden innerhalb von fünf Jahren. Es sollte jedoch gewährleistet werden, dass vermittelte Inhalte bei den Weiterbildenden ankommen. „Es wird nicht kontrolliert, ob man auch geistig anwesend ist. Man sitzt in einem fünfstündigen Kurs mit 100 Teilnehmenden und kann die Weiterbildung auch als Schlafstunde verwenden.“ (Expert:inneninterview 6)

Bewusstseinsbildung zur Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Assistenzsysteme

Die Simulationsuntersuchungen haben die potenzielle Wirksamkeit von Assistenzsystemen aufgezeigt. Hier empfiehlt es sich einerseits die Systeme weiter zu verbessern, um vermeintliche Fehlermeldungen zu reduzieren und Fuhrparkmanager und Unternehmen auf die positiven Vorteile hinzuweisen.

Ausführliche Einschulung in die Assistenzsysteme

Obwohl viele der Lkw-Fahrer:innen angaben, eine Einschulung in die Assistenzsysteme erhalten zu haben, kam in den Interviews zum Vorschein, dass viele dieser Einführungen nicht ausführlich waren, und die Lkw-Fahrer:innen sich zum Teil nicht sonderlich gut mit den Assistenzsystemen auskannten. Hier wird empfohlen, eine ausführliche Einführung in

alle Assistenzsysteme zu ermöglichen. Lkw-Fahrer:innen sollten die Grenzen der Systeme kennen, wissen wie Assistenzsysteme optimal eingesetzt werden können. Ein besseres Wissen über die Funktionsweise kann zudem zu einem höheren Vertrauen in das System führen.

6 Zusammenfassung

Obwohl es eine große Anzahl von Spiegeln am Lkw gibt, sind die Sichtverhältnisse im Fahrzustand nicht mehr optimal. Der Grund dafür ist, dass die Spiegel gemäß den europäischen Vorschriften im stehenden Zustand bewertet werden [55]. Zudem benötigen die Lkw-Lenker:innen eine gewisse Zeit, um die Spiegel richtig zu überprüfen, was bis zu vier Sekunden dauern kann [57]. Ein Totwinkel-Assistent kann jedoch den toten Winkel kontinuierlich überwachen. Dennoch ist es nicht möglich, alle Unfälle mit Radfahrer:innen zu verhindern. Die größten Herausforderungen sind Sichtbehinderungen durch beispielsweise Zäune, Büsche, Hecken etc., Regelverstöße der Radfahrer:innen und fehlende Informationen über die Fahrlinie der Radfahrer:innen. Bei bestimmten Unfalltypen, insbesondere bei Gegenverkehr, muss die Absicht der Radfahrer:innen, die Fahrspur des Lkw zu kreuzen, im Voraus bekannt sein, um eine Kollision zu vermeiden. Andernfalls ist es aufgrund physikalischer Grenzen, z. B. der Straßenreibung und daher der maximal möglichen Verzögerung, nicht möglich, eine Kollision zu vermeiden. Auch bei den Fokusgruppeninterviews wurde von den Lkw-Lenker:innen das schwer abschätzbare Verhalten von Radfahrer:innen angemerkt. Ebenso eine teilweise nichtregelkonforme Fahrweise und Kreuzen bzw. Queren ohne zu schauen.

Folgende Forschungsfragen wurden durch die gegenständliche Studie gestellt:

Welches Potential haben Assistenzsysteme bzw. inwieweit können Assistenzsysteme Unfälle zwischen Radfahrer:innen und Lkw verhindern bzw. deren Folgen verringern, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Marktdurchdringung sowie im kurz, mittel- und langfristigen Zeithorizont?

Die potenzielle Wirksamkeit eines Assistenzsystems zur Vermeidung einer Kollision von Lkw und Radfahrer:innen wird zwischen 26,3 % und 57,9 % geschätzt, je nachdem, ob die ermittelten spezifischen Unfallumstände berücksichtigt werden können. Das größte Potenzial ergibt sich für Unfällen an Kreuzungen und hier wiederum bei Unfällen mit rechtsabbiegenden Lkw und geradeaus fahrenden Radfahrer:innen. Ebenso könnten alle weiteren Unfälle an Kreuzungen, an welchen die direkte Sicht der Lkw-Lenker:innen auf die Radfahrer:innen nicht gegeben ist, zumindest teilweise verhindert werden. Je nach

Ausstattungsgrad der Lkw mit einem entsprechenden Assistenzsystem, wäre langfristig (vollständige Marktdurchdringung von einhundert Prozent wären ca. 15 Jahre), eine Reduktion an volkswirtschaftlichen Unfallkosten zwischen ca. 7 Millionen und 19 Millionen Euro zu erwarten. Mittelfristig (2030) wäre mit einer Reduktion an volkswirtschaftlichen Unfallkosten zwischen 4 Millionen Euro und 11 Millionen Euro zu rechnen.

In-wie-weit liegt eine Akzeptanz zur Ausrüstung und Verwendung von Assistenzsystemen im Lkw und bei Radfahrer:innen vor?

Assistenzsystemen sind bei den befragten Lkw-Lenker:innen mit 40 % bereits weit verbreitet. Der Großteil (87 %) der Lkw-Lenker:innen findet auch, dass Assistenzsysteme das Potenzial haben, Unfälle zu vermeiden und dass die Sicherheit für Radfahrer:innen dadurch erhöht wird (75 % der Befragten). Das Vertrauen in derartige Systeme ist im Vergleich dazu allerdings doch eher niedrig. Nur 52 % der Lkw-Lenker:innen, welche ein Assistenzsystem in ihrem Fahrzeug haben, vertrauen dem System und lediglich 12 % der Lkw-Lenker:innen ohne Assistenzsystem. Mit zunehmendem Alter und Fahrerfahrung ist aber auch ein erhöhtes Vertrauen in ein solches System gegeben. Knapp 30 % der Lkw-Lenker:innen würden gerne Assistenzsysteme in ihrem Lkw haben.

Radfahrer:innen würden eine verpflichtende Ausstattung von Lkw mit Assistenzsystemen befürworten (94 %) und sehen dadurch auch eine Verbesserung ihrer eigenen Sicherheit (87 %). Ein Assistenzsystem bei ihrem Fahrrad findet nur bei ca. 12 % der Radfahrer:innen eine Zustimmung, wobei ältere Radfahrer:innen gegenüber Assistenzsystemen offener sind als jüngere, sowie auch Radfahrer:innen, welche bereits einen Unfall hatten. Am ehesten wäre ein Assistenzsystem auf einem E-Bike vorstellbar.

Welche negativen Effekte von Assistenzsystemen treten auf?

Etwas mehr als die Hälfte der Lkw-Lenker:innen stimmten der Aussage zu: „Wenn Radfahrer wissen, dass der Lkw einen Totwinkel-Assistenten hat, werden sie weniger vorsichtig fahren“. Weitere negative Effekte der derzeitigen Assistenzsysteme sehen die Lkw-Lenker:innen in der noch nicht ausgereiften Funktionsweise. Fehlfunktionen z.B. bei Schnee, Überempfindlichkeit des Systems werden hier genannt. Wesentlich ist aber auch die hohe Rate an Warnungen und unter Umständen Anzahl an Fehlwarnungen, welche die Lkw-Lenker:innen ausgesetzt sind. Damit verbunden ist eine Überforderung und

Ablenkung der Lkw-Lenker:innen. In der qualitativen Befragung wurden auch die höheren Anschaffungskosten bemängelt.

Aus Sicht der Radfahrer:innen führt ein Assistenzsystem am Fahrrad zu Ablenkung und Überforderung, da im Stadtverkehr das System ständig warnen würde. Wesentlich dabei wäre demnach eine hohe Zuverlässigkeit des Systems, welche von den Teilnehmer:innen der Fokusgruppen als nicht gegeben bezeichnet wurde. Nachteilig wird auch der Kontrollverlust über das eigene Fahrzeug empfunden und man würde sich mehr auf das System verlassen, als selbst die Verantwortung zu übernehmen. Ebenso wie bei den Lkw sehen auch die Radfahrer:innen höhere Anschaffungskosten als klar negativ an.

Welche Anforderungen müsste ein Assistenzsystem erfüllen, damit Radfahrer:innen optimal geschützt werden und welche zusätzlichen Herausforderungen stellen E-Fahrrädern, Elektro-Roller (E-Scooter), Tretroller (Micro-Scooter) dar?

Wie von Lkw-Lenker:innen bei den qualitativen Interviews angemerkt, wird das schwer abschätzbare Verhalten und die teilweise nichtregelkonforme Fahrweise von Radfahrer:innen als große Herausforderung gesehen. Auch das Kreuzen bzw. Queren ohne zu schauen wurde von den Lkw-Lenker:innen genannt, aber auch in der Unfallanalyse als unfallkausaler Faktor festgestellt. Ein Assistenzsystem ist diesen Umständen ebenso ausgesetzt und kann daher nur auf Grund der hinterlegten Algorithmen reagieren. Erfolgt die Warnung zu früh und die Radfahrer:innen könnten vor einer möglichen Kollision noch anhalten, werden Warnungen als Fehlmeldungen (false positive) interpretiert und die Akzeptanz würde signifikant sinken. Erfolgt die Warnung jedoch zu spät, so ist eine Kollision nicht mehr zu vermeiden. Insbesondere bei Unfällen mit Gegenverkehr ist die Detektion der Fahrlinien der Radfahrer:innen nahezu unmöglich, insbesondere, wenn die Radfahrer:innen die Absicht haben abzubiegen und sich auch noch im Nachrang befinden. Ein Assistenzsystem mit einer Rundum-Sicht und einer (fiktiven) unendlichen Reichweite könnte potenziell zwischen 26,3 % und 57,9 % der untersuchten Unfälle verhindern. Allerdings müssten dafür die bestehenden Testszenarien der UN R 151 [71] und UN R 159 [72] evaluiert werden, ob bei niedriger Geschwindigkeit und gleichzeitigem Abbiegen die Assistenzsysteme auf die Radfahrer:innen reagieren und warnen bzw. autonom bremsen. Ebenso sind zur Erreichung des höheren Effektivitätswertes örtliche Sichtbehinderungen zu beseitigen. Die Testgeschwindigkeit der Radfahrer:innen wird in der UN R 151 [71] zwischen 5 km/h und 20 km/h definiert. Eine Fahrgeschwindigkeit von 20 km/h würde

gemäß einer Analyse von allen Fahrradunfällen in der CEDATU ca. zwei Drittel der Fahrradunfälle abdecken. Wenn die Fahrgeschwindigkeit auf 30 km/h erhöht wird, so könnten mehr als 90 % der Fahrradunfälle damit berücksichtigt werden.

Die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeiten bei Elektrofahrrädern liegt zwei bis vier km/h höher als bei konventionellen (Muskelkraft) betriebenen Fahrrädern [11,145–148]. Für E-Scooter wurde eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 15,1 km/h festgestellt [149]. Die v85 lag bei 20,0 km/h und die höchste gemessene Geschwindigkeit bei 31 km/h. Bezogen auf die Geschwindigkeiten von Elektrofahrrädern und E-Scootern würden mit den derzeitigen Testgeschwindigkeiten für Abbiegeassistenten auch diese Fortbewegungsmittel berücksichtigt werden können.

Welche Anforderungen müssen Assistenzsysteme erfüllen, damit Lkw-Lenker:innen und Radfahrer:innen diese benützen?

Damit Assistenzsysteme akzeptiert werden, muss einerseits die Zuverlässigkeit des Systems gewährleistet sein. Andererseits muss aus Sicht der Nutzer:innen eine „wahrgenommene Nützlichkeit damit verbunden sein und sie müssen als benutzer:innenfreundlich wahrgenommen werden. In Hinblick auf den Totwinkel-Assistenten wird von einem Großteil der Lkw-Fahrer:innen ein Unfallvermeidungspotenzial gesehen (87%) sowie eine Erhöhung der Sicherheit von Radfahrer:innen (75%), d.h. der Vorteil liegt auf der Hand. In Bezug auf die Zuverlässigkeit ergibt sich ein etwas anderes Bild. Lediglich 12% der befragten Lkw-Fahrer:innen ohne Assistenzsysteme vertrauen den Systemen. Dieser Anteil erhöht sich auf 52% bei jenen Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen. Das bedeutet mit der eigenen Erfahrung steigt das Vertrauen. Aus den Einzelinterviews wurde jedoch deutlich, dass „Fehlmeldungen“ nicht selten vorkommen dürften. Wenn das System zu sensibel ist und zu oft piepst, ist die Gefahr gegeben, dass es deaktiviert wird, warnt es nur bei Gefahr in Verzug, wird auch das Vertrauen in das System steigen. Aus Geschäftsführer:innen-Sicht spielen die wahrgenommenen Kosten eine Rolle, ob Lkws mit oder ohne Assistenzsysteme angeschafft werden.

Radassistenzsysteme wurden hypothetisch abgefragt, hier liegen noch keine Erfahrungswerte vor. Aber auch hier werden dieselben Faktoren (wahrgenommener Nutzen, wahrgenommene Benutzer:innenfreundlichkeit, Zuverlässigkeit der Systeme, Kosten, etc.) wie für Lkw-Assistenzsysteme die Akzeptanz beeinflussen.

Welche Anforderungen werden an die Infrastruktur gestellt, um eine optimale Wirkung dieser Systeme zu erzielen?

Auch Assistenzsysteme können nicht um die Ecke schauen. Die Simulationen haben klar dargelegt, dass ein optimaler Schutz von Radfahrer:innen nur gewährleistet werden kann, wenn die Assistenzsysteme in der Lage sind, diese auch zu erkennen. Daher ist es unumgänglich, dass spezifischen Straßenabschnitte frei sind von Sichtbehinderungen, wie beispielsweise Hecken, Büsche, Zäune, etc. Auch bei Grundstücks- oder Hauszufahrten sind unzureichenden Sichtbedingungen wesentliche Unfallumstände. Unmittelbar vor diesen vorbeiführende Fahrradwege sind zu vermeiden.

Tabellenverzeichnis

| | |
|---|-----|
| Tabelle 1: Zustimmung zu verschiedenen Items in der Studie von Al Haddad et al. [85] ... | 38 |
| Tabelle 2: Unfallkosten für einen Verunglückten in Österreich mit menschlichem Leid [137] | 68 |
| Tabelle 3: Wohnort der Radfahrer:innen nach Bundesland (n=255)..... | 82 |
| Tabelle 4: Verkehrsmittelnutzung der Radfahrer:innen (n=255)..... | 83 |
| Tabelle 5: Zustimmung von Radfahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=255)..... | 89 |
| Tabelle 6: Herausforderungen bei Begegnungen von Radfahrer:innen und Lkws, sortiert nach der Zustimmungsrage, ob Radfahrer:innen diese Situation als unangenehm empfinden (n=255)..... | 90 |
| Tabelle 7: Verhaltensweisen von Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws, sortiert nach Zustimmung in Prozent (n=255)..... | 91 |
| Tabelle 8: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmung zu Statements mit Bezug zu Assistenzsystemen. 1 entspricht „Stimme zu“, 5 entspricht „Stimme nicht zu“ (n=255) | 92 |
| Tabelle 9: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 8) (n=255) | 93 |
| Tabelle 10: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmungswerte für Verkehrssicherheitsmaßnahmen unter Radfahrer:innen (n=255)..... | 96 |
| Tabelle 11: Verteilung der Antworten gegenüber den Maßnahmenvorschlägen unter Radfahrer:innen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 7) (n=255)..... | 97 |
| Tabelle 12 Wohnort der Lkw-Fahrer:innen nach Bundesland (n=109)..... | 103 |
| Tabelle 13: Verkehrsmittelnutzung der Lkw-Fahrer:innen (n=110)..... | 105 |
| Tabelle 14: Zustimmung von Lkw-Fahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=110)..... | 109 |
| Tabelle 15: Herausforderungen bei Begegnungen von Radfahrer:innen und Lkws, sortiert nach der Zustimmungsrage, ob Radfahrer:innen diese Situation als unangenehm empfinden (n=110)..... | 110 |
| Tabelle 16: Verhaltensweisen von Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws, sortiert nach Zustimmung in Prozent (n=110) | 111 |
| Tabelle 17: Mittelwerte und Standardabweichung zur Zustimmung zu Statements über Assistenzsysteme unter Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen (n=93) | 112 |
| Tabelle 18: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Assistenzsystemen unter Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen (Item Nummern sind in Tabelle 17) (n=93)..... | 113 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 19: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmung zu Statements mit Bezug zu Assistenzsystemen. 1 entspricht „Stimme zu“, 5 entspricht „Stimme nicht zu“ (n=17) | 114 |
| Tabelle 20: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 19 entnommen werden (n=17) | 115 |
| Tabelle 21: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmung zu Statements mit Bezug zu Totwinkel-Assistenten. 1 entspricht „Stimme zu“, 5 entspricht „Stimme nicht zu“ (n=110)..... | 116 |
| Tabelle 22: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Totwinkel-Assistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 21 entnommen werden (n=110) | 117 |
| Tabelle 23: Mittelwerte und Standardabweichung der Zustimmungswerte für Verkehrssicherheitsmaßnahmen unter Lkw-Fahrer:innen (Items 1-6: n=110, Items 7-11: n=109)..... | 118 |
| Tabelle 24: Verteilung der Zustimmungswerte zu Verkehrsmaßnahmen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 23 entnommen werden (n=109) | 119 |
| Tabelle 25: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2012 und 2022 | 131 |
| Tabelle 26: Verunglückte Radfahrer:innen von Elektrofahrrädern bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2018 und 2022 | 132 |
| Tabelle 27: Verletzte Radfahrer:innen in Bezug zu den Lichtverhältnissen zwischen 2012 und 2022..... | 132 |
| Tabelle 28: Verletzte Radfahrer:innen in Bezug zu den Witterungsverhältnissen zwischen 2012 und 2022..... | 132 |
| Tabelle 29: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen von Lkw>3,5t und Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022 | 134 |
| Tabelle 30: Häufigste Unfalltypen bei Fahrrad gegen Lkw Unfällen zwischen 2012 und 2022 | 135 |
| Tabelle 31: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2018 und 2022 auf konventionellen Fahrrädern..... | 136 |
| Tabelle 32: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2018 und 2022 auf Elektrofahrrädern | 136 |
| Tabelle 33: Häufigste Unfalltypen nach Unterscheidung des Geschlechts zwischen 2012 und 2022..... | 137 |
| Tabelle 34: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022 | 139 |
| Tabelle 35: Verunglückte Radfahrer zwischen 2012 und 2022..... | 139 |

| | |
|--|-----|
| Tabelle 36: Verunglückte Radfahrerinnen zwischen 2012 und 2022 | 139 |
| Tabelle 37: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022 mit konventionellen Fahrrädern..... | 140 |
| Tabelle 38: Verunglückte Radfahrer:innen zwischen 2018 und 2022 mit Elektrofahrrädern..... | 140 |
| Tabelle 39: Hinweis zur Unfallvermeidbarkeit in Tabelle 40 | 143 |
| Tabelle 40: Anforderungen an ein ideal warnendes und ideal autonom eingreifendes Assistenzsystem unter Berücksichtigung unterschiedlicher Unfallumstände | 144 |
| Tabelle 41: Maximale (theoretische) Wirksamkeit eines Assistenzsystems mit unterschiedlichen Reichweiten und Anteil an Unfällen, welche potenziell durch dieses System verhindert werden könnten, bezogen auf alle untersuchten Unfälle, ohne Berücksichtigung spezifischer | 148 |
| Tabelle 42: Maximale (theoretische) Wirksamkeit eines warnenden Assistenzsystems mit unterschiedlichen Reichweiten und Anteil an Unfällen, welche potenziell durch dieses System verhindert werden könnten, bezogen auf alle untersuchten Unfälle, ohne Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände..... | 149 |
| Tabelle 43: Maximale (theoretische) Wirksamkeit eines autonom eingreifenden Assistenzsystems mit unterschiedlichen Reichweiten und Anteil an Unfällen, welche potenziell durch dieses System verhindert werden könnten, bezogen auf alle untersuchten Unfälle, ohne Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände..... | 149 |
| Tabelle 44: Anzahl an Unfällen, unterteilt nach Unfallgruppen, welche potenziell mit einem warnenden Assistenzsystem mit einer Reichweite von 10 Metern und einer Rundum-Sicht unter Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände vermeidbar wären..... | 150 |
| Tabelle 45: Anzahl an Unfällen, unterteilt nach Unfallgruppen, welche potenziell mit einem autonom eingreifenden Assistenzsystem mit einer Reichweite von 10 Metern und einer Rundum-Sicht unter Berücksichtigung spezifischer Unfallumstände vermeidbar wären. | 151 |
| Tabelle 46: Relevante Datenquelle zur SWOT-Analyse..... | 155 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Überblick existierender Lösungen für Assistenzsysteme aus dem Pkw/Lkw/Motorrad-Sektor [16] | 18 |
| Abbildung 2: Anzahl verkaufter Fahrräder und Elektrofahrräder in Österreich [32] | 20 |
| Abbildung 3: Lkw Bestand in Österreich | 20 |
| Abbildung 4: Verlauf Lkw Neuzulassungen in Österreich | 21 |
| Abbildung 5: Historischer Verlauf verunglückter Radfahrer:innen und relative Veränderung bezogen auf das Unfalljahr 2012..... | 22 |
| Abbildung 6: Erfassungsbereich der Lkw Spiegel [49]..... | 24 |
| Abbildung 7: Direkte Sichtbeziehungen auf Radfahrer:innen aus Sicht der Lkw Lenker:innen [53] | 24 |
| Abbildung 8: Geometrische Skizze des Testszenarios [67,70] | 27 |
| Abbildung 9: Ergebnis der Fahrversuche [73] | 29 |
| Abbildung 10: Schematische Darstellung des Modells nach Hujits et al. [77]..... | 32 |
| Abbildung 11: TAM nach Davis aus Cläßen [79]..... | 33 |
| Abbildung 12: TAM2 nach Davis aus Cläßen [79]..... | 34 |
| Abbildung 13: Entwicklung der Unfalldaten in der CEDATU nach dem Verletzungsgrad.... | 52 |
| Abbildung 14: Verteilung der Verkehrsart bei Unfällen mit Personenschaden in der CEDATU..... | 53 |
| Abbildung 15: Verteilung der Unfalltypen Obergruppen in der Stichprobe zur Tiefenanalyse..... | 54 |
| Abbildung 16: Verteilung der Unfalltypen der Stichprobe in der Stichprobe zur Tiefenanalyse..... | 55 |
| Abbildung 17: Gruppierte Verteilung der Unfalltypen der Stichprobe im Vergleich zu den Unfalldaten im UDM..... | 55 |
| Abbildung 18: Vorgehensweise zur Effektivitätsbewertung von Realunfällen..... | 57 |
| Abbildung 19: Generische Erfassungsbereich (Draufsicht) eines Sensors..... | 58 |
| Abbildung 20: Symbolische Darstellung der Sensorkonfiguration im Grundriss mit horizontalem Öffnungswinkel | 59 |
| Abbildung 21: Symbolische Darstellung der Sensorkonfiguration bei seitlicher Ansicht mit vertikalem Öffnungswinkel | 59 |
| Abbildung 22: Unfallszenario beim Rechtsabbiegen | 60 |
| Abbildung 23: Lkw Sicht beim Losfahren und Spiegelübersicht bei aktiver Sicht zur rechten Seite | 61 |
| Abbildung 24: Sensorkonfiguration beim Rechtsabbiegen..... | 61 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 25: Relativbewegung des Fahrrads und Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. autonom eingreifendes Assistenzsystem | 62 |
| Abbildung 26: Unfallszenario bei infrastrukturellen Sichtbeeinträchtigungen | 63 |
| Abbildung 27: Sensorkonfiguration bei infrastrukturellen Sichtbeeinträchtigungen..... | 63 |
| Abbildung 28: Relativbewegung des Fahrrads und Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. autonom eingreifendes Assistenzsystem unter Berücksichtigung der Sichtbeeinträchtigung | 64 |
| Abbildung 29: Unfallszenario bei Missachtung von Vorschriften und Regeln..... | 65 |
| Abbildung 30: Sensorkonfiguration bei Missachtung von Vorschriften und Regeln..... | 66 |
| Abbildung 31: Relativbewegung des Fahrrads und Mindestanforderungen an ein warnendes bzw. autonom eingreifendes Assistenzsystem unter Berücksichtigung der Regelbefolgung aller Beteiligten | 67 |
| Abbildung 32: Entwicklung Ausstattungsgrad ABS und ESP bei Neufahrzeugen [140] | 69 |
| Abbildung 33: Prognostizierter Anteil an Assistenzsystemen im Lkw Bestand in Österreich | 70 |
| Abbildung 34: Links in roten Linien eingezeichneter toter Winkel durch die FGI-Teilnehmer:innen; Rechts: tatsächlicher Bereich des toten Winkels [141]..... | 73 |
| Abbildung 35: Altersverteilung der Radfahrer:innen (n=255) | 81 |
| Abbildung 36: Wohngegend der Radfahrer:innen (n=255) | 82 |
| Abbildung 37: Verkehrsmittelnutzung der Radfahrer:innen (n=255)..... | 83 |
| Abbildung 38: Verteilung der mit dem Rad gefahrenen Kilometer pro Woche (n=255)..... | 84 |
| Abbildung 39: Selbst-Typologisierung der Radfahrer:innen (n=255)..... | 85 |
| Abbildung 40: Unfälle Radfahrer:innen (n=255) | 85 |
| Abbildung 41: Wie sicher bzw. unsicher fühlen Radfahrer:innen im Straßenverkehr (n=255) | 86 |
| Abbildung 42: Wie sicher fühlen sich Radfahrer:innen bei Begegnungen mit Lkws (n=255) | 87 |
| Abbildung 43: Zustimmung von Radfahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=255)..... | 88 |
| Abbildung 44: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 8) (n=255) | 93 |
| Abbildung 45: Von Radfahrer:innen gewünschter Ort zur Anbringung von Fahrradassistenzsystemen (n=255)..... | 94 |
| Abbildung 46: Die sensorische Art der Warnung durch Fahrradassistenzsysteme, die von Radfahrer:innen gewünscht wird (n=255) | 95 |
| Abbildung 47: Verteilung der Antworten gegenüber den Maßnahmenvorschlägen unter Radfahrer:innen (Item Nummer der Statements sind in Tabelle 10) (n=255)..... | 97 |
| Abbildung 48: Altersverteilung der Lkw-Fahrer:innen (n=110) | 102 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 49: Sprachen in denen Lkw-Fahrer:innen den Fragebogen ausfüllten (n=110) | 103 |
| Abbildung 50: Wohngegend der Lkw-Fahrer:innen (n=101) | 104 |
| Abbildung 51: Verkehrsmittelnutzung der Lkw-Fahrer:innen (n=110) | 105 |
| Abbildung 52: Verteilung der Fahrerfahrung der Lkw-Fahrer:innen in Jahren (n=110) | 106 |
| Abbildung 53: Position der Teilnehmer:innen im Unternehmen (n=110) | 106 |
| Abbildung 54: Verteilung mit welchem Lkw-Typ die Teilnehmer:innen üblicherweise unterwegs sind (n=110) | 107 |
| Abbildung 55: Prozentzahl der Lkw-Fahrer:innen, die bereits Unfälle mit Radfahrer:innen hatten (n=110) | 107 |
| Abbildung 56: Angabe der Lkw-Fahrer:innen, welche Assistenzsysteme in ihren Lkws eingebaut sind (n=110) | 108 |
| Abbildung 57: Zustimmung von Lkw-Fahrer:innen zu verschiedenen Aussagen (n=110) | 109 |
| Abbildung 58: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Assistenzsystemen unter Lkw-Fahrer:innen mit Assistenzsystemen (Item Nummern sind in Tabelle 17) (n=93) | 113 |
| Abbildung 59: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Fahrradassistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 19 entnommen werden (n=17) | 115 |
| Abbildung 60: Verteilung der Antworten zu den einzelnen Statements bezüglich Totwinkel-Assistenzsystemen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 21 entnommen werden (n=110) | 117 |
| Abbildung 61: Verteilung der Zustimmungswerte zu Verkehrsmaßnahmen. Die den Item Nummern zugehörigen Statements können Tabelle 23 entnommen werden (n=109) | 119 |
| Abbildung 62: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2012 und 2022 | 130 |
| Abbildung 63: Verunglückte Radfahrer:innen von Elektrofahrrädern bei Unfällen mit Lkw>3,5t zwischen 2018 und 2022 | 131 |
| Abbildung 64: Verunglückte Radfahrer:innen bei Unfällen von Lkw>3,5t und Radfahrer:innen zwischen 2012 und 2022 | 133 |
| Abbildung 65: Häufigste Unfalltypen bei Fahrrad gegen Lkw Unfällen zwischen 2012 und 2022 | 134 |
| Abbildung 66: Verunglückte Radfahrer:innen unterschieden nach der Antriebsart und Geschlecht | 136 |
| Abbildung 67: Häufigste Unfalltypen nach Unterscheidung des Geschlechts zwischen 2012 und 2022 | 137 |
| Abbildung 68: Verunglückte Radfahrer:innen bezogen auf das Alter | 138 |
| Abbildung 69: Ausgangsgeschwindigkeit vs. Kollisionsgeschwindigkeit bei Fahrrädern | 141 |

| | |
|--|-----|
| Abbildung 70: Ausgangsgeschwindigkeit vs. Kollisionsgeschwindigkeit bei Lkw | 141 |
| Abbildung 71: Relativbewegung der Radfahrer:innen bis zur Kollision gruppiert nach unterschiedlichen Unfallszenarien..... | 142 |
| Abbildung 72: Anforderungen an den Sichtbereich eines ideal warnenden Assistenzsystems | 146 |
| Abbildung 73: Anforderungen an den Sichtbereich eines ideal autonom eingreifenden Assistenzsystems | 147 |
| Abbildung 74: Prognostizierte Reduktion an jährlichen volkswirtschaftlichen Unfallkosten durch unterschiedliche Marktdurchdringungsraten und unterschiedlichen Wirksamkeiten | 153 |
| Abbildung 75: Anteil der volkswirtschaftlichen Unfallkosten nach Unfalltypen bei optimaler Systemkonfiguration..... | 154 |
| Abbildung 76: Anteil der volkswirtschaftlichen Unfallkosten nach Unfalltypen bei bedingt optimaler Systemkonfiguration..... | 154 |
| Abbildung 77: Verbreiterte vorgezogene Haltelinie („Advanced“ Bike-Box) mit exemplarisch in grün gekennzeichnetem Bereich des „Toten Winkels“ im Frontbereich eines Lkw | 160 |
| Abbildung 78: Exemplarische Kennzeichnung des „Toten Winkel“ beim Rechtsabbiegen | 161 |
| Abbildung 79: Abgesetzter Radweg [144]..... | 162 |

Literaturverzeichnis

- [1] ADAC, Toter Winkel bei Lkw, Bus und Pkw, 2015.
[adac.de/ mmm/pdf/rv_2015_toter_winkel_1215_244315.pdf](http://adac.de/mmm/pdf/rv_2015_toter_winkel_1215_244315.pdf) (accessed 8/7/20).
- [2] C. Evers, Auswirkungen von Belastungen und Stress auf das Verkehrsverhalten von LKW-Fahrern, Wirtschaftsverl. NW, Verl. für neue Wiss, Bremerhaven, 2009.
- [3] G. Steinwender, LKW-Fahrer - zwischen Belastung und Krise. Diplomarbeit, Wien, 2011.
- [4] European Commission, Abbiegeassistenten für Lkw und Busse werden ab 2022 Pflicht, 2019.
- [5] A. Malczyk, J. Bende, Crashes between Heavy Vehicles and Bicyclists: Characteristics, Injury Patterns and Potentials for Driver Assistance Systems, in: 2017 IRCOBI Conference Proceedings, Antwerp, Belgium, IRCOBI, 2017, pp. 121–132.
- [6] D.M. Hoedemaeker, M. Doumen, M. de Goede, J.H. Hogema, R.F.T. Brouwer, A.S. Wennemers, Modelopzet voor Dodehoek Detectie en Signalerings Systemen (DDSS), Soesterberg: TNO; Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid (SWOV), 2010.
- [7] M.-H. Wang, C.-H. Wei, Potential Safety Benefit of the Blind Spot Detection System for Large Trucks on the Vulnerable Road Users in Taiwan, MATEC Web Conf. 81 (2016) 2007. doi.org/10.1051/mateconf/20168102007.
- [8] M. Kuehn, T. Hummel, J. Bende, Advanced Driver Assistance Systems for Trucks - Benefit Estimation From Real-Live Accidents, in: The 22nd ESV Conference Proceedings, Washington, D.C., USA, NHTSA, 2011, pp. 1–12.
- [9] A. Silla, L. Leden, P. Rämä, J. Scholliers, M. van Noort, D. Bell, Can cyclist safety be improved with intelligent transport systems?, *Accid. Anal. Prev.* 105 (2017) 134–145.
doi.org/10.1016/j.aap.2016.05.003.

- [10] G. Scaramuzza, A. Uhr, S. Niemann, E-Bikes im Strassenverkehr - Sicherheitsanalyse, Auflage: first/twentiethfifteenth/sixth00, bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung, Bern, 2015.
- [11] K. Schleinitz, T. Petzoldt, L. Franke-Bartholdt, J. Krems, T. Gehlert, The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles, *Safety Science* 92 (2015) 290–297. doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.027.
- [12] J. Pucher, R. Buehler, Cycling towards a more sustainable transport future, *Transport Reviews* 37 (2017) 689–694. doi.org/10.1080/01441647.2017.1340234.
- [13] P. Pokorny, K. Pitera, Truck-bicycle safety: an overview of methods of study, risk factors and research needs, *Eur. Transp. Res. Rev.* 11 (2019). doi.org/10.1186/s12544-019-0371-7.
- [14] A. Conway, N. Tavernier, V. Leal-Tavares, N. Gharamani, L. Chauvet, M. Chiu, X. Bing Yeap, Freight in a Bicycle-Friendly City: Exploratory Analysis with New York City Open Data, *Transportation Research Record* 2547 (2016) 91–101. doi.org/10.3141/2547-13.
- [15] H. Winner, S. Hakuli, F. Lotz, C. Singer (Eds.), *Handbuch Fahrerassistenzsysteme: Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort*, 3rd ed., Springer Vieweg, Wiesbaden, 2015.
- [16] SIFAFE, SIFAFE - Sicherheitsorientierte Fahrerassistenzsysteme für Elektrofahrräder, 2019.
- [17] R. Schindler, M. Jänsch, A. Bálint, H. Johannsen, Exploring European Heavy Goods Vehicle Crashes Using a Three-Level Analysis of Crash Data, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 19 (2022). doi.org/10.3390/ijerph19020663.
- [18] I. Knight, W. Newton, T. Barlow, I. McCrae, M. Dodd, G. Couper, H. Davies, A. Daly, B. McMahon, E. Cook, V. Ramdas, N. Taylor, A. McKinnon, A. Palmer, Longer and/or Longer and Heavier Goods Vehicles (LHVs): A Study of the Likely Effects if Permitted in the UK, 2008.

- [19] P. Evgenikos, G. Yannis, K. Folla, R. Bauer, K. Machata, C. Brandstaetter, How Safe are Cyclists on European Roads?, *Transportation Research Procedia* 14 (2016) 2372–2381. doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.269.
- [20] R. Fredriksson, K. Fredriksson, J. Strandroth, Pre-crash motion and conditions of bicyclist-to-car crashes in Sweden: 18-19 November 2014, Göteborg, Sweden, Proceedings, International Cycling Safety Conference 2014 2014 (2014).
- [21] G. Forkenbrock, R.L. Hoover, E. Gerdus, T.R. Van Buskirk, M. Heitz, Blind Spot Monitoring in Light Vehicles – System Performance, Washington, DC, 2014.
- [22] K. Van Beeck, T. Goedemé, T. Tuytelaars, Towards an Automatic Blind Spot Camera: Robust Real-time Pedestrian Tracking from a Moving Camera, Nara, Japan, 2011.
- [23] K. Van Beeck, T. Goedemé, Real-time pedestrian detection in a truck’s blind spot camera, in: *ICPRAM 2014 - Proceedings of the 3rd International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*, 2014, pp. 412–420.
- [24] Bosch, BOSCH eBike ABS, 2022. [bosch-ebike.com/at/produkte/abs#filter%5BabsExpert%5D=1](https://www.bosch-ebike.com/at/produkte/abs#filter%5BabsExpert%5D=1).
- [25] George, E-Bike ABS: Brake Force One mit Weltneuheit auf der Eurobike, 2016. pedelec-elektro-fahrrad.de/news/e-bike-abs-brake-force-one-mit-weltneuheit-auf-der-eurobike/73301/.
- [26] WERTGARANTIE SE, ABS für Fahrrad und E-Bikes, 2017. partner.wertgarantie.de/Home/Themen/Blog/Fahrrad-verliebt/ABS-fuer-Fahrrad-und-E-Bike.aspx/1667_page-31/ (accessed 3 May 2022).
- [27] Garmin, Varia™ RTL515 - Radar mit Rücklicht, 2022. [garmin.com/de-AT/p/698001](https://www.garmin.com/de-AT/p/698001).
- [28] SPECTRA Marktforschungsgesellschaft, Anzahl verkaufter Fahrräder in Österreich von 2000 bis 2021, in: Statista.
- [29] Statistik Austria, Ausstattungsgrad der privaten Haushalte. [statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/ausgaben-und-ausstattung-privater-haushalte/ausstattung](https://www.statistik.at/statistiken/bevoelkerung-und-soziales/ausgaben-und-ausstattung-privater-haushalte/ausstattung) (accessed 30 November 2023).

- [30] VCÖ, In Österreich gibt es mehr Fahrräder als Autos, 2019. [vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/in-oesterreich-gibt-es-mehr-fahrraeder-als-autos](https://www.vcoe.at/presse/presseaussendungen/detail/in-oesterreich-gibt-es-mehr-fahrraeder-als-autos) (accessed 7 March 2023).
- [31] Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Radverkehr in Zahlen: Daten, Fakten und Stimmungen, Wien, Österreich, 2013.
- [32] VSSÖ, Anzahl verkaufter Fahrräder in Österreich von 2000 bis 2022, in: Statista.
- [33] Statistik Austria, Kfz-Bestand.
- [34] Statistik Austria, Kraftfahrzeuge - Neuzulassungen.
- [35] J. Aertsens, B. de Geus, G. Vandenbulcke, B. Degraeuwe, S. Broekx, L. de Nocker, I. Liekens, I. Mayeres, R. Meeusen, I. Thomas, R. Torfs, H. Willems, L. Int Panis, Commuting by bike in Belgium, the costs of minor accidents, *Accid. Anal. Prev.* 42 (2010) 2149–2157. doi.org/10.1016/j.aap.2010.07.008.
- [36] F. Wegman, F. Zhang, A. Dijkstra, How to make more cycling good for road safety?, *Accid. Anal. Prev.* 44 (2012) 19–29. doi.org/10.1016/j.aap.2010.11.010.
- [37] A. Watson, B. Watson, K. Vallmuur, Estimating under-reporting of road crash injuries to police using multiple linked data collections, *Accid. Anal. Prev.* 83 (2015) 18–25. doi.org/10.1016/j.aap.2015.06.011.
- [38] D. Shinar, P. Valero-Mora, M. van Strijp-Houtenbos, N. Haworth, A. Schramm, G. de Bruyne, V. Cavallo, J. Chliaoutakis, J. Dias, O.E. Ferraro, A. Fyhri, A.H. Sajatovic, K. Kuklane, R. Ledesma, O. Mascarell, A. Morandi, M. Muser, D. Otte, M. Papadakaki, J. Sanmartín, D. Dulf, M. Saplioglu, G. Tzamalouka, Under-reporting bicycle accidents to police in the COST TU1101 international survey: Cross-country comparisons and associated factors, *Accid. Anal. Prev.* 110 (2018) 177–186. doi.org/10.1016/j.aap.2017.09.018.
- [39] P. Schepers, N. Agerholm, E. Amoros, R. Benington, T. Bjornskau, S. Dhondt, B. de Geus, C. Hagemester, B.P.Y. Loo, A. Niska, An international review of the frequency of single-bicycle crashes (SBCs) and their relation to bicycle modal share, *Inj. Prev.* 21 (2015) e138-43. doi.org/10.1136/injuryprev-2013-040964.

- [40] World Health Organisation, Global status report on road safety 2023, Geneva, Switzerland, 2023.
- [41] J.-K. Kim, S. Kim, G.F. Ulfarsson, L.A. Porrello, Bicyclist injury severities in bicycle-motor vehicle accidents, *Accid. Anal. Prev.* 39 (2007) 238–251. doi.org/10.1016/j.aap.2006.07.002.
- [42] A.D. Ackery, B.A. McLellan, D.A. Redelmeier, Bicyclist deaths and striking vehicles in the USA, *Inj. Prev.* 18 (2012) 22–26. doi.org/10.1136/injuryprev-2011-040066.
- [43] European Commission, Collision matrix: Road Traffic Fatalities in the EU in 2021, Brussels, Belgium, 2023, February.
- [44] P. Pokorny, J. Drescher, K. Pitera, T. Jonsson, Accidents between freight vehicles and bicycles, with a focus on urban areas, *Transportation Research Procedia* 25 (2017) 999–1007. doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.474.
- [45] OECD, ITF, Cycling, Health and Safety, OECD, 2013.
- [46] G. Vandenbulcke, I. Thomas, L. Int Panis, Predicting cycling accident risk in Brussels: a spatial case-control approach, *Accid. Anal. Prev.* 62 (2014) 341–357. doi.org/10.1016/j.aap.2013.07.001.
- [47] D. Adminaite, R. Allsop, G. Jost, Making walking and cycling on Europe’s roads safer: PIN Flash Report 29, Brussels, Belgium, 2015.
- [48] D. Alrutz, Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern: [Bericht zum Forschungsprojekt FE 82.262: Unfallrisiko, Konfliktpotenzial und Akzeptanz der Verkehrsregelungen von Fahrradfahrern], Wirtschaftsverl. NW, Verl. für neue Wiss, Bremerhaven, 2009.
- [49] R. Schindler, G. Bianchi Piccinini, Truck drivers’ behavior in encounters with vulnerable road users at intersections: Results from a test-track experiment, *Accid. Anal. Prev.* 159 (2021) 106289. doi.org/10.1016/j.aap.2021.106289.
- [50] HVU, Ulykker mellem højresvingende lastbiler og ligeudkørende cyklister: Rapport nr. 4, 2006, 2006.

- [51] S. Kockum, R. Örtlund, A. Ekfjorden, P. Wells, Volvo Trucks Safety Report 2017, 2017.
- [52] ETSC, Weights and dimensions of heavy goods vehicles - maximising safety. Briefing, 2014.
- [53] S. Summerskill, Marshall, Russell, James Lenard, The design of category N3 vehicles for improved driver direct vision, Loughborough, 2014.
- [54] R. Talbot, S. Reed, N. Christie, J. Barnes, P. Thomas, Fatal and serious collisions involving pedal cyclists and trucks in London between 2007 and 2011, *Traffic Inj Prev* 18 (2017) 657–665. doi.org/10.1080/15389588.2017.1291938.
- [55] R. Talbot, S. Reed, J. Barnes, P. Thomas, N. Christie, Pedal Cyclist Fatalities in Pedal Cyclist Fatalities in London: Analysis of Police Collision Files (2007-2011), 2014.
- [56] H. Summala, E. Pasanen, M. Räsänen, J. Sievänen, Bicycle accidents and drivers' visual search at left and right turns, *Accid. Anal. Prev.* 28 (1996) 147–153. [doi.org/10.1016/0001-4575\(95\)00041-0](https://doi.org/10.1016/0001-4575(95)00041-0).
- [57] C.D. Mole, R.M. Wilkie, Looking forward to safer HGVs: The impact of mirrors on driver reaction times, *Accid. Anal. Prev.* 107 (2017) 173–185. doi.org/10.1016/j.aap.2017.07.027.
- [58] T. Richter, J. Sachs, Turning accidents between cars and trucks and cyclists driving straight ahead, *Transportation Research Procedia* 25 (2017) 1946–1954. doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.219.
- [59] UN-Regelung Nr. 151 — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Kraftfahrzeugen hinsichtlich des Totwinkel-Assistenten zur Erkennung von Fahrrädern [2020/1596], in: *Amtsblatt der Europäischen Union*, pp. 48–65.

[60] REGULATION (EU) 2019/2144 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 27 November 2019 on type-approval requirements for motor vehicles and their trailers, and systems, components and separate technical units intended for such vehicles, as regards their general safety and the protection of vehicle occupants and vulnerable road users: REGULATION (EU) 2019/2144, in: Amtsblatt der Europäischen Union, pp. 1–40.

[61] I. Wilmink, W. Janssen, E. Jonkers, K. Malone, M. van Noort, P. Rämä, N. Sihvola, R. Kulmala, A. Schirokoff, G. Lind, T. Benz, H. Peters, S. Schönebeck, Deliverable D4: Impact assessment of Intelligent Vehicle Safety Systems: Final Report and Integration of Results and Perspectives for market introduction of IVSS. Version 2.0, 2008.

[62] Insurance Institute for Highway Safety, Researchers Estimate Potential Benefits of Crash Avoidance Features, 2008.

[63] Insurance Institute for Highway Safety, Large Trucks to Benefit from Technology Designed to Help Prevent Crashes, 2010.

[64] K.J. Kingsley, Evaluating Crash Avoidance Countermeasures Using Data from FMCSA/NHTSA's Large Truck Crash Causation Study, 2009.

[65] E. Tomasch, S. Smit, Naturalistic driving study on the impact of an aftermarket blind spot monitoring system on the driver's behaviour of heavy goods vehicles and buses on reducing conflicts with pedestrians and cyclists, *Accid. Anal. Prev.* 192 (2023) 107242. doi.org/10.1016/j.aap.2023.107242.

[66] S. Smit, E. Tomasch, Rundum-Sicht im Straßenverkehr, Wien, 2020.

[67] P. Seiniger, J. Gail, B. Schreck, Development of a Test Procedure for Driver Assist Systems Addressing Accidents Between Right Turning Trucks and Straight Driving Cyclists, in: The 24th ESV Conference Proceedings, Gothenburg, Sweden, 2015.

[68] P. Seiniger, J. Gail, B. Schreck, A Draft Regulation for Driver Assist Systems addressing Truck-Cyclist Blind Spot Accidents, in: The 25th ESV Conference Proceedings, Michigan, USA, NHTSA, 2017.

- [69] P. Seiniger, O. Bartels, A. Hallmann, M. Fritz, Test protocol as a proposal for consumer testing, 2016.
- [70] B. Schreck, P. Seiniger, Abbiege-Assistenzsystem für Lkw: Grundlagen eines Testverfahrens, Fachverlag NW, Bremen, 2015.
- [71] UN ECE, 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, 2020.
- [72] UN ECE, UN Regulation No. 159 Uniform provisions concerning the approval of motor vehicles with regard to the Moving Off Information System for the Detection of Pedestrians and Cyclists: Addendum 158 – UN Regulation No. 159, 2021.
- [73] ADAC, Lkw-Abbiegeassistenten im Test: So verhindern sie schwere Unfälle, 2021. [adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistenzsysteme/lkw-abbiegeassistent/](https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/assistenzsysteme/lkw-abbiegeassistent/) (accessed 04.02.20222021).
- [74] M. Schäfer, D. Keppler, Modelle der technikorientierten Akzeptanzforschung: Überblick und Reflexion am Beispiel eines Forschungsprojekts zur Implementierung innovativer technischer Energieeffizienz-Maßnahmen, Technische Universität Berlin, Berlin, 2013.
- [75] T. Kollmann, Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und Nutzungssysteme: Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen, 1998. [buntundpapier.buchkatalog.at/akzeptanz-innovativer-nutzungsgueter-und-nutzungssysteme-9783409128490](https://www.buntundpapier.buchkatalog.at/akzeptanz-innovativer-nutzungsgueter-und-nutzungssysteme-9783409128490) (accessed 11 October 2023).
- [76] A. Sauer, F. Luz, M. Suda, U. Weiland, Steigerung der Akzeptanz von FFH-Gebieten: Abschlussbericht. BfN-Skripten 144, Bonn - Bad Godesberg, 2005.
- [77] N.M.A. Huijts, E.J.E. Molin, L. Steg, Psychological factors influencing sustainable energy technology acceptance: A review-based comprehensive framework, Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (2012) 525–531. doi.org/10.1016/j.rser.2011.08.018.
- [78] F.D. Davis, Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, MIS Quarterly 13 (1989) 319–340. doi.org/10.2307/249008.

- [79] K. Claßen, Zur Psychologie von Technikakzeptanz im höheren Lebensalter: Die Rolle von Technikgenerationen, Heidelberg, 2013.
- [80] V. Venkatesh, F.D. Davis, A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies, *Management Science* 46 (2000) 186–204. doi.org/10.1287/mnsc.46.2.186.11926.
- [81] V. Venkatesh, H. Bala, Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions, *Decision sciences* 39 (2008) 273–315. doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x.
- [82] R. Reichwald, Zur Notwendigkeit der Akzeptanzforschung bei der Entwicklung neuer Systeme der Bürotechnik, München, 1978.
- [83] E.M. Rogers, *Diffusion of Innovations*, Fifth Edition, Free Press, New York, 2003.
- [84] M.C. Camden, G.M. Fitch, M. Blanco, R.J. Hanowski, Commercial Driver Acceptance of Heavy Vehicle Camera/Video Imaging Systems, *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting* 55 (2011) 1899–1903. doi.org/10.1177/1071181311551395.
- [85] C. Al Haddad, M. Abouelela, G. Hancox, F. Pilkington-Cheney, T. Brijs, C. Antoniou, A Multi-Modal Warning–Monitoring System Acceptance Study: What Findings Are Transferable?, *Sustainability* 14 (2022) 12017. doi.org/10.3390/su141912017.
- [86] G. Li, S. Eben Li, B. Cheng, Field operational test of advanced driver assistance systems in typical Chinese road conditions: The influence of driver gender, age and aggression, *International journal of automotive technology* 16 (2015) 739–750. doi.org/10.1007/s12239-015-0075-5.
- [87] Y. Xu, Z. Ye, C. Wang, Modeling commercial vehicle drivers' acceptance of advanced driving assistance system (ADAS), *JICV* 4 (2021) 125–135. doi.org/10.1108/JICV-07-2021-0011.
- [88] G. Bosurgi, O. Pellegrino, A. Ruggeri, G. Sollazzo, The Role of ADAS While Driving in Complex Road Contexts: Support or Overload for Drivers?, *Sustainability* 15 (2023) 1334. doi.org/10.3390/su15021334.

- [89] W. Mayerhofer, Das Fokusgruppeninterview, in: R. Buber, H.H. Holzmüller (Eds.), Qualitative Marktforschung: Konzepte - Methoden - Analysen, second., überarbeitete Auflage, Gabler Verlag / GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden, Wiesbaden, 2009, pp. 477–490.
- [90] J. Kitzinger, Qualitative research. Introducing focus groups, *BMJ* 311 (1995) 299–302. doi.org/10.1136/bmj.311.7000.299.
- [91] T. Nyumba, K. Wilson, C.J. Derrick, N. Mukherjee, The use of focus group discussion methodology: Insights from two decades of application in conservation, *Methods Ecol Evol* 9 (2018) 20–32. doi.org/10.1111/2041-210X.12860.
- [92] U. Flick, E.v. Kardorff, H. Keupp, L.v. Rosenstiehl, S. Wolff (Eds.), *Handbuch Qualitative Sozialforschung: Grundlagen, Konzepte, Methoden und Anwendungen*, 3rd ed., Beltz Psychologie Verlags Union, Weinheim, 2012.
- [93] R.A. Krueger, M.A. Casey, *Focus groups: A practical guide for applied research*, fifthth edition, SAGE, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington DC, 2015.
- [94] F. Rabiee, Focus-group interview and data analysis, *Proc. Nutr. Soc.* 63 (2004) 655–660. doi.org/10.1079/PNS2004399.
- [95] P. Mayring, G.L. Huber, L. Gürtler, M. Kiegelmann (Eds.), *Mixed Methodology in Psychological Research*, Brill | Sense, 2007.
- [96] P. Mayring, 2007. Generalisierung in qualitativer Forschung [23 Absätze]. *Forum Quali-tative Sozialforschung / Forum: Qualitative Social Research*, 8(3), Art. 26. *Forum Qualitative Sozialforschung* 3, 26.
- [97] S. Kvale, S. Brinkmann, *InterViews: Learning the craft of qualitative research interviewing*, second. ed., Sage Publ, Thousand Oaks Calif. u.a., 2009.
- [98] J. Bortz, N. Döring, *Forschungsmethoden und Evaluation*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1995.
- [99] U. Froschauer, M. Lueger, *Das qualitative Interview: Zur Praxis interpretativer Analyse sozialer Systeme*, first. Aufl., WUV, Wien, 2003.

- [100] M. von Pötschke, Potentiale von Online-Befragungen: Erfahrungen aus der Hochschulforschung, in: N. Jakob, H. Schoen, T. Zerback (Eds.), Sozialforschung im Internet, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2009, pp. 75–89.
- [101] B. Gusy, K. Marcus, Online Befragungen: Eine Alternative zu paper-pencil Befragungen in der Gesundheitsberichterstattung bei Studierenden, Berlin, 2012.
- [102] H. Johannsen, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion: Grundlagen der Unfallaufklärung, third., überarbeitete Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2013.
- [103] H.-J. Wagner, Verkehrsmedizin, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 1984.
- [104] H. Burg, A. Moser, Handbuch Verkehrsunfallrekonstruktion: Unfallaufnahme, Fahrdynamik, Simulation, third. Aufl. twentiethseventeenth, 2017.
- [105] H. Steffan, PC-CRASH, A Simulation Program for Car Accidents, in: 26th International Symposium on Automotive Technology and Automation, Aachen, 1993.
- [106] H. Steffan, A. Moser, The Collision and Trajectory Models of PC-CRASH, in: International Congress & Exposition, SAE International, 1996.
- [107] W.E. Cliff, D.T. Montgomery, Validation of PC-Crash - A Momentum-Based Accident Reconstruction Program, in: SAE Technical Papers.
- [108] A. Moser, H. Hoschopf, H. Steffan, G. Kasanicky, Validation of the PC-Crash Pedestrian Model, in: SAE Technical Paper Series, SAE International 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 2000.
- [109] E. Tomasch, H. Steffan, ZEDATU - Zentrale Datenbank tödlicher Unfälle in Österreich - A Central Database of Fatalities in Austria, in: 2nd International Conference on ESAR (Expert Symposium on Accident Research), Hanover, Germany, ESAR, 2006.
- [110] E. Tomasch, H. Steffan, M. Darok, Retrospective accident investigation using information from court, in: Transport Research Arenat 2008 (TRA), Ljubljana, Slovenia, 2008.

[111] E. Tomasch, W. Sinz, H. Hoschopf, H. Kolk, H. Steffan, Bewertungsmethodik von integralen Sicherheitssystemen durch Kombination von Test und Simulation am Beispiel von Fußgängerunfällen, in: 10. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit - Sicherheit 2.0, 2015, pp. 157–169.

[112] M. Gruber, H. Kolk, C. Klug, E. Tomasch, F. Feist, A. Schneider, F. Roth, The effect of P-AEB system parameters on the effectiveness for real world pedestrian accidents, in: The 26th ESV Conference Proceedings, Eindhoven, Netherlands, 2019.

[113] E. Tomasch, W. Sinz, H. Hoschopf, H. Kolk, H. Steffan, Bewertungsmethodik von integralen Sicherheitssystemen durch Kombination von Test und Simulation am Beispiel von Fußgängerunfällen, in: 10. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit - Sicherheit 2.0: Berlin, 25. und 26. November 2015, Nichtred. Ms.-Dr, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2015, pp. 157–169.

[114] H. Hoschopf, E. Tomasch, Limitations and challenges of avoiding HGV-VRU accidents through advanced driver assistance systems, in: 8th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“, Hannover, 2018.

[115] C. Zauner, E. Tomasch, W. Sinz, C. Ellersdorfer, H. Steffan, Assessment of the effectiveness of Intersection Assistance Systems at urban and rural accident sites, in: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“, Hannover, 2014.

[116] M. Gruber, C. Matt, E. Tomasch, A. Sevarin, H. Kolk, C. Ellersdorfer, C. Rathgeb, R. Risser, L. Hartwig, K. Ausserer, E. Füssl, Effectiveness assessment of a generic collision mitigation system for motorcycles at junctions, in: 8th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“, Hannover, 2018.

[117] H. Kolk, S.K. Kirschbichler, E. Tomasch, H. Hoschopf, P. Luttenberger, W. Sinz, Prospective evaluation of the collision severity of L7e vehicles considering a Collision Mitigation System, in: Transportation Research Procedia, Elsevier, 2016.

[118] E. Tomasch, H. Kolk, W. Sinz, H. Hoschopf, S. Kirschbichler, Prospektive Bewertung der Kollisionsschwere von L6e Fahrzeugen unter Berücksichtigung eines Kollisionsminderungssystems, in: 10. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit - Sicherheit 2.0, 2015, pp. 407–418.

[119] H. Kolk, E. Tomasch, M. Haberl, M. Fellendorf, A. Moser, M. Rütter, L. Mohr, Active safety effectiveness assessment by combination of traffic flow simulation and crash-simulation, in: 8th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“, Hannover, 2018.

[120] E. Tomasch, H. Hoschopf, B. Strnad, C. Wollendorfer, K. Schwieger, S. Riegler, NUNRUMPELTLEISER - Optimierte Anordnung von Rumpelmarkierungen unter Berücksichtigung von Lärmemission mit Beurteilung der Sicherheitswirkung, Wien, 2015.

[121] E. Tomasch, H. Hoschopf, W. Sinz, B. Strnad, Method to Optimise the Position of Rumble Strips on the Hard Shoulder to Avoid Run-off-road Accidents and Unnecessary Noise Pollution, Transportation Research Procedia 14 (2016) 3849–3858.
doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.470.

[122] E. Tomasch, H. Hoschopf, Sinz W., B. Strnad, Effectiveness of Rumble Strips Positioned at Different Lateral Distances to the Edge Line to Avoid Run-Off-Road Accidents, in: Transport Research Arena 2018 (TRA), Vienna, Austria, 2018.

[123] M. Mellauner, A. Soteropoulos, V. Zuser, N. Senitschnig, A. Pommer, M. Fischer, E. Tomasch, B. Kigilcim, J. Kammerlander, M. Staudner, Simulation of the Effects of Different Speeds on Road Safety and Car Journey Times in Austria, in: 8th Road Safety & Simulation International Conference, Athens, Greece, 2022.

[124] H. Hoschopf, W. Sinz, S. Kirschbichler, E. Tomasch, J. Moser, P. Saleh, F. Etl, I. Mocanu, Stefan Ch., Requirements for C2X systems for improving road safety in terms of fatigue, distraction and inattention, in: 1st European Road Infrastructure Congress (ERIC), Leeds, UK, 2016.

[125] S. Billicsich, E. Tomasch, G. Markovic, A. Eichberger, Z. Magosi, Evaluation of the impact of C2X systems to the accident severity in motorcycle accidents, in: Transport Research Arena 2016 (TRA), Warsaw, Poland, 2016.

[126] S. Billicsich, E. Tomasch, W. Sinz, A. Eichberger, G. Markovic, Z.F. Magosi, Potentieller Einfluss von C2X auf die Vermeidung von Motorradunfällen bzw. Reduktion der Verletzungsschwere, in: 10. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit - Sicherheit 2.0: Berlin, 25. und 26. November 2015, Nichtred. Ms.-Dr, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2015, pp. 383–392.

- [127] S. Billicsich, E. Tomasch, A. Eichberger, G. Markovic, Z. Magosi, Evaluation of the Impact of C2X Systems to the Accident Severity in Motorcycle Accidents, *Transportation Research Procedia* 14 (2016) 2129–2137. doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.228.
- [128] P. Wimmer, M. Düring, H. Chajmowicz, F. Granum, J. King, H. Kolk, O. Op den Camp, P. Scognamiglio, M. Wagner, Toward harmonizing prospective effectiveness assessment for road safety: Comparing tools in standard test case simulations, *Traffic Inj Prev* 20 (2019) S139-S145. doi.org/10.1080/15389588.2019.1616086.
- [129] M. Burckhardt, H. Burg, R. Gnadler, E. Näumann, G. Schiemann, Die Brems-Reaktionsdauer von Pkw-Fahrern, *Der Verkehrsunfall* 1981 (1981).
- [130] M. Burckhardt, Zur Analyse und Synthese von Reaktionszeiten, *Der Verkehrsunfall* 1980 (1980) 161–168.
- [131] M. Burckhardt, Reaktionszeiten bei Notbremsvorgängen, Verlag TÜV Rheinland, Köln, 1985.
- [132] W. Hugemann, Driver Reaction Times in Road Traffic, in: *Proceedings of the annual EVU meeting, Portoroz, 2002*.
- [133] M.M. Helms, J. Nixon, Exploring SWOT analysis – where are we now?, *Journal of Strategy and Management* 3 (2010) 215–251. doi.org/10.1108/17554251011064837.
- [134] E.P. Learned, *Business policy: Text and cases rev. ed*, Irwin-Dorsey, Georgetown, Ill, 1969.
- [135] H. Zingel, *Produktlebenszyklus und strategisches Marketing*, 2003. <http://www.zingel.de/pdf/09prod.pdf>.
- [136] D. Leigh, SWOT Analysis, in: K.H. Silber, W.R. Foshay, R. Watkins, D. Leigh, J.L. Moseley, J.C. Dessinger (Eds.), *Handbook of Improving Performance in the Workplace: Volumes 1-3*, Wiley, 2009, pp. 115–140.
- [137] N. Sedlacek, I. Steinacher, R. Neustifter, M. Donabauer, *Unfallkostenrechnung Straße 2022*, Wien, 2023.
- [138] Deutsche Automobil Treuhand GmbH, *DAT Report 2016*, 2016.

- [139] Deutsche Automobil Treuhand GmbH, DAT Report 2018, 2018.
- [140] E. Schnieder, L. Schnieder (Eds.), Verkehrssicherheit, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2013.
- [141] Landesverkehrswacht NRW, Toter Winkel. [landesverkehrswacht-nrw.de/service/aktion-toter-winkel/](https://www.landesverkehrswacht-nrw.de/service/aktion-toter-winkel/) (accessed 15 January 2024).
- [142] bmvit - Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Österreich unterwegs 2013/2014: Ergebnisbericht zur österreichweiten Mobilitätserhebung „Österreich unterwegs 2013/2014“, 2016.
- [143] DeStatis, Lkw-Verkehr: Ein Drittel aller Berufskraftfahrer und -fahrerinnen ist 55 und älter, 2022.
- [144] Zukunft Mobilität, Abgesetzter Radweg. [zukunft-mobilitaet.net/7230/vergangenheit-verkehrsgeschichte/geschichte-niederlande-radwege-design-kreuzung-radverkehrsanlagen/](https://www.zukunft-mobilitaet.net/7230/vergangenheit-verkehrsgeschichte/geschichte-niederlande-radwege-design-kreuzung-radverkehrsanlagen/) (accessed 22 January 2024).
- [145] K. Schleinitz, L. Franke-Bartholdt, T. Petzoldt, S. Schwanitz, T. Gehlert, M. Kühn, Pedelec-naturalistic cycling study, GDV, Berlin, 2014.
- [146] M. Dozza, J. Werneke, Introducing naturalistic cycling data: What factors influence bicyclists' safety in the real world?, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 24 (2014) 83–91. doi.org/10.1016/j.trf.2014.04.001.
- [147] D.A.M. Twisk, S. Platteel, G.R. Lovegrove, An experiment on rider stability while mounting: Comparing middle-aged and elderly cyclists on pedelecs and conventional bicycles, Accid. Anal. Prev. 105 (2017) 109–116. doi.org/10.1016/j.aap.2017.01.004.
- [148] P. Huertas-Leyva, M. Dozza, N. Baldanzini, Investigating cycling kinematics and braking maneuvers in the real world: e-bikes make cyclists move faster, brake harder, and experience new conflicts, Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour 54 (2018) 211–222. doi.org/10.1016/j.trf.2018.02.008.

[149] E. Mayer, J. Breuss, K. Robatsch, V. Zuser, A. Kaltenegger, E-Scooter: Auswirkungen des Trends auf die Verkehrssicherheit, Zeitschrift für Verkehrsrecht (ZVR) Dezember 2019 (2019) 417–424.

Abkürzungen

| | |
|--------|---|
| AEB | Autonomous Emergency Brakeassist |
| ABS | Antiblockiersysteme |
| ASR | Antriebsschlupfregelungen |
| ACC | Adaptive Cruise Control, adaptive Geschwindigkeitsregelung |
| BSD | Blind Spot Detection, Totwinkelüberwachung |
| BLIS | Blind Spot Information System |
| CEDATU | Central Database for In-Depth Accident Study |
| ESC | Electronic Stability Control |
| ESP | Elektronisches Stabilitätsprogramm |
| FAS | Fahrassistenzsysteme |
| FDR | Fahrdynamikregelung |
| FGI | Fokusgruppeninterviews |
| OR | Odds Ratio |
| s | Standardabweichung |
| SD | Standard Deviation, Standardabweichung |
| SWOT | Strengths, Weaknesses, Opportunities, Threats – Stärken, Schwächen, Chancen, Gefahren |
| TAM | Technologie-Akzeptanz-Modell |
| UV | ungeschützte Verkehrsteilnehmer:innen, Vulnerable Road User |

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und
Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 1 711 62-655864

road.safety@bmk.gv.at

bmk.gv.at