# Anforderungen an Radverkehrsanlagen durch Elektrofahrräder und neue Kleinstfahrzeuge


## M.Sc. Xiaochen Yu

geboren in Shanghai, China

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Institute of Transport Planning and Traffic Engineering

Prof. Eva Kaßens-Noor, Ph.D.



Vom Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der Technischen Universität Darmstadt zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Dissertation.

| | |
|---|---|
| Referent: | Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze |
| Korreferentin: | Prof. Eva Kaßens-Noor, Ph.D. |
| Korreferent: | Prof. Dr.-Ing. Jürgen Follmann |

Tag der Einreichung: 02.09.2022

Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.2022

D17

Darmstadt, 2022

Verfasser: M.Sc. Xiaochen Yu
Titel der Dissertation: Anforderungen an Radverkehrsanlagen durch Elektrofahrräder und neue Kleinstfahrzeuge
Dissertationsort: Darmstadt, Technische Universität Darmstadt

Tag der Einreichung: 02.09.2022
Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.2022

Jahr der Veröffentlichung der Dissertation auf TUprints: 2022

Veröffentlicht unter CC BY-SA 4.0 International
https://creativecommons.org/licenses

## Danksagung

Eine wissenschaftliche Arbeit ist nicht das Resultat einer Person. An dieser Stelle möchte ich mich daher bei allen Menschen bedanken, die direkt oder indirekt an meiner Dissertation beteiligt waren und mich unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein größter Dank meinem Betreuer und Referenten Prof. Dr.-Ing. Manfred Boltze. Während meiner Erstellung der Arbeit hat er mir mit stets hilfreichen Anregungen und konstruktiver Kritik den Weg zur erfolgreichen Promotion geebnet. Besonders am Anfang stand er mir in vielen Gesprächen zu möglichen Forschungsaspekten und -methoden beratend zur Seite. Daneben ermöglichte er mir die Teilnahme an dem internationalen Austausch durch das jährliche „interational doctoral seminar“. Die Ratschläge aus der internationalen Diskussion fließen auch in die Dissertation ein.

Ein großer Dank gilt auch meinem Mitbetreuer und Korreferenten Prof. Dr.-Ing. Jürgen Follmann. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwesen an der Hochschule Darmstadt ermutigte er mich, an den Veranstaltungen der Verkehrssicherheit teilzunehmen und meine Forschungsergebnisse zu präsentieren. Er hat mich auch mit vielen Hinweisen rund um die Dissertation und die Verkehrssicherheit des Radverkehrs aus den Fachgremien begleitet.

Frau Prof. Eva Kaßens-Noor (Ph.D.) danke ich für die Übernahme des Korreferats ebenfalls ganz herzlich.

Ebenso möchte ich mich bei Prof. Dr.-Ing. Axel Wolfermann, Prof. Dr.-Ing. Roland Weber und Prof. Dr.-Ing. Klaus Habermehl bedanken. Sie haben mir zahlreiche Hinweise in der Diskussion gegeben. Besonders Prof. Dr.-Ing. Axel Wolfermann hat seine Forschungsergebnisse über den Radverkehr zum Austausch mitgebracht, die grundlegende Kenntnisse für meine Dissertation bilden.

Außerdem möchte ich mich bei Herrn Dr.-Ing.Sven-Martin Nielsen (FGSV), Herrn Jörg Ortlepp (UdV), Herrn Peter Roßteutscher und Herrn Gabriel Pantigny (Radverkehrsbeauftragte Wissenschaftsstadt Darmstadt), Herrn Joachim Hochstein und Herrn Thomas Friede (Radbüro Frankfurt am Main) sowie Prof. Dr.-Ing. Keping Li (Tongji Universität) bedanken. Sie haben mit den Anmerkungen aus ihren Berufserfahrungen und fachlichen Kenntnissen zu dieser Arbeit beigetragen.

Meinen langjährigen Kolleginnen und Kollegen Mark-Simon Krause, Laura Kehrer und Thomas Marx an der Hochschule Darmstadt möchte ich für die schöne gemeinsame Zeit und für die zahlreichen fachlichen Diskussionen und sprachliche Korrektur der Texte hinsichtlich der Erstellung meiner Dissertation danken.

Für die Unterstützung bei der Verteilung der Befragungen, Unfallauswertung und sprachlichen Korrektur der Texte gilt mein großer Dank unseren studentischen Hilfskräften Kristina Dehn, Kevin Gäng, Caroline Gaube, Linda Großmann, Florian Herget, Maximilian Knapp, Benedikt München, Patrick Sandner, Sofia Trunov, Svenja Weber und Christina Wolf, ohne die der Aufwand nicht zu bewältigen gewesen wäre.

Anschließend möchte ich den aktuellen und ehemaligen Kolleginnen der TU Darmstadt Nicole von Stetten, Kristin Follmann, Sunghyun Jang, Dr. -Ing. Wei Jiang, Regina Linke, Marc Lüke, Karin Menges, Dr. -Ing. Tobias Aiko Monzert, Özgür Ötztürk (Ph.D.), Dr.-Ing. Kevin Rolko, Ferdinand Schöpp, Dr. -Ing. Le Thi Huong, Dr. -Ing. Truong Le Xuan, Dr.-Ing. Moritz von Mörner, Danny Wauri, Kim Wilke, Jürgen K. Wilke danken. Sie haben mich immer tatkräftig in gemeinsamen Diskussionen unterstützt.

Nicht zuletzt bedanke ich mich besonders bei meiner Mutter Yunjuan Tu und meinem Vater Shenghu Yu. Sie haben mich während meiner gesamten bisherigen Laufbahn in allen Situationen unterstützt.

.

## Kurzfassung

Vor dem Hintergrund der Verkehrswende, einhergehend mit der Förderung des Radverkehrs und der Entwicklung der Elektroantriebe, werden immer mehr Verletzte mit dem Pedelec erfasst. Dabei ist der Anteil der verunglückten Pedelecfahrenden im Vergleich zur Anzahl der Verunglückten des Gesamtradverkehrs höher als der Anteil der Pedelecs am Gesamtradverkehrsbestand. Deswegen wird in dieser Arbeit die Verkehrssicherheit des Pedelecs in den Vordergrund gestellt. Zudem verbreiten sich auch die Lasten(fahr)räder, E-Tretroller und andere elektrisch angetriebene Kleinstfahrzeuge, die auch Radverkehrsanlagen befahren dürfen. Die Entwicklung der neuen Fahrzeuge führt zu einer Inhomogenität auf den Radverkehrsanlagen. Daraus entsteht die Frage, wie Radverkehrsanlagen an die Entwicklung der neuen Fahrzeuge angepasst werden sollen.

Die bisherigen Studien in Deutschland beziehen sich überwiegend auf das allgemeine Verhalten der Nutzenden neuer Fahrzeuge. Im Ausland, besonders in asiatischen Ländern, gibt es bereits Forschungen über E-Bikes, welche allerdings anders als Pedelecs in Deutschland definiert sind. Daher beschäftigt sich die Arbeit mit der **Erfassung des Fahrverhaltens unter verschiedenen infrastrukturellen Merkmalen** und der **Festlegung der spezifischen Anforderungen an Radverkehrsanlagen** durch neue Fahrzeuge. Dadurch sind die **Empfehlungen für die Radverkehrsanlagen** abzuleiten.

Basierend auf den Eigenschaften der neuen Fahrzeuge leiten sich die Hypothesen für mögliche Anforderungen an die Radverkehrsanlagen ab. Gemäß Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) [FGSV 2010] werden die Hypothesen zusammengestellt und in drei Gruppen eingeteilt:

- Entwurfselemente: Breite von Radverkehrsanlagen; Trennung zwischen Geh- und Radweg; Breite von Sicherheitstrennstreifen; Längsneigung; Kurvenbereich; Aufstellbereich.
- Führung an Strecken: Gemeinsame Führung mit dem Fußverkehr; Duale Führungsform.
- Führung an Knotenpunkten: Zwischenzeit (Einfahrzeit); Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (mit nach rechts abbiegendem Kfz); Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs.

Dazu werden zunächst die Grundlagen der Elektrofahrräder und Kleinstfahrzeuge erläutert. Dies betrifft die begriffliche Abgrenzung und rechtliche Anordnungen, technische Merkmale und nutzungsbezogene Merkmale der Elektrofahrräder und Kleinstfahrzeuge. Ebenso werden die Grundlagen zur Bemessung von Radverkehrsanlagen aufgezeigt, wobei auch auf die ausländischen Regelwerke und den Bestand der Radverkehrsanlagen in der Praxis eingegangen wird.

Basierend auf den Grundlagen existieren drei Methoden für die Untersuchung. Zunächst steht die Unfallanalyse zwischen Fahrrädern und Pedelecs beruhend auf den Unfalldaten in Südhessen im Fokus. Der Schwerpunkt liegt auf den Verkehrsflächen der Unfallstelle und der Auswertung der dreistelligen Unfalltypen mithilfe des ausführlichen Unfallhergangs. Anschließend wird die Online-Umfrage genutzt, um die subjektive Wahrnehmung der Nutzenden für die Radverkehrsanlagen zu erfassen. Ergänzend werden auch die soziodemographischen Merkmale und das Mobilitätsverhalten der Rad- und E-Tretrollernutzenden einbezogen. Insgesamt wurden 755 Rückläufer (451 vollständige Rückläufer) ausgewertet. Letztendlich wird als wichtigstes Verfahren eine Videoerfassung an 54 Strecken und Knotenpunkten in den Hauptverkehrszeiten in Darmstadt und Frankfurt am Main durchgeführt.

In Bezug auf die soziodemographischen Merkmale zeigen die wesentlichen Ergebnisse der Umfrage, dass Pedelecs bei älteren Menschen von großer Bedeutung sind. Allerdings spielen Pedelecs auch bei Berufstätigen im mittleren Erwachsenenalter eine wichtigere Rolle, und es ist zu erkennen, dass die Gruppe der Pedelecnutzenden tendenziell jünger wird. Die Lastenradnutzenden sind jünger als die Fahrradfahrenden. Dies wird auch bei E-Tretrollerfahrenden festgestellt, weil ein großer Anteil von Studierenden und Schüler:innen besteht, die nicht bei Pedelec- und Lastenradfahrenden auftauchen. Lastenräder und E-Tretroller werden vor allem in Stadtregionen genutzt. Die Verwendung der E-Tretroller kommt fast nur in Metropolen und Großstädten infrage. Dagegen kommen Pedelecs häufiger in Haushalten außerhalb von Metropolen und Großstädten zum Einsatz.

In Hinblick auf das Mobilitätsverhalten werden Fahrräder und Pedelecs vor allem im Freizeitverkehr eingesetzt, während Lastenräder überwiegend zum Einkaufen genutzt werden. Die E-Tretroller, die in

der Umfrage regelmäßig benutzt werden, kommen überwiegend im Pendlerverkehr oder bei Dienstreisen zum Einsatz. Bei der (fast) täglichen Nutzung werden alle Fahrzeuge am häufigsten zur Arbeit benutzt. Die Wege zum Einkaufen mit Lastenrädern und die Wege zur Dienstreise mit den E-Tretrollern sind aufgrund mehrmaliger Nutzung pro Woche ausgeprägt. Durch die Nutzung der Pedelecs und Lastenräder wird die maximale Wegelänge auf 15 km bis 30 km erweitert. Die Wegelänge der Pedelecs und Lastenräder sind allerdings von der Reichweite des Akkus abhängig, besonders in der Winterzeit. Die nutzungsbezogene und fahrzeugtechnische Entfernung mit dem E-Tretroller ist deutlich kürzer als mit dem Fahrrad.

Auf der Grundlage der Umfrage lassen sich anschließend allgemeine Wahrnehmungen für die Radverkehrsinfrastruktur/ -anlagen ableiten:

- Radverkehrsanlagen mit genügender Breite, gutem baulichen Zustand und Separation vom Kraftfahrzeugverkehr sind für alle von großer Bedeutung.
- Die Lastenradfahrenden bevorzugen eher breite Radverkehrsanlagen aufgrund vereinfachter Überholvorgänge.
- Die E-Tretrollerfahrenden ziehen die separaten Radverkehrsanlagen mit baulichem Zustand vor, um die subjektive Sicherheit zu gewährleisten.
- Für die Pedelecs sind zudem direktes Linksabbiegen und die für den Radverkehr angepasste Lichtsignalsteuerung von größerer Bedeutung.
- Die Wege außerorts mit der starken Kfz-Belastung werden generell nicht von Rad- und E-Tretrollerfahrenden akzeptiert.
- Die Wege innerorts mit niedriger Kfz-Belastung oder im Grünbereich sind bei den E-Tretrollerfahrenden besonders beliebt.
- Ungefähr 50% der Befragten halten das Rad- und E-Tretrollerfahren generell für „sicher“ oder „sehr sicher“. Dieser Anteil ist bei den E-Tretrollerfahrenden (13%) eindeutig niedriger.

Im Weiteren werden das infrastruktur-bezogene Fahrverhalten von Nutzenden der neuen Fahrzeuge und die Auswirkung auf Radverkehrsanlagen durch Videoerfassung registriert. In Zusammenhang mit der Betrachtung der Unfallauswertung und der (konkreten) subjektiven Wahrnehmung für die Radverkehrsanlagen werden im Folgenden die ausgewählten wesentlichen Ergebnisse dargestellt:

- Die Pedelec- und Lastenradfahrenden benötigen mehr Sicherheitsraum zu den Hindernissen und zu anderen Verkehrsteilnehmenden (Überholabstand) wegen höherer Geschwindigkeit und spezifischer Fahrzeugabmessung.
- Die schmalen Radverkehrsstreifen (Schutz- und Radfahrstreifen) und schmalen Radwege zwischen Fahrbahn und Grünflächen sind mit den Lastenrädern (im Wirtschaftsverkehr) besonders schwierig zu befahren.
- Der 0,30 m breite Begrenzungsstreifen zwischen Geh- und Radweg ist ausreichend.
- Die Pedelecfahrenden werden stärker von dem ruhenden Verkehr beeinträchtigt als Fahrradfahrende, besonders auf der Fahrbahn sowie an Radverkehrsstreifen.
- An den Steigungsstrecken wird die Geschwindigkeit der Pedelecs am geringsten beeinflusst. Im Vergleich dazu haben die E-Tretroller Schwierigkeiten mit der Befahrbarkeit steiler Steigungen (z.B. > 6%).
- Die Kapazität der aufgeweiteten Radaufstellstreifen ist bisher noch unkritisch. Allerdings werden die aufgeweiteten Radaufstellstreifen oft nicht ausgenutzt.
- Bei der gemeinsamen Führung mit dem Fußverkehr werden die Gefahrenpunkte durch Pedelecs und Lastenräder überwiegend an Gehwegen, die schmaler als 4,0 m sind, beobachtet.
- Bei der Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs wird eine Unterschätzung der Geschwindigkeit der Pedelecs angesichts der Rechtsabbiege-Unfälle generell nicht verifiziert.
- Die Unfallanalyse von Rechtsabbiege-Unfällen bestätigt die Missachtung der Vorfahrt durch Kfz oft an langen Radfahrstreifen in Mittellage.
- Es wird festgestellt, dass die Pedelecfahrenden das direkte Linksabbiegen und die E-Tretrollerfahrenden mehrheitlich das indirekte Linksabbiegen vorziehen im Vergleich mit den Fahrradfahrenden.

- Die sehr hohen Geschwindigkeiten der Pedelecs, die sogar größer sind im Vergleich zu sportlich Fahrradfahrenden, werden vorwiegend bei jungen Nutzenden und sportlichen Pedelecs an breiten Radverkehrsanlagen oder Steigungsstrecken erfasst.

Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse wurden schließlich Empfehlungen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen abgeleitet. Ausgewählte Empfehlungen sind:

- Der Verkehrsraum für Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller ist auf 1,10 m anstatt 1,00 m gemäß ERA 2010 zu erhöhen und die Breite der Lastenräder zusätzlich zu addieren.
- Unter Berücksichtigung des Sicherheitsraums zur Bordsteinkante und des fließenden Kfz-Verkehrs werden ein Mindestmaß von 1,95 m und ein Regelmaß von 2,30 m Breite (Einrichtungsverkehr) je nach der Führungsform und des Qualitätsstandards benötigt.
- Ein Sicherheitstrennstreifen zwischen Parkständen und Radverkehrsstreifen ist mit einer Breite von mindestens 0,75 m erforderlich.
- Eine Zusatzbreite bis zu 0,50 m wird an den Strecken bis 6% Steigung in Abhängigkeit des Steigungsgrads empfohlen.
- Der aufgeweitete Radaufstellstreifen ist mit 6,0 m (ERA-Standard) / 6,5 m (Radvorrangrouten) Länge als Regelmaß angegeben. Dies lässt sich auf ein Mindestmaß von 5,0 m reduzieren und sollte nur bei zuführenden Radverkehrsstreifen breiter als 2,50 m sein.
- Als Gehwegbreite für eine gemeinsame Führung wird ein Regelmaß von 3,90 m (Einrichtungsbetrieb) / 4,90 m (Zweirichtungsbetrieb) zuzüglich des Sicherheitstrennstreifens benötigt. Ein Mindestmaß von 3,20 m sollte für die Anordnung der Benutzungspflicht nicht unterschritten werden.
- Ein Radfahrstreifen in Mittelage (bei den Dreiecksinseln) ist auf 60 m Länge zu beschränken.
- Eine Fahrradweiche am Einordnungsbereich kommt zur Erhöhung der Aufmerksamkeit der Kfz und zur Vereinfachung des direkten Linksabbiegens in Frage. Alternativ könnten die linksabbiegenden Räder und E-Tretroller mit linksabbiegenden Kfz ohne Einordnungsvorgänge in einer Phase des Signalprogramms geführt werden, wenn der Knotenpunkt ausreichend „groß“ und die eigene Signalphase für linksabbiegende Kfz vorhanden sind.

Die vorliegende Arbeit leistet im Rahmen der Verkehrswende einen grundlegenden Beitrag für die Verbesserung der Radverkehrsanlagen unter der Betrachtung von neuen Fahrzeugen im Radverkehr. Die Entwicklungen im Radverkehr schreiten schnell voran, z.B. bei der Nutzung von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr oder die vermehrte Nachfrage von E-Tretrollern. Ihre Auswirkungen auf Radverkehrsanlagen sollten noch näher untersucht werden. Außerdem ist eine sichere und komfortable Führung des Radverkehrs an Radschnellverbindungen und Erschließungsstraßen zu analysieren. Um die Wissenslücken an diesen Straßen zu schließen, ist weitere Forschung notwendig.

## Abstract

Against the background of the promotion of cycling regarding to the transport revolution and the development of pedelecs, more and more people are injured with pedelecs. The proportion of victims with pedelecs among all bicycle accident victims is higher than the proportion of pedelecs among the total number of bicycles. As a result, the road safety of the pedelec is pushed to the fore. In addition, cargo bikes, e-scooters and other electric micro vehicles, which are also allowed to use the cycle facilities, are spreading. The emergence of the new vehicles leads to an inhomogeneity in the cycling facilities. This raises the question of how the cycling facilities should be adapted to the development of new vehicles.

The previous studies in Germany are mainly related to the general behavior of the users of the new vehicles. Abroad, especially in Asian countries, there are some researches on e-bikes, which are different from pedelecs in Germany. Therefore, the work deals with the **collection of driving behavior under different infrastructural features** and **determination of the specific requirements for cycle facilities** by new vehicles. From this, **recommendations for the cycle facilities** can be derived.

Based on the properties of the new vehicles, the hypotheses for possible requirements for the cycle facilities are put forward. According to Recommendations for Cycling Facilities (German: *Empfehlungen für Radverkehrsanlagen* (ERA)) [FGSV 2010], the hypotheses are composed and bagged into three groups:

- Design elements: width of cycle facilities; separation between footpath and cycle path; width of safety separating strips; incline; curve area; waiting area.
- Guidance on routes: guidance with pedestrians; dual guidance forms.
- Guidance at junctions: intergreen time (entering time); Guidance of bicycle traffic traveling straight ahead (with vehicles right turning); Guidance of bicycle traffic left turning.

At first, the basics of electric bicycles and electric micro vehicles are explained. This involves conceptual delimitation and legal regulations, technical features and use-related features of electric bicycles and electric micro vehicles. At the same time, the basics of dimensioning cycle facilities are discussed. This also includes the foreign regulations and the current states of cycle facilities in practice.

Based on the fundamentals, there are three methods for investigation. Firstly, the accident analysis between conventional bicycles and pedelecs is conducted based on the accident data in southern Hesse. The focus is on the traffic areas of the accident site and three-digit accident types with the help of detailed accident history. The online survey is then used to gather the subjective perception of the cycling facilities. Meanwhile, the socio-demographic characteristics and mobility patterns of those who use bicycles and e-scooters are also surveyed. A total of 755 returns (451 complete returns) are received. Finally, the main method of video observation is carried out on 55 routes and junctions through the peak hours in Darmstadt and Frankfurt am Main.

In terms of socio-demographic characteristics, the key results of the survey show that pedelecs are still very important to seniors. However, pedelecs play a more important role in employed people in middle adulthood and the rejuvenation of pedelec users is clearly noticeable. The cargo bike users are younger than conventional cyclists. This is also determined by e-scooter users, because there is still a proportion of students and schoolchildren among e-scooter riders, who never turn up among pedelec and cargo bike riders. As a location, cargo bikes and e-scooters are mainly used in urban. The use of e-scooters is even almost only in metropolises and large cities. By contrast, pedelecs are more commonly used in households outside of metropolises and large cities.

Regarding to mobility behaviors, conventional bicycles and pedelecs are mainly used for leisure travel, while cargo bikes are mainly used for shopping. The e-scooters, which are used regularly in the survey, are mainly used for commuting or business trips. In (almost) daily use, all vehicles are used most frequently for work. The routes to shopping with cargo bikes and the routes to business trips with e-scooters are marked with multiple use per week. By using pedelecs and cargo bikes, the maximum distance is increased to between 15 km to 30 km. However, the distance covered by pedelecs and cargo bikes

is limited by the range of the battery, especially in winter. The usage-related and vehicle-related distance with the e-scooter is significantly shorter than with the conventional bicycle.

On the basis of the survey, general perceptions of cycling infrastructure/facilities can then be derived:

- The cycle facilities with sufficient width, the well-built condition and the separation from motorized vehicles are of great importance for everyone.
- Cargo bike riders tend to prefer the wide cycle facilities to make overtaking easier
- E-scooter riders prefer separate cycle facilities with good structural conditions to ensure subjective safety.
- For pedelecs, direct left turning and signal control adapted to cyclists are also of greater importance
- The rural routes with the high traffic volume are generally not accepted by cyclists and e-scooter riders.
- The urban routes with low traffic volume or in green area are particularly popular with e-scooter riders.
- Around 50% of those surveyed consider cycling and e-scooter use as “safe” or “very safe” generally. This proportion is clearly lower among e-scooter riders (13%).

Furthermore, the infrastructure-related driving behavior of users of the new vehicles and the impact on cycle facilities are gathered by video observation. With the combined consideration of the accident evaluation and (concrete) subjective perception for the cycle facilities, the selected essential results are presented below:

- Pedelec and cargo bike riders need more safety space from obstacles and other road users (overtaking distance) due to higher speed and specific vehicle dimensions.
- The narrow cycle lanes and narrow cycle paths between the roadway and green areas are particularly difficult for cargo bikes (in commercial traffic).
- The 0.30 m wide boundary strip between the footpath and cycle path is sufficient.
- Pedelec riders are more affected by stationary traffic than conventional cyclists, especially on the roadway and on cycle lanes.
- The speed of the pedelecs is least affected on the uphill routes. In contrast, the e-scooters have the problem of being able to drive on steep inclines (e.g. > 6%).
- The capacity of the bike boxes is still not a problem as so far. However, the bike box is often not totally used.
- When driving together with pedestrians, the increased risks from pedelecs and cargo bikes are mainly observed on sidewalks narrower than 4.0 m.
- By guidance of straight-ahead cyclists, an underestimation of the speed of the pedelecs in the event of a right-turn accident is not verified.
- In the face of right-turn accidents, that motorized vehicle failures to give right of the way, often occur at long cycle lanes in middle.
- It must be confirmed that pedelec riders prefer direct left turning and e-scooter riders clearly prefer indirect left turning compared with conventional cyclists.
- The excessive high speed of pedelec riders, which is even larger than conventional sporty cyclists, is randomly recorded among young users of sporty pedelecs on wide cycle lanes or uphill routes.

On the basis of the knowledge gained, recommendations for the dimensioning of cycle facilities were finally given. Selected recommendations are:

- The traffic space for conventional bicycles/ pedelecs/ e-scooters is set at 1.10 m wide instead of 1.00 m wide in accordance with ERA 2010 and the width of the cargo bikes is additional added.
- Taking into account of the more safety space to the curb and flowing vehicles, a minimum width of 1.95 m and a regular width of 2.30 m (for one-way traffic) are required depending on the guidance form and quality standard of cycle facilities.
- A safety separating strip between parking and cycle lanes is required at least 0.75 m wide.
- An additional width up to 0.50 m can be considered on inclines of up to 6% depending on inclines.

- The widened bicycle parking lane (cycling box) is 6.0 m (ERA standard) / 6.5 m (bicycle priority routes) long as a standard value. This can be reduced to a minimum of 5.0 m only if the leading cycle lane is wider than 2.50 m.
- For the footpath width for joint guidance is a regular dimension of 3.90 m (one-way operation)/ 4.90 m (two-way operation) plus the safety separation strip required. A minimum dimension of 3.20 m for the arrangement of cycle facility obligation should not be undercut.
- A cycle lane in the middle (maybe by triangular islands) is to be restricted to a length of 60 m.
- The “bicycle switch” at the traffic lane changing area is intended to increase the attention of motor vehicles and regulate the lane to simplify direct left turns. Alternatively, the left-turning cycles and e-scooters could be guided into a signal phase with left-turning motorized vehicles without changing into motor vehicle lanes from cycle lanes, if the intersection is sufficiently "large" and the separate signal phase for left-turning motorized vehicles is available.

The present work makes a fundamental contribution to the improvement of cycle facilities with the development of new vehicles in bicycle traffic within the framework of the transport revolution. However, cycling is now developing rapidly and, for example, cargo bikes in commercial transport and e-scooters are just beginning to spread. Their effects on the cycling facilities should still be investigated. In addition, a safe and comfortable guidance of bicycle traffic on the cycling highway and on access roads is just as important. The knowledge gaps on such roads also requires further research.

# Inhaltsverzeichnis

*Kurzfassung* ..... *i*

*Abstract* ..... *v*

*Inhaltsverzeichnis* ..... *ix*

*1 Einleitung* ..... *1*

**1.1 Ausgangslage und Forschungsbedarf** ..... **1**

**1.2 Zielstellung und Forschungsfragen der Arbeit** ..... **5**

**1.3 Aufbau der Arbeit** ..... **8**

**1.4 Abgrenzung des Forschungsgebiets** ..... **10**

*2 Grundlagen zu Elektrofahrrädern und Kleinstfahrzeugen* ..... *12*

**2.1 Begriffsbestimmung und rechtliche Regelungen** ..... **12**

2.1.1 Elektrofahrrad ..... 12

2.1.2 Lastenrad ..... 14

2.1.3 E-Tretroller ..... 15

**2.2 Fahrzeugmerkmale** ..... **15**

2.2.1 Pedelec ..... 15

2.2.2 Lastenrad ..... 16

2.2.3 E-Tretroller ..... 17

**2.3 Nutzungsmerkmale** ..... **18**

2.3.1 Allgemeines ..... 18

2.3.2 Soziodemographische Merkmale ..... 18

2.3.3 Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung ..... 19

2.3.4 Geschwindigkeit ..... 22

2.3.5 Verkehrssicherheit ..... 22

**2.4 Zwischenfazit** ..... **24**

*3 Grundlagen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen* ..... *25*

**3.1 Allgemeines** ..... **25**

**3.2 Entwurfselemente** ..... **26**

3.2.1 Breite von Radverkehrsanlagen ..... 26

3.2.2 Trennung zwischen Geh- und Radweg ..... 32

3.2.3 Breite von Sicherheitstrennstreifen ..... 33

3.2.4 Längsneigung ..... 37

3.2.5 Kurvenbereich ..... 38

3.2.6 Aufstellmöglichkeiten ..... 40

**3.3 Führung an Strecken** ..... **42**

3.3.1 Führung mit Fußverkehr ..... 42

3.3.2 Duale Führungsform ..... 44

**3.4 Führung an Knotenpunkten** ..... **45**

3.4.1 Zwischenzeit (Einfahrzeit) von Radfahrenden ..... 45

3.4.2 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ..... 46

3.4.3 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ..... 49

**3.5 Einfluss der Merkmale von Elektrofahrrädern und Kleinstfahrzeugen auf die Bemessung von Radverkehrsanlagen** ..... **52**

3.5.1 Breite von Radverkehrsanlagen und Sicherheitstrennstreifen ..... 52

3.5.2 Längsneigung ..... 53
3.5.3 Kurvenbereich ..... 53
3.5.4 Aufstellmöglichkeiten ..... 54
3.5.5 Führung mit Fußverkehr ..... 54
3.5.6 Duale Führungsformen ..... 54
3.5.7 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ..... 54
3.5.8 Führung des links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ..... 55

**3.6 Zwischenfazit ..... 55**

***4 Methodik der empirischen Untersuchungen ..... 57***

**4.1 Allgemeines ..... 57**

**4.2 Einflussfaktoren ..... 57**

**4.3 Bewertungskriterien ..... 60**

**4.4 Angewandte Methodik ..... 63**
4.4.1 Allgemeines ..... 63
4.4.2 Unfallanalyse ..... 64
4.4.3 Befragung ..... 65
4.4.4 Videoerfassung ..... 66

**4.5 Auswahl der untersuchten Strecken und Knotenpunktzufahrten ..... 67**
4.5.1 Einflussfaktoren zur Auswahl der Strecken oder Knotenpunktzufahrten ..... 67
4.5.2 Bewertungskriterien und Messgrößen für ausgewählte Strecken und Knotenpunktzufahrten ..... 71
4.5.3 Ausgewählte Strecken und Knotenpunktzufahrten ..... 77

***5 Ergebnisse der Unfallanalyse ..... 85***

**5.1 Allgemeines ..... 85**

**5.2 Verkehrsflächen der Unfallstelle ..... 85**

**5.3 Charakteristik der Unfallstelle ..... 85**

**5.4 Unfallfolge ..... 86**

**5.5 Unfallbeteiligung ..... 87**

**5.6 Unfalltypen ..... 88**

**5.7 Unfallursachen ..... 90**

**5.8 Fazit ..... 90**

***6 Ergebnisse der Umfrage ..... 92***

**6.1 Allgemeines ..... 92**

**6.2 Soziodemographische Merkmale ..... 93**

**6.3 Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung ..... 94**
6.3.1 Verkehrsmittelwahl und Wegezweck ..... 94
6.3.2 Nutzungshäufigkeit ..... 95
6.3.3 Wegelänge und Reichweite ..... 95
6.3.4 Wegenutzung ..... 96
6.3.5 Verkehrsmittelverlagerung ..... 96
6.3.6 Nutzungsmotive ..... 96
6.3.7 Sonderauswertung: Lastenradtypen ..... 97

**6.4 (Regelwidriges) Fahrverhalten ..... 97**

**6.5 Wahrnehmung der Bemessung von Radverkehrsanlagen ..... 98**
6.5.1 Allgemeines Sicherheitsempfinden ..... 98

6.5.2 Wahrnehmung der Entwurfselemente ... 99
6.5.3 Wahrnehmung der Führung an Strecken ... 102
6.5.4 Wahrnehmung der Führung an Knotenpunkten ... 103

**6.6 Fazit ... 104**

***7 Ergebnisse der Videoerfassung ... 106***

**7.1 Allgemeines ... 106**

**7.2 Entwurfselemente ... 106**
7.2.1 Breite von Radverkehrsanlagen ... 106
7.2.2 Trennung zwischen Geh- und Radweg ... 125
7.2.3 Breite von Sicherheitstrennstreifen ... 130
7.2.4 Längsneigung ... 145
7.2.5 Kurvenbereich ... 152
7.2.6 Aufstellbereiche ... 155

**7.3 Führung an Strecken ... 159**
7.3.1 Führung mit Fußverkehr ... 159
7.3.2 Duale Führungsform ... 161

**7.4 Führung an Knotenpunkten ... 165**
7.4.1 Zwischenzeit (Einfahrzeit) ... 165
7.4.2 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretroller) ... 165
7.4.3 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ... 170

**7.5 Sonstige Diskussion ... 173**

**7.6 Fazit ... 174**

***8 Diskussion und Empfehlungen ... 177***

**8.1 Allgemeines ... 177**

**8.2 Entwurfselemente ... 177**
8.2.1 Breite von Radverkehrsanlagen ... 177
8.2.2 Trennung zwischen Geh- und Radweg ... 181
8.2.3 Breite von Sicherheitstrennstreifen ... 182
8.2.4 Längsneigung ... 185
8.2.5 Kurvenbereich ... 186
8.2.6 Aufstellbereich ... 187

**8.3 Führung an Strecken ... 188**
8.3.1 Führung mit Fußverkehr ... 188
8.3.2 Duale Führungsform ... 190

**8.4 Führung an Knotenpunkten ... 192**
8.4.1 Zwischenzeit (Einfahrzeit) ... 192
8.4.2 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ... 192
8.4.3 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ... 194

***9 Schlussfolgerung und Forschungsbedarf ... 197***

**9.1 Schlussfolgerung ... 197**

**9.2 Forschungsbedarf ... 199**

***Abbildungsverzeichnis ... 201***

***Tabellenverzeichnis ... 203***

***Abkürzungsverzeichnis ... 207***

***Literaturverzeichnis ... 209***

***Anhänge ..... A***

Anhang 1 Technische Merkmale der neuen Fahrzeuge ..... *A1*

Anhang 2 Geschwindigkeitsvergleich zwischen Fahrrädern und Pedelecs ..... *A8*

Anhang 3 Unfallfolge zwischen Fahrrädern und Pedelecs in den Literaturen ..... *A9*

Anhang 4 Bemessungen von Radverkehrsanlagen in den internationalen Regelwerken und Gesetzen ..... *A10*

Anhang 5 Detailierte Beschreibung der Interaktionen ..... *A18*

Anhang 6 Umfrage ..... *A23*

Anhang 7 Darstellung der Positionsverteilung ..... *A49*

Anhang 8 Beschreibung der Merkmale aus der Videoanalyse durch Kinovea ..... *A50*

Anhang 9 Graphische Darstellung der Unfallauswertung ..... *A52*

Anhang 10 Graphische Darstellung der Umfrageergebnisse ..... *A61*

Anhang 11 Nebeneinanderfahren und Überholen aus der Videoerfassung ..... *A78*

Anhang 12 Interaktionsvorgänge aus der Videoerfassung ..... *A85*

Anhang 13 Beeinflussung durch den ruhenden Verkehr aus der Videoerfassung ..... *A96*

Anhang 14 Aufstellmöglichkeit an aufgeweiteten Radaufstellstreifen aus der Videoerfassung ..... *A98*

Anhang 15 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) aus der Videoerfassung ..... *A103*

Anhang 16 Empfehlungen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen ..... *A106*

Anhang 17 Beschreibung der Strecken und Knotenpunkte ..... *A113*

Abbildungsverzeichnis (Anhänge) ..... *A287*

Tabellenverzeichnis (Anhänge) ..... *A292*

Literaturverzeichnis (Anhänge) ..... *A294*

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Forschungsbedarf

**Ausgangslage**

Verkehr verursacht eine starke Umweltbelastung. In Deutschland werden bis 2020 etwa 20 % der direkten $CO_2$-Emissionen durch den Verkehrssektor induziert und circa 94 % davon im Straßenverkehr ausgestoßen (Navigant, Sach, T. et al. 2021). Neben der Luftverschmutzung erzeugt der Straßenverkehr Lärm und Verkehrsstaus, welche die städtische Lebensqualität bedrohen. Aus diesem Grund braucht Deutschland eine Mobilitätswende, um Klima und Gesundheit zu schützen und eine nachhaltige Entwicklung voranzutreiben.

Unter der Mobilitätswende versteht man eine Umwandlung zur postfossilen und umweltfreundlichen Mobilität und eine Veränderung des Mobilitätsverhaltens durch Verkehrsmeidung und Verkehrsverlagerung auf Zufußgehen, Radfahren und öffentlichen Personennahverkehr (Wilde et al. 2017; Runkel et al. 2016).

Eine besondere Bedeutung hat der Radverkehr. Momentan werden in Deutschland 50 % der Wege unter 5 km und sogar 70 % der Wege unter 10 km mit dem Pkw zurückgelegt (ADFC 2018). Für diese Strecken mit kurzer Reichweite sind Fahrräder, Elektrofahrräder und neuartige Lastenräder eine umweltfreundliche und sozial nachhaltige Alternative im Sinne der Mobilitätswende.

In den vergangenen Jahren erlebte der Radverkehr eine enorme Entwicklung. Der Modal Split des Wegeaufkommens in deutschen Metropolen und Großstädten steigerte sich bis 2017 jeweils um 5 % und 4 % gegenüber 2012 (Nobis 2019). Die Fortführung sowie Weiterentwicklung des Radverkehrs wird laut dem Nationalen Radverkehrsplan in der nächsten Dekade strategisch gefördert (BMVI 17.12.2019). Mit dem Boom des Gesamtradverkehrs gewinnen Elektrofahrräder zunehmend an Bedeutung und erhalten hohe Akzeptanz aufgrund ihrer Flexibilität, Geschwindigkeit oder nahezu mühelosen Raumüberwindung. Der Elektrofahrradbestand in Deutschland stieg von 2,1 Millionen im Jahre 2014 auf 7,1 Millionen im Jahre 2020 (ZIV 10.03.2021). Hiervon sind etwa 95% **Pedelecs** (ZIV 10.03.2021), bei denen bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h eine Elektrounterstützung der Tretbewegung stattfindet (Graf 2019). Rechtlich dürfen Pedelecs als einziger Elektrofahrradtyp Radverkehrsanlagen (RVA) befahren.

Mit der Zunahme der Anzahl an Elektrofahrrädern **vermehren sich auch die Unfälle mit Elektrofahrrädern sowie Pedelecs**. Dabei sind der Anteil an Beteiligten an Unfällen mit Personenschaden (2020: 15,9 %) und der Anteil der Verunglückten von Pedelec-Fahrenden (2020: 16,5 %) höher als der des Fahrrad-Bestands (2020: 9,0 %) (Tabelle 1.1).

Werden im Weiteren die Unfälle mit Fahrrädern und Pedelecs nach **Altersgruppen** verglichen, lassen sich zwei unterschiedliche Bilder erkennen. Während die Altersverteilung der verunglückten Personen bei Unfällen mit Fahrrädern konstant bleibt, verändert sich die Altersverteilung bei Unfällen mit Pedelecs deutlich (Abbildung 1.1). Es ist auffällig, dass ein großer Teil der mit Pedelecs Verunglückten älter als 65 Jahre ist, trotzdem fiel deren Anteil an allen mit Pedelec Verunglückten im Zeitraum zwischen 2014 und 2020 um 18,6 % von 54,5 % auf 35,9 %. Dagegen erhöhte sich in demselben Zeitraum stetig der Anteil in der Altersgruppe 36-64 Jahre. Im Jahre 2020 lag der Anteil in dieser Altersgruppe bereits bei ca. 50,0 % und damit höher als der in der Altersgruppe ab 65 Jahren (35,9 %). Grund dafür ist die verbreitete Nutzung von Pedelecs bei Erwerbstätigen (Schreck-von Below und Reinartz 2019). Der Anteil in der Altersgruppe 18-35 Jahre stieg leicht um 4,1 % mit einem unstetigen Verlauf an und macht nach wie vor einen geringen Teil aus. Ebenso nahm der Anteil bei Kindern und Jugendlichen (unter 18 Jahren) leicht zu, aber blieb auf einem geringen Niveau, da die Radfahrenden unter 18 Jahren selten Pedelecs nutzen. Betrachtet man zudem die Entwicklung der (absoluten) Anzahl der Verunglückten mit den Pedelecs, sind 13013 mehr Personen im Jahre 2020 verunglückt als im Jahre 2014. Von diesem Anstieg sind 51,8% (6742 Personen) und 12,3% (1605 Personen) jeweils den Altersgruppen 36-64 und 18-35, während 32,9 % (4285 Personen) der Verunglückten der Altersgruppe ab 65 zuzuordnen sind. Das bedeutet, dass die Entwicklung der Personenschäden sehr vom mittleren Erwachsenenalter abhängt und eine große Rolle für den Anteil der Gesamtverunglückten mit Pedelecs spielt.

**Tabelle 1.1: Entwicklung des Verkaufsabsatzes, Fahrrad-Bestands und der Beteiligten an Unfällen mit Personenschaden und Verunglückten von 2014 bis 2020 in Deutschland (StBA 2015-2021) (ZIV 10.03.2021) (Anteil in der Klammer)**

| Jahr | Verkaufsabsatz [Millionen] | | Fahrrad-Bestand [Millionen] | | Beteiligte an Unfällen mit Personenschaden [Personen] | | Verunglückte [Personen] | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fahrräder insgesamt | Elektrofahrräder | Fahrräder insgesamt | Elektrofahrräder | Fahrräder und Pedelecs | Pedelecs | Fahrräder und Pedelecs | Pedelecs |
| **2014** | 4,10 | 0,48 (11,7%) | 72,0 | 2,1 (2,9%) | 85199 | 2292 (2,7%) | 78296 | 2223 (2,8%) |
| **2015** | 4,36 | 0,53 (12,3%) | 72,0 | 2,5 (3,5%) | 84616 | 3044 (3,6%) | 78176 | 2942 (5,0%) |
| **2016** | 4.06 | 0,61 (14,9%) | 73,0 | 3 (4,1%) | 87992 | 4078 (4,6%) | 81274 | 3901 (4,8%) |
| **2017** | 3.85 | 0,72 (18,7%) | 73,5 | 3,5 (4,8%) | 81117 | 5343 (6,6%) | 74613 | 5115 (6,9%) |
| **2018** | 4,18 | 0,98 (23,4%) | 75,5 | 4,5 (6,0%) | 96337 | 8147 (8,3%) | 88880 | 7823 (8,8%) |
| **2019** | 4,31 | 1,36 (31,5%) | 75,9 | 5,4 (7,1%) | 94780 | 11091 (11,7%) | 87342 | 10623 (12,1%) |
| **2020** | 5,04 | 1,95 (38,7%) | 79,1 | 7,1 (9,0%) | 100159 | 16009 (15,9%) | 92273 | 15236 (16,5%) |

| Anzahl der Verunglückten mit Fahrrädern und Pedelecs zwischen 2014 und 2018 in Deutschland nach Altersgruppen | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | unter 18 | | 18-35 | | 36-64 | | ab 65 | | Summe | |
| | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs |
| **2014** | 14076 | 24 | 18380 | 165 | 31026 | 811 | 12475 | 1196 | **75957** | **2196** |
| **2015** | 13679 | 24 | 19248 | 169 | 30505 | 1278 | 12283 | 1557 | **75714** | **3028** |
| **2016** | 13822 | 24 | 19856 | 275 | 30888 | 1648 | 12257 | 1926 | **76823** | **3873** |
| **2017** | 14091 | 84 | 18781 | 338 | 29677 | 2251 | 11511 | 2302 | **74060** | **4975** |
| **2018** | 14873 | 129 | 20297 | 719 | 33109 | 3665 | 12340 | 3398 | **80618** | **7911** |
| **2019** | 14023 | 211 | 19277 | 1116 | 31190 | 5298 | 11759 | 3980 | **76249** | **10605** |
| **2020** | 13380 | 454 | 18862 | 1770 | 32404 | 7553 | 11877 | 5481 | **76523** | **15259** |

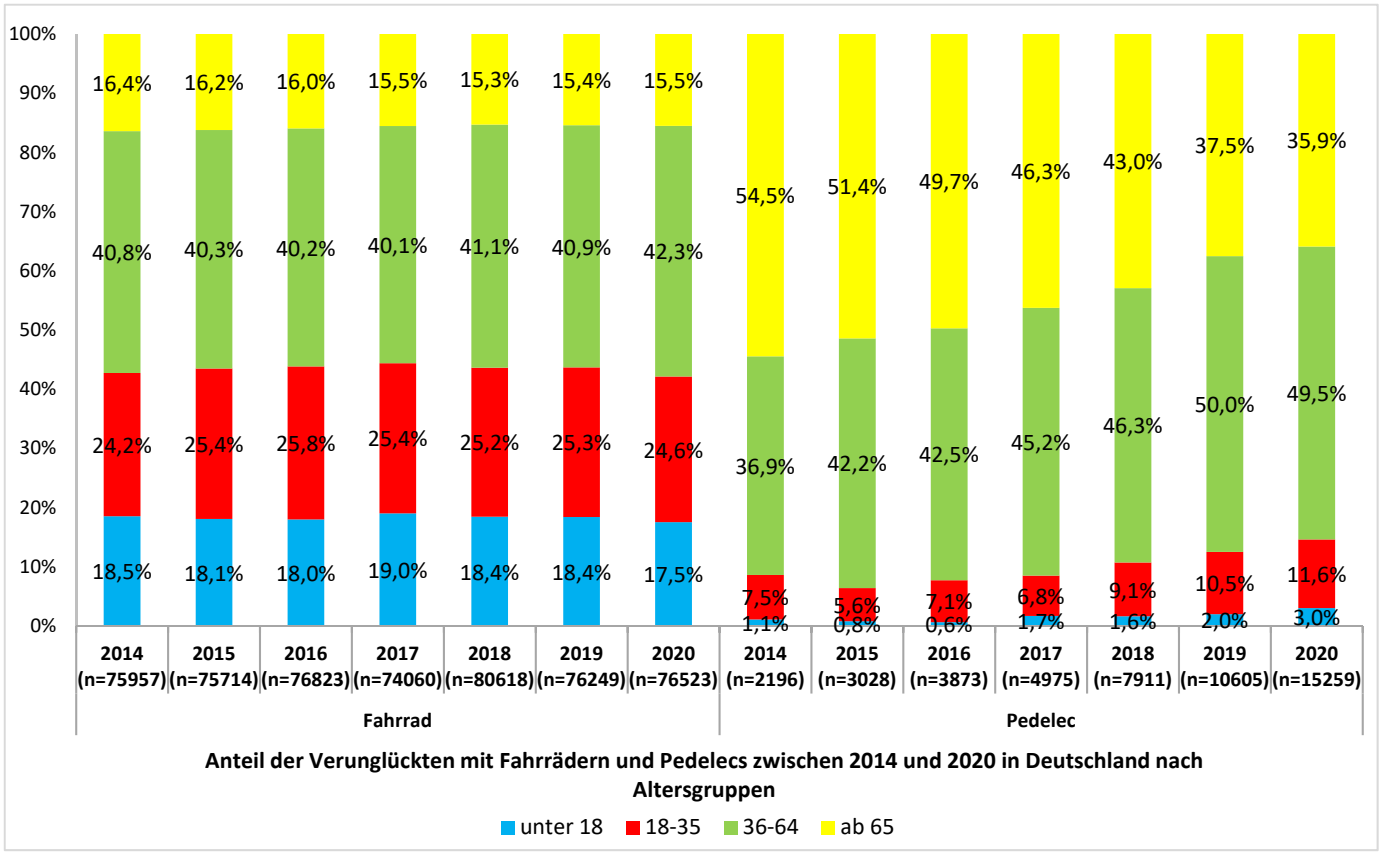



**Abbildung 1.1: Anzahl und Anteil der Verunglückten mit Fahrrädern und Pedelecs zwischen 2014 und 2020 in Deutschland nach Altersgruppen [eigene Darstellung nach (StBA 2015-2021)][1]**

[1] Die Anzahl der Verunglückten (je 100.000 Einwohner) nach den Altersgruppen wird durch den Bericht „Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr“ und Bevölkerungsfortschreibung von dem Statistischen Bundesamt (StBA) umgerechnet. Die Gesamtanzahl der Verunglückten könnte wegen der Rundung infolge unterschiedlicher Einheiten in den Unfallberichten leicht abweichen.

Ferner wird ein Blick auf die Anzahl der Verunglückten je 100.000 Einwohner der jeweiligen Altersgruppe geworfen (Tabelle 1.2). In der Altersgruppe ab 65 Jahre sind 30 Personen je 100.000 Einwohner mit Pedelecs im Jahre 2020 verunglückt, damit lag das Unfallrisiko der älteren Pedelecnutzenden gegenüber dem Durchschnittswert für die Gesamtbevölkerung (18) hoch. Allerdings sank das Verhältnis der Verunglückten je 100.000 Einwohner dieser Altersgruppe zum insgesamten Durchschnitt proportional. Bei den 36- bis 64-jährigen Verkehrsteilnehmenden lag die Anzahl der mit Pedelecs Verunglückten je 100.000 Einwohner dieser Altersgruppe bis 2016 niedriger als der Durchschnittswert der Gesamtbevölkerung. Ab 2016 sind dagegen mehr Radfahrende je 100.000 Einwohner dieser Altersgruppe mit Pedelecs verunglückt als durchschnittlich Verunglückte der Gesamtbevölkerung. Somit ist festzustellen, dass sich **das Unfallrisiko der Pedelec-Fahrenden bei der Altersgruppe 18-64 Jahre allmählich erhöht**.

**Tabelle 1.2: Anzahl der zwischen 2014 und 2020 in Deutschland mit Fahrrädern und Pedelecs Verunglückten je 100.000 Einwohner nach Altersgruppen [Umrechnung nach (StBA 2015-2021)]** [1]

| | unter 18 | | 18-35 | | 36-64 | | ab 65 | | Insgesamt | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs | Fahrräder | Pedelecs |
| **2014** | 107 | 0 | 112 | 1 | 90 | 2 | 73 | 7 | **94** | **3** |
| **2015** | 103 | 0 | 114 | 1 | 88 | 4 | 71 | 9 | **92** | **4** |
| **2016** | 103 | 0 | 117 | 2 | 89 | 5 | 70 | 11 | **93** | **5** |
| **2017** | 104 | 1 | 111 | 2 | 86 | 7 | 65 | 13 | **90** | **6** |
| **2018** | 109 | 1 | 120 | 4 | 96 | 11 | 69 | 19 | **98** | **9** |
| **2019** | 103 | 2 | 115 | 7 | 90 | 15 | 65 | 22 | **92** | **13** |
| **2020** | 97 | 3 | 113 | 11 | 94 | 22 | 65 | 30 | **92** | **18** |

Aus der Analyse ergibt sich, dass die erhöhten Verkehrssicherheitsrisiken mit Pedelecs nicht ausschließlich mit älteren Pedelecnutzenden verbunden sind. Der Trend des Unfallgeschehens mit Pedelecs ist eher mit den gegenüber konventionellen Fahrrädern **anderen Eigenschaften der Pedelecs** und dem damit verbundenen **anderen Fahrverhalten der Pedelecnutzenden** abhängig.

Andere Fahreigenschaften und anderes Fahrverhalten, insbesondere höhere Geschwindigkeiten von Fahrrädern mit elektrischem Antrieb, legen eine Überprüfung der Dimensionierungsgrundlagen von Radverkehrsanlagen nahe (z.B. häufiger Alleinunfälle mit Pedelecs an Gefälle und Kurvenfahrt infolge höherer Geschwindigkeit). Deswegen ist es erforderlich, das Fahrverhalten der Elektrofahrradnutzenden an Radverkehrsanlagen zu erfassen und entsprechende infrastrukturelle Maßnahmen umzusetzen, um die subjektive und objektive Verkehrssicherheit mit Elektrofahrrädern zu steigern.

Dank der Elektrounterstützung gehören auch weitere neuartige Fahrradtypen mit **anderen Abmessungen** und Eigenschaften, insbesondere **Lastenräder**, zum Stadtbild. Ein Lastenrad kann je nach Typ länger als 3 m und breiter als 1 m sein. Diese ungewöhnlichen Abmessungen nehmen die Radverkehrsanlagen anders in Anspruch, und die Frage nach einer Veränderung der Standardwerte für die Dimensionierung der Radverkehrsanlagen drängt sich auf.

Neben den neuen Fahrradtypen verbreiten sich **E-Tretroller** (englisch: *e-Scooter*), welche unter den Sammelbegriff vom **Elektrokleinstfahrzeug** fallen, in deutschen Großstädten, z.B. in Frankfurt am Main oder Berlin. Die E-Tretroller fahren mit bis zu 20 km/h auf Radverkehrsanlagen oder der Fahrbahn, konkurrieren mit anderen Fahrrädern und führen zu mehr Überholvorgängen. Dies hat zur Folge, dass die bestehenden, für Elektrofahrräder und Lastenräder nicht konformen Radverkehrsanlagen zusätzlich belastet werden.

Allerdings existiert in Deutschland eine große Anzahl in der Vergangenheit gebauter Radverkehrsanlagen in der Praxis, welche die Anforderungen des Regelwerks „Empfehlungen für Radverkehrsanlagen 2010“ (ERA 2010) nicht erfüllen. Deren Mängel bringen zusätzliche Verkehrsrisiken mit sich. Diese veralteten Radverkehrsanlagen benötigen mit der Zunahme von Elektrofahrrädern, Lastenrädern sowie E-Tretrollern umgehend eine weitergehende Verkehrssicherheits- und Qualitätsprüfung. Gegenüber den alten Radverkehrsanlagen werden auch neue Lösungsansätze (z.B. geschützte Radfahrstreifen) oder im Vergleich zu ERA 2010 „überdimensionierte“ Entwurfsparameter der Radverkehrsanlagen allmählich in deutschen Kommunen probeweise eingeführt. Für die Innovationslösungen sollte überprüft werden, ob sie eigentlich ein genügendes infrastrukturelles Angebot vorlegen.

Insbesondere im Zuge der in den letzten Jahren angegangenen Radschnellverbindungen werden die Entwurfsparameter aus den deutschen Regelwerken auf das hier zu erwartende höhere Radverkehrsaufkommen weiterentwickelt. Das neue Regelwerk „Hinweise zu Radschnellverbindungen und Radvorrangrouten“ (H RSV) und eigene Handreichungen sind hierzu in den Bundesländern Baden-Württemberg und Hessen verfügbar, welche die Fortschreibung der Erkenntnisse aus den ERA 2010 darstellen. Auf den ersten realisierten Abschnitten ergeben sich Eindrücke zur Wirksamkeit.

Insgesamt sind die am Verkehr Teilnehmenden auf den Radverkehrsanlagen hinsichtlich Fahrzeugabmessung, Fahreigenschaften und Fahrverhalten viel heterogener als bisher, und diese Unterschiede müssen in der Gestaltung der Radverkehrsanlagen berücksichtigt werden.

## Stand der Forschung

Aufgrund der Verbreitung der Elektrofahrräder und der steigenden Unfallzahlen wurden einige Forschungen spezifisch für Elektrofahrräder (besonders Pedelecs) in den vergangenen Jahren in Deutschland durchgeführt (z.B. (Schleinitz et al. 2016b; Alrutz et al. September 2015)). Betrachtet wurden insbesondere Mobilitätsverhalten, Geschwindigkeit, allgemeines Fahrverhalten und Sicherheitssituationen der Elektrofahrradfahrenden. Dabei wurde jedoch **kein infrastruktur-spezifisches Fahrverhalten** der Elektrofahrradfahrenden erforscht. In diesem Sinne wurde die Bedeutung der Entwurfsmaße der Radverkehrsanlagen für die Verkehrssicherheit der Elektrofahrräder noch nicht ausreichend in Betracht gezogen. Außerdem wurden die bisherigen Forschungen vor allem aufgrund der Tatsache betrieben, dass ältere Elektrofahrradnutzende einen großen Teil der Elektrofahrradfahrenden ausmachten. Mit der Verjüngung der Elektrofahrradnutzenden im Laufe der Zeit verändert sich das Fahrverhalten deutlich (Schreck 2016).

Aus wirtschaftlicher und geschäftlicher Sicht bestehen auch für Lastenräder diverse Forschungen über Akzeptanz und Nutzungsverhalten (vergleich z.B. (Heinrich et al. 2016; Gruber und Rudolph 2016b)). Aussagen über die Bemessung der Radverkehrsanlagen in Braun (2017a) stammten nur aus der theoretischen Analyse und Einschätzung der Eigenschaften der Lastenräder mithilfe eines computergestützten Programms. Fahrverhalten und Verkehrssituation der Lastenräder in der Praxis wurden nicht untersucht.

Auch für E-Tretroller gibt es bisher vereinzelte Forschungen im Verkehrswesen. Die einzige bedeutsame Forschung von Bierbach et al. (2018) in Deutschland ging von der Frage aus, welche technischen Regelungen und Empfehlungen für den Einsatz von Elektrokleinstfahrzeugen aus der Sicht der objektiven Fahrdynamik und der subjektiven Akzeptanz vorzuschreiben sind. Die Forschung wurde zur technischen Entwicklung der Elektrokleinstfahrzeuge getätigt und die Interaktionen zwischen Elektrokleinstfahrzeugen und anderen Verkehrsteilnehmern wurden nicht berücksichtigt. Die neue Studie von GDV (2021) berücksichtigt auch nur das allgemeine Fahrverhalten der E-Tretrollerfahrenden bezüglich der Verkehrssicherheit. Hierbei werden die Infrastrukturmerkmale kaum einbezogen.

Zur Ausführung für Radverkehrsanlagen besteht in Deutschland das umfassende Regelwerk ERA 2010, welches noch vor dem Boom der Elektrofahrräder und Lastenräder entstanden ist. Daher werden die Belange der Elektrofahrräder, Lastenräder und E-Tretroller im Hinblick auf die Bemessung der Radinfrastrukturen nicht gesondert aufgegriffen.

Neben dem deutschen Regelwerk gibt es auch zahlreiche nationale Forschungen über die Bemessung der Radverkehrsanlagen hinsichtlich Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit (z.B. (Richter und Beyer 2019; Angenendt und Wilken 1997)). Dabei wird jedoch nicht nach unterschiedlichen Fahrradtypen differenziert.

International gibt es eine Reihe von Forschungen über die Zusammenhänge zwischen Elektrofahrrädern und der Dimensionierung der Radverkehrsanlagen, besonders in asiatischen Ländern, weil der Anteil der Elektrofahrräder in Großstädten dort höher als 50% des Gesamtradverkehrs betragen könnte (Wang et al. 2012). In Shanghai lag der Anteil der Elektrofahrräder sogar bei 69 % - 75 % zum Gesamtradverkehr im Jahre 2018 vor (Chen 08.28.2019). Allerdings wird die Begriffsbezeichnung „Elektrofahrrad“ dort für Elektromofas oder Elektromotorroller verwendet, deren Eigenschaften nicht mit den in Deutschland verbreiteten Pedelecs gleichgesetzt werden können. Die Verkehrsinfrastruktur, -situation

sowie -kultur in asiatischen Ländern sind ebenfalls anders als die in Europa und Deutschland. Eine direkte Übertragung der Ergebnisse auf Deutschland ist daher nicht sinnvoll.

**Forschungsbedarf**

Um die Verkehrssicherheit zu gewährleisten und eine hohe Akzeptanz der Radverkehrsanlagen durch die unterschiedlichen Nutzungsgruppen (z.B. Pedelec- oder E-Tretrollernutzende) zu ermöglichen, sind die Einflüsse der Eigenschaften von Elektrofahrrädern, Lastenrädern sowie E-Tretrollern auf das Fahrverhalten zu analysieren. Daraus sind die spezifischen Anforderungen dieser Fahrzeuge an die Gestaltung der Radverkehrsanlagen abzuleiten.

Dabei liegt der Forschungsbedarf in der **Schließung der Lücke** zwischen den spezifischen **Bedürfnissen der unterschiedlichen Fahrradtypen**, der **Bemessung der Radverkehrsanlagen** und der **Überarbeitung des Standardmaßes** für Radverkehrsanlagen.

Hierzu sind die **subjektive Wahrnehmung** der Radverkehrsanlagen und das **objektive infrastrukturbezogene Fahrverhalten** der Rad- und E-Tretrollerfahrenden zu betrachten und auszuwerten.

Die im nächsten Abschnitt dargestellten Forschungsfragen spezifizieren diesen Forschungsbedarf.

## 1.2 Zielstellung und Forschungsfragen der Arbeit

**Zielstellung**

Die Forschungsarbeit verfolgt das Ziel, verschiedene Fahrverhalten bezüglich der Dimensionierung der Radverkehrsanlagen zu verdeutlichen und Hinweise für die Gestaltung und Optimierung der Radverkehrsanlagen zu liefern. Damit soll die Verkehrssicherheit des Gesamtradverkehrs und die Akzeptanz der Radverkehrsanlagen erhöht werden.

Durch die Forschung werden der Unterschied der Unfalldaten (z.B. Unfallursachen) zwischen konventionellen Fahrrädern und Pedelecs identifiziert, die subjektive Empfindung der Radfahrenden analysiert sowie das objektive Fahrverhalten beobachtet. Dadurch soll die Arbeit darstellen und bewerten, welche Lücken sich zwischen den in der Praxis bestehenden oder in den ERA 2010 geregelten Radverkehrsanlagen und den Bedürfnissen der unterschiedlichen Fahrradtypen auftun. Basierend darauf sind anwendungsfähige Empfehlungen zu formulieren.

**Forschungsfragen**

Die zu untersuchenden Gestaltungselemente der Radverkehrsanlagen hängen eng mit den spezifischen Eigenschaften der Fahrzeuge und den damit verbundenen verkehrlichen Wirkungen zusammen. In MEID MV (2011), Gruber und Rudolph (2016a) und Braun (2017b) wurden die spezifischen Eigenschaften von Pedelecs oder Lastenrädern und ihre eventuellen Auswirkungen auf Radverkehrsanlagen eingeschätzt, analysiert und zusammengestellt. Ebenso wurden für E-Tretroller Untersuchungen über Fahrdynamik, Nutzerverhalten und subjektives Sicherheitsniveau durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführt (Bierbach et al. 2018). Dabei sollten die irrelevanten Einzelheiten herausgefiltert und nicht ausreichend berücksichtigte Elemente identifiziert werden.

In Tabelle 1.3 wird der Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Fahrzeuge, ihren potenziellen verkehrlichen Wirkungen und den relevanten Gestaltungselementen von Radverkehrsanlagen zusammengeführt.

Die dort genannten relevanten Gestaltungselemente von Radverkehrsanlagen werden für die folgende Zusammenstellung von Forschungsfragen gemäß ERA 2010 in drei Bereiche unterteilt und konkretisiert: Entwurfselemente, Führung an Strecken und Führung an Knotenpunkten.

**Tabelle 1.3: Zusammenfassung der Eigenschaften des Radverkehrs, ihrer verkehrlichen Wirkungen und der relevanten Gestaltungselemente von Radverkehrsanlagen**

| Eigenschaften der Fahrzeuge | | Verkehrliche Wirkungen | relevante Gestaltungselemente von Radverkehrsanlagen |
|---|---|---|---|
| Pedelec | hohe Geschwindigkeit | ▪ häufigere Überholvorgänge | ▪ Breite von Radverkehrsanlagen |
| | | ▪ mehr Sicherheitsabstand zur Barriere (z. B. Bordstein, Parken) | ▪ Breite von Sicherheitstrennstreifen |
| | | ▪ mehr Sicherheitsabstand zum Fußverkehr | ▪ Führung mit Fußverkehr<br>▪ Trennung zwischen Geh- und Radweg |
| | | ▪ Bevorzugung des direkten Linksabbiegens | ▪ Führung des linksabbiegenden Radverkehrs |
| | | ▪ schnelle Erreichung des Konfliktbereichs an Knotenpunkten | ▪ Einfahrzeit an Lichtsignalanlagen |
| | bergauf leichter | ▪ größere Geschwindigkeitsdifferenz | ▪ Längsneigung |
| | | ▪ häufigere Überholvorgänge auf der Steigung | ▪ Breite von Radverkehrsanlagen |
| | schnelle Beschleunigung | ▪ höhere Geschwindigkeit leicht erreichbar | ▪ Einfahrzeit an Lichtsignalanlagen |
| | | ▪ Unterschätzen der Zeit für die Erreichung des Konfliktbereichs durch andere Verkehrsteilnehmende | ▪ Führung des geradeaus Radverkehrs (Konflikt mit rechtsabbiegendem Kfz-Verkehr) |
| | | ▪ Immer vorrangiges Aufstellen | ▪ Aufstellmöglichkeiten |
| | schweres Fahrzeug | ▪ anderes Bremsverhalten bei kritischen Situationen mit Fußverkehr | ▪ Führung mit Fußverkehr |
| Lastenrad | breites Fahrzeug | ▪ Breitenzuschläge benötigt | ▪ Breite von Radverkehrsanlagen |
| | | ▪ Blockierung der schmalen Radverkehrsanlagen (Überholen auf dem Gehweg) | ▪ Trennung zwischen Geh- und Radweg |
| | | ▪ mehr Platz benötigt zum Abstellen | ▪ Aufstellmöglichkeiten |
| | langes Fahrzeug | ▪ Schleppkurve beim Abbiegen | ▪ Kurvenbereich |
| | | ▪ mehr Platz benötigt für das Abstellen | ▪ Aufstellmöglichkeiten |
| E-Tretroller | mittlerer Tempobereich | ▪ Geschwindigkeit zwischen schnellem und langsamem Fahrrade führt zu mehr Überholvorgängen | ▪ Breite von Radverkehrsanlagen |
| | | ▪ höhere Geschwindigkeit zu zu Fuß Gehenden | ▪ Führung mit Fußverkehr |
| | Eigenschwingung | ▪ Instabilität bei höherer Geschwindigkeit braucht mehr Sicherheitsräume | ▪ Breite von Radverkehrsanlagen<br>▪ Breite von Sicherheitstrennstreifen |
| | schnellere Beschleunigung | ▪ Immer vorrangiges Aufstellen | ▪ Aufstellmöglichkeiten |
| | geringere Querbeschleunigung | ▪ instabile Fahrweise bei engen Kurven | ▪ Kurvenbereich |
| | unbekannte Fahrdynamik | ▪ rein elektrisch ohne Muskelkraft | ▪ Längsneigung |
| | - | ▪ subjektives Sicherheitsproblem für Einordnen beim Linksabbiegen | ▪ Führung des linksabbiegenden Radverkehrs |

### Bereich 1: Entwurfselemente

1) Breite von Radverkehrsanlagen (ERA 2010 Abschnitt 2.2.1)

- Inwieweit verändern Pedelecs und Lastenräder die **Häufigkeit** und den **Seitenabstand** der **Überholvorgänge**?
- Inwieweit verändern E-Tretroller die **Häufigkeit** und den **Seitenabstand** der **Überholvorgänge**?
- Wie sollte der **Verkehrsraum** der Lastenräder bemessen werden?
- Inwieweit sind die **Breitenmaße** der Radverkehrsanlagen zu den verschiedenen Fahrradtypen unter Berücksichtigung der Überholvorgänge aus der **Verkehrssicherheit** passend?

2) Trennung zwischen Geh- und Radweg (ERA 2010 Abschnitt 2.2.1, 3.4 und 11.5.5)

- Ist die vorhandene **Trennung** zwischen Radweg und Gehweg ausreichend **breit**?
- Welche **Trennungsform** hat welchen Einfluss auf Interaktionen oder Störungen zwischen Rad- und Fußverkehr?
- **Warum** kommt es zu Konflikten zwischen Rad- und Fußverkehr?

3) Breite von Sicherheitstrennstreifen (ERA 2010 Abschnitt 2.2.1)

- Welche Einflüsse übt das **Parken** von Kfz auf das Fahrverhalten der verschiedenen Fahrradtypen und E-Tretroller aus?
- Welche Einflüsse übt das **fließende Kfz** auf das Fahrverhalten der verschiedenen Fahrradtypen und E-Tretroller aus?
- Inwieweit mindert der **Sicherheitstrennstreifen** die obengenannten Einflüsse?

4) Längsneigung (ERA 2010 Abschnitt 2.2.3 und 3.8)

- Wie wirkt sich die Längsneigung auf die **Geschwindigkeit** der verschiedenen Fahrradtypen und E-Tretroller aus?
- Welchen Einfluss hat die Längsneigung (Steigung) auf die **seitliche Schwankung** der verschiedenen Fahrradtypen und E-Tretroller?
- Wie beeinflusst die Längsneigung die **Häufigkeit der Überholvorgänge**?
- Wie wirken sich die obengenannten Einflüsse der Längsneigung auf die Anforderungen an die **Breite** von Radverkehrsanlagen aus?

5) Kurvenbereich (ERA 2010 Abschnitt 2.2.2)

- Ist die **Befahrbarkeit** bestehender Radverkehrsanlagen noch gewährleistet, besonders für Lastenräder?
- Wie wird die **Geschwindigkeit** unter der zusammenhängenden Betrachtung von Kurvenradius, Richtungsänderungswinkel sowie Breite des Verkehrsraums beeinflusst?

6) Aufstellmöglichkeiten (ERA 2010 Abschnitt 2.2.5; HSRa[2] Abschnitt 2.8)

- Welche **Dimensionierung** sollte für die Aufstellbereiche besonders für (hochfrequentierte) Lastenradrouten gewählt werden?
- **Werden** sich Pedelecs und E-Tretroller wegen der Beschleunigung voran aufstellen?
- Wieweit sind **aufgeweitete Radaufstellstreifen** mit Lastenrädern erreichbar?

**Bereich 2: Führung an Strecken**

7) Führung mit Fußverkehr (ERA 2010 Abschnitt 3.6)

- Gefährden Pedelecs und Lastenräder aufgrund höherer Geschwindigkeit die **Verkehrssicherheit des Fußverkehrs**?
- Gefährden E-Tretroller die **Verkehrssicherheit des Fußverkehrs**?
- Ist die **Einsatzgrenze der Führung mit Fußverkehr** in den ERA noch passend?

8) Duale Führungsform (ERA 2010 Abschnitt 3.4 und 3.6)

- Inwieweit bevorzugen Pedelecs aufgrund höherer Geschwindigkeit die **Führung auf der Fahrbahnseite**?
- Inwieweit bevorzugen Lastenräder, aufgrund ihrer breiteren Ladefläche, die **Führung auf der Fahrbahnseite**?

[2] HSRa: Das Regelwerk „Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs“

- Welche **Führungsform** würde dem tatsächlichen Verhalten der E-Tretrollernutzenden am besten entsprechen?

**Bereich 3: Führung an Knotenpunkten**

9) Zwischenzeit (Einfahrzeit) (ERA 2010 Abschnitt 4.1.1; HSRa Abschnitt 3.2; RiLSA[3] Abschnitt 2.5)
   - Ist die in den RiLSA 2015 angenommene **Einfahrgeschwindigkeit** für Fahrräder noch passend?

10) Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) (mit nach rechts abbiegendem Kfz) (ERA 2010 Abschnitt 4.4.2 und 4.4.12; HSRa Abschnitt 2.4.4)
   - Geraten **geradeausfahrende** Pedelecs, Lastenräder und E-Tretroller mehr als andere Radfahrende in Konflikt mit **nach rechts abbiegenden Kfz?**
   - Mit welchen Entwurfselementen (z.B. mit Dreiecksinseln) geraten geradeausfahrende Pedelecs, Lastenräder und E-Tretroller öfter in Konflikt mit **nach rechts abbiegenden Kfz?**

11) Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) (ERA 2010 Abschnitt 4.3.3, 4.3.4 und 4.4.4; HSRa Abschnitt 2.7)
   - Bevorzugen Pedelecs und Lastenräder aufgrund höherer Geschwindigkeit und Beschleunigung das **direkte Linksabbiegen**?
   - Bevorzugen E-Tretroller das **indirekte Linksabbiegen**?
   - Welche **Zeitlücken** akzeptieren Pedelecs, Lastenräder und E-Tretroller beim Fahrstreifenwechsel zum Linksabbiegestreifen?
   - Geraten Pedelecs, Lastenräder und E-Tretroller mehr als andere Radfahrende in **Konflikt** mit dem in dieselbe Richtung fließenden Verkehr bei der **Einordnung** an Knotenpunktzufahrten?

Darüber hinaus werden **Mobilitätsverhalten**, **Fahrzeugnutzung** und **(regelwidriges) Fahrverhalten** der Pedelec- und Lastenradfahrenden und E-Tretrollernutzenden in der Forschung ausgelotet. Ferner lässt sich auswerten, ob sich Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung der Pedelecfahrenden im Vergleich zu den damaligen Forschungen (z.B. (Schleinitz et al. 2014; Alrutz et al. 2015a)) geändert haben.

## 1.3 Aufbau der Arbeit

Nachfolgend wird eine Übersicht der Arbeit gegeben und die Inhalte der einzelnen Kapitel werden skizziert. In Abbildung 1.2 wird die Struktur der Arbeit aufgezeigt.

In **Kapitel 2** werden zuerst die Begriffe und die rechtlichen Regelungen für die verschiedenen Fahrradtypen und E-Tretroller verdeutlicht. Anschließend werden die Fahrzeug- und Nutzungsmerkmale von Elektrofahrrädern und Kleinstfahrzeugen erklärt. Bei den Fahrzeugmerkmalen geht es um technische und abmessungsbezogene Fahrzeugangaben. Als Nutzungsmerkmale werden Mobilitätsverhalten, Fahrverhalten sowie die Verkehrssicherheit bei der Nutzung neuer Fahrzeuge dargestellt.

**Kapitel 3** enthält eine umfassende Literaturrecherche zur Bemessung von Radverkehrsanlagen. Dabei werden deutsche technische Regelwerke (z.B. ERA 2010) und Gesetze (z.B. StVO, VwV-StVO[4]), internationale Regelwerke und die Kenntnisse aus anderen Forschungskontexten erläutert. Außerdem werden Radverkehrsanlagen in der Praxis vor Ort als Beispiele einbezogen.

Basierend auf den Grundlagen wird in **Kapitel 4** ein ausführliches Arbeitsprogramm entwickelt. Es werden themenbezogene Einflussfaktoren und Bewertungskriterien zusammengeführt. Zudem werden der Anlass, die benutzte Software und Gerätetechnik bei der Erhebung und die konkrete Methode für jeden Arbeitsschritt erläutert.

[3] RiLSA: Das Regelwerk „Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr“

[4] StVO: Straßenverkehrs-Ordnung; VwV-StVO: Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung

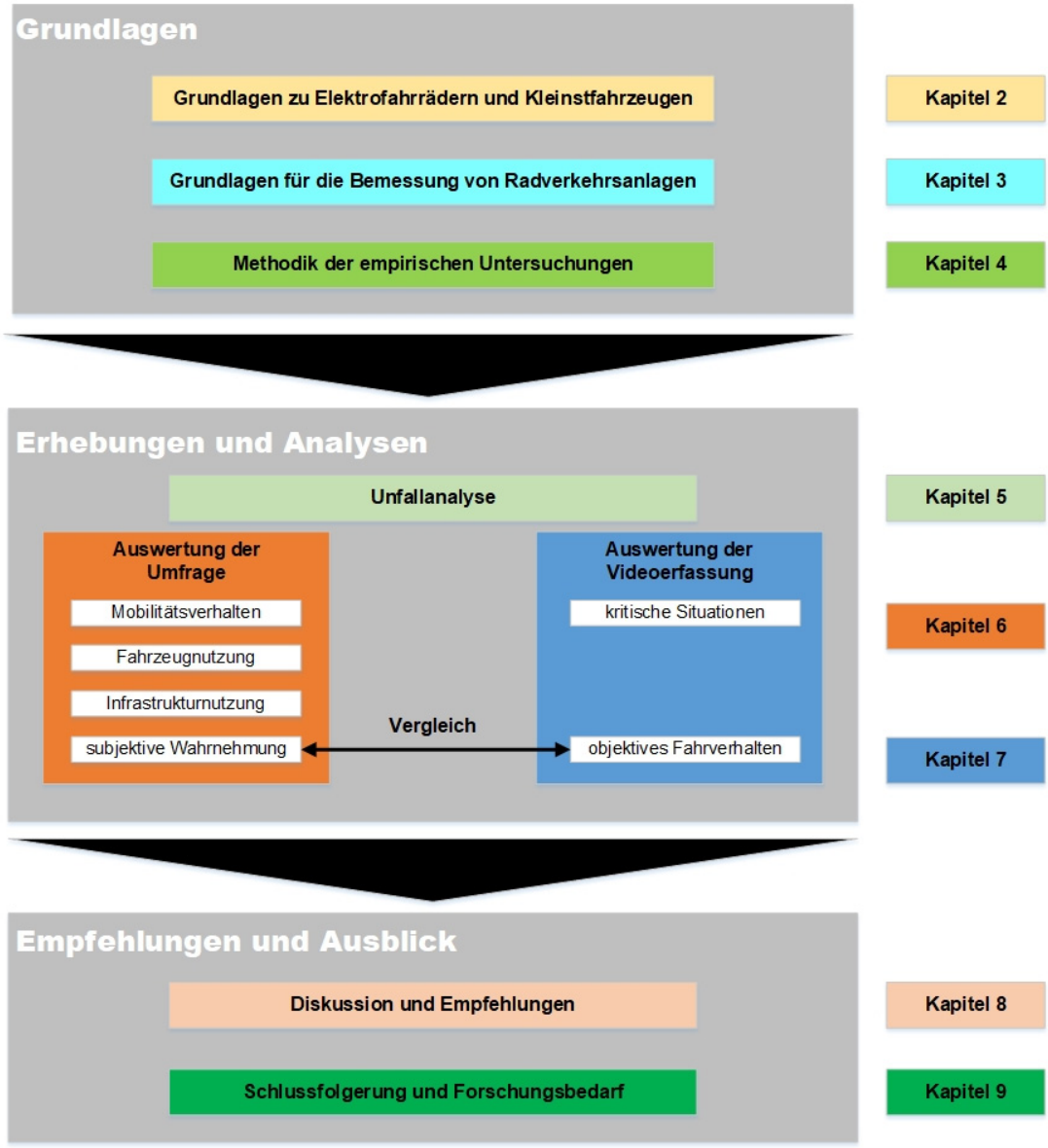



**Abbildung 1.2: Aufbau der Forschungsarbeit (eigene Darstellung)**

In **Kapitel 5** werden die Ergebnisse der Unfallanalyse anhand des Programms EUSKa (**E**lektronische **U**nfalltypen**s**teck**ka**rte) dargestellt. Dabei werden die Unterschiede von konventionellen Fahrrädern und Pedelecs unter den Aspekten von Radverkehrsanlagen, Charakteristik der Unfallstelle, Unfallfolge, Art der Verkehrsbeteiligung, (dreistelligen) Unfalltypen und Unfallursachen separat beschrieben.

**Kapitel 6** präsentiert die Auswertung einer Befragung. Dies beinhaltet das Mobilitätsverhalten, Fahrzeugnutzung, Infrastrukturnutzung und subjektive Wahrnehmung der Radverkehrsanlagen der verschiedenen Radfahrenden oder E-Tretrollernutzenden.

Gegenüber dem subjektiven Empfinden wird das objektive Fahrverhalten bezüglich der Infrastruktureigenschaften anhand von Videoerfassung in **Kapitel 7** analysiert. Das Fahrverhalten (z.B. Positionswahl, Geschwindigkeit) der verschiedenen Fahrradtypen auf diversen Radverkehrsanlagen wird verglichen. Zudem werden Übereinstimmungen und Abweichungen zwischen dem objektiven Fahrverhalten und dem subjektiven Empfinden dargelegt.

In **Kapitel 8** werden die Ergebnisse aus Kapitel 5 bis Kapitel 7 im Gesamtzusammenhang analysiert und diskutiert. Danach werden Empfehlungen für die Optimierung von Radverkehrsanlagen abgeleitet.

Zum Schluss werden in **Kapitel 9** die wesentlichen Aussagen der Forschungsarbeit präsentiert. Ferner wird der weitere Forschungsbedarf aufgezeigt.

## 1.4 Abgrenzung des Forschungsgebiets

In der Forschungsarbeit können nicht alle Einzelheiten (Fahrradtypen, Radverkehrsanlagen) betrachtet werden. Daher werden die forschungsziel-orientierten Fragestellungen selektiv untersucht. Im Folgenden wird die Abgrenzung des Forschungsgebiets erläutert.

Als Forschungsgegenstände stehen **Pedelecs** und **Lastenräder** (hauptsächlich E-Lastenräder) im Fokus. Dem Begriff der Elektrofahrräder fallen verschiedene Typen zu: Pedelec, S-Pedelec und E-Bike ohne Tretunterstützung (E-Mofa, E-Motorroller). Dabei dürfen in Deutschland einerseits grundsätzlich nur Pedelecs Radverkehrsanlagen benutzen, und andererseits sind Pedelecs die verbreitetsten Elektrofahrradtypen in Deutschland. In der Arbeit werden daher Schwerpunkte auf Pedelecs als Elektrofahrräder gelegt. Neben den Pedelecs und Lastenrädern werden wegen der aktuellen Entwicklungen im Rahmen der Forschung auch **E-Tretroller** betrachtet. Diese sind aber noch am Anfang ihrer Verbreitung und können noch nicht in allen Städten beobachtet werden. Sie werden in dieser Arbeit deshalb nur in einzelnen Aspekten untersucht.

Ferner bezieht sich die Arbeit auf **innerstädtische** Straßen. Hier geschehen aktuell die meisten Radverkehrsunfälle aufgrund der höheren Verkehrsmenge (Abbildung 1.3), vor allem an **Hauptverkehrsstraßen** mit großem Kfz-Verkehrsaufkommen, hohen Geschwindigkeiten und einer hohen Anzahl an **Knotenpunkten**. Durch höhere Reichweiten der Pedelecs gegenüber konventionellen Fahrrädern gewinnen gerade Stadt-Umland-Verbindungen bis etwa 10 km eine immer stärkere Bedeutung für den Alltagsverkehr. Hier werden einige Erkenntnisse aus den innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen in die künftigen Planungen einfließen müssen.

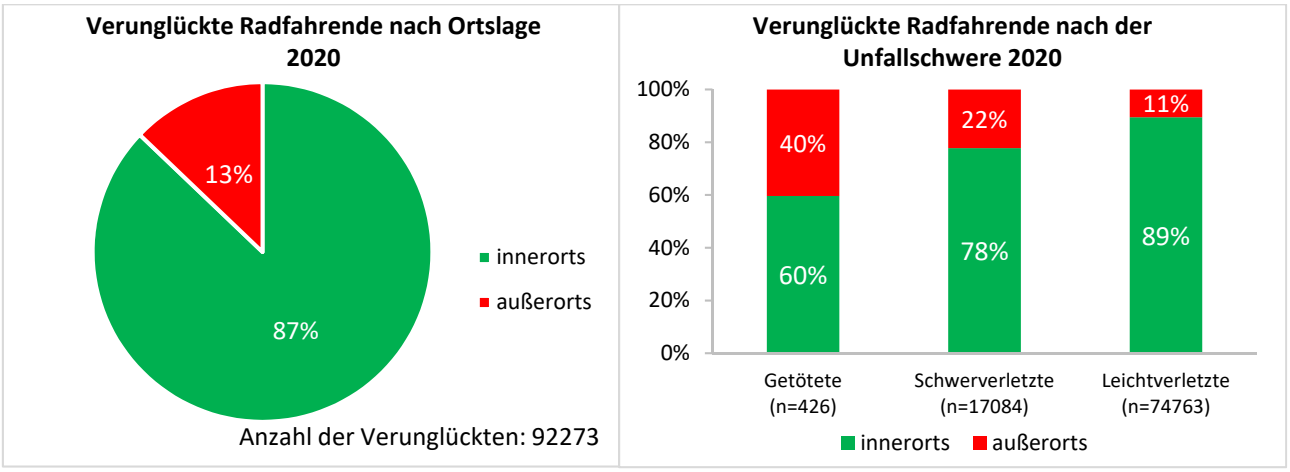



**Abbildung 1.3: Verunglückte Radfahrende nach der Ortslage und Unfallschwere 2020 in Deutschland (StBA 2015-2021)**

Darüber hinaus sind Radschnellverbindungen (Radschnellwege) unter der Förderung des Radverkehrs in Deutschland stark nachgefragt. Allerdings beziehen sich Radschnellverbindungen auf einen gegenüber herkömmlichen Radwegen hochwertigeren Qualitätsstandard. Zudem sind Radschnellverbindungen bislang noch wenig verbreitet, z.B. in der Rhein-Main-Region ist erst pilothaft eine rund 7- 8 km lange Strecke realisiert. Daher ist es schwierig, verkehrliche Wirkungen (z.B. Fahrverhalten) der Radschnellverbindungen zu vergleichen und auszuwerten. Aus diesem Grund wird die Radschnellverbindung in der Arbeit nicht gesondert betrachtet. Aber es besteht eine große Diskrepanz zwischen dem Entwurfsstandard der Radschnellverbindung („**Radschnellwegstandard**“) und dem normalen Grundstandard („**ERA-Standard**“) (Gwiasda 2019). Als Beispiel wird ein Radweg (Einrichtungsbetrieb) von 1,60 m Breite nach ERA-Standards angegeben, der Entwurfsstand der Radschnellverbindung liegt dagegen bei einer Breite von 3,00 m (FGSV 2014, 2010). Zur Annäherung wird ein mittlerer Entwurfs- und Qualitätsstandard entwickelt, der oberhalb der ERA-Standards und unterhalb der Standards für Radschnellwege liegt. Dieser mittlere Entwurfsstandard wird in der Literatur sowohl als Radvorrangroute (FGSV-Gremien) als auch als Raddirektverbindung (hessische Handreichung) benannt (Gwiasda 2019; AGNH 2019). Der Entwurfsstandard der Radvorrangroute oder Raddirektverbindung („**Radvor-**

**rangstandard**“) wird empfohlen, wenn die Einsatzkriterien der Radschnellverbindung unterhalb der erforderlichen 2000 Radfahrenden im Querschnitt liegen, aber gleichzeitig ein großer Bedarf an schnellen Radverbindungen und ein relativ hohes Radverkehrsaufkommen bestehen (Abbildung 1.4) (Gwiasda 2019). Der Radvorrangstandard bezieht sich auf die Hauptachsen mit höherem Radverkehrsaufkommen im Radverkehrsnetz, auf denen der Alltagsradverkehr durchgängig zwischen Nachbarkommunen oder Stadtteilen pendeln kann (VCD Aachen-Düren Semptember 2016). Der Radvorrangstandard stellt eine Entwicklung für die Bemessung von Radverkehrsanlagen dar und weist einen engen Zusammenhang bei der Anpassung an untersuchenden Strecken sowie Knotenpunkten auf. In der Praxis werden die Radverkehrsanlagen nach dem Radvorrangstandard entlang der Hauptachsen des Radnetzes bereits testweise umgebaut. Aus dem Grund werden die beiden Entwurfsstandards, nämlich ERA-Standard und Radvorrangstandard, betrachtet.

| Radschnell-verbindungen (RSV) | Raddirekt-verbindungen (RDV) | Radverbindungen / Hessische Radfernwege (RV) |
|---|---|---|
| **Kategorie (RIN):** AR II-III (außerorts) und IR II-III (innerorts) | **Kategorie (RIN):** AR II-III (außerorts) und IR II-III (innerorts) | **Kategorie (RIN):** AR II-V (außerorts) und IR II-V (innerorts) |
| **Zielgruppe/ Einsatzbereich:** Alltagsradverkehr (Pendelnde, Berufs- und Ausbildungsverkehr) | **Zielgruppe/ Einsatzbereich:** Alltagsradverkehr (Pendelnde, Berufs- und Ausbildungsverkehr) | **Zielgruppe/ Einsatzbereich:** Alltags- und Freizeitradverkehr |
| **Einsatzbereiche:** • Verbindungen mit ≥ 2.000 Radfahrenden pro Werktag[2] (Prognose) auf dem weit überwiegenden Teil der Gesamtstrecke | **Einsatzbereiche:** • Verbindungen mit ≥ 1.500 Radfahrenden pro Werktag (Prognose) auf dem überwiegenden Teil der Gesamtstrecke • Verbindungen mit ≥ 2.000 Radfahrenden pro Werktag (Prognose) auf dem weit überwiegenden Teil der Gesamtstrecke, wenn die Qualitätsstandards RSV auf 90% der Gesamtstrecke nicht einhaltbar sind | **Einsatzbereiche:** • Landesweites Radnetz |

**Abbildung 1.4: Gliederung des Radverkehrsnetzes und dreistufige Standardhierarchie in Hessen (AGNH 2019)**

Weiterhin bestehen Radverkehrsanlagen aus den **Anlagen des fließenden Verkehrs** (z.B. Radwege und Radfahrstreifen) und den Anlagen des ruhenden Verkehrs (Fahrradabstellanlagen). In dieser Arbeit geht es nur um die Anlagen des fließenden Verkehrs, da Fahrradabstellanlagen in der Regel nicht direkt in Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit stehen.

Letztlich beinhalten die Anforderungen an Radverkehrsanlagen **entwurfs-** und **verkehrstechnische Ansprüche** (z.B. Breite, Führungsformen), straßenbauliche Ansprüche (z.B. Ebenheit, Griffigkeit) und straßenbetriebliche Ansprüche (z.B. Winterdienst). Diese Forschungsarbeit beschäftigt sich nur mit entwurfstechnischen und verkehrstechnischen Ansprüchen.

# 2 Grundlagen zu Elektrofahrrädern und Kleinstfahrzeugen

## 2.1 Begriffsbestimmung und rechtliche Regelungen

### 2.1.1 Elektrofahrrad

Elektrofahrräder sind ein Sammelbegriff der verschiedenen Typen von Elektro-Zweirädern. Ihre Unterteilung wird in Abbildung 2.1 dargestellt. Im Volksmund werden die Begriffe wie Elektrofahrräder, E-Bikes und Pedelecs oft vertauscht oder synonym verwendet. Allerdings unterscheiden sich die verschiedenen Elektrofahrradtypen rechtlich und fachlich. Um die Untersuchungsobjekte zu klassifizieren, werden ihre Begriffsbestimmungen und die rechtlichen Regelungen in diesem Kapitel erklärt.

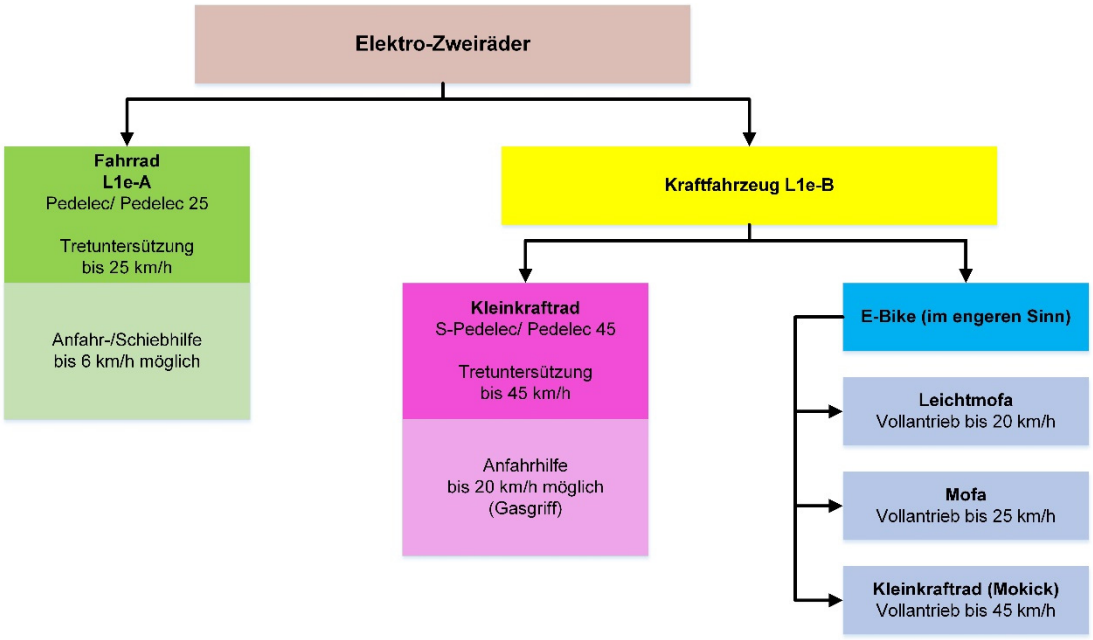



**Abbildung 2.1: Einteilung der Elektrofahrräder in Deutschland [nach (Gressmann und Retzbach 2018)]**

**Pedelec**

Das Pedelec (auch „*Pedelec 25*“) ist das Akronym von „***Ped**al **Elec**tric **C**ycle*“. In der EU-Norm DIN EN 15194 (2017) „*Fahrräder - Elektromotorisch unterstützte Räder*“ werden Pedelecs als „*elektromotorisch unterstützte Räder*“ definiert, „*die über eine maximale Nenndauerleistung von 0,25 kW verfügen, deren Leistungsabgabe fortschreitend verringert und schließlich abgeschaltet wird, wenn das EPAC[5] eine **Geschwindigkeit von 25 km/h** erreicht hat oder eher, falls der Radfahrer **aufhört**, in **die Pedale** zu **treten***.“ Gemäß EU-Verordnung 168/2013 (15.01.2013) ist das Pedelec frei von der Typengenehmigung. Die Definition der EU für das Pedelec wird im deutschen Straßenverkehrsgesetz übernommen und zusätzlich dekretiert, dass das Pedelec kein Kraftfahrzeug ist, sondern ein Fahrrad (§1 Absatz (3), StVG). Das bedeutet, dass die Vorschriften für Fahrräder auch für Pedelecs gelten. Diese Regelung deckt auch die Pedelecs mit Anfahr- oder Schiebehilfe bis 6 km/h ab.

Aus der Analyse heraus dürfen Pedelecnutzende die Radverkehrsanlagen benutzen. Im Fall einer benutzungspflichtigen Radverkehrsanlage, müssen Pedelecnutzende nur im zutreffenden Fall diese befahren. Für das Fahren auf einem Pedelec ist keine Fahrerlaubnis erforderlich und dementsprechend gibt es für das Nutzen keine Altersbeschränkung. Doch die Nutzung des Pedelecs ist für Kinder unter 14 Jahren abzuraten, da die höhere Geschwindigkeit die Kinder überfordern kann (Gressmann und Retzbach 2018). Wie für Fahrräder dürfen Pedelecfahrende von mindestens 16 Jahren, Kinder bis zum vollendeten siebten Lebensjahr in Anhängern transportieren (§21 Absatz (3), StVO). Es besteht keine Helm- und Versicherungspflicht für das Fahren eines Pedelecs.

[5] EPAC, die englische Abkürzung von „electrically power assisted cycles“, steht für das Synonym vom Pedelec.

## S-Pedelec

Das S-Pedelec (auch „*Pedelec 45*“) verfügt ebenfalls über eine tretabhängige Elektrounterstützung mit der maximalen Nenndauerleistung von 0,50 kW[6], die bei einer Geschwindigkeit bis 45 km/h aufhört. Analog zu dem Pedelec mit Anfahr- oder Schiebhilfe existiert auch eine Variante des S-Pedelecs, dessen Motorunterstützung eine Geschwindigkeit bis 20 km/h ohne Pedalieren der Führenden ermöglicht (Lienhop et al. 2015). Das S-Pedelec wird einem Kraftfahrzeug der Klasse L1e-B gemäß EU-Verordnung 168/2013 eingeordnet und als Kleinkraftrad in Deutschland eingestuft (§2 Abs. 11 a), FZV).

Mit dem S-Pedelec dürfen die Radverkehrsanlagen unabhängig von der Ortslage nicht benutzt werden. Für das Führen des S-Pedelecs ist eine Fahrerlaubnisklasse AM mit einem Mindestalter von 16 Jahren erforderlich (§ 6 Abs. (1) und § 10 Abs. (1), FeV). In den Bundesländern mit der Ermächtigung laut § 6 Absatz 5a, StVG darf das Mindestalter zur Erteilung der Fahrerlaubnisse klasse AM auf 15 Jahre herabgesetzt werden (§ 10 (1), FeV). Der Kindertransport in Anhängern ist mit dem S-Pedelec nicht erlaubt (§ 32a, StVZO). Es besteht die Helmpflicht gemäß § 21a (2), StVO und Versicherungspflicht mit einem Versicherungskennzeichen laut §2, PflVG für das Fahren eines S-Pedelecs.

## E-Bike (im engeren Sinn) / E-Bike mit tretunabhängigem Motorantrieb

Das E-Bike (im engeren Sinn) ist das mit einem elektrischen Antrieb ausgestattete Fahrrad, dessen Elektrounterstützung völlig ohne Tretkraft funktioniert. Die Elektrounterstützung wird normalerweise per Drehgriff oder Schaltknopf angeschaltet. Je nach der bauartbestimmten Geschwindigkeit und maximalen Nenndauerleistung wird das E-Bike weiterhin in E-Bike 20, E-Bike 25 und E-Bike 45 untergliedert.

Als E-Bike 25 (auch „*E-Mofa*“) bezeichnet man ein E-Bike mit einer bauartbedingten Geschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h und einer maximalen Nenndauerleistung von 1 kW[7]. Gemäß EU-Verordnung 168/2013 wird das E-Bike 25 als Fahrzeugklasse L1e-A eingestuft und in Deutschland als Mofa betrachtet (§ 4 Abs.(1), FeV). Rechtlich werden die Regelungen für Mofas grundsätzlich mit den für E-Bikes 25 gleichgestellt.

Aus diesem Grund darf das E-Bike 25 die Radverkehrsanlagen innerorts generell nicht befahren, jedoch die Radverkehrsanlagen außerorts benutzen (§ 2 Abs. 4, StVO). Durch das Zusatzzeichen 1022-11 „Mofa frei“ darf das E-Bike 25 auf den Radverkehrsanlagen verkehren. Seit 2017 wurde das Sinnbild „E-Bike“ eingeführt und taucht auch als Zusatzzeichen 1022-13 „E-Bike frei“ oder 1022-15 „E-Bike und Mofa frei“ auf, mit denen das E-Bike 25 die Radverkehrsanlagen benutzen darf (Abbildung 2.2).

Die Regelung sowie Voraussetzung zum Führen eines E-Bike 25 ist mit dem Führen eines Kleinkraftrads gleichgesetzt, abgesehen von der Fahrerlaubnis und dem Mindestalter. Zum Führen von einem E-Bike 25 ist nur eine Mofa-Prüfbescheinigung nachzuweisen (§ 5 Abs. (1), FeV), ausgenommen derer, die vor dem 01.04.1965 geboren sind (§ 76 Abs. 3, FeV). Das Mindestalter für das Führen eines E-Bikes 25 liegt bei 15 Jahren (§ 10 Absatz (3), FeV).

Eine Unterkategorie des Mofas ist das Leichtmofa. Das E-Bike 20 wird als Leichtmofa eingestuft. Als Leichtmofa bezeichnet man das Mofa mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h und einer Nenndauerleistung von 0,50 kW (Anlagen, StVRAusnV). Das E-Bike 20 sowie das Leichtmofa sind von der Helmpflicht befreit, die anderen rechtlichen Regelungen für das E-Bike 25 sowie das Mofa gelten auch für das E-Bike 20 sowie das Leichtmofa (§ 2, StVRAusnV).

Das E-Bike 45 ist ein E-Bike mit einer bauartbedingten Geschwindigkeit von 45 km/h und einer maximalen Nenndauerleistung von 4 kW. Das E-Bike 45 gehört rechtlich zum Kleinkraftrad, daher gelten die rechtlichen Regelungen des S-Pedelecs auch für das E-Bike 45.

[6] Das S-Pedelec stammt aus der Schweiz, daher wird die maximale Nenndauerleistung von 0,50 kW von den schweizerischen Vorgaben übernommen. Allerdings wird das S-Pedelec in Deutschland als Kleinkraftrad eingestuft, dabei wird eine maximale Nenndauerleistung von 4 kW für das Kleinkraftrad vorgeschrieben.

[7] Die maximale Nenndauerleistung vom E-Bike 25 ist in der Literatur uneinig definiert. Gemäß EU-Verordnung 168/2013 wird eine maximale Nenndauerleistung von 1 kW für E-Bike 25 sowie die Fahrzeugklasse L1e-A vorgeschrieben. In Deutschland wird eine maximale Nenndauerleistung von 4 kW für das Kleinkraftrad geregelt. Aber im deutschen Gesetz FeV besteht keine eindeutige Angabe der Nenndauerleistung für ein Mofa.

a) Zeichen 1022-11 „Mofa frei“

b) Zeichen 1022-13 „E-Bike frei“

c) Zeichen 1022-15 „E-Bike und Mofa frei“

**Abbildung 2.2: Zusatzzeichen für die Freigabe von E-Bike 25 an Radverkehrsanlagen (Anlage 7, VwV-StVO)**

In Tabelle 2.1 werden die rechtlichen Regelungen von Elektrofahrrädern zusammengeführt. In der folgenden Arbeit werden nur die Bezeichnungen „Pedelec, S-Pedelec, E-Bike 20, E-Bike 25 und E-Bike 45“ der verschiedenen Typen von Elektrofahrrädern verwendet, um Missverständnisse zu vermeiden. Da in der Arbeit nur das Pedelec als Elektrofahrrad betrachtet wird, geht es im folgenden Text explizit um die Merkmale des Pedelecs.

**Tabelle 2.1: Rechtliche Regelungen von Elektrofahrrädern [nach (FGSV 2018)]**

| **Bezeichnung** | Pedelec | S-Pedelec | E-Bike 20 | E-Bike 25 | E-Bike 45 |
|---|---|---|---|---|---|
| **Straßenverkehrsrechtliche Einordnung** | Fahrrad (mit limitierter Tretunterstützung) | Kleinkraftrad | Leicht-Mofa | Mofa | Kleinkraftrad |
| **Nenndauerleistung** | bis 0,25 kW | bis 0,50 kW | bis 0,50 kW | bis 1 kW | bis 4 kW |
| **Unterstützungsgrenze** | 25 km/h mit Treten | 45 km/h mit Treten | 20 km/h ohne Treten | 25 km/h ohne Treten | 45 km/h ohne Treten |
| **Bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit** | 0 km/h (Anfahr-/Schiebhilfe bis 6 km/h) | 20 km/h | 20 km/h | 25 km/h | 45 km/h |
| **Fahrerlaubnis** | Nein | Klasse AM | Mofa-Prüfbescheinigung | | Klasse AM |
| **Kennzeichenpflicht** | Nein | Ja[1)] | Ja[1)] | | Ja[1)] |
| **Radwegbenutzung** | Ja | Nein | Nein, nur falls Zeichen „Mofa/ E-Bike frei“ | | Ja |
| **Kinderanhänger** | Ja | Nein | Nein | Nein | Nein |
| **Mindestalter** | kein | 16 (15) | 15 | 15 | 16 (15) |
| **Helmpflicht** | Nein | Ja | Nein | Ja | Ja |
| [1)] Versicherungskennzeichen, nicht amtliches Kfz-Kennzeichen | | | | | |

## 2.1.2 Lastenrad

Das Lastenrad (auch „Lastenfahrrad“) wird gemäß der StVO-Novelle 2020 als „*Fahrrad zum Transport von Gütern oder Personen*“ mit dem entsprechenden Sinnbild definiert (§ 39 Absatz (7), StVO). Um Personen oder Güter transportieren zu können, werden viele Lastenräder mit einer Box oder einem Kastenaufbau ausgestattet (Graf 2019).

Es bestehen keine genauen rechtlichen Vorschriften (z.B. der Infrastrukturnutzung) für Lastenräder. Je nach den Antriebsarten handelt es sich bei Lastenrädern um einen bestimmten Typ der Zweiräder, wodurch die rechtlichen Vorgaben eines Lastenrades mit dem äquivalenten Typ der Zweiräder gleichgesetzt werden. Wenn ein Lastenrad nur mit Muskelkraft angetrieben wird, wird das Lastenrad als konventionelles Fahrrad betrachtet. Wenn ein Lastenrad durch eine elektrische Trethilfe (maximale Nenndauerleistung von 0,25 kW) bis 25 km/h angetrieben wird, handelt es sich in diesem Fall um ein Pedelec. Dementsprechend verfügen auch Lastenräder über die Antriebsarten von einem S-Pedelec- sowie E-Bike-Typ. In dieser Arbeit werden vor allem Lastenräder als Fahrrad- und Pedelec-Typen betrachtet, welche sich im deutschen Straßennetz verbreiten und Radverkehrsanlagen sowie Gehwege bei der Regelung „Gehweg/ Radfahrer frei“ befahren dürfen (Graf 2019; Heinrich et al. 2016).

Die StVO-Novelle 2020 bietet eine Freistellung für einen Transport von Person ab 16 Jahren mit dem Lastenrad an, sofern es ein Lastenrad ist, welches für die Personenbeförderung ausgerichtet ist (§ 21 Abs. (3), StVO). Bislang durften nur Kinder bis zum vollendeten siebten Lebensjahr mit einem Fahrrad transportiert werden.

### 2.1.3 E-Tretroller

Die E-Tretroller fallen rechtlich unter die **Elektrokleinstfahrzeuge**. Die rechtlichen Regelungen sind gleich mit den Elektrokleinstfahrzeugen. Elektrokleinstfahrzeuge sind Kraftfahrzeuge mit einem elektrischen Antrieb und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit zwischen 6 km/h und **maximal 20 km/h**. Außerdem weisen sie die folgenden Merkmale auf: „

1. *Fahrzeug ohne Sitz oder selbstbalancierendes Fahrzeug mit oder ohne Sitz,*
2. *eine Lenk- oder Haltestange von mindestens 500 mm für Kraftfahrzeuge mit Sitz und von mindestens 700 mm für Kraftfahrzeuge ohne Sitz,*
3. *eine Nenndauerleistung von nicht mehr als 500 Watt, oder von nicht mehr als 1400 Watt,*
4. *eine **Gesamtbreite** von nicht mehr als **700 mm**, eine Gesamthöhe von nicht mehr als 1400 mm und eine **Gesamtlänge** von nicht mehr als **2000** mm und*
5. *eine maximale Fahrzeugmasse ohne Fahrer von nicht mehr als 55 kg."* (§ 1 Absatz (1), eKFV)

Aus den Regelungen für die Elektrokleinstfahrzeuge ergibt sich, dass die maximale Geschwindigkeit von 20 km/h und eine Fahrzeugbemessung von maximal 2000 mm Länge und 700 mm Breite in dem Spektrum der Geschwindigkeit und Fahrzeugbemessung von Fahrrädern sowie Pedelecs liegen.

Die zulässigen Verkehrsflächen für Nutzende der Elektrokleinstfahrzeuge ähneln den zugewiesenen Verkehrsflächen für Radfahrende. Innerorts dürfen Elektrokleinstfahrzeuge allerdings **nur** Radwege, darunter auch gemeinsame Geh- und Radwege (Zeichen 240 StVO) sowie Radfahrstreifen (Verkehrsflächen mit Zeichen 240,241und 237) und Fahrradstraßen (Zeichen 244.1) befahren. Wenn solche Radverkehrsanlagen nicht vorhanden sind, dürfen sie die Fahrbahn oder verkehrsberuhigte Bereiche (Zeichen 325.1) benutzen (§10 Absatz (1), eKFV). Auffällig ist, dass E-Tretrollernutzende Radwege unabhängig von der Benutzungspflicht benutzen müssen. Ebenso gilt die Regelung „Gehweg/ Radfahrer frei" nicht für E-Tretrollernutzende (ADAC 24.01.2020). Daraus erfolgt generell **keine duale Führungsform** für E-Tretrollerfahrende. Für die Freigabe der Sonderflächen wird die Entscheidung von den Straßenverkehrsbehörden getroffen, solche Verkehrsflächen sind mit Verkehrszeichen 1022-16 „Elektrokleinstfahrzeuge frei" zu kennzeichnen (§ 10 Absatz (3), eKFV).

Für die Nutzung der E-Tretroller ist keine Mofa-Prüfbescheinigung oder Führerschein erforderlich, zudem besteht keine Helmpflicht (ADAC 24.01.2020). E-Tretroller dürfen nur von Personen mit der Vollendung des 14. Lebensjahres geführt werden (§ 3, eKFV). Die E-Tretroller sind von der Zuteilung eines Kennzeichens ausgenommen (§ 3 Absatz (2) 1g, FZV). Allerdings besteht eine Versicherungspflicht für E-Tretroller (§29a Absatz (1), FZV), die mit einer Versicherungsplakette am E-Tretroller nachgewiesen werden muss (§ 2 Absatz (1), eKFV).

## 2.2 Fahrzeugmerkmale

### 2.2.1 Pedelec

Das Pedelec ähnelt dem konventionellen Fahrrad, daher sind die Fahrzeugabmessungen des Pedelecs mit dem Fahrrad vergleichbar. Das konventionelle Fahrrad hat eine Vielzahl von Bautypen, z.B. Urban-Bike, Mountain-Bike, Rennrad usw., dabei variieren die technischen Faktoren der Rahmengeometrie je nach Bauart. Die vielfältigen Pedelec-Bautypen ähneln der Rahmengeometrie der Fahrrad-Bautypen. Allerdings muss die Breite eines Fahrrades oder Pedelecs auf 1,00 m und die Länge auf 4,00 m begrenzt werden (§ 32 Abs. (9), StVZO).

Durch das Antriebsystem (z.B. Akku) ist ein Pedelec von einem konventionellen Fahrrad zu unterscheiden. Das Antriebsystem eines Pedelecs besteht grundsätzlich aus Motoren, Akku und Steuerung (Bediendisplay) (Jellinek et al. Februar, 2013).

Für die Anordnung der Motoren bestehen auch drei Möglichkeiten (Abbildung A1.1 in Anhang 1), nämlich Vorderrad-Nabenmotor, zentraler Tretlagermotor (Mittelmotor) oder Hinterrad-Nabenmotor (ADAC 2016). Die Unterstützung der Antriebskraft aus dem Motor hängt von der Pedalkraft und der Geschwindigkeit ab. Je stärker getreten wird, desto mehr Unterstützung bietet der Motor. Bei dem Beginn des Pedaltritts oder bei einer geringen Geschwindigkeit wird die Motorunterstützung intensiviert. Kurz vor

der höchsten unterstützten Geschwindigkeit (25 km/h) reduziert sich die Motorunterstützung und schaltet bei 25 km/h ab (Abbildung A1.3 im Anhang 1) (Gressmann und Retzbach 2018).

Für die Anordnung des Akkus gibt es auch drei Varianten (Abbildung A1.2), nämlich Akku am Unterrohr, Akku am Gepäckträger und Akku am Sattelrohr. Die Pedelec-Akkus haben eine Spannung von 24, 36 oder 48 Voltstärke (V) und eine Kapazität zwischen 10 - 17 Amperestunden (Ah). Die Leistung eines Akkus resultiert aus einer Multiplikation von Voltstärke und Amperestunden (Gievers 2018). Für die Reichweite spielt die Kapazität sowie die Leistung eines Akkus eine wichtige Rolle. Daneben ist die Reichweite von der Umgebungstemperatur, dem gewählten Unterstützungsmodus, dem Fahrstil, dem Reifenluftdruck und der Topografie abhängig. Grundsätzlich gilt, je niedriger die Temperatur, je stärker der Unterstützungsmodus, je größer der Gang, je geringer der Reifenluftdruck und je stärker die Steigungsstrecken sind, desto kürzer ist die Reichweite (Gressmann und Retzbach 2018).

Das Bediendisplay steuert den Unterstützungsmodus und bietet Fahrinformationen (z.B. Geschwindigkeit, zurückgelegte Entfernung, Akkustand) an. Der Unterstützungsmodus beschreibt die Stärke für die Unterstützung des Motors. Im stärkeren Unterstützungsmodus (z.B. POWER-Modus in Abbildung A1.4) steigt die Motorkraft rasanter an als beim SPORT- oder ECO-Modus. Dabei wird mehr Energie verbraucht.

Wegen des Motors und des Akkus ist ein Pedelec im Allgemeinen schwerer als ein konventionelles Fahrrad. Die meisten Pedelec-Modelle wiegen ca. 21 kg oder mehr, hingegen wiegt ein konventionelles Fahrrad etwa 14 kg. Allerdings existiert ein Leicht-Pedelec, das unter 12 kg erhältlich ist (e-Rad Hafen 05.05.2016). Das erhöhte Pedelec-Gewicht bewirkt eine schwerere Unfallfolge z.B. bei Gefälle. Im Gesetz gibt es keine Vorschrift, die ein maximales Gewicht festlegt. In Abbildung A1.5 in Anhang 1 werden die technischen Daten der ausgewählten Pedelec-Typen, E-Citybike und E-Mountainbike, exemplarisch dargestellt.

### 2.2.2 Lastenrad

Es existieren vielfältige Lastenradtypen und -modelle auf dem Markt. Die Lastenräder können durch verschiedene Merkmale (z.B. Fahrspuren, Laufradanzahl) katalogisiert werden. Nach der Anzahl der Spuren und Räder werden Lastenräder in einspurige (zweirädrige) und zweispurige (drei- oder vierrädrige) Fahrzeuge unterteilt. Je nach Zweck werden Lastenräder im Privatverkehr oder Wirtschaftsverkehr eingesetzt (Burdinski et al. 2012). Im Wirtschaftsverkehr werden Lastenräder überwiegend in 6 Gruppen unterteilt, darunter zählen Marktsegmente wie Postdienstleistung, Kurierdienstleistung, Paketdienstleistung, Lieferservice, Werkverkehr und Personenwirtschaftsverkehr (Gruber und Rudolph 2016b).

Je nach Lastenradmodell unterscheiden sich die Fahrzeugabmessungen und die zulässige Zuladung voneinander. Im deutschen Regelwerk bestehen keine spezifischen Vorschriften für die Abmessung der Lastenräder. In Anlehnung an die Vorschriften für Fahrräder (mit Hilfsmotor) sowie Krafträder ist die maximale **Breite** eines **zweirädrigen** Lastenrades auf **1,00 m** und eines **dreirädrigen** und **vierrädrigen** Lastenrades auf **2,00 m** einzuhalten. Die **Länge** eines Lastenrades muss auf **4,00 m** begrenzt werden (§ 32 Abs. (9), StVZO). Gemäß EU-Norm DIN 79010 beschränkt sich ein einspuriges Lastenrad auf ein zulässiges Gesamtgewicht von 250 kg. Ein mehrspuriges Lastenrad wird auf ein zulässiges Gesamtgewicht von 300 kg beschränkt. In der Logistikbranche ist ein zweispuriges Lastenrad mit einem Ladevolumen von mehr als 1,5 $m^3$ und einer Zuladung zwischen 250 kg und 300 kg zu empfehlen (Bogdanski 2019; Norm DIN 79010).

In Anhang 1 (Abbildung A1.6 bis Abbildung A1.11) werden die gängigen Lastenradtypen und -modelle aus der Praxis und Literatur exemplarisch dargestellt.

Allgemein haben **mehrspurige Lastenräder** und **Lastenräder im Wirtschaftsverkehr** deutlich außergewöhnlichere Fahrzeugabmessungen im Vergleich zu den konventionellen Fahrrädern.

Angesichts der Fahrzeugbreite sind die einspurigen Lastenräder mit einer Breite bis zu 70 cm noch mit den konventionellen Fahrrädern (mit Anhänger) vergleichbar. Die Breite der zweispurigen Lastenräder im Privatverkehr wird nach der Türbreite zwischen 65 cm bis 100 cm bemessen. Im Vergleich dazu

sind die zweispurigen Lastenräder im Wirtschaftsverkehr breiter als der Verkehrsraum eins Fahrrades von 1,00 m gemäß ERA 2010.

Die Länge der Lastenräder ist im Privatverkehr leicht größer als die der konventionellen Fahrräder abgesehen von dem Long John. Der Lastenradtyp Long John hat einen langen Radstand mit einem niedrigen Schwerpunkt. Der niedrige Schwerpunkt verbessert die Fahrstabilität. Der lange Radstand ist vorteilhaft für den Geradeauslauf, allerdings erschwert es die Wendigkeit (Burdinski et al. 2012). Die Lastenräder für die wirtschaftliche Nutzung haben im Verhältnis einen größeren Laderaum, demzufolge sind die Fahrzeugabmessungen sowie der Radstand größer. Dies verschlechtert das Befahren des Kurvenbereichs und das Wenden.

Für die Kurvenfahrt spielt die Lenkungsart der Lastenräder eine Rolle. Es gibt drei Lenkungskonfigurationen der zweispurigen Lastenräder bei einem Rechtsabbiegevorgang (Abbildung A1.12 in Anhang 1). Bei der **Achsschenkellenkung** drehen sich die Räder sowie der Lenker, dabei bleibt der Lastenkasten geradlinig. Bei der **Drehschemellenkung** drehen sich die Räder, der Lastenkasten und der Lenker gleichzeitig. Bei steigendem Lenkeinschlag nimmt die Stützfläche ab und die Kippgefahr steigt. Bei diesem Modell ist ein 90 Grad Einschlagwinkel theoretisch möglich, wobei ein relativ **kleiner Wendekreis** im Vergleich zu anderen zweispurigen Lastenradmodellen möglich ist. Deswegen werden viele Lastenräder mit dieser Lenkungsart ausgestatett (Burdinski et al. 2012). Eine spezifische Lenkungsart, die sogenannte **Neigetechnik**, funktioniert vom Prinzip her wie die Steuerung des Motorrades. Dabei neigt sich das ganze Lastenrad in die Kurve. Das Modell braucht den größten Wendekreis. Bei den einspurigen Lastenrädern (z.B. Long John) wird eine **Gestänge-/Seilzuglenkung** eingesetzt, über die der Lenker das vordere Rad über Stangen oder einen Seilzug unterhalb von dem Lastenkasten steuert. Dadurch lässt sich ein einspuriges Lastenrad in den Kurven fast wie ein herkömmliches Fahrrad steuern (eLastenrad).

### 2.2.3 E-Tretroller

Anders als Fahrräder und Pedelecs werden E-Tretroller rein durch den Elektromotor betrieben. In Anhang 1 (Abbildung A1.15) werden die Abmessungen und technische Daten der exemplarisch zugelassenen E-Tretroller-Modelle dargestellt.

Im Vergleich zum Fahrrad ist die Radgröße bei einem E-Tretroller deutlich kleiner. Aufgrund der kleineren Räder sind die E-Tretroller gegenüber der Bodenunebenheit empfindlich. Allgemein wird der E-Tretroller mit der Verringerung der Radgröße instabiler (Schlichtholz 2020). Durch Unebenheiten im Boden wie zum Beispiel Schlaglöcher oder Gleisüberfahrten kommt es oft zu Stürzen. Aus diesem Grund schlägt der Allgemeine Deutsche Automobil-Club (ADAC) den E-Tretroller-Herstellern vor, größere Räder zur Erhöhung der Fahrsicherheit anzupassen. Die kleine Radgröße bei einem einspurigen Fahrzeug hat einen negativen Einfluss auf die Kreisfahrten sowie die Kurvenfahrt, was das auf die Kreiselkräfte und Querbeschleunigung der Stabilisierung zurückzuführen ist. Bei der Untersuchung von der BASt ergaben sich bei Testfahrten Schwierigkeiten beim Wenden auf engem Raum (2,4×2,4 m mit Radius 1,7 m), dabei wurde oft ein Fuß auf den Boden gestellt (Bierbach et al. 2018). Allerdings wurde eine Querbeschleunigung von 5 m/s$^2$ beim E-Tretroller erreicht, wodurch Probleme beim Linksabbiegen entstehen können. E-Tretrollerfahrende biegen ohne Handzeichen schnell ab, bevor sie von anderen Verkehrsteilnehmenden rechtzeitig erkannt werden können (Jung et al. 2019).

Aufgrund des reinen Elektrobetriebs ist die Reichweite eins der wichtigsten technischen Daten der E-Tretroller. Zwischen verschiedenen Modellen der E-Tretroller ist die Reichweite von einander unterschiedlich. Die Reichweite hängt stark von Leistung eines Elektromotors und eines Akkus (Amperestunden) ab (Schlichtholz 2020) (Tabelle A1.1 in Anhang 1). Allerdings weichen die Reichweitenangaben der Hersteller erheblich von den Testergebnissen des ADAC-Reichweitentests ab (Abbildung A1.14 in Anhang 1). Neben den obengenannten Daten sind ein breiter Lenker und Fußaufstandsflächen sowie eine verwindungssteife Konstruktion der Fahrsicherheit günstig (Kroher 2020).

## 2.3 Nutzungsmerkmale

### 2.3.1 Allgemeines

Zuerst werden „soziodemographische Merkmale“ und „Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung“ von Nutzenden der obengenannten Fahrzeuge erläutert. Einerseits stellen sie die Entwicklung und Veränderung der Nutzung der themenbezogenen Fahrzeuge dar. Anderseits kann das Fahrverhalten der Nutzenden mit verschiedenen Spezifikationen (z.B. Altersstruktur, Nutzungszweck) einen direkten Zusammenhang mit der Bemessung von Radverkehrsanlagen aufweisen.

Dann wird die „Geschwindigkeit“ der zu untersuchenden Fahrzeuge spezifisch erläutert, weil die höhere Geschwindigkeit von Pedelecs hinsichtlich der Verkehrssicherheit kritisiert wird. Das veränderte Geschwindigkeitsniveau fordert andere Ansprüche an die Gestaltung von Radverkehrsanlagen.

Bei der „Verkehrssicherheit“ (Unfallgeschehen und kritische Situationen) werden die Unterschiede zwischen den zu untersuchenden Fahrzeugen und den konventionellen Fahrzeugen verglichen. Dabei ist abzuleiten, welche Felder für die zu untersuchenden Fahrzeuge Gefahr bringt.

### 2.3.2 Soziodemographische Merkmale

**Elektrofahrrad**

Im Jahr 2016 wurde bundesweit die soziodemographische Studie durchgeführt. UdV (2016a) zeigte, dass **Pedelecnutzende deutlich älter waren als Fahrradfahrende oder die repräsentative Gesamtstichprobe**. Entsprechend höher lag der Anteil „nicht erwerbstätig“ der Pedelecnutzenden bei 38%. Angesichts des Geschlechtes sind mehr als zwei Drittel der Pedelecfahrenden männlich (Tabelle 2.2).

Die Haushaltsbefragung im Rahmen der „Mobilität in Deutschland (MiD)“ im Jahre 2017 bewies, dass Haushalte von älteren Menschen besser mit Pedelecs ausgestattet waren als Haushalte von jüngeren Menschen. Zudem sind Pedelecs vor allem in mittelgroßen Städten und kleinstädtisch dörflichen Räumen sowie ländlichen Regionen verbreitet, wogegen klassische Fahrräder überwiegend in Metropolen und Großstädten zu finden sind (Nobis 2019).

Bei der Online-Befragung von Borgstedt et al. (2019) im Jahre 2019 verfügten 11% über ein Pedelec in ihrem Haushalt. Bei näherer Betrachtung wurde die Pedelec-Nutzung im Haushalt (3053 Befragte) in der Altersgruppe 50-69 Jahren mit einem Anteil von 22% und in der Altersgruppe 30-49 Jahren mit einem Anteil von 26% festgestellt. Angesichts des Geschlechtes waren drei Fünftel der Pedelecfahrenden männlich.

**Lastenrad**

Durch den Vergleich der Ergebnisse von Borgstedt et al. (2019) und Borgstedt et al. (2017) stieg der Anteil der Lastenradnutzenden bei den Gesamtbefragten von 1% im Jahre 2017 auf 2% im Jahre 2019 leicht an. Ferner zeigten Borgstedt et al. (2019), dass die Lastenradnutzenden überwiegend in der Altersgruppe 20-39 Jahre waren und der Anteil von männlichen Lastenradnutzenden 60% ausmachte. Bei der Studie der Hochschule Darmstadt im Jahre 2019 waren mehr als drei Fünftel zwischen 25 und 44 Jahre alt und mehr als 70% männlich. Dabei hatten viele Nutzende im Haushalt Kinder < 14 Jahren (Wolfermann 2019b). Die Ergebnisse beider Befragungen stimmen überein.

**E-Tretroller**

Als soziodemographische Statistik der E-Tretroller zeigten Saisonstart (2020) und Hobusch et al. (2021) einen Großteil der Nutzenden unter 30 Jahren. Bei der Befragung nach der Nutzung von E-Tretrollern bejahte vor allem die Altersgruppe zwischen 18-54 Jahren, besonders hervorzuheben sind die 25-34-Jährigen (6%). Im Vergleich dazu bejahte nur 1% der Befragten ab 55 Jahren die Nutzung (Inhoffen 2019).

**Tabelle 2.2: Soziodemografische Merkmale der Fahrrad- und Pedelec-Nutzenden (Pedelecfahrende: n=48; Fahrradfahrende: n=572; Gesamt: n=2061) [nach (UdV 2017)]**

| | | Pedelec-fahrende [%] | Fahrrad-fahrende [%] | Gesamt-stich-probe [%] | | | Pedelec-fahrende [%] | Fahrrad-fahrende [%] | Gesamt-stich-probe [%] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Gesch-lecht** | Männlich | 69,1 | 55,0 | 48,8 | **Al-ter** | 18-24 Jahre | 13,4 | 8,9 | 7,7 |
| | Weiblich | 30,9 | 45,0 | 51,2 | | 25-34 Jahre | 1,2 | 13,8 | 14,6 |
| **Tätig-keit** | Erwerbstätig | 56,6 | 59,5 | 55,2 | | 35-44 Jahre | 20,8 | 18,0 | 16,0 |
| | Geringfügig/ gelegent-lich beschäftigt | 0,8 | 7,7 | 5,2 | | 45-54 Jahre | 6,3 | 22,6 | 21,6 |
| | Ausbildung, Weiterbildung | 0,0 | 4,7 | 2,3 | | 55-64 Jahre | 26,1 | 13,5 | 15,7 |
| | Nicht erwerbstätig | 38,0 | 25,4 | 29,3 | | 65-74 Jahre | 26,1 | 14,6 | 15,6 |
| | Keine Angaben | 4,6 | 7,4 | 7,9 | | ab 75 Jahre | 6,1 | 8,5 | 8,8 |
| | | | | | | Durchschnitt | 54 Jahre | 49 Jahre | 50 Jahre |

## 2.3.3 Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung

### 2.3.3.1 Wegelänge

Elektrofahrrad

Angesichts der Wegelänge stellten Schleinitz et al. (2014) dar, dass S-Pedelecfahrende signifikant längere Wege (7,1 km) als Pedelec- (4,7 km) und Fahrradfahrende (3,5 km) zurücklegten. Aber die jüngere Untersuchung von Nobis (2019) demonstrierte die deutlich höher liegenden mittleren Wegelängen mit Pedelecs (6,1 km) als mit Fahrrädern (3,7 km). Die mit Pedelecs zurückgelegten Tagesstrecken lagen gegenüber herkömmlichen Fahrrädern ab Altersklasse der 30- Jährigen um vier bis acht Kilometer höher. Die hessische Studie zeigte, dass bei Weglängen unter 5 km das Fahrrad und Pedelec zu ähnlichen Teilen genutzt wurde. Bei Weglängen von 20 km dagegen wurde nur das Pedelec (ca. 15%) als Verkehrsmittel ausgewählt (Schäfer und Schmidt 2012).

Die obengenannten Ergebnisse bestätigen die Aussage, dass Pedelecs den bisherigen Radius des Fahrrades erweitern und die bislang nur mit dem Pkw erreichbaren Ziele damit in die Kategorie „Fahrradentfernung“ eingeordnet werden können (Nobis 2019).

E-Tretroller

Die Wegelänge der E-Tretroller in Deutschland zeigt diverse Ergebnisse in unterschiedlichen Studien. In Saisonstart (2020), Hobusch et al. (2021) und civity (2019) wurde eine durchschnittliche Wegelänge bis zu 2 km nachgewiesen und von 1,75 km bis 1,96 km je nach Anbietern der E-Tretroller variierte. Aber die durchschnittlich zurückgelegte Wegelänge mit einem E-Tretroller in Deutschland ist kürzer als die im Ausland, welche beispielsweise 3 km in Paris und zwischen 3-10 km in der Schweiz beträgt (Saisonstart 2020; Schmitt et al. 2019).

### 2.3.3.2 Wegezweck

Elektrofahrrad

Durch den Vergleich der befragten Fahrrad-, Pedelec- und S-Pedelecnutzenden stellen Schleinitz et al. (2014) dar, dass der am häufigsten verfolgte Wegezweck unabhängig von dem Fahrradtyp die **Fahrt zur Arbeit** war, aber Pedelecs zudem **häufiger** zu **Erholungs- oder sportlichen Zwecken** verwendet wurden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die befragten Pedelecfahrenden auch in dieser Untersuchung im Durchschnitt älter waren. Ähnliche Ergebnisse werden auch in Alrutz et al. (2015a) erwähnt. Nobis (2019) verdeutlichte einen unterschiedlichen Wegezweck in Abhängigkeit von dem Alter. Bei der Altersgruppe zwischen 30 und 49 Jahren fiel der Anteil der Dienstwege bei den Pedelecwegen (27%) mehr als drei Mal so hoch aus wie bei den Fahrradwegen, allerdings spielte bei dieser Altersgruppe das Pedelec für Freizeitwege eine unwesentliche Rolle (Abbildung 2.3). In der Verallgemeinerung **setzen junge Menschen das Pedelec oft für Dienstwege ein, ältere Personen nutzen sie in der Freizeit**.

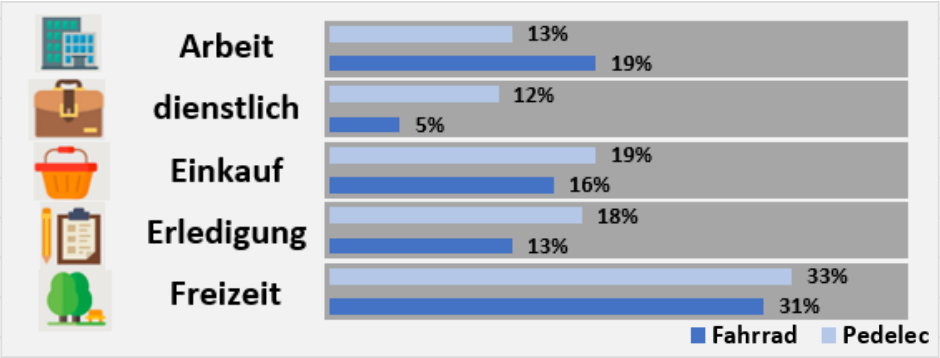



**Abbildung 2.3: Anteil der Wegezwecke an Fahrrad- und Pedelecwegen [nach (Nobis 2019)]**

Lastenrad

Für die Nutzung von Lastenrädern wurden Wege zur **Arbeit**, zu **Schulen/ Kindergärten** und zu **Lebensmittel- und anderen Geschäften** als häufigste Wegezwecke eingestuft (Wolfermann 2019b).

E-Tretroller

In Bierbach et al. (2018), BDU (2019) und Schmitt et al. (2019) wurden die Fahrten für **Freizeitaktivitäten** als häufige Wegezweck festgestellt. Zudem wurden E-Tretroller oft zur Überbrückung der „**letzten Meile“ zum ÖPNV** und **auf dem Weg zur Arbeit** benutzt. Die Wegezwecke der E-Tretroller unterscheiden sich deutlich bei den Altersgruppen und der Nutzungshäufigkeit. Junge und ältere Befragte sehen überwiegend die Vorteile der E-Tretroller in der Freizeitnutzung, während bei der Altersgruppe der Berufstätigen vor allem die Nutzung im Zusammenhang mit dem Pendelverkehr angegeben wird (BDU 2019). Die regelmäßigen Nutzenden absolvieren die Wege eher für Arbeit, Dienst sowie Schule und die gelegentlichen (einmaligen) Nutzenden dagegen eher für Freizeit (Hobusch et al. 2021).

#### 2.3.3.3 Nutzungs- und Kaufmotive

Elektrofahrrad

Die wichtigsten Gründe für die (potentielle) Nutzung von Pedelecs liegen in der **Reduktion der körperlichen Anstrengungen**, **Bewältigung der Steigungsstrecken** und das **Fahren von längeren Strecken**. Neben dem oben genannten Grund „**Erleichterung**“ wird auch die „**Flexibilität“** als Nutzungsmotiv von Pedelecs erwähnt, besonders für die Befragten ohne Führerschein. Ein häufiges Argument dafür ist die flexibel gestaltete Mobilität (Lawinger und Bastian 2013).

Als Begründung der Nichtanschaffung eines Pedelecs werden die **höheren Anschaffungskosten** und die ausreichende **körperliche Fitness** genannt (Nobis 2019; Borgstedt et al. 2019). Diese beiden Nachteile der Pedelec-Nutzung gelten gerade als zwei der wichtigste Argumente für die konventionelle Fahrrad-Nutzung (Schleinitz et al. 2014; Borgstedt et al. 2019). In Tabelle 2.3 werden die Gründe für Nutzung oder Nicht-Nutzung der Pedelecs aufgelistet.

Lastenrad

Angesichts der Nutzungsmotive von Lastenrädern werden vor allem der **Transport von Einkäufen und Kindern** sowie **anderen Lasten** erwähnt (Wolfermann 2019b; Borgstedt et al. 2019). Das meiste Desinteresse an Lastenrädern fällt unter die Punkte **kein Bedarf**, **Unhandlichkeit und Sperrigkeit** und **fehlende Abstellmöglichkeiten** (Borgstedt et al. 2019).

E-Tretroller

Für die Nutzungsmotive von E-Tretrollern werden der **Spaßfaktor** und die **Zeitersparnis** sowie **Schnelligkeit** besonders positiv bewertet. Als Nachteile der E-Tretroller werden überwiegend die **starke Wetterabhängigkeit**, die **fehlenden Ladepunkte**, **hohe Kosten** und **fehlende körperliche Aktivität** kritisiert (BDU 2019; Hobusch et al. 2021).

**Tabelle 2.3: Gründe für (nicht) (potentielle) Nutzung der Pedelecs**

| | Gründe für (nicht) Nutzung der Pedelecs | | | Gründe für (kein) Interesse an Pedelecs |
|---|---|---|---|---|
| **Erhebung** | (Alrutz et al. 2015a) | (Schleinitz et al. 2014) | (Borgstedt et al. 2019) | |
| **Anzahl** | n=282-302 | n=49 | n= 3053 | n= 1363 |
| **Gründe für Pedelecs** | Steigungen mit weniger Mühe bewältigen (97%) | Reduktion der körperlichen Anstrengung generell (46,9%) | Flexibilität (18%) | Für längere Strecken/ Ausflüge (78%) |
| | Müheloses Fahren bei Gegenwind (92%) | Berge/Steigung leichter zu bewältigen (44,9%) | Spaß (24%) | Für bergige Strecken (73%) |
| | Körperliche Fitness erhalten (86%) | Längere Strecken möglich (28%) | Gesundheit (18%) | Radfahren trotz Einschränkungen (54%) |
| | Häufigerer Verzicht auf den Pkw (75%) | Entspannung/Spaß/Freude (26,5%) | Umwelt (24%) | Größere Einkäufe (21 %) |
| **Anzahl** | | n=49 | | n= 1520 |
| **Gründe gegen Pedelecs** | | Hohes Gewicht des Rades (79,6%) | | Zu teuer (41%) |
| | | Akku (Rechtweite/Kapazität) (49,0%) | | Kein Bedarf (38%) |
| | | Hoher Preis (Aschaffen) (20,4%) | | Fehlt eigene körperliche Anstrengung (27%) |
| | | Akku (Ladedauer, Aufwand) (20,4%) | | Eher etwas für ältere Menschen (18%) |

### 2.3.3.4 Wege- und Infrastrukturnutzung

Elektrofahrrad

In Hinblick auf die Wegenutzung favorisierte mehr als die Hälfte der befragten Pedelecnutzenden (58%) **Straßen mit wenig Kfz-Verkehr** (32% innerorts und 26% außerorts), besonders die weiblichen Nutzenden ab 70 Jahren (Alrutz et al. 2015a). Hinsichtlich der Infrastrukturnutzung wurden **baulich getrennte Radwege** sowie **kombinierte Geh-/ Radwege innerorts** am häufigsten von Pedelecfahrenden benutzt (Lienhop et al. 2015). Dazu wird hervorgehoben, dass die Fahrbahn bei der Beobachtung in der Praxis noch häufiger genutzt wird als die subjektive Einschätzung (Tagebuchwoche/ Wegeprotokoll) (Schleinitz et al. 2014).

Angesichts der Wahrnehmung oder der Verbesserungsvorschläge für die Infrastruktur sind **Verbesserungen der bestehenden Radwege** (Breite, Belag) und **Ausbau des Radwegnetztes** von großem Interesse der Pedelecnutzenden (Lienhop et al. 2015). Als (sehr) gefährlich werden **Bundesstraßen außerorts ohne Seitenstreifen** und **Einbahnstraßen mit Fahrt in die Gegenrichtung** ausgewertet (Alrutz et al. 2015a).

Lastenrad

Lastenradfahrende präferieren Radwege vor Schutz- und Radfahrstreifen. Zudem bevorzugen sie stärker die Fahrbahn gegenüber Gehwegen, weil sie sich dort dank der Ausmaße eines Lastenrads sicherer fühlen. Aber vor allem Trike-Fahrende empfinden die Radwegführung wegen ihrer Breite als problematisch. Als Verbesserung wünschen sich mehr als 80% der befragten Lastenradfahrenden **Hindernisfreiheit**, weil Lastenräder oft Schwierigkeiten beim Ausweichen haben. Weitere Optimierung wird in **breiteren Verkehrsflächen**, **zügigen Kurvenradien** (vor allem bei Trike-Fahrenden) und **Vorrang für Radfahrende** (z.B. Fahrradstraßen) gesehen (Wolfermann 2019b).

E-Tretroller

Bierbach et al. (2018) zeigen, dass Probanden mit E-Tretrollern eher Radwege nutzten als Gehwege und Fahrbahn. Dazu wird ergänzt, dass Straßen mit wenig Verkehr auch häufig genutzt wurden. Dahingegen wurden **Straßen mit viel Verkehr signifikant weniger akzeptiert** (Schmitt et al. 2019). In Meyer et al. (2020) in Österreich wurde eine **schlechte Akzeptanz der Führung auf der Fahrbahn** bei E-Tretrollern ebenso festgestellt. Bei der Führung an Radwegen fuhren 23% regelwidrig auf Gehwegen. Bei der Führung an Radfahr-/ Schutzstreifen fuhren dagegen 48% der Nutzenden regelwidrig auf Gehwegen, bei der Führung im Mischverkehr nutzten 49% regelwidrig den Gehwegen.

### 2.3.4 Geschwindigkeit

**Elektrofahrrad**

Die Geschwindigkeit zählt oft als kritische Ursache für die Beurteilung der Verkehrssicherheit der Elektrofahrräder. Eine Geschwindigkeitssteigerung von 6 km/h hat eine Zunahme von 150% der Schwerverletzten und 350% der Todesfälle zur Folge (Scaramuzza und Clausen 2010). Die Frage, wie schnell Elektrofahrradfahrende an Straßen im Vergleich zu konventionellen Fahrradnutzenden fahren, setzt die Bemessung der angepassten Radverkehrsanlagen für Elektrofahrräder voraus.

In Tabelle A2.1 in Anhang 2 wird die Geschwindigkeit der Pedelecs und Fahrräder in den Literaturen aufgelistet. Es wird gezeigt, dass die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen 1-5 km/h variiert. Auffällig ist die große Geschwindigkeitsdifferenz von mehr als 4 km/h aus den Studien von Pez und Meyer et al. (2020). Das ist auf die jüngeren Fahrrad- sowie Pedelecnutzenden (Studierenden) oder einen geringeren Anteil an Senioren zurückzuführen. Diese Ergebnisse sind mit der Geschwindigkeitsdifferenz der jüngsten Altersgruppe in Tabelle A2.2 in Anhang 2 übereinstimmend. Daraus erfolgt die Aussage, dass **die Geschwindigkeitsdifferenz durch das Alter bedingt ist**. Anders gesagt, dass dasselbe **Geschwindigkeitsniveau durch Pedelecs mit Elektrounterstützung einfacher realisiert** wird. Zudem steht die Geschwindigkeit im Geschwindigkeitsspektrum des heutigen Radverkehrs (z.B. Rennrad). Allerdings könnte der Geschwindigkeitsunterschied zu Radfahrenden mit der Verbreitung von jüngeren Pedelecnutzenden noch deutlicher werden (Schleinitz et al. 2016a).

Angesichts der Geschwindigkeitsdifferenz an Strecken mit Längsneigung stellte Schleinitz (2020) eine größere Geschwindigkeitsdifferenz von 3,2 km/h an Steigungsstrecken und eine kleinere Differenz von 2,3 km/h an Gefällestrecken dar. Die österreichische Studie von Jellinek et al. (Februar, 2013) wies einen Geschwindigkeitsunterschied von 6 km/h an 3% Steigungsstrecken und nur 1,5 km/h an 3% Gefällestrecken nach. In der schweizerischen Studie von Fleury (2018) ist auch eine Geschwindigkeitsdifferenz von 3,5 - 6,0 km/h je nach der Längsneigung festgehalten (Tabelle A2.3). Je steiler die Längsneigung war, umso größer war die Geschwindigkeitsdifferenz. Auffällig ist, dass die Geschwindigkeit der Pedelecs mit der Längsneigung stieg. Hierbei wird keine Begründung angegebenen.

**Lastenrad**

In Alrutz et al. (2015b) konnte ermittelt werden, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit der Lastenräder von 17,6 km/h leicht geringer ausfiel als die von Standardfahrrädern mit 18,3 km/h. In der dänischen Studie von Greibe und Buch (2016) wurde eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 16,3 km/h erfasst, wobei das Lastenradmodell von Triken dort dominiert.

**E-Tretroller**

Bierbach et al. (2018) zeigten, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit von 12-13 km/h auf Gehwegen, von 18-19 km/h auf Radwegen bis hin zu 27-28 km/h auf der Fahrbahn reichte. In dieser Untersuchung lag die technische maximale Geschwindigkeit der E-Tretroller bei 35 km/h. In Meyer et al. (2020) in Österreich wurde eine Geschwindigkeit der E-Tretroller von 15 - 17 km/h an verschiedenen Radverkehrsanlagen sowie in Begegnungs- oder Fußgängerzonen erreicht. Bei der Spezifikation der Nutzenden fuhren männliche Nutzende (15,3 km/h) nur gering schneller als weibliche Nutzende (14,5 km/h).

### 2.3.5 Verkehrssicherheit

#### 2.3.5.1 Unfallgeschehen

Unfallgeschehen mit Elektrofahrrad

**Unfallfolge**

Basierend auf der Auswertung der Daten der StBA wird deutlich gezeigt, dass **Pedelecunfälle** im Durchschnitt **schwerer** ausfallen als herkömmliche Fahrradunfälle (Abbildung A3.1 in Anhang 3). Allerdings ergab sich ein geringer Rückgang der Anteile von Getöteten und Schwerverletzten bei Pede-

lec-Unfällen. Die schwereren Unfallfolgen der Pedelecnutzung sind auf eine höhere Kollisionsgeschwindigkeit und ein höheres Gewicht der Pedelec-Fahrzeuge zurückzuführen (Otte et al. 2014). Im Weiteren wird zudem ein Zusammenhang der Unfallfolgen zwischen der Altersgruppe und dem Geschlecht der Pedelec- und Fahrradfahrenden in Abbildung A3.2 in Anhang 3 dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass **mehr Männer** als Frauen schwer sowie tödlich verunglückten. In Bezug auf die Altersgruppe **vergrößert sich die Verteilung der schwerverletzten Pedelecfahrenden mit der zunehmenden Altersgruppe**, während die Verteilung der schwerverletzten Fahrradnutzenden einen geringen Unterschied darstellt. Die Altersverteilung der Schwerverletzten und Getöteten entsprechenden der Altersgruppe der Pedelecnutzenden bei gleichzeitig höherer Geschwindigkeit der Pedelecs (Panwinkler und Holz-Rau 2019).

**Unfalltypen und Unfallursachen**

Einbiegen/Kreuzen-Unfälle stellen den häufigsten Unfalltypen für Pedelecfahrende und Fahrradfahrende dar (Panwinkler und Holz-Rau 2019). Aber durch die Pedelecfahrenden wurden aber **mehr Fahrunfälle** verursacht (39%) als von den Fahrradfahrenden (24%) (UdV 2017). Diese Erkenntnis stimmt mit den folgenden Aussagen überein, dass Pedelecnutzende häufiger in Alleinunfälle geraten.

Als Unfallursache wurde am häufigsten die Kategorie "andere Fehler beim Fahrzeugführer" bei den durch den Radverkehr hauptverursachten Unfällen ausgewählt. Der Anteil dieser Ursache lag bei den Pedelec-Unfällen deutlich höher als bei den Fahrrad-Unfällen. Außerdem wurde bei den Pedelec-Unfällen mit 21 Prozent der Unfälle häufiger die Unfallursache „**nicht angepasste Geschwindigkeit**“ angegeben als bei den Fahrrad-Unfällen (17 Prozent) (Panwinkler und Holz-Rau 2019; UdV 2017). Daraus wurde erschlossen, dass Pedelecnutzende häufiger die Kontrolle über ihr Zweirad verloren oder mit einer der Verkehrssituation nicht angepassten Geschwindigkeit fuhren (UdV 2017). Bei der Erhebung (Interview) in Baden-Württemberg wurden die exakten Ursachen für die Alleinunfälle mit Pedelecs abgefragt und in Kategorien unterteilt. Die Punkte „**falsch/ zu stark gebremst**“ und „**gegen Bordstein**“ wurden am häufigsten erwähnt. Im Zusammenhang mit Bremsvorgängen der Pedelecs ist die Gefährdung bei Abbiege- oder Einbiegen-Unfällen auch nennenswert (Lawinger und Bastian 2013).

**Anzahl der Unfallbeteiligten und Unfallgegner**

Otte et al. (2014), UdV (2017) und Panwinkler und Holz-Rau (2019) weisen einen höheren Anteil der **Alleinunfälle** bei den Pedelec-Unfällen nach. Dies wird auch in der niederländischen Studie von Schepers et al. (2018) bestätigt. Die Alleinunfälle hatten schwerere Unfallfolgen und ereigneten sich oft **bei Gefälle und in Kurven** (Weber et al. 2014; Schepers et al. 2018; UdV 2017).

Bei Pedelec- sowie Fahrrad-Unfällen war der Pkw der häufigste Unfallgegner. Aber bei den Pedelec-Unfällen waren anteilig häufiger andere Fahrradfahrerende als Unfallgegner beteiligt als bei Fahrrad-Unfällen (UdV 2017). Bei den Unfällen mit den anderen Beteiligten verursachten **ältere Pedelecnutzende** häufiger einen Unfall durch das **Nichtbeachten von Vorfahrt oder Vorrang**, dagegen verursachten **ältere Fahrradfahrende** einen Unfall öfter durch **falsche Straßenbenutzung** (Panwinkler und Holz-Rau 2019).

Unfallgeschehen von E-Tretrollern

2020 wurde eine bundesweite Sonderauswertung für Unfälle mit E-Tretrollern durchgeführt. Bei 1884 Verunglückten wurden 0,3% (5 Personen) getötet und 18,2% (343 Personen) schwer verletzt. Von 1553 E-Tretroller-Unfällen mit Personenschäden waren 644 Unfälle (41,4%) Fahrunfälle (StBA 2021). Ein Drittel (33,7%) der Verunglückten mit E-Tretrollern waren jünger als 25 Jahre (StBA 26.03.2021).

Daneben wurden in einigen Regionen oder Städten die Unfalldaten seit 2019 spontan erfasst. In Nordrhein-Westfalen wurden 60 Verkehrsunfälle mit E-Tretrollern zwischen September und Dezember 2019 registriert. Bei dem Großteil der Unfälle waren E-Tretrollernutzende im Wesentlichen selbst die Verursacher des Unfalls. Davon waren 13 Vorfälle (21,7 %) mit Schwerverletzten und die restlichen 46 Vorfälle (76,7 %) mit leichten Verletzungen (Wüllner,Adomako, G. 2020). In Köln wurden 104 Verkehrsunfälle mit 109 Verletzten seit dem 15. Juni bis November 2019 mit Beteiligung von E-Scootern aufgezeichnet. Davon wurden 24 Menschen (22%) schwer und 85 (78%) leicht verletzt. In Berlin wurden von

der Polizei 74 Unfälle von E-Tretrollerfahrenden zwischen dem 15. Juni und 15 September registriert. Dabei wurden 16 Menschen schwer und 43 leicht verletzt. 88% (65 Vorfälle) der 74 Vorfälle wurden durch die E-Tretroller-Fahrenden selbst verschuldet wie in Köln berichtet. 36% (27 Vorfälle) der 74 Vorfälle waren Alleinunfälle (rbb 2019).

Die Unfalldaten zeigen **einen leicht höheren Anteil der schweren Unfallfolge mit E-Tretrollern als mit Fahrrädern**, allerdings sind die E-Tretrollernutzenden jünger. Außerdem zeigt die Münchner Studie ein hohes Unfallrisiko bei E-Tretrollern. Mit E-Tretrollern ereigneten sich fast 15 Unfälle pro eine Million zurückgelegter Kilometer im Jahre 2019 (Stand: 10.08.2019) im Gegensatz zu Unfällen mit Fahrrädern (rund 2 Unfälle pro Mio.km) (Endt und Mainka 2019).

Die häufigsten Ursachen der Unfälle waren **Alkohol**einfluss**, unzulässige Benutzung von Verkehrsflächen** und **Fehler beim Fahren** (rbb 2019; StBA 2021; NetCologne 2019).

#### 2.3.5.2 Kritische Situationen

In Schleinitz et al. (2016a) bestand kein deutlicher Unterschied zwischen Pedelecs und Fahrrädern bezüglich der Anzahl an kritischen Situationen. Allerdings unterschieden sich die Konflikte der Unfalltypen bei unterschiedlichen Fahrzeugarten. Bei allen Fahrzeugtypen trat am häufigsten der Konflikt im Längsverkehr auf. Bei Pedelecs wurden nahezu genauso häufig **Einbiegen/Kreuzen-Konflikte** (**Unfalltyp 321**) beobachtet, wobei Verkehrsteilnehmende oftmals die (unabhängig von Radfahrenden oder Kfz-Führenden) Vorfahrt missachteten. Dagegen erlitten Fahrradfahrende mehr Unfalltypen 681, bei dem sich die Konflikte mit Verkehrsteilnehmenden in entgegengesetzter Richtung ereigneten (Schleinitz et al. 2014). Auf gemeinsamen Verkehrsflächen von Radfahrenden und Fußgehenden wurde beobachtet, dass ein längerer Anhalteweg bei den Pedelecfahrenden entstand und die zu Fuß Gehenden bei Manöver ausweichen mussten. Zudem geschahen häufig kritische Situationen bei Pedelecfahrenden **mit querenden zu Fuß Gehenden** (Überschreiten-Unfälle). Bei der Befragung der als kritisch empfundenen Situationen wurde das **Rechtsabbiegen der Kfz** vor allem bei der **Radwegführung** von **Pedelecfahrenden** als gefährlicher wahrgenommen als das Einbiegen der Kfz (Alrutz et al. 2015a). Die Konflikte mit dem rechts abbiegenden Kfz werden auch in der dänischen Studie von Haustein und Møller (2016) festgehalten. Ähnliche Ergebnisse bestätigt eine chinesischen Studie von Bai et al. (2013), dass an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage die Missachtung der Vorfahrt durch den Kfz-Verkehr mit den Fahrenden von E-Bike 25 (77,7 %) leicht höher war als mit Fahrradfahrenden. Im Allgemeinen ist die Konfliktrate für E-Bikes 25 signifikant (2,5-fach) höher als für Fahrräder.

## 2.4 Zwischenfazit

Pedelecs wurden anfangs überwiegend von Senioren benutzt. Dies wurde durch den Fahrzweck hauptsächlich für die Freizeit und gering zunehmender Weglänge bestätigt. Daher war die durchschnittliche Geschwindigkeit von Pedelecs nicht deutlich schneller. Ebenso wurden auch keine besonderen Gefährdungen bei den Interaktionen beobachtet, abgesehen von Missachtung der Vorfahrt vom Kfz-Verkehr und Konflikten mit überquerenden zu Fuß Gehenden. Trotzdem wurden noch Alleinunfälle bei Gefälle und Kurven infolge unangepasster Geschwindigkeit erfasst. Mit der Zeit werden Pedelecs mehr von den Berufstätigen sowie jüngeren Nutzenden genutzt. Diese Nutzergruppen fahren Pedelecs mit höheren Geschwindigkeiten. Daher wird dieses Untersuchungsziel in der Arbeit näher behandelt.

Die Lastenräder werden oft für den Transport von Kindern und Gütern eingesetzt. Allerdings bestehen wenig Forschungen über Lastenräder bezüglich des Fahrverhaltens und der Infrastrukturnutzung. Aber aus der Fahrzeugabmessung und der durchgeführten Befragung sollen schätzungsweise breitere Verkehrsflächen und großzügige Kurvenradien bemessen werden.

Für die E-Tretrollernutzung ist die gelegentliche und die regelmäßige Nutzung zu unterscheiden. Dieser Unterschied wirkt sich auf das Mobilitäts- und Fahrverhalten aus. Solche Unterschiede könnten auch die Verkehrssicherheit beeinflussen, da besonders Personen, die den E-Tretroller nur gelegentlich nutzen, weniger Übung haben. Aus den polizeilichen Unfalldaten erfolgt eine schwerere Unfallfolge mit E-Tretrollern als mit konventionellen Fahrrädern, allerdings werden die E-Tretroller hauptsächlich von jüngeren Leuten genutzt.

# 3 Grundlagen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen

## 3.1 Allgemeines

Die ERA 2010, die von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) erarbeitet wurden, sind aktuell ein zentrales technisches Regelwerk für Planung, Entwurf und Betrieb von Radverkehrsanlagen in Deutschland. Sie dienen als Ergänzung und Vertiefung von den „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen 2006“ (RASt 06) spezifisch für den Radverkehr. Zur Anpassung der Anforderungen der RASt 06 wurden die ERA 2010 eingeführt und basierend auf der Vorgängerversion ERA 95 überarbeitet. Die Forschungsarbeit bezieht sich überwiegend auf das derzeit gültige Regelwerk ERA 2010. Die Inhalte von den ERA 95 wurden jedoch teilweise integriert, weil sich bestehende Radverkehrsanlagen zum Teil auf das alte Regelwerk beziehen.

Die Bestandteile von den ERA 2010 werden in anderen technischen Regelwerken konkretisiert. Sie werden in Abbildung 3.1 mit einer Hierarchie dargestellt. Für die vorliegende Forschungsarbeit ist das Regelwerk „Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs“ (HSRa) von großer Bedeutung.

Neben den technischen Regelwerken werden Anforderungen an die Bemessung von Radverkehrsanlagen teilweise in den Straßenverkehrsgesetzen StVO und VwV-StVO vorgeschrieben. Als Bundesgesetz haben **StVO sowie VwV-StVO den Vorrang als technische Regelwerke**, obwohl die ERA 2010 z.B. in Hessen bereits verbindlich eingeführt wurden.

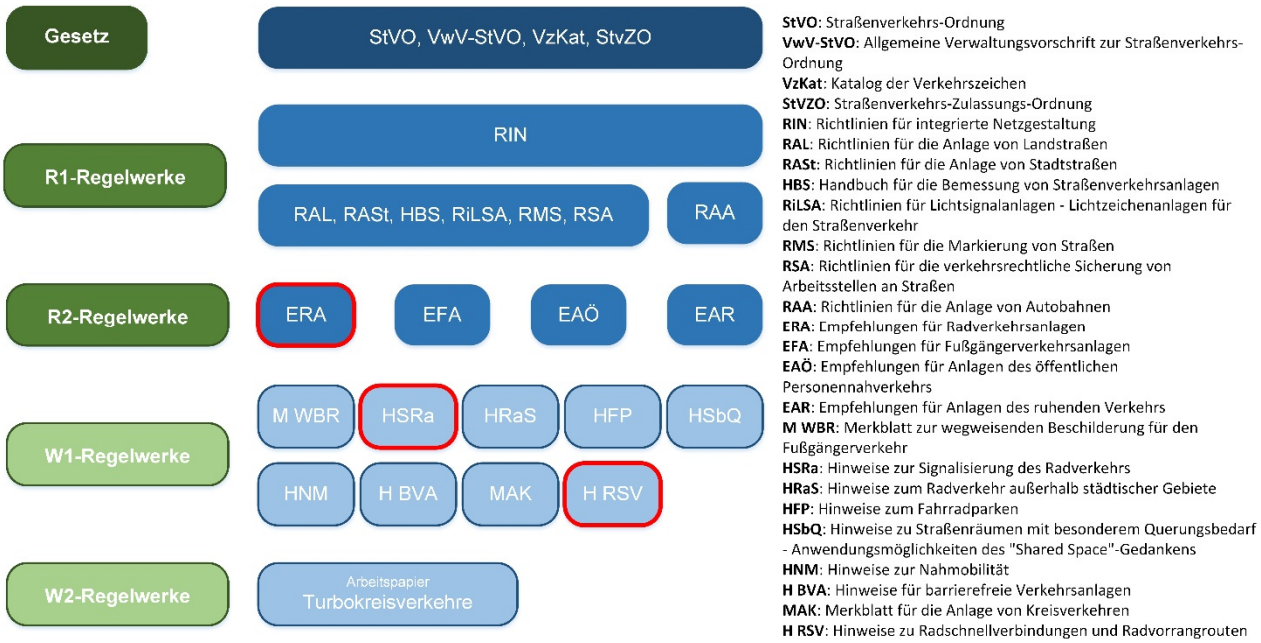



**Abbildung 3.1: Struktur der Regelwerke und Gesetze für den Radverkehr in Deutschland [nach (ORTLEPP 2017)]**

In der Arbeit wird, wie in der Einführung vorab erwähnt, auch der Entwurfsstandard „Radvorrangstandard“ einbezogen. Zuletzt wurden die H RSV veröffentlicht. In diesen sind die Anforderungen an Radverkehrsanlagen mit dem Qualitätsstandard „Radvorrangrouten“ beinhaltet.

In der Praxis werden Radfahrende oft unterdimensionierten Radverkehrsanlagen ausgesetzt, die in den vergangenen Jahrzehnten erbaut wurden. Die unterdimensionierten Radverkehrsanlagen sind in der nahen Zukunft schwierig umzubauen. Im Vergleich dazu werden überdimensionierte Radverkehrsanlagen im Einzelfall in städtischen Radverkehrskonzepten eingesetzt. Deswegen wird der Bestand der Radverkehrsanlagen aus der Praxis in den Grundlagen berücksichtigt. Die Betrachtung der Radverkehrsanlagen in der Praxis basiert auf dem Befahren des Rhein-Main-Gebietes. Ein besonderes Augenmerk wurde hierbei auf die Städte Darmstadt und Frankfurt am Main gelegt. Darüber hinaus wurden bei der Betrachtung der Radverkehrsanlagen auch fachliche Veranstaltungen, z.B. der Bundesweite Umwelt- und Verkehrskongress 2021 (BUVKO 2021) berücksichtigt.

Neben den deutschen Ausführungen sollten auch internationale Umsetzungen untersucht werden. In den ausländischen Regelwerken werden Auszüge von internationalen Vorgaben verwendet. Für den internationalen Vergleich werden die deutschsprachigen Nachbarländer Österreich und die Schweiz, bedingt eingezogen. Bei der Betrachtung werden auch vorbildliche Länder für den Radverkehr integriert. Hierzu gehören stark geförderte Länder, wie die Niederlande, Dänemark und Großbritannien. Abgesehen von den europäischen Ländern werden auch interkontinentale Länder, wie z.B. die Vereinigten Staaten und Australien, berücksichtigt. In den Niederlanden erschien das neue Regelwerk im Jahre 2016. Allerdings lohnt es sich, das im Jahre 1994 veröffentlichte Bemessungshandbuch für Radverkehrsanlagen in deutscher Sprache einzubeziehen. Das alte Handbuch bietet einen umfangreichen Vergleich zwischen niederländischen und deutschen Radverkehrsanlagen und ihren Vorgaben, obwohl einige Werte in diesem Handbuch teilweise veraltet sind. Die Vorgaben der Signalisierung für den Radverkehr werden grundsätzlich in den ausländischen Regelwerken für die Signalsteuerung behandelt. In Tabelle A4.1 in Anhang 4 werden die Regelwerke der obengenannten Länder aufgelistet. Hierbei werden auch die Vorgaben für die Bemessung von Radverkehrsanlagen in den ausländischen Regelwerken oder Gesetze zusammengestellt.

## 3.2 Entwurfselemente

### 3.2.1 Breite von Radverkehrsanlagen

**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

Die Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen basiert zunächst auf der Breite des Fahrrads. Dabei ist prinzipiell die Lenkerbreite des Fahrrads maßgebend, welche der Breite der Schulter entspricht. Die Bemessungsbreite des Fahrrades liegt bei 0,60 m. Zudem fährt das Fahrrad in der dynamischen Balance (labiles Gleichgewicht) mit 0,10 bis 0,20 m seitlichem Bewegungsraum (Pfundt et al.). Die Bemessungsbreite des Fahrrades zuzüglich des Bewegungsraums bildet den notwendigen einstreifigen **Verkehrsraum**. Gemäß ERA 2010 sollte seine Breite in einer Richtung 1,00 m sein. An Engstellen kann seine Breite unter langsamer und vorsichtiger Fahrweise (z.B. geringer Geschwindigkeit) auf 0,80 m reduziert werden. Zudem ist ein Verkehrsraum mit 1,30 m Breite für ein Fahrrad mit Anhänger in den ERA 2010 vorhanden (FGSV 2010).

Die Bemessung von Radverkehrsanlagen sollte grundsätzlich einen **Überholvorgang oder** eine **Begegnung** ermöglichen. Deswegen wird die Breite des zweistreifigen Verkehrsraums für die Radverkehrsanlagen angegeben. Allerdings ist **das Überholen oder Nebeneinanderfahren bei der Breite unterhalb von 1,60 m nicht möglich** (FGSV 2006). Um mehr Schutz und Toleranz für den Radfahrenden anzubieten, wird der **Sicherheitsraum** mit 0,25 m berücksichtigt. Der Verkehrsraum und der Sicherheitsraum bilden zusammen den **Lichtraum** der Radverkehrsanlagen (Abbildung 3.2).

Aus den obengenannten Grundgedanken werden die Breitenmaße von Radverkehrsanlagen abgeleitet (Abbildung 3.2 und Tabelle 3.1). Die Zweirichtungsradwege sollten wegen der höheren Relativgeschwindigkeit und entsprechend mehr Sicherheitsraum bei Begegnungen breiter sein als Einrichtungsradwege. Ferner ist die Breite der Zweirichtungsradwege von der ein- oder zweiseitigen Einordnungen abhängig, da ein höheres Verkehrsaufkommen beim einseitigen Zweirichtungsradweg zu erwarten ist. Dabei ist die Häufigkeit der Überholungs- oder Begegnungsfälle zwischen Fahrrädern ausschlaggebend.

Die Entwurfslogik für den Schutzstreifen ermöglicht kein Überholen zwischen den Radfahrenden. Da der Schutzstreifen eigentlich **Bestand der Fahrbahn** ist, ereignet sich ein Überholvorgang zwischen zwei Radfahrenden ingenieurmäßig außerhalb von Schutzstreifen.

Neben den (befestigten) Verkehrsräumen werden aber zusätzlich ein Sicherheitsraum oder ein Sicherheitstrennstreifen beispielsweise zu parkenden Fahrzeugen oder dem fließenden Kfz-Verkehr eingeplant. Die konkreten Entwurfswerte von Sicherheitstrennstreifen werden in Kapitel § 3.2.3 aufgezeigt.

Die Radverkehrsanlagen mit den Entwurfsstandards von Radvorrangrouten richten sich nach höheren Radverkehrsstärken und Betriebsgeschwindigkeiten mit ausreichenden Sicherheitsräumen bei Begegnungs- und Überholungsfällen. Daher orientieren sich die Mindestmaße von Radverkehrsanlagen der

Radvorrangrouten nach dem Regelmaß gemäß ERA 2010. Als Sonderfall wird für einen Radweg mit baulicher Trennung zur Fahrbahn, den geschützten Radfahrstreifen, eine Breite von 2,50 m gemäß H RSV vorgesehen.

Die Breite von Radverkehrsanlagen ist zudem in der VwV-StVO geregelt. Auffällig sind die Mindestmaße von Radverkehrsanlagen in der VwV-StVO, die schmaler als die in den ERA sind. Außerdem wird der Sicherheitsraum bereits in der von der VwV-StVO vorgeschriebenen Breite einkalkuliert, während der Sicherheitstrennstreifen in den ERA 2010 neben der vorgeschriebenen Breite zusätzlich berücksichtigt wird (Abbildung 3.3). Daher **verlangen die ERA 2010 eine breitere Radverkehrsanlage unter Berücksichtigung des Sicherheitsraums als die VwV-StVO** (Fleischhauer 2013).

**Tabelle 3.1: Breitenmaße von Radverkehrsanlagen [nach (FGSV 2010, 2021a; VwV-StVO 26.01.2001)]**

| Führungsformen | Breitenmaß [m] (Mindestmaß in der Klammer) | | |
|---|---|---|---|
| | ERA 2010 | H RSV | VwV-StVO[1)] |
| Schutzstreifen | 1,50 (1,25) | 2,00 (1.50) | - |
| Radfahrstreifen[2)] | 1,85 | ≥ 2,75/ 2,50[3)] (1,85) | 1,85 (1,50) |
| Einrichtungsradweg | 2,00 (1,60) | ≥ 2,50 (2,00) | 2,00 (1,50) |
| beidseitiger Zweirichtungsradweg | 2,50 (2,00) | ≥ 3,00 (2,50) | 2,40 (2,00) |
| einseitiger Zweirichtungsradweg | 3,00 (2,50) | | |
| Geschützter Radfahrstreifen | - | ≥ 2,50 | - |

[1)] Die Breite in der VwV-StVO ist eine lichter Breite (Verkehrsraum mit Sicherheitsraum)
[2)] Breitenmaß von Radfahrstreifen einschließlich der Markierung
[3)] Bei Abtrennung mit Doppellinie (0,50 m breit) erhöhen sich die Breitenangaben um 0,25 m (2,50 m + 0,50 m =3,00 m)

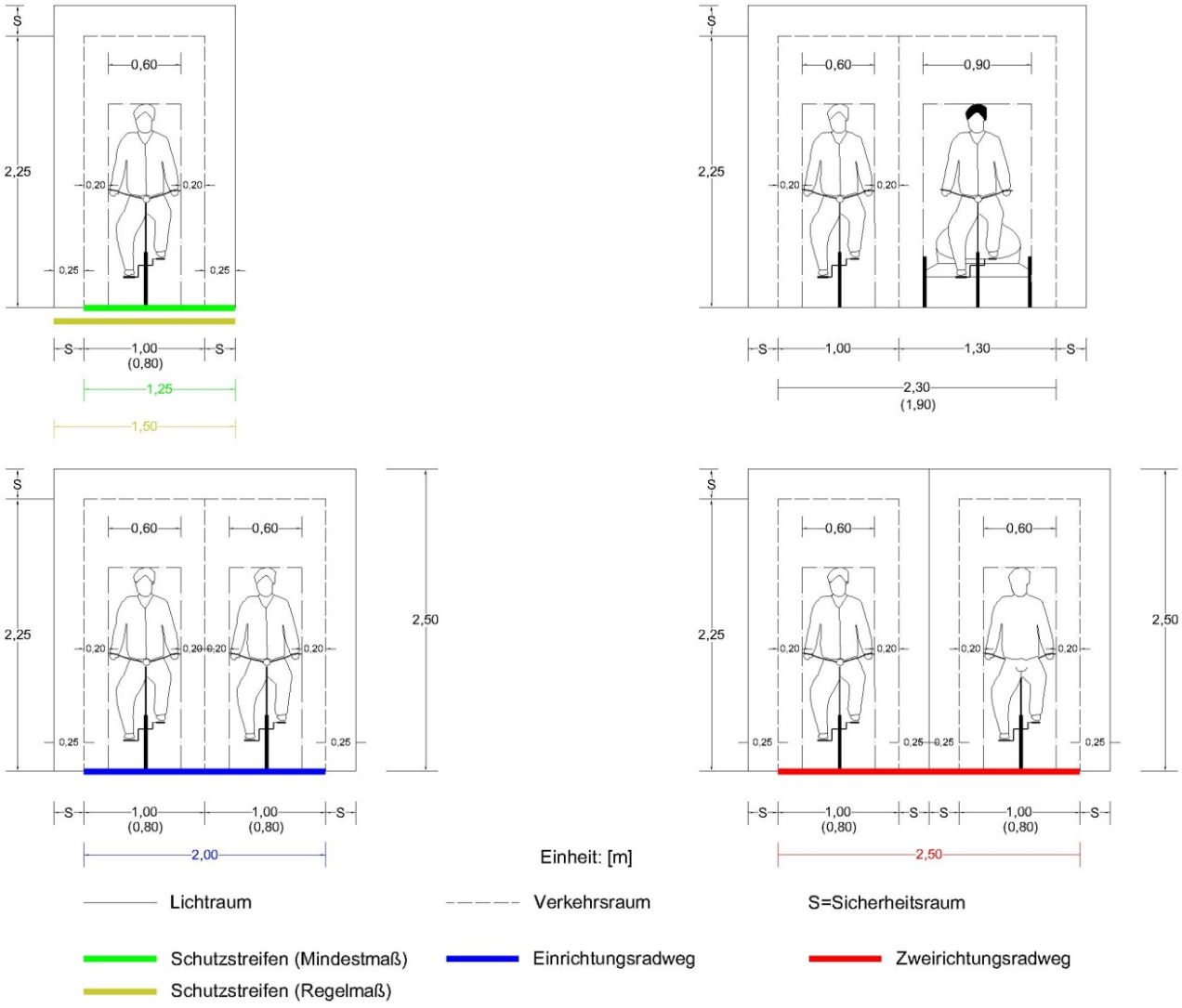



**Abbildung 3.2: Breitenmaß von Verkehrsraum und Radverkehrsanlagen [nach (FGSV 2010; Gwiasda 2006)]**

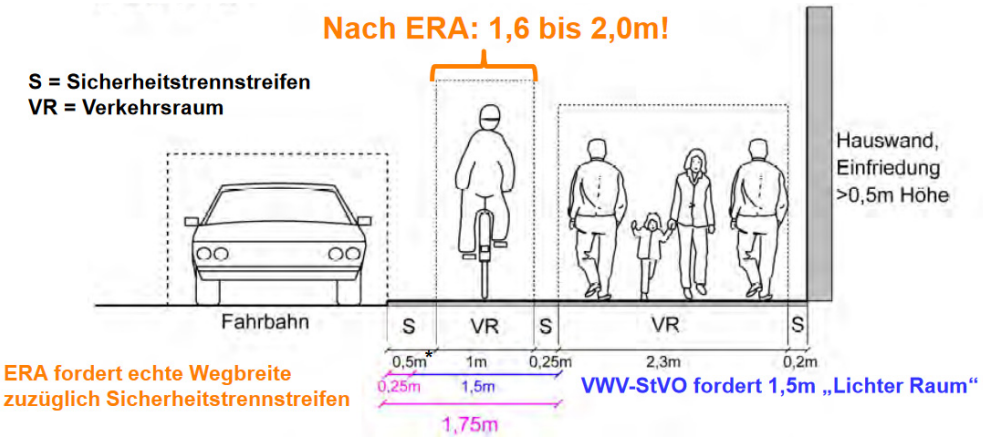



**Abbildung 3.3: Unterschied der Bemessung von Radverkehrsanlagen gemäß ERA 2010 und VwV-StVO (Fleischhauer 2013)**

## Praxis

In der Praxis entsprechen viele in der Vergangenheit erbaute Radverkehrsanlagen nicht dem Mindestmaß gemäß der VwV-StVO. Allerdings besteht keine Frist im Gesetz, bis wann solche Radverkehrsanlagen umzubauen sind. Solche bestehenden Radverkehrsanlagen können nur **entschildert** werden. Die Entschilderung hängt auch mit der Anordnung der Radwegbenutzungspflicht zusammen (Kapitel § 3.3.2). Dabei müssen Radfahrende die markierten Radverkehrsanlagen nicht befahren.

Bei einem Um- und Ausbau sollte sich die Verkehrsbehörde prinzipiell an den ERA 2010 sowie den RASt 06 orientieren, weil das Mindestmaß in der VwV-StVO zur Überprüfung der Benutzungspflicht bestehender Radwege dient (Fleischhauer 2013). Leider richtet sich die Straßenbehörde oft nach den Mindestmaßen der VwV-StVO. Deswegen sind die Breitenmaße nach dem Umbau im Rahmen der Förderung des Radverkehrs oft nicht befriedigend.

**Tabelle 3.2: Gestaltung von geschützten Radfahrstreifen in der Praxis in Deutschland [eigene Aufnahme]**

| | | |
|---|---|---|
| **Bild** | | |
| **Stadt** | Frankfurt am Main | Wiesbaden |
| **Breite** | 1,40 m | 1,30 m |
| **Trennelement** | Leitschwellen, 0,40 m breit | Schwelle, 0,30 m breit |
| **Bild** | | |
| **Stadt** | Darmstadt | Berlin |
| **Breite** | 2,25 m + 0,15 m Rinne | 3,50 m + 0,30 m Rinne |
| **Trennelement** | Betonpoller<br>1,25 m breiter Sicherheitstrennstreifen | Poller<br>1,00 m breiter Sicherheitstrennstreifen |

Neben den traditionellen Führungsformen von den Radverkehrsanlagen sind geschützte Radfahrstreifen (PBL für „*protected bike lane*“ auf Englisch), die nur in H RSV kurz erwähnt werden, zur Steigerung der Radverkehrssicherheit in der Praxis sehr gefragt. Allerdings ist die Breite der geschützten Radfahrstreifen von Ort zu Ort variabel (Tabelle 3.2). Dies kommt darauf an, ob ein geschützter Radfahrstreifen nach einem Umbau angewandt wird. Wie in Berlin und Darmstadt wurde der Straßenquerschnitt neu bemessen und die bisherige Radverkehrsanlage zum geschützten Radfahrstreifen umgebaut. Deswegen sind die geschützten Radfahrstreifen dort ziemlich breit. Alternativ dazu können physische Trennelemente auf den vorhandenen Radfahrstreifen nachträglich angebracht (z.B. in Frankfurt, Wiesbaden) werden, allerdings bleibt die Breite im Vergleich zu den ursprünglichen Radfahrstreifen unverändert.

**Internationaler Vergleich**

Tabelle A4.2 in Anhang 4 stellt die Breiten von Radverkehrsanlagen in den ausländischen Regelwerken zusammen.

Angesichts der Breitenmaße von Schutzstreifen übernehmen die meisten Länder die Breitenmaße der Radfahrstreifen, weil **ein Schutzstreifen aus der Sicht der Radverkehrsbelange ähnlich wie ein Radfahrstreifen gesehen wird** (CROW 1994). Lediglich aus Gründen von Platzmangel wird der Schutzstreifen anstatt eines Radfahrstreifens eingesetzt. Deswegen weichen die kleineren Breitenmaße von Schutzstreifen gegenüber den Radfahrstreifen in Deutschland von den ausländischen Empfehlungen ab.

Für die Breitenmaße von Radfahrstreifen haben viele Länder eine Breite von 1,50 m als Mindestmaß oder Regelmaß angegeben. Das ist darauf zurückzuführen, dass in einer niederländischen Studie ermittelt wurde, dass an einem 1,50 m breiten Verkehrsraum zwei Radfahrende gerade so nebeneinander fahren könnten (CROW 1998). Aber dazu erklärt das alte niederländische Regelwerk aus den Erfahrungen der Praxis, dass bei einem Radfahrstreifen mit einer Breite 1,50 m überholende Radfahrende teilweise die Radverkehrslangen verlassen müssen (CROW 1994). Ferner ist zu betonen, dass **Überholvorgänge zwischen Radfahrenden ohne Ausscheren vom Radfahrstreifen erst ab einer Breite von 2,00 m** möglich sei (RVS 03.02.13; CROW 1994; AASHTO-GBF-4; LTN 2/08).

Verglichen mit anderen Ländern steht das in den ERA 2010 vorgeschriebene Breitenmaß von Radfahrstreifen im Mittelfeld. Allerdings bestehen auch Überschreitungen des Regelmaßes zur Vereinfachung der Überholvorgänge. In dem Fall ist der vorgeschriebene **Radfahrstreifen** gemäß der ERA 2010 **zu schmal in Bezug auf die Überholvorgänge**.

Die Führungsformen von Radwegen unterscheiden sich in Bordsteinradweg und abgesetzt geführter Radweg. In Deutschland werden Radwege durch eine erhöhte Bordsteinkante von dem Fahrbahnniveau abgetrennt und auf dem Gehwegniveau durch Markierung oder Begrenzungsstreifen höhengleich geführt. Diese Bauweise wird oft als Bordsteinradweg bezeichnet. In den Niederlanden, Großbritannien und Dänemark werden üblicherweise Radwege durch den Höhenunterschied von dem Gehweg getrennt. Dies wird als abgesetzt geführter Radweg (englisch: „*seperated cycle path*“) bezeichnet (CROW 1994; LTN 1/12). Der Bordsteinradweg (englisch: „*segregated shared cycle and pedestrian path*“) wird in den obengenannten Ländern als eine spezifische Form des gemeinsamen Geh- und Radweges betrachtet und eher nur bei geringer Radverkehrsbelastung eingesetzt.

Für Bordsteinradwege (Einrichtungsradweg) ist ein Mindestmaß von 1,50 m in den meisten Ländern angegeben, abgesehen von Österreich. Im Vergleich zu der Bemessung ist ein Mindestmaß der abgesetzt geführten Radwege (Einrichtungsradweg) von 1,80 - 2,00 m Breite vorgesehen, wobei hier Überholvorgänge eingeplant werden. Lediglich in Australien werden Überholvorgänge beim Mindestmaß nicht berücksichtigt. Für die Bemessung der Breitenmaße der Radwege (auch für den Zweirichtungsbetrieb) wird zudem in den Niederlanden und Großbritannien die Verkehrsstärke des Radverkehrs berücksichtigt. In den Niederlanden werden Mofas für die Bemessung des **Rad-/Mofaweg** mit größeren Sicherheitsräumen integriert (Tabelle A4.3).

Wie bereits erwähnt, wird ein Bordsteinradweg in vielen Ländern nur bei geringer Radverkehrsbelastung eingesetzt, weshalb ein Vergleich nicht zielführend ist. Unter Berücksichtigung einer normalen Radverkehrsstärke (verglichen mit abgesetzt geführten Radwegen) stehen das Mindestmaß und sogar das Regelmaß gemäß der ERA 2010 deutlich unter dem Durchschnitt im Vergleich zum Ausland. **Die**

**untere Grenze von Einrichtungsradwegen für Überholvorgänge sollte mindestens 2,00 m Breite betragen**.

Die Bemessungslogik und Breitenmaße von Zweirichtungsradwegen in Deutschland stehen mit anderen Ländern im Einklang, differenziert aber nicht ein- oder zweiseitige Radwege.

Geschützte Radfahrstreifen sind ein typischer Lösungsansatz in den USA und Australien. Es besteht kaum eine Ausweichmöglichkeit an geschützten Radfahrstreifen wegen der physischen Trennung. Deswegen wird **eine Breite für einen geschützten Radfahrstreifen größer als 2,00 m** vorgeschlagen. Dabei wird **ein Lichtraum zwischen Bordsteinkante und baulicher Trennung von mindestens 2,10 m Breite** gewährleistet (FHWA-HEP-15-025). In den Niederlanden und Großbritannien werden geschützte Radfahrstreifen als „*Light Segregated Cycle Lane/ Path"* bezeichnet und als eine Fortschreibung von konventionellen Radfahrstreifen oder Radwegen betrachtet (CROW 2016; IAN 195/16). In Großbritannien wird das Mindestmaß von 1,50 m direkt vom Mindestmaß von konventionellen Radfahrstreifen übernommen. Dieser Wert ist jedoch nur für die Strecken im Radius von 100 m von Knotenpunkten gültig (IAN 195/16). Verglichen mit den ausländischen Regelwerken passen die neu gebauten geschützten Radfahrstreifen zu den Dimensionsanforderungen. Die nachträglich „umgebauten" geschützten Radfahrstreifen in Frankfurt oder Wiesbaden berücksichtigen keine Überholvorgänge.

**Erkenntnisse aus den Forschungen**

Die Breiten der Radverkehrsanlagen nehmen unmittelbare Einflüsse auf die Verkehrssicherheit sowie das Unfallgeschehen. In SCHREIBER und Beyer (2019) verzeichnen sich hohe Unfallraten an schmalen Schutzstreifen oder Radfahrstreifen unter dem jeweiligen Regelmaß von 1,50 m bzw.1,85 m. In Andersen et al. (2012) wird eine Abnahme der Unfälle mit der Verbreiterung von Radwegen und Grünflächen zwischen Radwegen und Fahrbahn ermittelt.

Überholabstände durch Kfz

Kraftfahrzeuge überholen oft mit höherer Geschwindigkeit Radfahrende. Selbst wenn die Radfahrenden durch das Kfz meistens nicht direkt berührt werden, erzeugen diese Überholvorgänge, besonders durch Schwerverkehr, Druckwellen an Radfahrenden bei geringen Überholabständen (ADFC 2010). Die Druckwelle erhöht das Risiko eines Kontrollverlustes über das Fahrrad, weshalb ein Unfall geschehen könnte. In Hupfer et al. (2000) wurde beobachtet, dass sich Radfahrende bei dem Überholen durch den Kfz-Verkehr stärker zum Fahrbahnrand orientierten. Dies erhöht das Risiko des Stoßes gegen eine Bordsteinkante. Deswegen sind die Abstände zum Kfz und zur Bordsteinkante auszugleichen. Gemäß Bild 17 der RASt 06 ist ein 0,50 m breiter seitlicher Abstand zwischen Verkehrsraum des Fahrrads und der Bordsteinkante zu gewährleisten.

Die Breite der Radverkehrsanlagen steht in engem Zusammenhang mit den Überholabständen. Ein Schutzstreifen oder Radfahrstreifen schmaler als 1,25 m führt zu einem engen Überholabstand (RVS 03.02.13). CROW (2015) und Harkey und Stewart (1997) zeigen **eine Zunahme der Überholabstände mit der steigenden Breite der Radfahrstreifen**. In Deutschland wird die Breite von Schutzstreifen thematisiert, da sie im Regelwerk verhältnismäßig schmal dargestellt wird. Durch den Fahrsimulator und die Videobeobachtung an Schutzstreifen und Radfahrstreifen wurde beobachtet, dass der Anteil der engeren Überholabstände (kleiner als 1,00 m und 0,50 m) an Schutzstreifen höher lag als an breiteren Radfahrstreifen (Dr. Anja Katharina Huemer 2019; Richter et al. 2019). Diese Erscheinung, dass **sich Kfz-Fahrerende an der Markierung der Radverkehrsanlagen orientieren** wurde als „Leitlinieneffekt" bezeichnet (Ohm et al. 2010; Richter et al. 2019; Langer 2016). Zudem wird nachgewiesen, dass Überholabstände bei schmalen Schutzstreifen noch kleiner sind als bei der Führung im Mischverkehr (Ohm et al. 2010). Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, dass Schutzstreifen auch ein Regelmaß von 1,85 m Breite betragen sollten (Richter et al. 2019).

Allerdings findet ANGENENDT (1989), dass eine **Kfz-Fahrstreifenbreite** die Überholabstände determiniert. Alrutz et al. (2009) und Hupfer et al.(2000) vertreten die Auffassung hinsichtlich Schutzstreifen, dass eine geringere Kernfahrbahnbreite den Überholabstand zwischen dem Fahrrad und einem Kfz verringert. Aus dem Grund ist empfehlenswert **eine Gesamtfahrbahnbreite** (Radverkehrsanlagen + Fahrstreifen) zu berücksichtigen (Hunter et al.; CROW 2015). Die Breite der Radverkehrsanlagen wirkt

sich auf die Überholabstände nur aus, wenn die (restliche) Fahrbahn oder der Fahrstreifen ausreichend breit sind (Stewart und McHale 2014). Dazu betont ANGENENDT (1989), dass **eine Aneinanderreihung von Mindestwerten der Fahrstreifen, Radverkehrsanlagen und eventuellen Parkstreifen ziemlich kritisch ist.** In diesem Fall haben Kfz und Radfahrende keinen Spielraum, in einer kritischen Situation auszuweichen.

Überholen/ Begegnen zwischen Fahrrädern

Das höhere Radverkehrsaufkommen benötigt generell breitere Radverkehrsanlagen, da mit der zunehmenden Radverkehrsstärke der Überholbedarf oder die Häufigkeit von Begegnungsfällen ansteigt. **Mit der zunehmenden Radverkehrsstärke verschieben sich die Unfalltypen** an Strecken von Abbiege- sowie Einbiegen-/ Kreuzen-Unfällen zu **Unfällen im Längsverkehr** und Unfällen durch den ruhenden Verkehr (Alrutz et al. 2015b). Die Breite von Radverkehrsanlagen setzt sich aus der Anzahl der Verkehrsräume zusammen. Für eine höhere Radverkehrsstärke sollte der verträgliche Radverkehr an Radverkehrsanlagen mit einem **dreistreifigem Verkehrsraum** eingeführt werden (Botma 1995). Daher wird in den asiatischen Metropolen z.B. Peking oder Shanghai das Regelmaß einer Radverkehrsanlage an Hauptstraßen wegen hoher Radverkehrsbelastung mit 3,50 m und ein Mindestmaß von 2,50 m Breite vorgeschrieben (DB11/1116-2014).

Überholvorgänge und Begegnungen werden in der niederländischen Studie von Botma (1995) als „Ereignisse“ bezeichnet, nicht alle Ereignisse werden als eine „Störung“ beurteilt. Die chinesische Studie von Li et al. (2012) unterteilt die Überholvorgänge in drei Fälle. Im ersten Fall („**freie Überholvorgänge**“) sind Radverkehrsanlagen ausreichend breit. Hierbei können die meisten Radfahrenden die anderen Radfahrenden wegen genügender Platzverhältnisse gemütlich überholen. Im zweiten Fall („**anliegende Überholvorgänge**“) sind Radverkehrsanlagen mäßig breit. Die überholenden Radfahrenden müssen sich auf die Überholvorgänge wegen beschränkter Bewegungsräume konzentrieren, die überholten Radfahrenden können manchmal abgedrängt werden. Im dritten Fall („**behinderte Überholvorgänge“**) sind Radverkehrsanlagen ziemlich schmal und die Überholvorgänge werden größtenteils behindert. Etliche aggressive Radfahrende führen die Überholvorgänge dennoch durch. Die letzten zwei Fälle werden als „Störungen“ betrachtet. Anders gesagt, können **Radfahrende bei gleicher Radverkehrsbelastung an verschieden breiten Radverkehrsanlagen diverse Überholverhalten erleben** (Wiebusch-Wothge 2016) (Abbildung 3.4). Der Ansatz wird auch in dem „Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen“ (HBS 2015) zur Bewertung der Verkehrsqualität des Radverkehrs erwähnt. Die Aussage wird durch die Unfalldaten bei der Radwegführung unterstützt, dass sich Unfälle im Längsverkehr bei Begegnungen vor allem auf dem Radweg schmaler als 1,60 m bei der Radwegführung ereignen (Alrutz et al. 2015b).

Dafür sind seitliche Abstände zwischen Radfahrenden bei einem Überholvorgang oder Begegnung weiterhin zu diskutieren. Nach den ERA 2010 ist ein Überholabstand zwischen 0,80 - 1,00 m (Bezug auf Fahrradmittelachse) gesetzt. In dem großbritannischen Regelwerk wird ein 1,50 m Überholabstand in Bezug auf die Fahrradmittelachse (0,50 m zwischen Verkehrsräumen) angegeben (LTN 2/08). Das bedeutet, dass eine 2,50 m breite Radverkehrsanlage ohne Sicherheitsraum benötigt wird (Local Transport Note 2/08). Der Überholabstand ist deutlich von der **Breite der Radverkehrsanlagen** und **Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Radfahrenden** abhängig (Angenendt et al. 1994; Falkenberg et al. 2003; Greibe und Buch 2016). Je breiter die Radverkehrsanlagen und je höher die Geschwindigkeitsdifferenz waren, desto mehr seitliche Abstände wurden erfasst. Deswegen wurde ein zweistreifiger Radweg mit einer Mindestbreite von 1,80 m (0,90 m Überholabstand) und Regelmaß 2,25 m (1,25 m Überholabstand) für besseren Fahrkomfort und mehr Spielraum vorgeschlagen (Greibe und Buch 2016). Dahingegen werden Abstände beim Nebeneinanderfahren kaum von der Breite der Radverkehrsanlagen beeinflusst , da **seitliche Abstände bei dem Nebeneinanderfahren kleiner sind als bei dem Überholen** (Greibe und Buch 2016). Aus CROW (2015) ergibt sich, dass **an 2,20 m breiten Radfahrstreifen (ohne Markierung)** alle links Radfahrenden der nebeneinander Radfahrenden innerhalb der Radfahrstreifenbegrenzung geblieben sind. Der Überholabstand hängt zudem von der **Position des überholten Radfahrenden** zusammen, d.h. die auf der linken Hälfte fahrenden Radnutzenden werden 10 cm enger überholt als die auf der rechten Hälfte fahrenden Radfahrenden (Richter und Beyer 2019). Daher wird **ein Radfahrfahrstreifen** (auch für Radweg) mit **einer Breite von 2,25 m** (einschließlich der Markierung) von Richter et al. (2019) empfohlen.

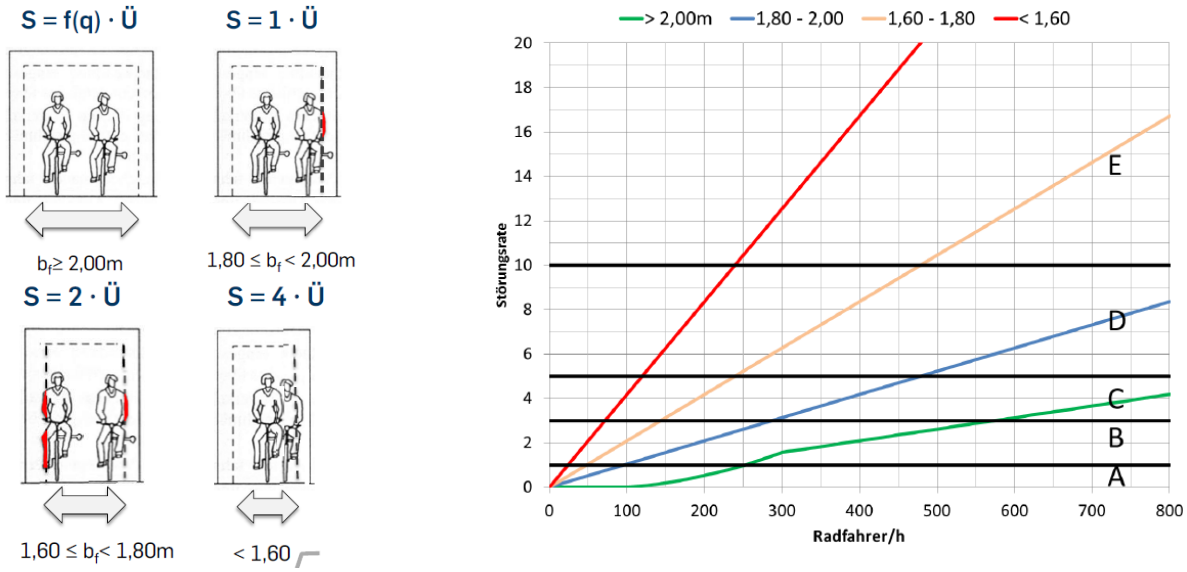



**Abbildung 3.4: Maß der Störung in Abhängigkeit von Breitenmaßen [nach (Wiebusch-Wothge 2016)]**

### 3.2.2 Trennung zwischen Geh- und Radweg

**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

In Deutschland werden Radwege und Gehwege ohne Höhendifferenz (sogenannter Bordsteinradweg) als Regellösung verwendet. Zur Trennung kommt ein **höhengleicher Begrenzungsstreifen** mit einem **Mindestmaß von 0,30 m** zum Einsatz. Begrenzungsstreifen sollen drei Anforderungen erfüllen:

- deutliche **Tastbarkeit** durch Unterschiede der Belagsstruktur
- **visuelle Erkennbarkeit** durch deutliche Helligkeitsunterschiede
- **Überfahrbarkeit und Begehbarkeit**, um Sturzgefahren für den Radverkehr und Stolpergefahr für den Fußgängerverkehr auszuschließen (FGSV 2010).

Die ersten zwei Anforderungen schärfen die Wahrnehmungen der Radfahrenden zur Haltung der Spuren. Die dritte Anforderung bietet die Ausweichmöglichkeiten bei Bedarf. Aufgrund der Absturzgefahr steht ein Höhenversatz zwischen Radweg und Gehweg erst beim **Radweg ab einer Breite von 2,00 m** zur Auswahl (FGSV 2010). Für die Höhe der einzusetzenden sollte ein **niedriger Bord von 0 - 4 cm** gemäß ERA eingebaut werden (FGSV 2010).

Daneben wird die Breite der angrenzenden Gehwege thematisiert. Das ist für die Anordnung der Radwegbenutzungspflicht von Bedeutung, weil eine Radwegebenutzungspflicht ausreichende Flächen für den Fußgängerverkehr voraussetzt (§ 2 Zu Absatz 4 Satz 2 Rn. 9 VwV-StVO). Es ist eine **Mindestbreite** der **Gehwege** von **2,30 m** (1,80 m Gehweg + 0,20 Sicherheitsraum zur Hauswand + 0,30 m Begrenzungsstreifen) gemäß ERA 2010 vorgeschrieben (FGSV 2006, 2002).

**Praxis**

In der Praxis werden Elemente zur Abgrenzung der Geh- und Radwege in diverser Ausführung eingesetzt, welche jedoch meistens von den Anforderungen in den ERA 2010 abweichen. Die nach dem Regelwerk vorgesehenen Begrenzungsstreifen wie z.B. Kleinpflasterreihen sind nicht oft zu beobachten, sogar im umgebauten Seitenraum.

Am häufigsten wird eine markierte weiße Linie als Trennung gesehen. Dies ist auf die StVO in den 70er- und 80er-Jahren zurückzuführen, „*wenn Gehwege so breit sind, dass man dort auch Radfahrverkehr zu lassen kann, so sollte das geschehen. Der Radweg ist dann durch eine* ***durchgezogene weiße Linie*** *vom Gehweg zu trennen*“ (ANGENENDT et al. 1985). Diese veraltete Ausführung ist bis heute präsent. Daneben werden z.B. Borde, Poller sowie ein farblich kontrastierender Belag als Trennung angewandt. Sie werden je nach örtlicher Spezifikation uneinheitlich angelegt.

Außerdem ist die Gehwegbreite problematisch. An vielen Strecken sind Gehwege schmaler als der vorgesehene Wert und die nutzbare Breite wird zusätzlich eingeschränkt, wenn andere Objekte z.B. Mülltonnen auf Gehwegen abgestellt werden. Die Gehwegbreite ist nicht mit der Nutzungsfunktionalität und dem damit verbundenen Fußverkehrsaufkommen konform. In der Vergangenheit ist eine Vielzahl von im Gehwegbereich abmarkierten Radwegen entstanden und führte zu einem eingeschränkten Bewegungsraum für den Fußverkehr (Angenendt et al. 1994).

**Internationaler Vergleich**

In Tabelle A4.4 und Tabelle A4.5 werden die Vorgaben für die Geh- und Radwegbreiten und für die Trennungsformen zwischen Geh- und Radweg in den ausländischen Regelwerken dargestellt.

Wenn Breiten der neben den Radwegen liegenden Gehwege in den internationalen Regelwerken betrachtet werden, steht das Breitenmaß von 2,30 m gemäß ERA 2010 auf einem Höhenniveau. Aber hierbei ist anzumerken, dass der Bordsteinradweg im Ausland nicht als Regellösung eingesetzt wird. Das bedeutet, dass die aufgelisteten Gehwegbreiten nur bei geringen Belastungen eingesetzt werden.

Der Bordsteinradweg kommt im Ausland selten infrage. Hier wird eher eine **höhenungleiche Trennung** bevorzugt. Auffällig ist, dass die Höhe der Borde in allen Ländern **höher als 5 cm** angegeben wird, abgesehen von Österreich. Das großbritannische Regelwerk hebt hervor, dass ein Höhenunterschied mit weniger als 5 cm den Radfahrenden nicht am Überfahren hindert (LTN 1/12). Das amerikanische Regelwerk betont, dass eine deutliche Trennung sowie die Vermeidung von Konflikten zwischen zu Fußgehenden und Radfahrenden erst ab 8 cm geschaffen wird (NACTO 2014).

Beim Einsatz der höhengleichen Trennung wird von einer einfachen Markierung mit einer weißen Linie in Österreich und Australien abgeraten. Angesichts der Begrenzungsstreifens ist eine Breite von 0,30 m die untere Grenze. Der Abstand zwischen Radweg und Poller bezieht sich vor allem auf einen Sicherheitsraum der Radfahrenden zu angrenzenden Einbauten. Aus der Analyse geht hervor, dass ein Sicherheitsraum von 0,25 m zu Einbauten gemäß ERA 2010 nicht ausreichend zu sein scheint.

**Erkenntnisse aus den Forschungen**

Radfahrende werden oft an Hauptverkehrsstraßen mit einer höheren Nutzungsintensität und -vielfalt (Geschäftsstraßen) durch zu Fuß Gehende beeinträchtigt, bei denen aufgrund einer unzureichenden Breitenbemessung keine Ausweich- und Kompensationsmöglichkeiten in Konfliktfällen zwischen zu Fuß Gehenden und Radfahrenden zu registrieren sind (Angenendt et al. 1994). Die Beeinflussung zwischen zu Fuß Gehenden und Radfahrenden an getrennten Geh- und Radwegen ist durch eine nicht klare Trennung vorhanden. Bösel (1997) kritisiert, dass Radfahrende die Abmarkierung durch eine weiße Linie oder farblich unterschiedliche Beläge überfahren und zu Fuß Gehende die niveaugleiche Trennung aus Unachtsamkeit nicht wahrnehmen.

In einer relativ komplexen Forschung der BASt wurde die Flächennutzung der Radfahrenden und zu Fuß Gehenden mit unterschiedlichen Trennungsmitteln, Radwegbreiten und Gehwegbreiten durchgeführt (Alrutz et al. 1999). Eine Höhentrennung mit Rasenbordstein (etwa 2 cm hoch) wurde vom Radfahrenden gut akzeptiert, wenn die Radwege ausreichend breit waren. Falls Radwege durch z.B. unerlaubtes Parken belegt waren, war die höhenmäßige Trennung wirkungslos. Im Vergleich dazu wurden Trennstreifen mit Kleinpflasterbelag tendenziell weniger akzeptiert. Für zu Fuß Gehende war eine ausreichende Fläche maßgebend und sie wichen unabhängig von der Art der Trennung bei unzureichenden Gehwegflächen auf den Radweg aus.

### 3.2.3 Breite von Sicherheitstrennstreifen

**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

SCHREIBER und Beyer (2019) verweisen auf eine 4-fach höhere Unfalldichte auf Schutzstreifen mit Parken als ohne Parken. Das Parken führt auch oft zur Beeinträchtigung subjektiven Sicherheitsempfindens (Engler et al. 2021). Um den Sicherheitsabstand zum ruhenden Verkehr zu erhöhen, wird gemäß ERA 2010 vorgeschrieben, einen Sicherheitsraum oder Sicherheitstrennstreifen zwischen den

Radverkehrsanlagen und Parken zu berücksichtigen. Die Breite von Sicherheitstrennstreifen zum ruhenden Verkehr hängt von der Konfiguration der Parkstände und der Form angrenzender Radverkehrsanlagen ab (Tabelle 3.3).

Für einen größeren Toleranzbereich beim Führen des Fahrrads und zur Vergrößerung des Abstands zur Bordsteinkante wird der Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn mit einer Breite von 0,50 m - 0,75 m gemäß ERA 2010 vorgeschrieben. Es ist zu gewährleisten, dass ein Abstand von mindestens 0,25 m zwischen festen Einbauten und Radwegen gehalten werden kann (FGSV 2010).

Die Mindestmaße für die Entwurfsstandards der Radvorrangrouten sind überwiegend von den Obergrenzen der Vorgaben aus den ERA 2010 übernommen.

Die Breite des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radfahrstreifen und fließendem Verkehr wird gemäß ERA 2010 nicht vorgegeben. Allerdings ist der Gedanke der VwV-StVO beinhaltet. Werden „*Radfahrstreifen an Straßen mit starkem Kraftfahrzeugverkehr angelegt, ist ein breiter Radfahrstreifen oder ein zusätzlicher Sicherheitsraum zum fließenden Verkehr erforderlich*“ (Zu §2 Zu Absatz 4 Satz 2 Rn.10 VwV-StVO). In den H RSV wird eine Doppellinie mit einer Breite von 0,50 m als Sicherheitstrennstreifen zwischen Fahrbahn und Radfahrstreifen eingeführt.

**Abbildung 3.5: Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn in Frankfurt [eigene Aufnahme]**

**Tabelle 3.3: Breitenmaße von Sicherheitstrennstreifen [nach (FGSV 2010, 2021a)]**

| Führungsform | Standard | Breite des Sicherheitstrennstreifens [m] (Mindestmaß in Klammer) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | zur Fahrbahn | zu Längsparkständen | Zu Schräg-/ Senkrechtparkständen |
| Schutzstreifen | ERA 2010 | - | (Sicherheitsraum) 0,25 - 0,50 | (Sicherheitsraum) 0,75 |
| | H RSV | - | ≥ 0,75 (0,50) | ≥ 1,00 (0,75) |
| Radfahrstreifen | ERA 2010 | - | 0,50 - 0,75 | 0,75 |
| | H RSV | 0.50 | ≥ 0,75 (0,50) | ≥ 1,00 (0,75) |
| Radweg/ gemeinsamer Geh- und Radweg | ERA 2010 | 0,50<br>0,75 (bei festen Einbauten bzw. hoher Verkehrsstärke) | 0,75 | 1,10 (Überhangstreifen kann darauf angerechnet) |
| | H RSV | ≥ 0,75 (0,50) (Einrichtung)<br>≥ 1,00 (0,75) (Zweirichtung) | ≥ 1,00 (0,75) | - |
| Geschützter Radfahrstreifen | H RSV | ≥ 1,00 (0,75)[1)] | - | - |

[1)] zuzüglich 0,25 m Breite zwischen baulichen Trennelementen und Radverkehrsanlagen

## Praxis

Die Sicherheitstrennstreifen fehlten und fehlen meistens bei bestehenden Radverkehrsanlagen in der Praxis, besonders Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn. Dies ist teilweise dadurch begründet, dass Sicherheitstreifen gemäß VwV-StVO bereits im Lichtraum inbegriffen sind. Aber die fehlenden Sicherheitstrennstreifen werden als „Mangel“ im Regelwerk „Hinweise zur einheitlichen Bewertung von Radverkehrsanlagen“ (H EBRA) vorgesehen (FGSV 2021b).

In Bezug auf die Breite von Sicherheitstrennstreifen hin zum Parken kommentierten viele Gemeinden beim BUVKO, dass die Türöffnung der Kfz circa 0,80 - 1,00 m braucht und 0,50 m breite Sicherheitstrennstreifen gemäß ERA 2010 daher nicht ausreichend sind. Als Rechtfertigung wird angeführt, dass Sicherheitstrennstreifen einen Hinweis auf das Vorhandensein von Radverkehr und ruhenden Verkehr

jeweils für Kfz-Führende und Radfahrende bieten und zur Vermeidung der Unfälle ein Schulterblick („niederländischer Griff“) bei der Türöffnung angewendet werden soll.

Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn werden in Deutschland kaum eingesetzt. Trotzdem wird er innovativ im Hafentunnel in Frankfurt am Main probeweise eingerichtet, um die (subjektive) Sicherheit im Tunnel zu erhöhen. Dabei wird ein Sicherheitstrennstreifen (schraffierte Trennfläche) mit einer Breite von 1,25 m neben dem Radfahrstreifen markiert (Abbildung 3.5). Momentan werden offene Fragen fachlich diskutiert, ob ein breiterer Radfahrstreifen oder ein Sicherheitstrennstreifen mit schmaleren Radfahrstreifen von Vorteil ist (ORTLEPP 2019).

Zu Sicherheitstrennstreifen sollen hierbei die in der Praxis eingesetzten physischen Trennelemente von geschützten Radfahrstreifen eingesetzt werden (siehe Tabelle 3.2). Es existieren überwiegend zwei Bauweisen. Bei der ersten Bauweise werden z.B. schmale Schwellen an **bestehenden** Radfahrstreifen nachträglich platziert. Die Lösung verbessert den Abstand zwischen Kfz-Verkehr und Radverkehr nicht, aber der zeitliche und finanzielle Aufwand für eine Realisierung ist überschaubar. Bei der zweiten Bauweise werden Radfahrstreifen und Sicherheitsstreifen zur Fahrbahn zuerst **ummarkiert** und auf den ummarkierten Sicherheitstrenntreifen Trennelemente angelegt.

**Internationaler Vergleich**

In Tabelle A4.6 werden die Vorgaben für die Breite von Sicherheitstrennstreifen der ausländischen Regelwerken zusammengestellt.

Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn sind international nicht verbreitet. Solche Sicherheitstrennstreifen mit einer Breite von 0,50 m - 0,60 m werden lediglich in den Niederlanden und USA empfohlen (Abbildung 3.6). Die Sicherheitstrennstreifen weisen den linken von zwei nebeneinander fahrenden Radfahrenden darauf hin, die Radverkehrsanlage nicht zu verlassen (CROW 2015). Anders als in Deutschland wird zudem angemerkt, dass Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn in einer Breite der Radfahrstreifen mitzurechnen sind. Dafür wird argumentiert, dass bei der Anordnung solcher Sicherheitstrennstreifen die Unsicherheit der Radfahrenden (englisch: „*shy distance*“) verringert wird und ein Radfahrstreifen vollständig befahren werden könnte (NACTO 2014).

In Bezug auf Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Längsparken wird die untere Grenze des Sicherheitstrennstreifens von 0,50 m in allen Ländern einheitlich angegeben. Für die obere Grenze der Sicherheitstrennstreifen wird eine Breite von 0,80 - 1,00 m veranschlagt, welche sich an dem Platzbedarf der Türöffnung orientiert. Zusätzlich wird in Österreich, Dänemark und USA ein Breitenzuschlag mit 0,30 - 0,60 m für Radfahrstreifen mit Längsparken angegeben. Die in den ERA 2010 beschriebenen Breitenmaße von Sicherheitsraum (äquivalent zum Breitenzuschlag) oder Sicherheitstrennstreifen zwischen Schutz- / Radfahrstreifen und Längsparken stehen an unterer bis mittlerer Stelle. Nur im australischen Regelwerk unterscheidet sich die Breite der Sicherheitstrennstreifen bei Schräg-/ Senkrechtparken von Sicherheitstrennstreifen bei Längsparken. Dabei wird eine Breite von 0,80 – 1,50 m bei Schräg-/ Senkrechtparken vorgeschrieben oder ein Breitenzuschlag von 0,60 m angegeben. Dieser Wert ist viel größer als der im deutschen Regelwerk.

Bei der Breite von Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn wird ein Mindestmaß von 0,45 - 0,50 m und eine obere Grenze der Sicherheitsstreifen von 1,00 m Breite vorgeschrieben. Im australischen Regelwerk wird zudem hindeutet, dass die Breite eines Sicherheitsstreifens von der Geschwindigkeit des Radverkehrs abhängig ist, weil mehr Toleranz bei höherer Geschwindigkeit benötigt wird (AGRD06A-17). Eine Breite von 0,50 m ist für die Geschwindigkeit bis 20 km/h verträglich und eine Breite von 1,00 m für die Geschwindigkeit bis 30 km/h. Deswegen steht der in den ERA 2010 angegebene Wert von 0,50 - 0,75 m in einem durchschnittlichen Niveau im Vergleich zu anderen Ländern.

Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Längsparken wird in den meisten Ländern ein Regelmaß von 0,90 -1,00 m Breite zugeschrieben, welches perfekt zur Breite der Türöffnung zuzüglich Sicherheitsreserve passt. Das in den ERA 2010 vorgeschriebene Regelmaß der Sicherheitstrennstreifen ist kleiner als die untere Grenze im Vergleich zu anderen Ländern.

An geschützten Radfahrstreifen wird der Sicherheitstrennstreifen eigentlich mit physischen Trennelementen ausgebildet. Die Breite in den USA variiert von 0,40 m bis zu 0,90 m je nach der Art der Trennung (FHWA-HEP-15-025) (siehe Abbildung A4.1 in Anhang 4). In Großbritannien und den Niederlanden werden kleine und schmale Trennelemente (z.B. Gummischwellen) eingesetzt wie in Frankfurt am Main. Die Breite variiert zwischen 0,10 - 0,40 m (Department for Transport 27.03.2016; CROW 2016).

**Abbildung 3.6: Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn in den Niederlanden (links) und Vereinigten Staaten von Amerika (rechts) (CROW 2015; NACTO 2014)**

## Erkenntnisse aus den Forschungen

Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn

ANGENENDT (1989) weist auf eine Doppellinie als Sicherheitstrennstreifen zur Abgrenzung zwischen Fahrbahn und Radfahrstreifen hin. Angenendt et al. (1994) ergänzen ein Mindestmaß dieser Doppellinie von 0,50 m Breite. Richter und Beyer (2019) schlagen eine Breite von 0,75 m vor, welche als Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn übernommen wird, weil kaum Forschungen über das Thema in Deutschland durchgeführt werden.

Sicherheitstrennstreifen zwischen Radverkehrsanlagen und (Längs-)Parken

In Greibe und Buch (2016), Angenendt et al. (1994) und Hupfer et al. (2000) wurde festgestellt, dass Radfahrende bei Parkstreifen weiter links am Rand des Radfahrstreifens fuhren als ohne Parken, wenn kein Sicherheitstrennstreifen vorhanden war. Abbildung 3.7 illustriert den Unterschied zwischen der markierten (blaue Linie) und der abgeminderten benutzbaren Breite von Radfahrstreifen (orangene Linie) (sogenannter „effektiver Radfahrstreifen“) aufgrund der Türöffnung (Torbic et al. 2014). Deswegen ist der Einsatz einer breiteren Radverkehrsanlage oder eines Sicherheitstrennstreifens zwischen Parken und der Radverkehrsanlage ausschlaggebend, um mehr Spielraum zwischen dem fließenden Verkehr und dem ruhenden Verkehr anzubieten. Allerdings fahren Radfahrende oft entweder zu dicht zum Parken oder zum fließenden Kfz-Verkehr. Dafür sind Sicherheitstrennstreifen von Vorteil, um den sicheren Fahrbereich zu kennzeichnen (Duthie et al. 2010). Daher schlagen Torbic et al. (2014) vor, dass ein Sicherheitstrennstreifen einem breiteren Radfahrstreifen vorgezogen wird. Ferner argumentiert Streetsblog (2014), dass ein schmaler Radfahrstreifen mit einem Sicherheitstrennstreifen aus der Sicht der Vermeidung von Dooring-Unfällen[8] besser ist als ein Radfahrstreifen mit Regelmaß ohne Sicherheitstrennstreifen. Aus diesem Grund ist ein nicht markierter Sicherheitsraum zum Parken bei Schutzstreifen gemäß ERA 2010 aus Sicht der Verkehrssicherheit ungünstig (Richter und Beyer 2019).

Angesichts der Breite von solchen Sicherheitstrennstreifen empfiehlt ANGENENDT (1989) Werte von 0,50 m an Radfahrstreifen und 1,00 m (mindestens 0,75 m) an Radwegen zu Längsparken. Richter und Beyer (2019) weisen auf eine Breite von 0,75 m hin, da sich die Türöffnung bei einem 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen zwischen Schutz- oder Radfahrstreifen und Längsparken lediglich auf einen Öffnungswinkel von 30° bezieht und mit einem größeren Öffnungswinkel die Tür in den Schutz- oder Radfahrstreifen hineinragt.

Als Alternative ist ein **überbreiter Parkstreifen** von 2,50 m als internationaler Lösungsansatz gegeben, damit kein Sicherheitstrennstreifen oder Breitenzuschlag auf Radfahrstreifen benötigt wird (Andersen

[8] Der Dooring-Unfall wird durch eine plötzliche Öffnung der Autotür (Fahrer- oder Beifahrerseite) ohne Rücksichtnahme auf die sich nähernden Radfahrenden verursacht.

et al. 2012). Diese alternative Lösung wird durch Hupfer et al. (2000) bestätigt, da ein Parkstreifen mit einer Breite von 2,40 m kaum Einfluss auf das Fahrverhalten der Radfahrenden hatte.

Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn

Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn werden nur in vereinzelten Studien aufgegriffen und ihre Breite wird normalerweise als empirische Erfahrung angegeben. Angenendt et al. (1994) verweisen auf ein Regelmaß von 0,75 m Breite und ein Mindestmaß von 0,50 m Breite zur Fahrbahn. Diese Empfehlung basiert darauf, dass in den Untersuchungen überholende Radfahrende an schmalen Radwegen die Sicherheitstrennstreifen mitbenutzen könnten. ANGENENDT (1989) schlägt ein Mindestmaß von 0,50 m vor und gibt keine besonderen Gründe an.

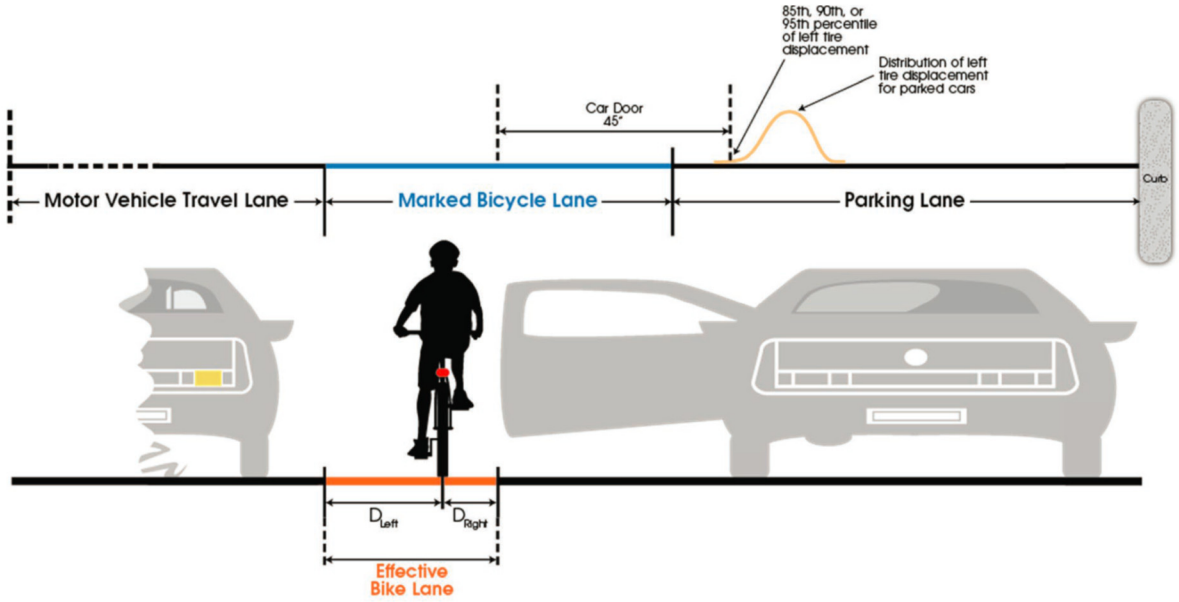



**Abbildung 3.7: „ Effektiver Radfahrstreifen“ beim Parken (Torbic et al. 2014)**

### 3.2.4 Längsneigung

**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

Die Überwindung von Höhenunterschieden werden vor allem von der maximal erreichbaren Pedalkraft der Radfahrenden, Luftwiderstand und Anfahrgeschwindigkeit am Anfang der Steigungsstrecke beeinflusst (CROW 1994). Die Tabelle 3.4 aus den ERA 2010 wird in Anlehnung an die Angaben von Richard (1981) basierend auf den niederländischen und großbritannischen Forschungen (um-)gerechnet, wobei aus der Sicht des Fahrkomforts die **Anfahrgeschwindigkeit** der Radfahrenden **nicht erheblich absinken** muss (Pfundt et al.).

Die ERA 2010 beziehen sich auf eine Steigung und ihre maximale Länge von selbstständig geführten Radwegen oder Rampen, weil für straßenbegleitende Radverkehrsanlagen die Steigung sowie ihre Länge nicht unabhängig entworfen werden. Allerdings könnte die Auswirkung der Längsneigung durch die **Breite** und **Führungsform** der Radverkehrsanlagen geprägt werden.

In Hinblick auf die Breitenmaße kommt ein Breitenzuschlag für instabile Fahrweise (seitliche Schwankung) und eventuelles Schieben des Fahrrads an der Steigungsstrecke in Frage. An Gefällestrecken wird eine höhere Geschwindigkeit erwartet und dabei ist ein größerer Sicherheitsraum notwendig. Daher sollte ebenso eine breitere Radverkehrsanlagen beim Gefälle > 5% bemessen werden (FGSV 2010). Für den Breitenzuschlag fehlen die quantitativen Werte in den ERA 2010. Angesichts der Führungsform wird eine asymmetrische Führungsform an Strecken mit Längsneigung vorgeschlagen. Für Steigungsstrecken wird der Radverkehr aufgrund eines höheren Geschwindigkeitsunterschieds zu Kfz eher im Seitenraum oder getrennt geführt, während für Gefällestrecken eine Führung auf der Fahrbahnseite bevorzugt wird (FGSV 2010).

**Tabelle 3.4: Maximale Länge der Steigungsstrecken bei Rampen (FGSV 2010)**

| Steigung [%] | max. Länge der Steigungsstrecke [m] | Steigung [%] | max. Länge der Steigungsstrecke [m] |
|---|---|---|---|
| 3 | > 250 | 6 | 65 |
| 4 | 250 | 10 | 20 |
| 5 | 120 | 6% ist eine maximale Längsneigung für den Entwurfsstandard der Radvorrangrouten gemäß H RSV | |

**Internationaler Vergleich**

Die Auswirkung der Längsneigung auf die Breitenmaße oder Führungsform werden überwiegend durch die **Geschwindigkeit** geprägt. Abbildung A4.2 in Anhang 4 zeigt eine Geschwindigkeitslinie in Abhängigkeit der Längsneigung aus dem schweizerischen Regelwerk. Daraus ist eine Geschwindigkeit bis 11 km/h bereits ab einer Längsneigung von +3% - +5% abzulesen (SN 640 060). In Bezug auf Breitenmaße gibt das alte niederländische Regelwerk an, dass bei einer Geschwindigkeit ab 11 km/h der Bewegungsspielraum von 0,20 m ausreicht. Aber bei einer **Geschwindigkeit unter 5 km/h** wird ein Bewegungsraum von **0,80 m** benötigt (CROW 1998).

Im Weiteren werden quantitative Breitenzuschläge in Abhängigkeit von der Längsneigung im schweizerischen Regelwerg angegeben (siehe Abbildung A4.2 rechts). Von 4% bis zu 8% Steigung wird ein Breitenzuschlag von 0,20 - 0,40 m benötigt (SN 640 060). Das australische Regelwerk schlägt einen generellen **Breitenzuschlag** bei steiler Strecke von **0,50 m** vor, welcher zwischen 0,25 m und 0,80 m je nach der Längsneigung variiert. Für die Gefällestrecke bei einer Geschwindigkeit ab 30 km/h ist ein Sicherheitsraum von 0,50 m bis 1,00 m erforderlich (AGRD06A-17).

**Erkenntnisse aus den Forschungen**

Die vorliegenden Literaturen legen den Fokus auf Fahrdynamik an Steigungsstrecken. Die Radwegführung an Gefällestrecken werden hingegen bei der Unfallanalyse infolge höherer Geschwindigkeit kritisiert (Konrad et al. 2015). Bei der Unfallanalyse in Nordrhein-Westfalen wurde festgelegt, dass die Unfallanzahl je 100,000 Einwohner, besonders bei den tödlichen Unfällen, mit zunehmenden Höhenunterschieden abnahmen und sich der Anteil der schwerverletzten Radfahrenden dagegen erhöhte. Die Abnahme dieser Unfallanzahl könnte durch die signifikant geringere Fahrradnutzung in den Gemeinden mit stärkeren Höhenunterschieden erklärt werden (Holz-Rau und Hölderich 2016). Die Zunahme des Anteils der schweren Unfallfolgen ist auf die höhere Geschwindigkeit im Radverkehr auf die Gefällestrecken zurückzuführen (Holz-Rau und Hölderich 2016; Konrad et al. 2015), welche im Zusammenspiel mit engen Kurvenradien zu Problemen führen (Mainadi 2013). Die Unfalldaten in Solingen (Tabelle 3.5) bestätigen die Ergebnisse der Unfallanalyse von Nordrhein-Westfalen.

**Tabelle 3.5: Schwere von Radverkehrsunfällen nach Neigungsverhältnissen in Solingen [nach (Konrad et al. 2015)]**

| Längsneigung in Fahrtrictung des Radverkehrs | Unfall mit Radverkehrsbeteiligung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Insgesamt | | davon schwer verletzt oder getötet | | davon leicht verletzt oder unverletzt | |
| | absolut | relativ | absolut | relativ | absolut | relativ |
| starke Steigung (über 6,5%) | 0 | 0% | 0 | - | 0 | - |
| leichte Steigung (2,5% bis 6,5%) | 13 | 3% | 0 | 0% | 13 | 100% |
| eben (zwischen -2,5% bis -6,5%) | 306 | 71% | 49 | 16% | 257 | 84% |
| leichtes Gefälle (-2,5% bis -6,5%) | 85 | 20% | 16 | 19% | 69 | 81% |
| starkes Gefälle (ab -6,5%) | 27 | 6% | 10 | 37% | 17 | 63% |
| Insgesamt | 431 | 100% | 76 | 18% | 356 | 83% |

### 3.2.5 Kurvenbereich

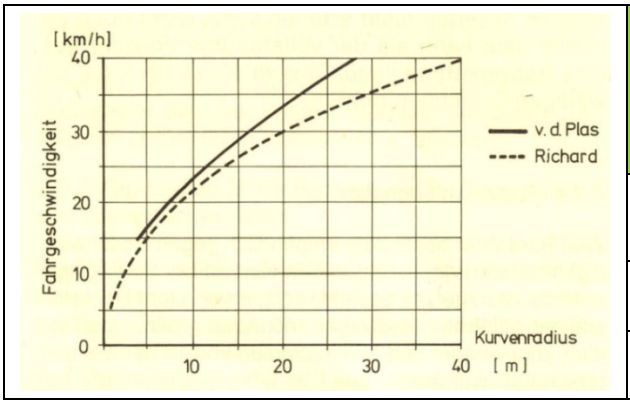
**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

Für die Bemessung der Kurvenradien geht es eigentlich um eine Fahrdynamik des Radfahrens, wobei das Gleichgewicht des Fahrrades in der Kurvenfahrt gewährleistet wird. In Abbildung 3.8 (links) sind

Geschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Kurvenradius nach Angaben von Richard und van der Plas eingetragen. Die Werte in den ERA 2010 wurden in Anlehnung an Abbildung 3.8 (links) entwickelt.

Abbildung 3.8 rechts stellt die Werte für den Mindestkurvenradius, dem eine Querneigung von 2,5% zur Kurveninnenseite zu Grunde liegt, in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit gemäß ERA 2010 dar. Grundsätzlich richten sich die Mindestkurvenradien nach einer Geschwindigkeit von 30 km/h, die über längere Strecke erreicht werden könnte (FGSV 2010). Der Mindestkurvenradius von 20 m mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h gilt auch für die Entwurfsstandards von Radvorrangrouten gemäß H RSV. Für Gefällestrecken werden größere Geschwindigkeiten erwartet und ein entsprechend großzügigerer Kurvenradius vorgeschlagen.

Die in den ERA 2010 angegebenen Mindestkurvenradien basieren auf selbstständig geführten Radwegen. In der Praxis liegen zahlreiche straßenbegleitende Radverkehrsanlagen in Kurvenbereichen zugrunde. Besonders kritisch sind die **Verschwenkungen** der Radverkehrsanlagen an Strecken aufgrund der Straßenraumgestaltung (z.B. Parken) oder Hindernisse (z.B. Einzelbaum) und der **Kreisbogen** für **rechts abbiegenden** Radverkehr mit rechtem oder spitzem Winkel. Die Befahrbarkeit wird manchmal mit dem Wechsel der Führungsform (z.B. von Fahrbahnführung auf Radwegführung) zusätzlich erschwert. Leider werden keine entsprechenden Anforderungen in den ERA 2010 vorgegeben. Die Kurvenbereiche an straßenbegleitenden Radverkehrsanlagen werden in der Arbeit näher untersucht.




| Geschwindigkeit [km/h] | Mindestkurvenradien $R_{min}$ [m] | |
|---|---|---|
| | Asphalt/ Beton | Ungebundene Decken |
| 20 | 10 | 15 |
| **30** | **20** | **35** |
| 40 | 30 | 70 |

**Abbildung 3.8: Fahrgeschwindigkeit von Radfahrenden in Abhängigkeit vom Kurvenradius (Pfundt et al.) und Radien (in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit) in ERA 2010 (FGSV 2010)**

## Internationaler Vergleich

Tabelle A4.7 in Anhang 4 fassen die vorgegebenen Mindestkurvenradien im Ausland zusammen. Werden die Mindestkurvenradien bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h betrachtet, sind die Werte in den meisten Ländern mit dem Wert gemäß ERA 2010 in Deutschland im Einklang.

Zudem werden Kurvenradien nach den unterschiedlichen Fahrradtypen angegeben (Tabelle A4.8). Bei einem konventionellen Fahrrad beträgt die Differenz zwischen Außen- und Innenradius 800 mm, aber bei einem Fahrrad mit Tandemstange 1350 mm. Mit der **zunehmenden Fahrzeuglänge erhöht** sich die **Differenz** zwischen Außen- und Innenradius, die der **Breite** von Radverkehrsanlagen im Kurvenbereich äquivalent ist. Dies ist mit der Schleppkurve bei längeren Fahrzeugen verbunden. Daneben wird eine **Verbreiterung** in den z.B. österreichischen, niederländischen Regelwerken angemerkt. Das ist auf eine **Schräglage** des Radfahrens in der Kurvenfahrt zurückzuführen.

## Erkenntnisse aus den Forschungen

Für die Kurvenfahrt liegen Radfahrende in einer Schräglage und dadurch entsteht ein Neigungswinkel. Als Folge der Schräglage ist daher die Verbreiterung des Breitenmaßes erforderlich (Meschik 2008). Aber aus Dörnenburg et al. (2016) erfolgt, dass eine Berücksichtigung des Breitenzuschlags aufgrund

der Schräglage grundsätzlich ab der Geschwindigkeit von 30 km/h erforderlich ist. Neben der Schräglage ist die Schleppkurve der Fahrzeuge zu berücksichtigen. Der größte Breitenzuschlag beträgt bis zu maximal 0,50 m bei kleinem Radius (Meschik 2008).

Die Schleppkurve ist ein typischer Begriff für die Kurvenfahrt im Straßenentwurf. Die Schleppkurve beschreibt die engere Fahrbahnkurve der Hinterräder eines Fahrzeuges oder der Räder eines Anhängers als die der Vorderräder in engen Kurven. Daher benötigt das Fahrzeug einen breiteren Fahrstreifen in der Kurve als in der Geraden. Die von einem Fahrzeug bei der Kurvenfahrt überstrichene Fläche wird seitlich durch eine Hüllkurve begrenzt (FGSV 2012a). Die Größe und Art der überstrichenen Fläche hängt von dem **Kurvenradius (Richtungsänderungswinkel)**, der **Länge des Fahrzeugs**, der **Lage der Achsen** usw. ab. Je enger eine Kurve ist, je länger ein Fahrzeug ist oder je nachdem, wo die Achsen im Verhältnis zur Fahrzeuglänge liegen, umso größer ist die überstrichene Fläche (TU Graz 2015/2016). Ein Fahrrad mit Anhänger sowie ein Lastenrad sind generell länger als ein konventionelles Fahrrad. Aus der Analyse benötigt ein längeres Fahrrad mehr Platzbedarf als ein konventionelles Fahrrad. Allerdings wird die Schleppkurve von den Fahrkurven beeinflusst, die weiterhin durch den Lenkeinschlag eines Fahrrads bestimmt werden.

### 3.2.6 Aufstellmöglichkeiten

**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

Die Dimensionierung von Aufstellbereichen basiert auf dem Aufstellen eines einzelnen Fahrrades mit einer Länge von 2,00 m und einer Breite von 1,00 m. Für das Aufstellen eines Fahrrades mit Anhänger wird eine Länge von 3,00 - 3,50 m benötigt. Die Dimensionierung von Aufstellbereichen ist von der zu erwartenden **Radverkehrsstärke in der Spitzenstunde** und der **Dauer der Sperrzeit** abhängig (FGSV 2010). Ferner werden Aufstellbereiche auf Radverkehrsstreifen, im Seitenraum und auf Fahrbahnteilern/Mittelinseln unterteilt. In der Arbeit handelt es sich um aufgeweitete Radaufstellstreifen (ARAS), an die im Rahmen von Radverkehrskonzepten besonders berücksichtigt werden müssen.

Angesichts der Dimensionierung sollten aufgeweitete Radaufstellstreifen 4,00 bis 5,00 m lang (mindestens 3,00 m) sein und die gesamte Breite des Fahrstreifens bedecken (Tabelle 3.6). Um die Aufstellbereiche zügig zu erreichen und Knotenpunkte schneller zu überqueren, sollten zuführende Radverkehrsanlagen für das Vorbeifahren am Kfz-Verkehr (im Stau) bis zu den aufgeweiteten Radaufstellstreifen markiert werden. Das Mindestmaß für Schutzstreifen beträgt 1,25 m Breite bei einem Kfz-Fahrstreifen von min. 2,25 m Breite (FGSV 2006). Hierbei ist ein Übergang der Führung im Mischverkehr auf Schutz- oder Radfahrstreifen thematisiert, so dass Radfahrende bei am Knotenpunkt wartenden Kfz-Verkehr auf Schutz- und Radfahrstreifen vorbeifahren. In den ERA 2010 sind keine Längenangaben der Radverkehrsstreifen zum Vorbeifahrstreifen aufgeführt, während gemäß ERA 95 die Radverkehrsstreifen ca. 20 - 30 m vor dem Knotenpunkt markiert werden (FGSV 1995).

**Tabelle 3.6: Bemessungsvorgaben für Aufstellbereiche [nach (FGSV 1995;2010)]**

| ERA 2010 | Breite [m] | Länge [m] |
|---|---|---|
| Aufgeweiteter Radaufstellstreifen | Gesamte Breite des Fahrstreifens | 4,00 - 5,00 (≥ 3,00) |
| zuführender Radverkehrsstreifen | 1,50 - 1,60 (1,25) | Kein Maß |
| Breite von Kfz-Fahrstreifen | ≥ 2,25 | - |

**Internationaler Vergleich**

Aus Tabelle A4.9 in Anhang 4 steht die Länge der vorgezogenen aufgeweiteten Radaufstellstreifen in allen Ländern im Einklang und liegt zwischen 3,00 bis 5,00 m, abgesehen vom alten niederländischen Regelwerk (6,00 m). Aber eine Untergrenze der Länge von 3,00 m wird nur in Deutschland und den USA erwähnt, was bedeutet, dass die **angepasste Länge der vorgezogenen Bereiche mindestens 4,00 m** betragen sollte.

Die Breite der aufgeweiteten Radaufstellstreifen wird in den meisten Ländern so gestaltet wie in Deutschland, sodass die gesamte Breite des Fahrstreifens abgedeckt wird. Allerdings weicht die Gestaltung in Dänemark und Österreich von den anderen Ländern ab. In Dänemark werden nur Rechtabbiegestreifen für den Kfz-Verkehr durch aufgeweitete Radfahrstreifen abgedeckt. Der Grund liegt vermutlich darin, dass in Dänemark direktes Linksabbiegen des Radverkehrs untersagt ist. Im österreichischen Regelwerk wird von einer Abdeckung der Aufstellbereiche über die gesamte Breite abgeraten, um Missverständnisse bei den Kfz-Führenden zu vermeiden (Abbildung A4.3).

In Bezug auf die Breite der Radverkehrsstreifen zum Vorbeifahren sieht **ein Mindestmaß von 1,25 m** im Vergleich zu anderen Ländern **zu schmal** aus. Außerdem wird im niederländischen Regelwerk angemerkt, dass **eine Obergrenze von 1,75 m nicht überschritten** werden sollte. Andernfalls können Kfz die Radverkehrsstreifen als Rechtsabbiegestreifen nutzen (CROW 1994). Die Länge der Radverkehrsstreifen zum Vorbeifahren wird nur in wenigen Ländern angegeben. Die vorgeschlagene Länge in Deutschland stimmt mit der in dem niederländischen Regelwerk überein.

**Erkenntnisse aus den Forschungen**

Das Aufstellverhalten von Kfz bei aufgeweiteten Radaufstellstreifen hängt davon ab, ob und unter welchen Bedingungen aufgeweitete Radaufstellstreifen von Kfz-Führenden freigehalten werden. Das Aufstellverhalten von Kfz-Fahrenden ist von der **Länge der vorgezogenen Aufstellbereiche** und einer **Einfärbung** abhängig. Eine Länge der vorgezogenen Aufstellbereichen ab 4,00 m wurde in einem höherem Maß von Kfz-Fahrenden respektiert, während eine Länge unter 2,50 m öfter von den Kfz belegt wurden (Angenendt et al. 2005). Die Berücksichtigung für aufgeweitete Radaufstellstreifen wird auch von der **Verkehrsstärke des Kfz-Verkehrs** beeinflusst, z.B. in der Spitzenstunde wurden aufgeweitete Radaufstellstreifen häufiger von Kfz überfahren (Allen et al. 2005).

Das Aufstellverhalten von Radfahrenden an aufgeweiteten Radaufstellstreifen ist auch mit der **Länge der vorgezogenen Aufstellbereiche** verbunden. Die Radfahrenden, die aufgeweiteten Radaufstellstreifen **nicht** annahmen**,** wurden in der Studie von Angenendt et al. (2005) **bei einer Länge der vorgezogenen Aufstellbereiche unter 2,50 m** beobachtet.

Das Verhalten von Kfz-Führenden in der Zufahrt zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen hängt von der **Breite der Kfz-Fahrstreifen** ab (Angenendt et al. 2005; Allen et al. 2005). Ab einem Breitenmaß der Kfz-Fahrstreifen von 2,75 m nutzte ein geringer Anteil der Kfz die Radverkehrsstreifen mit, während bei einem schmalen Kfz-Fahrstreifen (z.B. 2,00 m) die Mitbenutzung der Radverkehrsstreifen teilweise beobachtet wurde (Angenendt et al. 2005). Diese Erscheinung geschah besonders häufig, wenn ein überbreiter Kfz-Fahrstreifen in zwei Fahrstreifen für die Richtungsaufstellung aufgeteilt wurde (Allen et al. 2005; Angenendt et al. 1994). Außerdem empfehlen Wall et al. (2003), dass eine Verschmälerung der Kfz-Fahrstreifen besser ist als die Verringerung der Fahrstreifenanzahl.

In Bezug auf das Verhalten von Radfahrenden in der Zufahrt wurde das verfrühte Verlassen des Radverkehrsstreifens bei mehreren Fahrstreifen beobachtet, wobei die **links abbiegenden Radfahrenden** auf direktem Wege **über die Kfz-Fahrstreifen** den Radaufstellstreifen erreichten (Angenendt et al. 2005). Daher führt die britische Untersuchung von Ryley (1996) angesichts links abbiegender Radfahrenden an, dass die Führung von **Radverkehrsstreifen in Mittellage** zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen bei mehreren Kfz-Fahrstreifen günstiger sind als die am Fahrbahnrand. Die **Beeinträchtigung** des Vorbeifahrens wurde überwiegend **an schmalen Radverkehrsstreifen** von 1,00 m - 1,20 m Breite beobachtet (Angenendt et al. 2005). Aus diesem Grund wird ein Breitenmaß der Radverkehrsstreifen von 1,25 m - 1,50 m vorgeschlagen, welches schon in den ERA 2010 übernommen wird. Allerdings versuchten die Radfahrenden unabhängig von dem Vorhandensein oder der Blockierung von Radverkehrsstreifen immer, die vorgezogenen Radaufstellstreifen anzufahren. Bei fehlenden Radverkehrsstreifen oder der Blockierung der Radverkehrsstreifen wegen z.B. des Verkehrsstaus benutzten Radfahrende Gehwege oder Fahrstreifen (Angenendt et al. 2005). Damit Radverkehrsstreifen reibungslos erreicht und benutzt werden können, sollten Radverkehrsstreifen **1,50 m - 2,00 m breit** sein und **länger** markiert werden als **der Rückstau des Kfz-Verkehrsstroms** in der Spitzenstunde. Zugleich ist auch eine **Einfärbung der Radverkehrsstreifen** zur Erhöhung der Aufmerksamkeit des Kfz-Verkehrs zu empfehlen (Allen et al. 2005).

## 3.3 Führung an Strecken

### 3.3.1 Führung mit Fußverkehr

**Deutsches Regelwerk und Gesetz**

Die fachliche Voraussetzung für eine gemeinsame Führung mit Fußverkehr in den ERA 2010 basiert auf einer Voruntersuchung von Angenendt und Wilken (1997). Verkehrsrechtlich unterscheiden sich ein gemeinsamer Geh-/Radweg und die Regelung Gehweg „Radfahrer frei“. Allerdings wird der Unterschied bei der Bemessung von Radverkehrsanlagen mit Fußverkehr in den ERA 2010 nicht deutlich dargestellt.

Die gemeinsame Führung setzt drei Bedingungen voraus, dass

- die Häufigkeit für Zusammentreffen der zu Fuß Gehenden und Radfahrenden gering ist,
- das Verkehrsgeschehen durch Fußverkehr determiniert wird und
- die räumliche Dimensionierung sichere Interaktionen zwischen zu Fuß Gehenden und Radfahrenden ermöglicht. (Angenendt und Wilken 1997)

Die erste Bedingung sollte durch eine Überprüfung der Anzahl der Gehwegnutzenden realisiert werden. In den ERA 2010 wird für jede Breitenspanne eine verträgliche Anzahl von Gehwegnutzenden vorgeschrieben, z.B. für 2,50 - 3,00 m breiten Gehweg max.70 Nutzende pro Stunde (Abbildung 3.9).

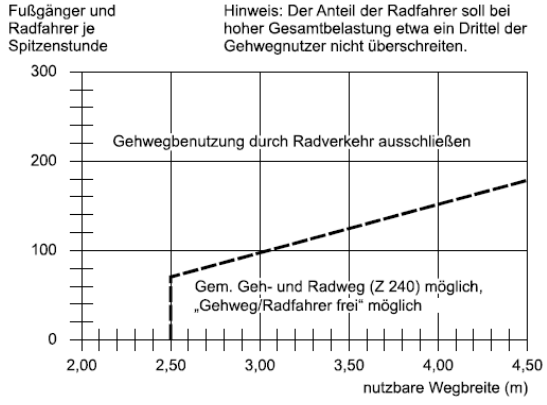
Die zweite Bedingung wird durch eine Beschränkung von dem Anteil der Radfahrenden vorgegeben. Dabei ist grundsätzlich der Anteil der Radfahrenden von einem Drittel der Gesamtgehwegnutzenden nicht zu überschreiten.

Die dritte Bedingung erfordert einen ausreichend breiten Gehweg, damit Radfahrende oder zu Fuß Gehende bei Interaktionen ausweichen können. Ein Mindestmaß von 2,50 m ermöglicht, dass Radfahrende sich weiter links orientierten und an den zu Fuß Gehenden noch ohne Beeinträchtigung vorbeifahren können. Zusätzlich ist der Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (Tabelle 3.3) zu berücksichtigen. Daneben stehen auch **Ausschlusskriterien** für den Einsatz der gemeinsamen Führung mit dem Fußverkehr gemäß ERA 2010, z.B. an dem Straßenverlauf mit intensiver Geschäftsnutzung ist eine gemeinsame Führung prinzipiell auszuschließen (FGSV 2010).

In der VwV-StVO wird nur ein Mindestmaß für einen gemeinsamen Geh- und Radweg von 2,50 m Breite vorgeschrieben, wobei ein 0,50 m breiter Sicherheitsraum zur Fahrbahn eingeschlossen ist (Abbildung 3.10).

Für die Entwurfsstandards von Radvorrangrouten unterscheiden sich die Gehwegbreiten zwischen Ein- und Zweirichtungsbetrieb, was in den ERA 2010 gar nicht erwähnt wird. Darüber hinaus gelten die Einsatzbereiche für die gemeinsame Führung mit Fußverkehr in ERA 2010 auch für Radvorrangrouten.

**ERA 2010**




| Nutzbare Gehwegbreite [m] | ∑ Radfahrende+ zu Fußgehende [n/Stunde] | Davon zu Fuß Gehende [n/Stunde] |
|---|---|---|
| > 2,50-3,00 | 70 | ≥ 40 |
| > 3,00-4,00 | 100 | ≥ 60 |
| > 4,00 | 150 | ≥ 100 |

**H RSV** (Mindestmaß in Klammer)

| | | | |
|---|---|---|---|
| Einrichtungsbetrieb [m] | ≥ 3,00 (2,50) | Zweirichtungsbetrieb [m] | ≥ 4,00 (3,00) |

**Abbildung 3.9: Einsatzgrenze für die gemeinsame Führung von zu Fußgehenden und Radfahrenden (FGSV 2010, 2021a)**

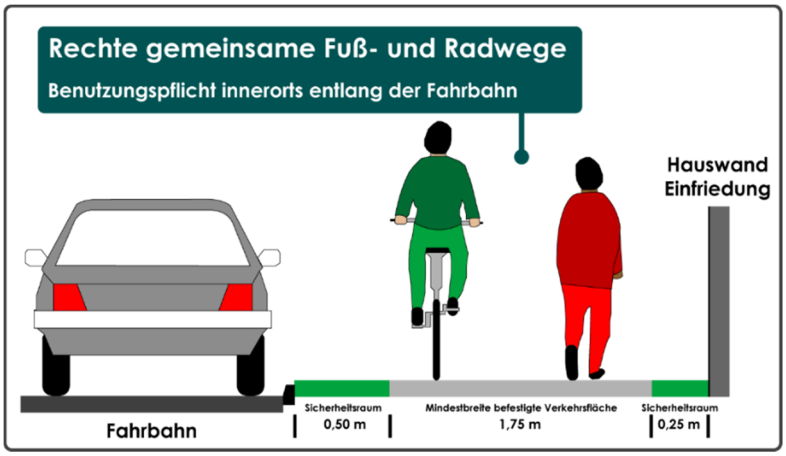



**Abbildung 3.10: Skizze für die Bemessung vom gemeinsamen Geh- und Radweg gemäß VwV-StVO (Herbst)**

## Internationaler Vergleich

Beim internationalen Vergleich (Tabelle A4.10 in Anhang 4) ist eine Breite von 2,50 m als Mindestmaß für die gemeinsame Führung angegeben, abgesehen von Australien und Dänemark (Einrichtungsbetrieb). In Australien variiert die Dimensionierung des Gehwegs für die gemeinsame Nutzung **von 2,00 m bis 4,00 m** je nach Funktionalität im Radverkehrsnetz und Belastung der Gehwegnutzenden.

Wenn die Anzahl der Gehwegnutzenden als Einsatzkriterium eingeplant wird, reicht sie von 300 bis 1300 an einem 3,00 m breiten Geh- /Radweg in den ausländischen Regelwerken. Allerdings bestehen keine Begründung oder Beschreibung, wie die „verträgliche“ Anzahl der Gehwegnutzenden festgestellt oder definiert wird. Ob sich die Anzahl der Gehwegnutzenden an einem kritiklosen Betrieb, einer Kapazität der gemeinsamen Führung oder einer gewissen Verkehrsqualität orientiert, ist nicht klar. Daher ist ein direkter Vergleich schwierig. Der Anteil der Radfahrenden im Verhältnis zu den Gesamtgehwegnutzenden wird nur in den schweizerischen und amerikanischen Regelwerken erwähnt. Anders als in den Empfehlungen der ERA 2010 wird das Verkehrsgeschehen des Radverkehrs begünstigt, d.h. das Kriterium „weniger Fußverkehr“ wird in den Regelwerken angegeben.

## Erkenntnisse aus den Forschungen

### Verkehrssicherheit: Unfälle und (kritische) Interaktionsvorgänge

Die Unfälle zwischen zu Fuß Gehenden und Radfahrenden spielen eine untergeordnete Rolle. Nach den Angaben des Statischen Bundesamtes wurden ca. 6% der Unfälle zwischen zu Fuß Gehenden und Radfahrenden registriert. In anderen Bundesländern z.B. Baden-Württemberg, Berlin wird ein ähnlicher Unfallanteil angegeben (FÜRS RAD. VOR ORT 2018; GDV 2013). Diesbezüglich argumentiert Eger (1985), dass hohe Dunkelziffern im Unfallgeschehen auf einem gemeinsamen Geh- und Radweg existieren und die Beurteilung der Sicherheit durch die Unfallhäufigkeit unzulässig ist.

Die konfliktreichen Interaktionsvorgänge hängen eng mit der **Radverkehrsdichte** und dem **Radverkehrsanteil** zusammen. Eine abnehmende Radverkehrsdichte und ein zunehmender Radverkehrsanteil führen zu höherer Geschwindigkeit der Radfahrenden und erhöhen den Prozentsatz von kritischen Interaktionen. Zudem fahren die **männlichen** Radfahrenden im Allgemeinen schneller als die weiblichen und daher sind männliche Radfahrende häufiger an kritischen Situationen beteiligt (Eger 1985).

### Einsatzhinweise und Einsatzkriterien

Für die Einsatzkriterien schlägt Moerner (1988) vor, dass ein Gehweg für die gemeinsame Führung grundsätzlich mindestens 2,50 m breit sein sollte und die Anzahl der Gehwegnutzenden von minimal 50 zu Fuß Gehenden bei gleichzeitig 90 Radfahrenden pro Stunde bis maximal 360 zu Fußgehenden bei gleichzeitig 60 Radfahrenden pro Stunde reicht. Außerdem hebt er hervor, dass eine **Überbreite** des Gehwegs im Verhältnis zur Anzahl der Gehwegnutzenden zu den höheren Geschwindigkeiten

führt. Zudem heben Angenendt und Wilken (1997) hervor, dass ein **Bevorrechtigungsgefühl** der Radfahrenden vermieden werden soll. Daher wird auf eine Materialdifferenzierung oder Markierung zur Trennung von zu Fuß Gehenden oder Radfahrenden in jedem Fall verzichtet.

In der schweizerischen Studie wird ergänzt, dass grundsätzlich bei gemeinsamer Führung beim Vorbeifahren von Radfahrenden mindestens **zwei zu Fußgehende** noch **nebeneinander** gehen können sollen. Deswegen wird eine Mindestbreite für die gemeinsame Führung von 4,00 m und an Engstellen mit kurzer Strecke von 3,00 m vorgeschlagen (Christen et al. 2007; Balsiger et al. 2005).

### 3.3.2 Duale Führungsform

**Deutsche Regelwerke und Gesetze**

Duale Führungsform bezieht sich auf Radwege und Gehwege mit Freigabe für den Radverkehr. Die Anordnung der Benutzungspflicht wird grundsätzlich auf die **Verkehrssicherheit** zurückgeführt. Die benutzungspflichtigen Radwege sind nur anzuordnen, wo dies aus Verkehrssicherheitsgründen tatsächlich geboten ist (Stephan et al. 2010). Das Gesetz beschreibt die „Verkehrssicherheitsgründe" nicht, aber § 2 zu Absatz 4 Rn. 8-25, VwV-StVO (26.01.2001) konkretisiert die baulichen Voraussetzungen für die Anordnung von Radwegbenutzungspflicht. Die erste Voraussetzung ist das Vorhandensein von Radverkehrsflächen mit ausreichender Breite nach Tabelle 3.1, genügendem Oberflächenzustand und eindeutig erkennbarer Linienführung an Strecken und Knotenpunkten. Die zweite Voraussetzung ist eine ausreichend große Fläche für den Fußverkehr. In Deutschland wird ein nicht benutzungspflichtiger Radweg nicht beschildert. Allerdings sind mehrspurige Lastenräder und Fahrräder mit Anhänger auf der Fahrbahn bei einer Radwegbenutzungspflicht noch geduldet (Rn. 23 zu § 2, VwV-StVO 26.01.2001). In der Regel sind nicht benutzungspflichtige Radwege keine Radwege 2. Klasse, sondern als gleichwertige und qualitativ hochwertige Radverkehrsanlagen anzusehen (Stephan et al. 2010) . In der Praxis erfüllen benutzungspflichtige Radwege die Voraussetzungen gemäß VwV-StVO meist nicht, besonders was das **Breitenmaß** betrifft.

Eine Freigabe des Gehwegs für Radfahrende durch das Zeichen 239 kommt infrage, „*wenn dies unter Berücksichtigung der Belange der Fußgänger vertretbar ist*" (Zu Zeichen 239 II Rn. 2, VwV-StVO 26.01.2001). Technisch orientieren sich die Bedingungen für die Anordnung von gemeinsamem Geh- und Radweg an den ERA 2010 (Kapitel § 3.3.1). Bezüglich des Verhaltens dürfen Radfahrende nur mit **Schrittgeschwindigkeit** fahren (Anlage 2 Abs. 5 18, StVO).

Als Regelwerk bieten die ERA 2010 Kriterien zur Auswahl der Führungsform an. Durch die **Verkehrsstärke** und **Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs** werden die Belastungsbereiche je nach zweistreifigen und vierstreifigen Straßen definiert. Der Belastungsbereich II in Tabelle 8 der ERA 2010 stellt einen Übergang von der Führung im Mischprinzip zur Führung im Trennungsprinzip und eine duale Führungsform dar. Dazu aber kritisiert Fleischhauer (2013), dass das Diagramm in ERA 2010 auf der **gefühlten** Sicherheit beruht und **nicht** zur Ermittlung von „besonderen örtlichen Gefahrenlagen" dienen kann.

**Internationaler Vergleich**

Die rechtliche Regelungen duler Führungsformen im Ausland werden in Tabelle A4.11 in Anhang 4 zusammengefasst. Angesichts der Benutzungspflicht eines Radwegs haben nur Österreich und die Niederlande Radwege mit oder ohne Benutzungspflicht. Der deutliche Unterschied zu Deutschland liegt darin, dass die **Verkehrszeichen in beiden Ländern zur Kennzeichnung der Radwege ohne Benutzungspflicht vorhanden** sind (siehe Abbildung A4.4).

Wenn die Benutzungspflicht in Zusammenhang mit den Fahrradtypen betrachtet wird, sind breitere mehrspurige Fahrräder oder Fahrräder mit breiterem Anhänger von der Benutzungspflicht in Österreich, den Niederlanden und Dänemark ausgeschlossen. In Österreich dürfen Fahrräder mit Anhänger und mehrspurige Fahrräder, die breiter als 1,00 m sind, die Radverkehrsanlagen nicht benutzen, andernfalls ist die Fahrbahn zu benutzen (§ 58 Abs. (1), StVO). Ähnlich verhält sich die Benutzungspflicht in den Niederlanden. Dort sind Fahrräder mit Anhänger und Fahrräder mit mehr als zwei Rädern mit einer Gesamtbreite von 0,75 m nicht von der Benutzungspflicht betroffen (Artikel 5 Abs. 4, RVV 1990). In Dänemark besteht auch ein **Verbot** der Radwegnutzung für breitere Fahrräder, wenn ihre Breite im

beladenen oder unbeladenen Zustand für andere, die auf dem Radweg fahren, einen erheblichen Nachteil haben kann (§ 14 Abs. 3, LBK nr 1324).

**Erkenntnisse aus den Forschungen**

Verkehrsflächenwahl und ihre Einflussfaktoren

Alrutz et al. (2009) stellten dar, dass die Radwege **unabhängig von der Benutzungspflicht** eine hohe Akzeptanz aufwiesen. Dies ist teilweise auf das hohe subjektive Sicherheitsgefühl am Radweg zurückzuführen (Gündel et al. 2016).

Die Verkehrsflächenwahl bei dem nicht benutzungspflichtigen Radweg ist zuerst mit der Gestaltung auf der Fahrbahn abhängig. Die **Markierung von Schutzstreifen** inkl. Radwegrückbau begünstigt die Wahl eines hohen Anteils der Radfahrenden für die Fahrt auf der Fahrbahn. Im Vergleich dazu haben **Piktogramme** kaum Wirkung. Das bedeutet, dass sich keine Änderung im Verhalten der Radfahrenden mit Aufhebung der Radwegebenutzungspflicht bei keinen oder nur geringfügigen Begleitmaßnahmen erweist (Richter et al. 2018; Ohm et al. 2010). Dies ist damit zu erklären, dass an Radverkehrsanlagen selbst in einem unterdimensionierten Zustand ein positives subjektives Sicherheitsgefühl nachgewiesen wird (Engler et al. 2021). Die positive Wirkung einer Markierung von Schutzstreifen wurde in den Projekten in München und Frankfurt am Main bestätigt. In der Verkehrserhebung in Frankfurt am Main wurde beobachtet, dass eine Kombination von **Schutzstreifen mit** nicht benutzungspflichtigen **Radwegen** einen **hohen Anteil** der Fahrbahnnutzung (63,3%) zeigte. Dagegen stellten nicht benutzungspflichtige **Radwege ohne Begleitmaßnahmen** einen **niedrigen Anteil** der Fahrbahnnutzung (15,5%) dar (Gündel et al. 2016; Freyer 2019). Die Akzeptanz von Radwegen erhöht sich wieder bei höherer Kfz-Verkehrsstärke, schmalem Fahrstreifen und breiterem Radweg (Richter et al. 2018).

Die Verkehrsflächenwahl hängt auch mit demographischen Merkmalen zusammen. Die Erwachsenen jüngeren und mittleren Alters sowie männlich Radfahrende präferieren eher eine Fahrbahnführung (Alrutz et al. 2009; Gündel et al. 2016; Freyer 2019).

Die vorliegenden Einflussfaktoren auf die Verkehrsflächenwahl wurde auch bei Angenendt und Wilken (1997) für die Regelung „Gehweg/ Radfahrer frei“ nachgewiesen. Daneben spielen die Art der **Radverkehrsführungsform** im **räumlichen Vorfeld** und die **vorhergehende Regelung** vor der Anordnung der neuen Verkehrsregelung eine Rolle für die Verkehrsflächenwahl.

Verkehrssicherheit

Alrutz et al. (2009) stellten grundsätzlich keine wesentliche Verschlechterung der Verkehrssicherheit für Radfahrende mit der Aufhebung der Benutzungspflicht fest, da ein Großteil der Radfahrenden nicht benutzungspflichtige Radwege nutzten. Allerdings sank die Unfallhäufigkeit nach der Aufhebung der Benutzungspflicht deutlicher als die der Straßen mit weiterhin benutzungspflichtigen Radwegen. In Richter et al. (2018) wurde eine Zunahme der Radunfälle an Radwegen mit Aufhebung der Radwegbenutzungspflicht ohne Begleitmaßnahmen erfasst. Aber diese Zunahme war durch einen starken Zuwachs der Radverkehrsstärke gut zu erklären. Bei der Unfallanalyse in Gündel et al. (2016) wurde aufgezeigt, dass die Unfalldichte nach der Aufhebung der Radwegbenutzungspflicht höher lag. Trotzdem konzentrierten sich Unfälle ausschließlich auf Radwege und die Führung auf Schutzstreifen, diese waren bis zu der Untersuchung unfallfrei.

## 3.4 Führung an Knotenpunkten

### 3.4.1 Zwischenzeit (Einfahrzeit) von Radfahrenden

**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

Die Einfahrzeitberechnung geht von einer Durchfahrt ohne Anhalten beim Einfahrvorgang aus (FGSV 2015). Die Einfahrgeschwindigkeit wird von dem Einfahrweg und der -geschwindigkeit bestimmt.

Der Einfahrweg ist von der Knotenpunktgeometrie abhängig und die Einfahrgeschwindigkeit von der Fahrdynamik. Gemäß RiLSA 2015 wird eine Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs von 5 m/s (=18

km/h) angenommen (FGSV 2015). Die Fahrdynamik des Radverkehrs wird stark von der Längsneigung beeinflusst. Bei Gefälle sollte eine erhöhte Einfahrgeschwindigkeit (z.B. 5 m/s < $v_e$≤ 7 m/s) berücksichtigt werden (FGSV Sempt. 2005).

**Internationaler Vergleich**

Zuerst sind allgemeine Berechnungsverfahren der Zwischenzeit international zu vergleichen (Tabelle A4.12 in Anhang 4). Einige interkontinentale Länder berücksichtigen keine Einfahrvorgänge. Ebenso wird in Österreich der Einfahrvorgang für das Fahrrad vernachlässigt. In Großbritannien wird das Berechnungsverfahren, in Anlehnung von „Webster's Method", anhand der Differenz der Räum- und Einfahrwege grob bestimmt. Wegen des anderen Berechnungsverfahrens ist ein Vergleich schwierig.

Die übrigen Länder haben mit Deutschland analoge Berechnungsverfahren mit leichter Abweichung. Betrachtet man ferner die angenommene Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs in den schweizerischen, niederländischen und dänischen Regelwerken, ist die im dänischen Regelwerk von 8 - 10 m/s deutlich höher als in den anderen Regelwerken mit 5 m/s in der Schweiz und den Niederlanden (VSS 40 838; CROW 343; Vejdirektoratet 2017a). Es ist auch zu erwähnen, dass in den drei Ländern die Einfahrgeschwindigkeit auch für **Mofas** (in der Schweiz auch S-Pedelec) gültig ist. Hierbei kann nicht beurteilt werden, ob der Anteil des Mopeds im Gesamt-Zweiradverkehr in Dänemark viel höher als in anderen Ländern ist. Aus dem Vergleich der internationalen Regelwerke konnte keine genaue Aussage ableitet werden.

**Erkenntnisse aus den Forschungen**

Die Forschungen sowie Regelwerke über die Zwischenzeit gehen auf die 60er-Jahren des letzten Jahrhunderts zurück. In den Richtlinien der 60er-Jahren für Lichtsignalanlagen oder Stadtstraßen wurden Einfahrvorgänge des Radverkehrs vernachlässigt. In der Richtlinie der 70er-Jahre (RiLSA 1977) wurde die Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs auf 6,0 m/s gesetzt. In der nächsten Version RiLSA 1981 wurde die Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs auf 5,0 m/s verringert, die bislang in der gültigen Richtlinie verbleibt. Hierbei ist schwierig zu beurteilen, ob die Veränderung der Einfahrgeschwindigkeit von der Rechtsänderung ausging, dass die Berechtigung von Mofas auf Radwegen innerorts zu Fahren allgemein aufgehoben wurde.

In Dörfler (1965) wurde eine **höhere Anfahrgeschwindigkeit** (einschließlich „Anfahren aus dem Stand") mit stärkerer Beschleunigung in der **Frühspitze** z.B. zur Arbeitsstätte beobachtet. Gleue (1974) stellte dar, dass sich die **Bereitschaft des Einfahrens** auf das Einfahrverhalten, abhängig von der Dauer der Übergangszeit (ROT + GELB) und die Reaktionszeit der Radfahrenden, auswirkten. Im Weiteren legte Steinhart (1985) fest, dass die Einfahrgeschwindigkeit mit den **Formen der Signalisierung** variierte. Bei der gemeinsamen Signalisierung mit Kfz-Verkehr wurde eine höhere Einfahrgeschwindigkeit (6,18 m/s) beobachtet, als bei der separaten Radverkehrssignalisierung (5,00 m/s) und bei der gemeinsamen Signalisierung mit Fußverkehr (4,70 m/s). In Steinhart (1985) wurde auch eine Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs von 5 m/s bestätigt.

### 3.4.2 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

**Deutsche Gesetze und Regelwerke**

In der Arbeit handelt es sich um drei Entwurfselemente, nämlich Führungsform und Furtabsetzung, Radfahrstreifen in Mittellage und Vorhandsein von Dreiecksinseln.

Führungsform bei der Knotenpunktquerung und Ausführung der Radverkehrsfurt

Analog zu den Führungsformen an freien Strecken bestehen für Radverkehrsströme in jeder Richtung verschiedene Führungsformen. Für Knotenpunktzufahrten sind Radverkehrsstreifen zum Vorbeifahren und in Mittellage spezifisch zu berücksichtigen. Ferner ist für die Radwegführung das Maß der Absetzung der Radverkehrsfurten zu thematisieren. Das Maß der Absetzung bedeutet, wie weit Radverkehrsfurten von der parallelen Fahrbahn abgesetzt werden. Grundsätzlich wird das Maß der Absetzung in geringere, mittlere und weitere Absetzung unterteilt (Kolrep-Rometsch et al. 2013). In Deutschland wird

die mittlere Furtabsetzung zur Fortführung von Radwegen oft hinter dem Längsparken eingesetzt und die weitere Furtabsetzung hinter Schräg- und Längsparken (DARMSTADT fährt RAD 19.01.2020). Allerdings sind die genauen Maße der Absetzung in den verschiedenen Regelwerken/ Literaturen unterschiedlich definiert.

Als Führungsform wird geradeausfahrender Radverkehr im Zuge der übergeordneten Straßen auf **nicht abgesetzten Radfahrverkehrsfurten (fahrbahnnaher Führung)** geführt (FGSV 2006). In der Praxis ist die Gefährdung eng mit der Sichtbehinderung mit abgesetzten Radverkehrsfurten verbunden. Die Führung durch weitere Furtabsetzung (>5 m) kommt bei Schräg- oder Senkrechtparken mit dichter Knotenpunktfolge oder Zweirichtungsradwegen in Frage (FGSV 2010). Daher ist eine Heranführung von Radwegen bis zu 0,50 m neben die Fahrbahn des Kfz-Verkehrs mindestens 10 m vor der Knotenpunktzufahrt empfehlenswert, um die Sichtbarkeit zu verbessern. Alternativ wird eine Überführung von Radwegen in Schutz- oder Radfahrstreifen in Betracht gezogen. (FGSV 2010).

**Tabelle 3.7: Maß der Absetzung in den Regelwerken und Literaturen**

| | **ERA 2010** (FGSV 2010) | **ERA 95** (FGSV 1995) | **Forschungen der BASt und UdV*** (Schnüll et al. 1992; Kolrep-Rometsch et al. 2013) |
|---|---|---|---|
| geringe Absetzung | ≤ 0,5 m | ≤ 1 m | ≤ 2 m |
| mittlere Absetzung | 0,5 - 5 m | 1 - 5 m | 2 - 4 m |
| weitere Absetzung | > 5 m | ≥ 5 m | ≥ 4 m |
| *UdV: Unfallforschung der Versichere | | | |

Behandlung des Kfz-Rechtsabbiegeverkehrs

Zu diesem Thema stehen **Radfahrstreifen in Mittellage** (RiM) (für geradeausfahrenden Radverkehr) an erster Stelle**,** wobei sich Radfahrstreifen links von den Rechtsabbiegestreifen des Kfz-Verkehrs befinden, wenn denn eigene Rechtsabbiegestreifen vorhanden sind (Richter 2019). Dabei wird die Verflechtung des geradeausfahrenden Radverkehrs und rechts abbiegenden Kfz in die Knotenpunktzufahrt vorverlegt. Diese Lösung findet **bei starken Kfz-Rechtsabbiegern** zur Erhöhung der Verkehrssicherheit und Leistungsfähigkeit Anklang (FGSV Sempt. 2005). Besonders zur Entschärfung des Konflikts mit rechts abbiegenden Lkws ist die Lösung nützlich, weil Radfahrende bereits links neben den Lkw außerhalb des toten Winkels sind (Alrutz und WILLHAUS 2018). In den ERA 2010 und RASt 06 wird das Breitenmaß nur für Radfahrstreifen in der Mittellage für den links abbiegenden Radverkehr angegeben. Daran angelehnt sollten sie im **Regelfall 1,50 m** (zuzüglich 0,25 m breiter Markierung auf jeder Seite) mit einer Kfz-Fahrstreifenbreite von 3,00 m sein. Zudem sollten Radfahrstreifen für die Verflechtung am Anfang der Aufweitung beginnen und Radfahrstreifen **20 - 40 m vor dem Knotenpunkt** markiert werden (FGSV 2006) (Abbildung 3.11). Radfahrstreifen in der Mittellage sind auch mit freien Rechtsabbiegern verbunden, wodurch eine Verflechtung vor den Dreiecksinseln geschaffen wird.

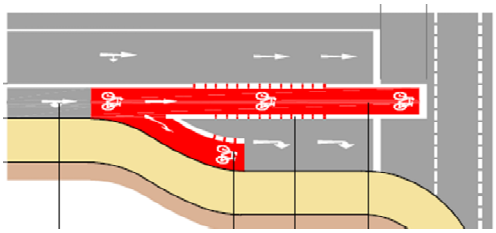


**Abbildung 3.11: Ausbildung der Radfahrstreifen in Mittellage mit Fahrradweiche (RadKULTUR Baden-Württemberg 2017)**

Dreiecksinseln mit (freier) Rechtsabbiegefahrbahn

Die Neuanlagen von Dreiecksinseln mit freier Rechtsabbiegefahrbahn sollte unter Berücksichtigung der zu Fuß Gehenden und Radfahrenden grundsätzlich vermieden werden. Es bestehen vor allem drei Konfliktpunkte je nach der Führungsform (FGSV 1995):

a) Konflikte zwischen rechts abbiegendem Kfz-Verkehr und geradeausfahrendem Radverkehr am Anfang der Rechtsabbiegefahrbahnen bei der Führung auf der Fahrbahn (mit oder ohne Schutzstreifen), Radfahrstreifen und Radwegen mit geringer Furtabsetzung.
b) Konflikte zwischen einbiegendem Kfz-Verkehr und auf die kreuzende Straße geradeaus fahrendem Radverkehr am Ende der Rechtsabbiegefahrbahn. Für die Einbiege-Konflikte wird erlaubt oder unerlaubt links fahrender Radverkehr besonders gefährdet.
c) Konflikte zwischen Radverkehr (in Zweirichtung) und Kfz-Verkehr in der Mitte der Rechtsabbiegefahrbahn bei abgesetzter Radverkehrsführung.

Als Führungsform kommt die Führung auf der **Fahrbahnseite** oder den **Radwegen mit nicht oder gering abgesetzten Radverkehrsfurten** in Betracht (FGSV 2010). Die Radwege mit weiterer Furtabsetzung sind oft mit einer Verschwenkung verbunden. Sie widersprechen einerseits der direkten Führung und dem Komfort für geradeaus Radfahrende bei der Querung der Kreuzung und erschweren andererseits im Extremfall die Beurteilung der Fahrrichtung von Radfahrenden durch Kfz-Führende (ADFC Hamburg 07.10.2010). Gemäß ERA 95 ist eine **Zusammenführung von zwei kreuzenden abgesetzten Radwegen** zu einer Radverkehrsfurt bei **Zweirichtungsradwegen** oder **gemeinsamen Geh- und Radwegen** zu berücksichtigen (FGSV 1995). Allerdings wird von dieser Lösung auch in den ERA 2010 abgeraten, aber bisher kommt sie in der Praxis noch oft in Betracht.

**Internationaler Vergleich**

Bereich „Führungsform und Furtabsetzung“

Beim internationalen Vergleich ist die Führungsform von abgesetzten Radwegen an Knotenpunkten von Land zu Land umstritten (Tabelle A4.13 in Anhang 4). In Österreich und Dänemark wird eine fahrbahnnahe Führung präferiert (RVS 03.02.13; Vejdirektoratet 2017b). In der Schweiz steht keine bevorzugte Führungsform im Fokus (VSS 40 252). In Großbritannien wird eine fahrbahnnahe Führung vorgeschlagen, wenn die Geschwindigkeit der kreuzenden Straßen von 48 km/h (30 mph) nicht überschritten wird (IAN 195/16). Andernfalls werden Radwege von der Fahrbahn weggeführt. In den USA wird eine fahrbahnnahe Führung beim Vorhandensein von Parken favorisiert (NACTO 2014). In den Niederlanden und Australien werden Radwege mit Furtabsetzung vorgezogen (AP-G88-17). Dazu wird erklärt, dass eine Wartezone für abbiegende Kfz bei abgesetzter Radverkehrsfurt geschaffen wird und für Lkw-Rechtsabbieger ein toter Winkel vermieden werden könnte (CROW 1994; CROW 2016).

Das Maß der Absetzung ist mit der Vorfahrt des Radverkehrs verbunden. Wenn keine Vorfahrt für den Radverkehr vorhanden ist, sollte die Furt ziemlich weit von der Fahrbahn abgesetzt werden, um Missverständnisse zu vermeiden (Vejdirektoratet 2017b). Eine Führung ohne Vorfahrt braucht eine Absetzung von mindestens 7-10 m. Das beeinflusst auch die Leistungsfähigkeit positiv, wenn der Kfz-Verkehr mit Vorrang gegenüber dem Radverkehr geführt wird.

Die Länge der Verschwenkung von Radwegen mit einem Maß von 10 m in Deutschland stellt einen der niedrigsten Werte gegenüber anderen Ländern dar. Dazu wird argumentiert, dass die Vorteile der Sichtverbesserung durch die fahrbahnnahe Führung besonders beim Lkw-Abbiegen erst bei der **Heranführung** an die Fahrbahn **ab 30 m vor dem Knotenpunkt** sinnvoll sind (Vejdirektoratet 2017b).

Bereich „Behandlung der Kfz-Rechtsabbieger“

Im Ausland werden Radfahrstreifen in Mittellage auch zur Abwicklung der freien Rechtsabbieger eingesetzt. In Deutschland und Australien wird „die Breite der Radfahrstreifen in Mittellage“ mit der Breite der Radfahrstreifen am Fahrbahnrand gleichgesetzt, während in der Schweiz und Großbritannien **ein größeres Maß** der Radfahrstreifen **in Mittellage** vorgesehen wird als am Fahrbahnrand (VSS 40 252; LTN 2/08). Dazu wird erklärt, dass eine „Kanalisierung“ des Radverkehrs zwischen zwei Fahrstreifen mehr Sicherheitsraum benötigt. Allerdings sollte die Breite von 2,00 m nicht überschritten werden, um die Mitbenutzung der Radfahrstreifen durch den Kfz-Verkehr zu vermeiden (CROW 1994).

Die Länge der Radfahrstreifen in Mittellage im Verflechtungsbereich hat eine Spanne von 15 m bis 80 m vor dem Knotenpunkt. Die Länge des Verflechtungsbereichs ist von der Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs und der Verkehrsstärke des Radverkehrs abhängig. Maßgebend ist, ob der Kfz-Verkehr eine Zeitlücke des Radverkehrsstroms finden könnte. CROW (1994) kritisiert Radfahrstreifen in Mittellage

aus der Sicht der Verkehrssicherheit wegen der hohen Geschwindigkeit des geradausfahrenden Kfz-Verkehrs bei der Verflechtung. Dieser Lösungsansatz ist prinzipiell nur geeignet, wenn die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Kfz- und Radverkehr kleiner als 10 km/h ist.

**Erkenntnisse aus den Forschungen**

Führungsform und Furtabsetzung

In der weiteren Literaturrecherche wurden Führungsform sowie Furtabsetzung angegeben. Die Forschungen in Deutschland vertreten dieselbe Auffassung, dass Radwege mit Furtabsetzung unabhängig von der Knotenpunktart bezüglich der Rechtsabbiegeunfälle ungünstig gestaltet sind (Schnüll et al. 1992; Kolrep-Rometsch et al. 2013). Mit einem Bewertungskriterium der Unfallrate wurden Radwege mit mittlerer Furtabsetzung (2 - 4 m) an Knotenpunktarmen mit Lichtsignalanlage und Radwege mit weiterer Furtabetzung (> 4 m) an Knotenpunktarmen ohne Lichtsignalanlagen als die unfallauffälligsten Führungsformen in Bezug auf Rechtsabbiegeunfälle ausgewertet (Kolrep-Rometsch et al. 2013).

In den internationalen Studien stellen sich widersprüchliche Forschungsergebnisse dar. In der niederländischen Studie werden Radwege mit einer Furtabsetzung von 2 - 5 m als beste Lösung an Knotenpunktarmen mit Vorfahrtsregeln festgelegt im Vergleich zu Radfahrstreifen und Radwegen mit geringer Furtabsetzung (< 2 m) (Kroeze et al.). Ähnliche Ergebnisse werden in der dänischen Forschung bestätigt, dass Radwege mit mittlerer Furtabsetzung die geringsten kritischen Situation an Knotenpunktarmen mit Lichtsignalanlage aufweisen (Madsen und Lahrmann 2017).

Der Unterschied zwischen der deutschen und der internationalen Forschung liegt daran, dass Radwege mit Furtabsetzung oft mit Parkstreifen eingesetzt werden. Dadurch kommt eine Sichtbehinderung auf. Parken neben Radwegen an Hauptstraßen stellen den Ausnahmefall dar (DARMSTADT fährt RAD 19.01.2020).

Freie Rechtsabbiegefahrbahn mit Dreiecksinseln und Radfahrstreifen in Mittellage

An freien Rechtsabbiegefahrbahnen mit Dreieckinseln wird eine 2- bis 3-mal so hohe Unfallquote im Vergleich zu signalisierten Knotenpunkten nachgewiesen. Bei Rechtsabbiegeunfällen am Anfang der Dreiecksinseln ist die Furt mit geringer Absetzung am unfallträchtigsten. Bei der Beobachtung hat die Führung auf einem Radfahrstreifen wegen längerer Verflechtungsbereiche weniger Konfliktpotential als an Radwegen (Schnüll et al. 1992). Durch Fahrsimulatoren wird in Dahmen-Zimmer und Zimmer (1997) auch bestätigt, dass Radfahrende an einer freien Rechtsabbiegefahrbahn mit weiterer Furtabsetzung stärker gefährdet sind als an einer Kreuzung.

An freien Rechtsabbiegestreifen entstehen die Konflikte zwischen geradeaus Radfahrenden und Kfz-Verkehr bei Einordnungs- und Annäherungsvorgängen. Durch die Markierung von Radfahrstreifen in Mittellage wird die Situation nicht deutlich verbessert (Angenendt et al. 1984). Weiterhin haben Radfahrstreifen in Mittellage generell keine positive Sicherheitswirkung. Sie verlagern nur den Teil der Unfälle in den Verflechtungsbereich. Empfehlenswert sind sie bei einer Belastung von maximal mittlerem abbiegendem Kfz-Verkehrsaufkommen und von mäßigem bis starkem Radverkehrsaufkommen. Eine Einfärbung, eine Breite mit Regelmaß und eine Länge der Verflechtungsbereiche von 40 - 59 m haben einen positiven Einfluss auf die Verkehrssicherheit (Richter und Sachs 2016). Alrutz und WILLHAUS (2018) kritisieren „nahtlos“ aus Geradausfahrstreifen abzweigende **langgestreckte** freie Rechtsabbiegefahrstreifen wegen der hohen Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs.

### 3.4.3 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

**Deutsche Regelwerke und Gesetze**

Die Führung der links abbiegenden Radfahrenden unterscheidet im Wesentlichen das **direkte oder indirekte** Linksabbiegen. Beim direkten Linksabbiegen ordnet sich der links abbiegende Radverkehr auf den Linksabbiegestreifen oder -bereich des Kfz-Verkehrs und biegt zusammen mit dem links abbiegenden Kfz-Verkehr ab. Beim indirekten Linksabbiegen überquert der links abbiegende Radverkehr die kreuzende Straße über die Radverkehrsfurten für geradeaus fahrenden Radverkehr und überquert dann die Straße aus seiner Ankunftsrichtung (FGSV 2010).

**Tabelle 3.8: Führung des links abbiegenden Radverkehrs an Knotenpunkten [nach (FGSV 2010)]**

| | Führung an Knotenpunkten | Anwendungsfälle | Entwurfselemente | Signalisierung |
|---|---|---|---|---|
| Knotenpunkt mit Vorfahrtregelung | Direktes Linksabbiegen mit **geteilten Mittelinseln** | - zulässige Geschwindigkeit von 50 km/h<br>- Verkehrsstärke in der Fahrtrichtung des Radverkehrs max. 800 Kfz/h<br>- Nur ein Fahrstreifenwechsel | Mittelinsellänge: ≥ 3 m<br>Mittelinselbreite: ≥ 4 m | |
| | Direktes Linksabbiegen mit **Linksabbiegestreifen für Radverkehr** | | Mittelinsellänge: ≥ 2 m<br>Breite Linksabbiegestreifen (RV): ≥ 1,50 m | |
| | Direktes linksabbiegen mit **kombinierten Linksabbiegestreifen** | | Breite Linksabbiegestreifen Rad+Kfz: 1,50 m + 2,75 m<br>Breite Schutzstreifen + Linksabbiegestreifen (Kfz): 1,25 m + 2,25 m<br>Länge Linksabbiegestreifen (RV): ≥ 20-30 m | |
| | Linksabbiegen mit indirekter Radverkehrsführung im Kreuzungsbereich | Überschreitung der oben genannten Werte | Aufstellfläche: Breite: ≥ 1,50 m<br>Länge: ≥ 2,00 m | |
| Knotenpunkt mit Lichtsignalanlagen | Direktes Linksabbiegen mit **freiem Einordnen** ohne oder mit Radverkehrsführung vor dem Kreuzungsbereich | - nicht mehr als zwei Fahrstreifenwechsel zum Einordnen<br>- $V_{85}$ ist 50 km/h oder weniger | Breite Schutzstreifen + Linksabbiegestreifen (Kfz): 1,25 m + 2,25 m | Signalisierung mit Kfz-Verkehr |
| | Direktes Linksabbiegen mit **geschütztem Einordnen** durch **Fahrradschleuse** | - hohe Kfz-Verkehrsbelastung<br>- zwei oder mehr Fahrstreifen zu überqueren<br>- starke Abbiegebeziehung im Radverkehr | Breite Schutzstreifen + Linksabbiegestreifen (Kfz): 1,25 m + 2,25 m | Vor- und Hauptsignal zum Einordnen |
| | Linksabbiegen mit indirekter Radverkehrsführung im Kreuzungsbereich | - hohe Kfz-Verkehrsbelastung<br>- geringerer Anteil abbiegenden Radverkehrs | Aufstellfläche: Breite: ≥ 1,50 m<br>Länge: ≥ 2,00 m | Fußgängersignal oder gesondertes Radfahrersignal |
| | **Diagonales Überqueren** eines Knotenpunktes | - Besonders für den Übergang von Zwei- auf Einrichtungsführung geeignet | Aufstellfläche | Rundum-Grün (eigene Signalphase) |

Beim indirekten Linksabbiegen gibt es noch eine Möglichkeit hinter der Kreuzung mit einer gemeinsamen Nutzung der Fußgängerfurt (§ 9 Abs. 2 StVO). Dabei müssen Radfahrende **absteigen** und überqueren die Straße wie zu Fuß Gehende. Überqueren Radfahrende auf diese Weise die Straße, wird grundsätzlich keine Führung benötigt. Nur bei der Gestaltung der Mittelinsel muss ein Aufstellen des Radverkehrs miteinbezogen werden. Aus diesem Grund wird das Linksabbiegen hinter der Kreuzung über Fußverkehrsanlagen folgend nicht mehr erläutert.

Die Maßnahmen sowie Entwurfselemente für das Linksabbiegen des Radverkehrs werden in § 9 zu Absatz 2, Rn. 3 VwV-StVO vorgeschrieben. Die einzusetzenden Entwurfselemente variieren je nach der Knotenpunktart und betrieblichen sowie baulichen Kriterien. Die Übersicht der Anwendungsfälle, Entwurfselemente und Signalisierung werden nach ERA 2010 in Tabelle 3.8 aufgelistet. Die Führung des links abbiegenden Radverkehrs ist von der Kfz-Verkehrsstärke, Geschwindigkeit des Kfz-Verkehrs, Anzahl zu überquerender Kfz-Fahrstreifen und Stärke der Abbiegebeziehung abhängig. Anstatt der Linksabbiegestreifen für Radverkehr sind auch aufgeweitete Radaufstellstreifen zu benutzen. Damit können links abbiegende Radfahrenden auf dem aufgeweiteten Radaufstellstreifen vor links abbiegenden Kfz warten.

## Praxis

Die Markierung von Linksabbiegestreifen für den Radverkehr wird in der Praxis sehr selten entweder an Knotenpunkten mit Vorfahrtsregeln oder an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage beobachtet. Dies geht teilweise auf die geringe Platzverfügbarkeit zurück, obwohl gemäß ERA 2010 Linksabbiegestreifen den Vorrang vor den Geradeausstreifen für Radverkehr haben.

Gleichfalls wird eine Fahrradschleuse kaum im Rhein-Main-Gebiet betrachtet. Es geht von der Tatsache aus, dass die Fahrradschleuse oft an Hauptstraßen mit höherem Kfz-Verkehrsaufkommen in Betracht gezogen werden. Die Hauptachse für den Kfz-Verkehr gleicht oft der Hauptachse für den Radverkehr. Deswegen ist der absolute Anteil des links abbiegenden Radverkehrs relativ klein und die Fahrradschleuse eher unpraktisch. Außerdem wird eine (abgesetzte) Radwegführung üblicherweise an von Kfz-Verkehr hoch belasteten Hauptstraßen zusammen mit Parken eingesetzt. Deswegen ist in der Knotenpunktzufahrt eine Führung auf die Fahrbahn schwierig umzusetzen.

## Internationaler Vergleich

Die Entwurfselemente zur Erleichterung und Sicherung des links abbiegenden Radverkehrs unterscheiden sich von Land zu Land deutlich beim direkten Linksabbiegen (Tabelle A4.14 in Anhang 4). An vorfahrtgeregelten Knotenpunkten wird die **Mittelinsel** als Aufstellfläche für direktes Linksabbiegen am häufigsten eingesetzt und an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage kommt **freies Einordnen** eventuell mit Markierung der Linksabbiegestreifen für den Radverkehr in Betracht. Für indirektes Linksabbiegen wird die Aufstellfläche im Kreuzungsbereich relativ einheitlich angewandt. Dies geht auch mit den in Deutschland eingesetzten Elementen zur Führung des links abbiegenden Radverkehrs konform.

An Knotenpunkten mit Vorfahrtsregeln werden in allen Ländern Mittelinseln als Hilfe für links abbiegenden Radverkehr angewandt. Anders als in Deutschland, wo ein geschützter Bereich durch zwei geteilte Mittelinseln geschaffen wird, wird hier eine breitere Mittelinsel als Aufstellfläche für den links abbiegenden Radverkehr aufgebaut. Bezüglich der Aufstellbereiche auf Mittelinseln/ Mittelstreifen steht ein Regelmaß von 3,00 m Länge sowie Mindestmaß von 2,50 m Länge im deutschen Regelwerk auf einem überdurchschnittlichen Niveau.

Hinsichtlich freien Einordnens an Knotenpunkten mit Lichtsignalanlage werden die Breitenmaße der Linksabbiegestreifen in allen Ländern mit den Breitenmaßen der Radfahrstreifen in Mittellage für geradeausfahrenden Radverkehr gleichgesetzt. Vorab wurde bereits angesprochen, dass in anderen Ländern die Radfahrstreifen in Mittellage generell breiter als die am Fahrbahnrand sind. Deswegen ist das **Breitenmaß der Linksabbiegestreifen für den Radverkehr** in Deutschland gegenüber anderen Ländern verhältnismäßig **schmal**, besonders beim Mindestmaß von Schutzstreifen. Die Breitenmaße der angrenzenden Fahrstreifen reichen von 2,50 m bis zu 3,00 m und sind grundsätzlich übereinstimmend.

Hierbei ist auffällig, dass in der Schweiz drei Varianten für Markierung der Linksabbiegestreifen für den Radverkehr angeboten werden (Abbildung 3.12). Die Variante 1 verdeutlicht eine Markierung der Linksabbiegestreifen für Radverkehr wie sie in den ERA 2010 in Deutschland vorgeschrieben ist. Die Variante 2 bietet eine **bauliche Fahrradweiche für den Abzweig der Linksabbiegestreifen**, welcher für die Hauptrichtung des nach links abbiegenden Kfz-Verkehrs geeignet ist. Die bauliche Trennung (Insel) könnte durch eine Sperrfläche ersetzt werden. Die Variante 3 ist eine Führung des links abbiegenden Radverkehrs im Mischverkehr bei geringer Platzverfügbarkeit. (VSS 40 252).

Angesichts der Größe der Aufstellfläche für indirektes Linksabbiegen richtet sich die Länge der Aufstellfläche nach der Länge des traditionellen Fahrrads und in den meisten Ländern wird ein Mindestmaß von 2,00 m vorgesehen. Das Maß im deutschen Regelwerk steht mit anderen Ländern im Einklang.

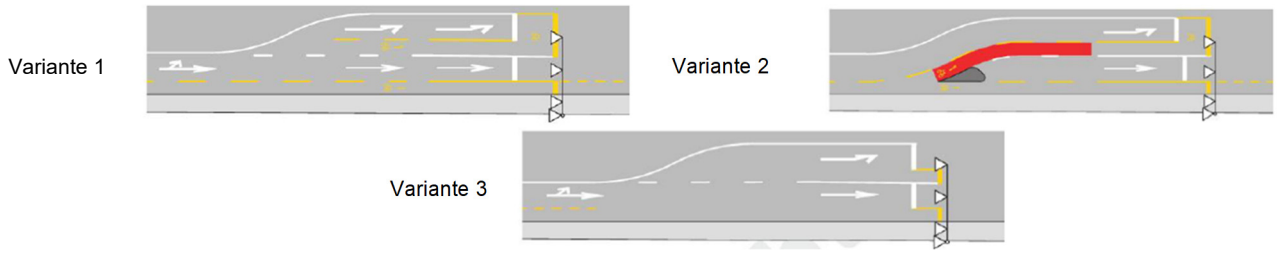



**Abbildung 3.12: Drei Varianten der Linksabbiegestreifen für Radverkehr in der Schweiz (VSS 40 252)**

## Erkenntnisse aus den Forschungen

Die erste Frage bei der Führung des links abbiegenden Radverkehrs liegt darin, ob Radfahrende direktes oder indirektes Linksabbiegen auswählen. In Angenendt et al. (1984) wurde festgelegt, dass bei der Führung auf der Fahrbahnseite die meisten Radfahrenden unabhängig von der Ausbauform der Knotenpunkte die Gelegenheit des direkten Linksabbiegens nutzten. Bei **hoher Kfz-Verkehrsbelastung** nahmen Radfahrende oft die Gehwege zum Linksabbiegen oder biegen indirekt nach links ab. Dagegen verzeichnet sich ein anderes Fahrverhalten des Linksabbiegens in Münchner Untersuchung. Dabei bogen nur 17,9% der beobachteten Radfahrenden direkt nach links ab. 35,8% der Radfahrenden bogen indirekt nach links ab und sogar 46,3% der Radfahrenden nutzen Fußgängersignale (TU München 07.10.2015). Die zwei Forschungen zeigen diverse Ergebnisse auf. Ohne genaue Angaben der anderen Einflussfaktoren, z.B. der Verkehrsstärke, ist ein Vergleich schwierig.

Danach sollten die Verkehrssicherheit sowie das Fahrverhalten der direkt links abbiegenden Radfahrenden besprochen werden. Für den Einordnungsvorgang wurde die erste Phase, in der die links abbiegenden Radfahrenden ohne Richtungszeichen oder Umsehen plötzlich vom Fahrbahnrand ausscherten, als gefährlichster Abschnitt während des gesamten Einordnungsvorgang betrachtet. Im Weiteren wurde in Angenendt et al. (1984) festgelegt, dass der Fahrstreifenwechsel des links abbiegenden Radfahrenden zwischen 100 und 160 m vor dem Knotenpunkt begann und der Einordnungsvorgang bei zwei benachbarten Knotenpunkten bis 250 m häufig am ersten Knotenpunkt erfolgte. Mit zunehmender Kfz-Verkehrsstärke verschob sich der Beginn des Einordnungsvorgangs zum Knotenpunkt hin. Der Einordnungsvorgang wurde auch bei zunehmender Anzahl der Fahrstreifen einer Fahrbahn und bei der Annäherung zur Haltelinie erschwert, allerdings wurde eine abnehmende Zeitlücke dabei nicht bestätigt (Schubert 1964).

## 3.5 Einfluss der Merkmale von Elektrofahrrädern und Kleinstfahrzeugen auf die Bemessung von Radverkehrsanlagen

Basierend auf den Grundlagen zu Elektrofahrrädern und Kleinstfahrzeugen und für die Bemessung von Radverkehrsanlagen erfolgt eine integrierte Betrachtung für die Korrelationen zwischen zu untersuchenden Fahrzeugen und infrastrukturellen Aussagen aus den bisherigen Studien. Es wird geprüft, inwieweit sich die neuen Fahrzeuge auf die Bemessung von Radverkehrsanlagen auswirken könnten.

### 3.5.1 Breite von Radverkehrsanlagen und Sicherheitstrennstreifen

(korrespondierend zu Kapitel § 3.2.1 und 3.2.3)

Die Breitenmaße von Radverkehrsanlagen und Sicherheitstrennstreifen sind von der Breite der Fahrzeuge, der Breite des benötigten Sicherheitsraums zu Hindernissen (z.B. Bordsteinkante) sowie dem Abstand zwischen Radfahrenden bei Begegnungsfällen oder Überholvorgängen abhängig.

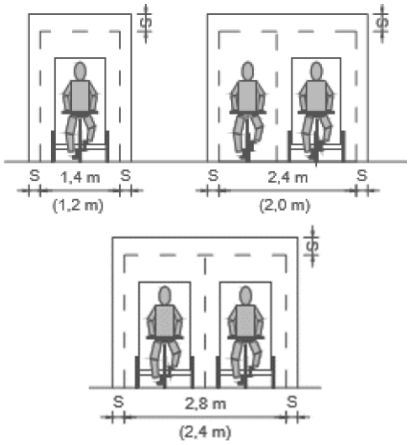



**Abbildung 3.13: Verkehrsräume und lichte Räume des Lastenrads (Braun 2017a)**

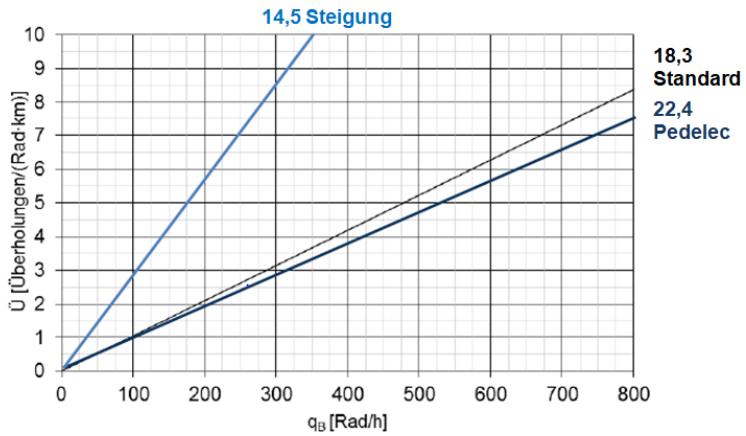



**Abbildung 3.14: Überholungsrate bei Standardfall, Pedelecaufkommen und Steigungsstrecken (Wiebusch-Wothge 2016)**

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit bezieht sich die Breite der Fahrzeuge auf die Breite der Lastenräder. Mit einer Annahme von dem Lastenradmodell „Musketier“ mit einer Breite von 1,00 m werden Verkehrsräume und lichte Räume mit dem Lastenrad gemäß ERA modifiziert (Braun 2017a) (Abbildung 3.13). Dazu wird hervorgehoben, dass **an Hauptverkehrsstraßen sowie Zweirichtungsradwegen Überhol- oder Begegnungsfälle zwischen Lastenrad - Lastenrad einzuplanen sind**. Deswegen wird von Braun (2017a) empfohlen, dass Radfahrstreifen und Radwege ohne Berücksichtigung vom Sicherheitsraum mindestens 2,00 m (Regelmaß 2,40 m) breit sein müssen (zweites Bild von Abbildung 3.13) und Schutzstreifen bei starkem Lastenradaufkommen nicht eingesetzt werden sollten. Betrachtet man den Wirtschaftsverkehr mit einer Breite von fast 1,20 m, ist ein Verkehrsraum von 2,60 m Breite (Regelmaß) für den Überholfall von Lastenrad - Fahrrad nötig. Daher ist ein Mindestmaß für den geschützten Radfahrsteifen von mindestens 2,50 m Breite zu empfehlen (Wolfermann 2019c, 2019b).

Mit der steigenden Geschwindigkeit des Radverkehrs ist ein zunehmender Sicherheitsraum zu Hindernissen (z.B. Bordsteinkante) erforderlich (Lee et al. 2016). Ebenso wurde ein **breiterer Seitenabstand zwischen überholenden und überholten Zweirädern** (z.B. Fahrrad - (Elektro-) Motorroller[9]) **mit einer zunehmenden Geschwindigkeit der Zweiräder** in der vietnamesischen Untersuchung nachgewiesen (Minh et al. 2005). In der chinesischen Untersuchung von Lin et al. (2014) unterscheiden sich Überholabstände bei Überholvorgängen von E-Bike 25[10] - Fahrrad (1,43 m), Überholen von E-Bike 25 - E-Bike 25 (1,25 m) und Überholvorgänge von Fahrrad - Fahrrad (1,13 m). Dabei wird **eine positive Korrelation zwischen Überholabstand und Geschwindigkeitsunterschied** ergänzend erwiesen. Deswegen empfiehlt die chinesische Studie von Chen und Yue (2017) für Überholvorgänge E-Bike - Fahrrad einen breiteren einstreifigen Verkehrsraum von 1,10 - 1,30 m Breite anstatt 0,80 - 1,00 m Breite gemäß ERA 2010, um das Gefährdungspotential bei Überholvorgängen zu verringern. Dabei sollte ein Radweg oder geschützter Radfahrstreifen mit zweistreifigen Verkehrsräumen 2,20 - 2,60 m breit sein. Die schweizerische Untersuchung schlägt die Breiten der höheren Kategorien (2,00 - 2,25 m für Radfahrstreifen und 2,00 - 2,50 m für Radwege) zum gefahrlosen Überholen vor (Fleury 2018).

Darüber hinaus wird die **Häufigkeit der Überholvorgänge** wegen der heterogenen Geschwindigkeit des Radverkehrs **erhöht** (Alrutz 2012, 2016). Die chinesische Studie bestätigt, dass die Überholvorgänge bei zunehmender Standardabweichung der Geschwindigkeit des Gesamtradverkehrs zunehmen (Zhou et al. 2015; Li et al. 2012). Weiterhin wird festgelegt, dass die Überholungsrate des Gesamtradverkehrs bei steigender durchschnittlicher Geschwindigkeit von E-Bikes 25 abnimmt. Die Aussage wird auch im HBS 2015 in Deutschland widergespiegelt (dunkelblaue Linie in Abbildung 3.14).

### 3.5.2 Längsneigung

(korrespondierend zu Kapitel § 3.2.4)

Die Auswirkung der Längsneigung durch Elektrofahrräder liegt überwiegend in der Steigungsstrecke, wobei die **Geschwindigkeitsdifferenz** zwischen Fahrrädern und Pedelecs sowie E-Tretrollern und die **Häufigkeit** der Überholvorgänge **erhöht** werden. Die Häufigkeit der Überholvorgänge wird durch eine größere Geschwindigkeitsdifferenz verursacht (hellblaue Linie in Abbildung 3.14). Hinsichtlich der Bemessungsmaße empfiehlt die schweizerische Studie für Radfahrstreifen ein Maß von 2,30 m - 2,50 m Breite mit der Berücksichtigung des hohen Anteils an Elektrofahrrädern auf Steigungsstrecken (Pedelecs und S-Pedelecs) (TBA 2018; Dörnenburg et al. 2016).

### 3.5.3 Kurvenbereich

(korrespondierend zu Kapitel § 3.2.5)

Die Bemessung der Kurvenbereiche bezieht sich vor allem auf die Lastenräder mit längerer und breiterer Fahrzeugbauart je nach der Lenkungsart. Zur Bemessung der Kurvenfahrten müssen zwei Fahrkurvenarten unterschieden werden. Fahrkurve 1 stellt eine langsamere Fahrt und eine schnelle Lenkradeinstellung dar. Fahrkurve 2 zeigt eine zügigere Fahrt mit stetig zu- bzw. abnehmendem Lenkradeinschlag (Mensebach et al. 2004). Im Rahmen der Radverkehrsförderung richtet sich die Bemessung von Radverkehrsanlagen auf eine Geschwindigkeit von 20 - 30 km/h, das starke Bremsen ist grundsätzlich bei der Bemessung der Kurvenfahrt zu vermeiden. Durch die Experteninterviews ergibt sich, dass Schwierigkeiten des Fahrens von Lastenrädern bei **Spitzkurven** oder bei hohen Geschwindigkeiten auftreten (Braun 2017a). Deswegen muss bei der Bemessung vom Kurvenbereich die Geschwindigkeit der Lastenradfahrenden mitberücksichtigt werden.

In Abbildung A1.13 in Anhang 1 werden die Hüllkurven und Fahrkurven der verschiedenen Fahrrad- oder Lastenradtypen bei einer Geschwindigkeit von 15 km/h (analog zu Kurve 1) und 25 km/h (analog zu Kurve 2) mithilfe des Programms AutoTURN veranschaulicht. Es ist deutlich zu sehen, dass die Kurvenradien der Fahrkurven aller Radtypen bei 25 km/h deutlich größer sind als die bei 15 km/h. Wenn

[9] In Vietnam beinhaltet der Begriff „Motorroller“ die Mofas, Mopeds bis zu einer max. Geschwindigkeit von 40 km/h und sie dürfen Radverkehrsanlagen je nach Verkehrszeichen befahren.

[10] Seit 2004 wurden Mopeds mit Gas durch Elektromopeds (E-Bike) in Shanghai ersetzt. Das Moped in der Literatur ist äquivalent zu dem Begriff „E-Bike 25“ in der Forschung.

man die Hüllkurven betrachtet, überfährt besonders das breiteste der betrachteten Lastenradmodelle (Musketier) deutlich mehr Fläche. Dies führt bei schmalen Radverkehrsanlagen dazu, dass die Lastenräder auf andere Verkehrsflächen (z.B. Seitenräume) ausweichen müssen.

### 3.5.4 Aufstellmöglichkeiten

(korrespondierend zu Kapitel § 3.2.6)

Das Lastenrad spielt eine wichtige Rolle für den Aufstellbereich. Die üblichen privat genutzten Lastenradmodelle Long John und Trike haben jeweils eine Länge von 2,45 m und 2,15 m. Die Länge von Schwertransportern im Wirtschaftsverkehr ist größer als 3,00 m. Daher ist eine Länge von aufgeweiteten Radaufstellstreifen von bis zu 5,00 m statt von 3,00 m vorzuschlagen (Wolfermann 2019c). Die Breite der Aufstellflächen ist mit der Anzahl der ankommenden Fahrräder sowie dem Anteil der Lastenräder verbunden. Die Schwierigkeit taucht oft bei einer höheren Anzahl an Lastenrädern auf.

### 3.5.5 Führung mit Fußverkehr

(korrespondierend zu Kapitel § 3.3.1)

Die schweizerische Studie befürwortet einen breiteren Gehweg wegen einer größeren Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Elektrofahrrädern und zu Fuß Gehenden, besonders an Steigungsstrecken (Jellinek et al. 2013). Die chinesische Studie hebt hervor, dass Konflikte zwischen E-Bikes 25, konventionellen Fahrrädern und zu Fuß Gehenden zusammen berücksichtigt werden und die **Breite der Gehwege für die Reduzierung der Konflikte maßgebend ist**. Mit zunehmender Breite verringern sich die Konflikte zwischen Fahrrädern/ E-Bikes 25 und zu Fuß Gehenden exponentiell und die Konflikte zwischen Fahrrädern und E-Bikes 25 proportional (Chen und Xie Z.Q. 2009).

Die Führung der Lastenräder mit zu Fuß Gehenden auf Gehwegen wird bislang kaum spezifisch Untersucht. Dabei gibt es eine Befragung zur Wahrnehmung der Führung. In der Befragung von Wolfermann (2019b) stimmten 40 % der befragten Lastenradnutzenden Gehwegkonflikten als Grund für einen Umweg zu. Die befragten Lastenradnutzenden kritisierten die **Konflikte mit zu Fuß Gehenden** und die zu **schmalen Gehwege** (Wolfermann 2019b). In Hinblick auf Lastenräder im Wirtschaftsverkehr schlagen Bogdanski und Cailliau (2020) vor, dass entweder der Seitenraum ausgebaut wird oder eine schmalere Breite der Lastenräder im Gesetz vorgeschrieben wird.

Für die Nutzung vom Gehweg (gemeinsamen Geh- und Radweg) durch E-Tretroller argumentieren Sikka et al. (2019), dass zu Fuß Gehende schwerer verletzt werden als E-Tretrollernutzende. Dabei wird die Schwere der Unfallfolge bei Verletzten unter 14 Jahren und den ab 60-Jährigen in der israelischen Studie von Siman-Tov et al. (2017) festgelegt.

### 3.5.6 Duale Führungsformen

(korrespondierend zu Kapitel § 3.5.6)

In der Online-Befragung stimmen ca. 80 % der befragten Lastenradnutzenden eher einer Fahrbahnnutzung gegenüber dem Gehwege (voll) zu, weil sie sich dank der mitgeführten Lasten „sicher“ fühlen (Wolfermann 2019b). Aber bei der Beobachtung der Wegewahl von Fahrrad-, Pedelec- und Lastenradfahrenden in Frankfurt am Main bei einer Radwegführung mit oder ohne Benutzungspflicht wurde eine Bevorzugung der Fahrbahnführung bei Pedelec-, Lastenradfahrenden nicht verifiziert. Allerdings lag im Vergleich zu Fahrrädern der Anteil von auf der Fahrbahn fahrenden Pedelecs leicht höher (1-2%) als der in dem Seitenraum fahrenden. Bei Lastenradfahrenden ist die Verteilung von Führungen auf der Fahrbahn oder dem Seitenraum ausgeglichen (Schärfer et al. 2020).

### 3.5.7 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

(Korrespondierend zu Kapitel § 3.4.2)

In Alrutz (2015a) und Haustein und Møller (2016) berichten Elektrofahrradfahrende, dass die höheren Geschwindigkeiten der Elektrofahrräder oft von anderen Verkehrsteilnehmenden unterschätzt werden. Besonders für rechtsabbiegende Kfz werden Pedelecfahrende als besonders gefährlich eingestuft.

Schleinitz et al. (2015) untersuchen die Geschwindigkeitswahrnehmung durch die Kfz-Führenden bei dem Linksabbiegen und -einbiegen anhand der Kriterien von der TTA[11] (Zeitlückenwahl[12] und Trittfrequenz der Radfahrenden). Daraus ergibt sich, dass **höhere Geschwindigkeiten** des Radverkehrs und eine entspannte Fahrweise in Form **einer geringen Trittfrequenz** mit einer größeren Schätzung der Ankunftszeit (**größere TTA**) und mit der Wahl von **kleineren Zeitlücken** beim Abbiegen zusammenhängen. Konkreter wird das Elektrofahrrad (S-Pedelecs) bei dem gleichen Geschwindigkeitsniveau als langsamer wahrgenommen als Mopeds. Vor dem Elektrofahrrad (S-Pedelec) werden kleinere Lücken durch Kfz-Fahrende gewählt als vor einem Fahrrad bei gleicher Geschwindigkeit. Der letzte Punkt ist auf die geringe Trittfrequenz der S-Pedelecfahrenden zurückzuführen.

Neben der Einschätzung der Geschwindigkeit der Zweiräder wird eine fehlende Bereitschaft der Lkw-Führenden für die schnelleren Fahrräder sowie Pedelecs in Michel (2019) von Abbiegeunfällen Lkw - Fahrrad analysiert. Besonders an abgesenkten Radwegen werden Pedelecfahrende zu spät gesehen oder übersehen, dabei haben Lkw-Fahrende keine ausreichende Zeit zu bremsen oder anzuhalten. Das Verkehrsrisiko beim toten Winkel gilt auch bei der Heranfahrt von E-Tretrollern (Meyer et al. 2020).

### 3.5.8 Führung des links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

(korrespondierend zu Kapitel § 3.4.3)

Die psychologische Untersuchung der Radfahrenden zeigt, dass diese mit **höherer Geschwindigkeit** eher **direkt** links abbogen (Hagemeister et al. 2005). Angenendt et al. (1984) zeigten, dass Mofafahrende immer das direkte Linksabbiegen anstrebten. Der Einsatz von indirektem Linksabbiegen wurde von Mofafahrenden kaum akzeptiert (etwa 25% indirektes Linksabbiegen). In der chinesischen Studie von Zhao und Yang (2017) wurden 553 direkt linksabbiegende E-Bike 25-Fahrende zu insgesamt 678 E-Bike 25-Fahrenden (81,6 %) an der Einmündung ohne Lichtsignalanlage beobachtet.

Für Lastenradfahrende besteht kaum Forschung bezüglich dieses Themas. Bei der Befragung in Wolfermann (2019c) ist festzuhalten, dass über 80% der befragten Lastenradnutzenden direktes Linksabbiegen präferierten, davon waren vor allem ältere und männliche Nutzende betroffen.

Für die E-Tretroller wurde das direkte Linksabbiegen zusammen mit den Einordnungsvorgängen subjektiv als besonders kritisch bewertet (Bierbach et al. 2018). Dabei ergeben sich Schwierigkeiten von einem einhändigen Lenken infolge Handzeichen bei E-Tretrollern, was zu Instabilität und Gleichgewichtsverlust führen kann (Schmitt et al. 2019; Uluk et al. 2020).

## 3.6 Zwischenfazit

Die Breite von Radverkehrsanlagen gemäß ERA 2010 scheint aus der Sicht des Überholbedarfs zu gering zu sein. Sie berücksichtigen den Verkehrsraum der Fahrräder mit Anhänger nicht. Ebenfalls kommt der Verkehrsraum der Lastenräder auch infolge der neuen Fahrzeugabmessung nicht in Betracht. Diese Entwicklung von Lastenrädern erschwert den Betrieb an Radverkehrsanlagen. In der Praxis orientiert man sich oft an dem Mindestmaß des Lichtraums gemäß VwV-StVO, welches die Situation beeinträchtigt. Besonders problematisch ist der Schutzstreifen, für den ein kleines Breitenmaß vorgeschrieben wird. Das kleine Breitenmaß könnte einen engen Überholstand durch das Kfz verursachen. Der Einsatz geschützter Radfahrstreifen könnte aufgrund der Erhöhung des subjektiven Sicherheitsgefühls in Betracht gezogen werden. Die Erfahrungen über die Breitenmaße von geschützten Radfahrstreifen müssen in Deutschland noch erforscht werden.

Aus den Erfahrungen und beim internationalen Vergleich ist die Breite von Sicherheitstrennstreifen mit 0,50 m zu schmal (besonders die Breite von Sicherheitstrennstreifen zu Parkständen). Noch ungünstiger ist, dass die Sicherheitstrennstreifen wegen den Anforderungen gemäß VwV-StVO oft unberücksichtigt bleiben.

[11] TTA (englisch: Time to Arrival): die geschätzte Ankunftszeit, die ein Zweirad bis zum Erreichen eines bestimmten Punktes benötigt.

[12] Zeitlückenwahl stellt die Entscheidung zum Abbiegen vor einem herannahenden Zweirad dar.

Für die Bemessung von Radverkehrsanlagen sind die breiteren Radverkehrsanlagen und Sicherheitsstreifen infolge höherer Geschwindigkeit und breiterer Fahrzeugabmessung zu erwarten, besonders nach der Betrachtung von ausländischen Forschungen mit anderen Elektrofahrradtypen.

Eine Gestaltung von Begrenzungsstreifen gemäß ERA 2010 sind in der Praxis bisher selten umgesetzt. Zur Trennung von Geh- und Radweg bestehen daher viele praktische Lösungen (z.B. Poller). Die „unklare“ Trennung von Geh- und Radweg mit der schmalen Gehwegbreite bezüglich des Fußverkehrsaufkommens könnte zu einer Beeinträchtigung zwischen Rad- und Fußverkehr führen.

Die Längsneigung und der Kurvenradius in den ERA 2010 beziehen sich überwiegend auf selbständig geführte Radwege. Bei straßenbegleitenden Radverkehrsanlagen wird nicht verdeutlicht, inwieweit die Auswirkung von Längsneigung und Kurvenradius durch andere Entwurfselemente z.B. Breite von Radverkehrsanlagen, abgeglichen werden können. Die Auswirkung der Fahrdynamik der zu untersuchenden Fahrzeugen bei unterschiedlichen Längsneigungen und Kurvenbereichen ist zu untersuchen.

Bei den Aufstellmöglichkeiten wird der Schwerpunkt auf aufgeweitete Radaufstellstreifen gelegt. Im Vergleich zu ausländischen Standards und bisherigen Erfahrungen in der Praxis ist eine Bemessung von aufgeweitete Radaufstellstreifen in Deutschland ausreichend groß. Allerdings könnte eine Entwicklung von Lastenrädern und ein Boom des Gesamtradverkehrs die neuen Anforderungen an aufgeweiteten Radaufstellstreifen stellen. Zudem ist das Mindestmaß der zuführenden Radverkehrsstreifen sehr schmal. Die Erreichbarkeit von aufgeweiteten Radaufstellstreifen wird bei breiterer Fahrzeugabmessung erschwert.

Bei der gemeinsamen Führung mit dem Fußverkehr wird der erhöhte Seitenabstand zwischen Rad- und Fußverkehr aufgrund zunehmender Geschwindigkeit und breiterer Fahrzeugabmessung erwartet. Diesbezüglich sind eine großzügige Gehwegbreite und eine andere Führungsform zu bedenken. Hierbei fehlen noch infrastruktur-bezogene Auswertungen bezüglich des Fahrverhaltens oder Bemessungsempfehlungen. Diese Forschung ist Inhalt der Arbeit. Bei der dualen Führungsform ergibt sich aus den bisherigen Erfahrungen, dass die Radfahrenden bei den Markierungen von Schutzstreifen eher die Fahrbahn nutzen. Die Verkehrsflächenwahl wird von den anderen straßenbetrieblichen (z.B. Führungsform der Vorstrecken) und verkehrlichen Faktoren (z.B. Kfz-Verkehr) sowie soziodemografischen Merkmalen (z.B. Alter, Geschlecht) beeinflusst.

Außerdem ist zu betonen, dass gerade zwei kontroverse Argumente für die Lastenräder aufkommen. Einerseits werden die Lastenräder eher auf der Fahrbahn geführt, um die negativen Auswirkungen von schmalen Geh- und Radwegen im Seitenraum und Konflikte zwischen Lastenrädern mit zu Fuß Gehenden zu vermeiden. Andererseits sollen die (breiteren) Lastenräder im Wirtschaftsverkehr, beispielweise der Post- oder Gepäckdienste, im Seitenraum sowie am Gehweg geführt werden. Ähnliche Probleme treten auch bei E-Tretrollern auf. Aus Vorsicht vor dem Kfz-Verkehr bevorzugen E-Tretrollerfahrenden oft den Seitenraum sowie den Gehweg. Allerdings führt eine Gehwegführung zur hohen Gefährdung der zu Fuß Gehenden. Dies betrifft deswegen auch die Führung mit dem Fußverkehr. Daher ist zu untersuchen, in welchem Umfang eine Führung der Lastenräder und E-Tretroller auf dem Gehweg oder auf der Fahrbahn akzeptabel ist.

Angesichts der Einfahrzeit wird die Einfahrgeschwindigkeit in einigen europäischen Ländern, in denen das Mofa und Kleinkrafträder die Radverkehrsanlage befahren dürfen, zwischen 5 - 8 m/s eingesetzt. Aus der Analyse könnte die Einfahrgeschwindigkeit mit 5 m/s für den Radverkehr in Deutschland noch passend sein.

Momentan ist der Radweg mit Furtabsetzung bei der Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) mit dem rechtsabbiegenden Kfz-Verkehr wegen der Sichtverhältnisse kritisch, trotzdem wird eine solche Gestaltung der Knotenpunktarme in den europäischen Nachbarländern eingesetzt. Daneben sind der Einsatz von Radfahrstreifen in Mittellage und das Vorhandensein von Dreiecksinseln von Interesse, da eine sichere Verflechtung des Radverkehrs mit dem fließenden Kfz-Verkehr mit höherer Geschwindigkeit geschaffen werden muss.

Die der Führung des linksabbiegenden Radverkehrs zugunsten liegende Gestaltungsmöglichkeiten gemäß ERA 2010 sind selten in der Praxis realisiert, da Radverkehrsstreifen für den linksabbiegenden Radverkehr kaum eingesetzt werden, d.h. die linksabbiegenden Radfahrenden müssen nach eigener Fahrfähigkeit den Fahrstreifen wechseln und im Mischverkehr über den Knotenpunkt fahren.

# 4 Methodik der empirischen Untersuchungen

## 4.1 Allgemeines

In dem Kapitel werden fragestellungsbezogene Einflussfaktoren zusammengestellt. Es ist herauszuarbeiten, welcher Zusammenhang zwischen den Einflussfaktoren und der Fragestellung bestehen. Gegebenenfalls werden Bewertungskriterien in Bezug zur Fragestellung kategorisiert. Dadurch kann festgestellt werden, wie aussagekräftig die Herleitung eingeschätzt wird.

Basierend darauf wird der Prozess der Methoden aufgezeigt und damit geklärt, warum die angewandten Methoden für die Beantwortung der Forschungsfragen geeignet sind und welche Ergebnisse von welchen Methoden erzielt werden können. Hierbei werden die Datenquellen, Erhebungsinstrumente und -verfahren sowie Auswertungsprogramme ausführlich beschrieben.

## 4.2 Einflussfaktoren

Das zu untersuchende Fahrverhalten der Nutzenden von neuen Fahrzeugen an den verschiedenen Strecken und Knotenpunktzufahrten wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Die Einflussfaktoren werden in drei Gruppen eingeteilt (Tabelle 4.1), nämlich straßenbauliche und betriebliche, straßennutzungsbezogene und umfeldbezogene Faktoren. Unter den straßenbaulichen und betrieblichen Faktoren sind die Faktoren im roten Rechteck markiert, die sich aus den zu untersuchenden Themen in Anlehnung an Kapitel 1 ergeben, d.h. die Entwurfselemente sowie Bestandteile als direkte Einflussfaktoren. Im blauen Rechteck werden zusätzlich weitere Einflussfaktoren berücksichtigt.

**Tabelle 4.1: Einflussfaktoren zur Auswahl der untersuchten Strecken und Knotenpunktzufahrten**

| **1 Straßenbauliche und betriebliche Faktoren** | |
|---|---|
| 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen | 1.9 Länge von Radverkehrsanlagen |
| 1.2 Trennungsform zwischen Geh- und Radweg | 1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen |
| 1.3 Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen | 1.11 Breite des angrenzenden Gehwegs |
| 1.4 Längsneigung | 1.12 Vorhandensein von Parkständen und Frequenz von Parkvorgängen |
| 1.5 Kurvenradius | 1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen |
| 1.6 Richtungsänderungswinkel | 1.14 Knotenpunktart |
| 1.7 Länge und Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen | 1.15 Signalisierung des Radverkehrs |
| 1.8 Art der Radverkehrsführung | 1.16 Vorhandensein von Dreiecksinseln |
| | 1.17 Baulicher Zustand |

| **2 Straßennutzungsbezogene Faktoren** | **3 Umfeldbezogene Faktoren** |
|---|---|
| 2.1 Kfz-Verkehrsbelastung (DTV) | 3.1 Dichte und Häufigkeit der Grundstückzufahrten |
| 2.2 Radverkehrsbelastung (einschl. E-Tretroller) | |
| 2.3 Fußverkehrsbelastung | |

### 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen

Die Breite von Radverkehrsanlagen wirkt sich deutlich auf den Verkehrsablauf und das Interaktionsgeschehen (z.B. Überholabstand durch Kfz-Verkehr) aus. Sie ist nicht nur für die Breitenbemessung selbst besonders wichtig, sondern auch für den Vergleich der Auswirkung von Längsneigung oder Kurvenbereichen. Die Breite von Radverkehrsanlagen betrifft auch die Breite an Knotenpunktzufahrten.

### 1.2 Trennungsform zwischen Geh- und Radweg

Die Trennungsform zwischen Geh- und Radweg hat Einfluss auf die Interaktionen zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden und zu Fuß Gehenden, besonders wenn die Geh- oder Radwege nicht ausreichend breit sind. Die Trennungsform zwischen Geh- und Radwegen unterscheidet sich bei der Form (z.B. weiße Linie, Poller) und der dazugehörigen Breite der Trennelemente.

### 1.3 Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen

Neben der Radverkehrsanlage bietet der Sicherheitstrennstreifen einen zusätzlichen Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmenden und erhöht die Gesamtnutzungsbreite für Radfahrende oder E-Tretrollernutzende. Natürlich unterscheiden sich Sicherheitstrennstreifen zum ruhenden Verkehr oder zum fließenden Verkehr.

### 1.4 Längsneigung

Die Längsneigung nimmt erheblichen Einfluss auf die Geschwindigkeit des Radverkehrs oder E-Tretrollers und die damit verbundene Verkehrsflächenwahl. Aus diesem Grund wird das Fahrverhalten, besonders die Geschwindigkeit, bergauf und bergab getrennt untersucht.

### 1.5 Kurvenradius

Ein zügiger Kurvenradius ermöglicht eine höhere Geschwindigkeit des Radverkehrs oder E-Tretrollers und vereinfacht den Verkehrslauf von Lastenrädern. In der Arbeit wird untersucht, ob und in welchem Maß sich der Kurvenradius auf das Fahrverhalten besonders von Lastenradfahrenden gegenüber einem geradlinigen Straßenzug auswirkt.

### 1.6 Richtungsänderungswinkel

Ein rechter oder spitzer Winkel erschwert dem Radverkehr oder E-Tretroller das Befahren der Kurvenbereiche. Dies betrifft überwiegend die Lastenräder. Die Auswirkung des Richtungsänderungswinkels ist mit dem Kurvenradius zu betrachten. Die Verschwenkung von Radverkehrsanlagen setzt sich aus einem stumpfen Winkel mit kleinen Radien zusammen, während die Rechteckausrundung einen rechten oder spitzen Winkel mit großzügigen Radien beinhaltet.

### 1.7 Länge und Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen

Die aufgeweiteten Radaufstellstreifen gewinnen mit der Zunahme der Lastenräder und des Gesamtradverkehrs an großer Bedeutung. Die Nutzbarkeit und Verfügbarkeit von aufgeweiteten Radaufstellstreifen werden anhand der Bemessung (Länge und Breite) verdeutlicht. Die aufgeweiteten Radaufstellstreifen stellen eine Maßnahme zur Sicherung des linksabbiegenden Radverkehrs dar. Dabei wird auch die Länge von aufgeweiteten Radaufstellstreifen thematisiert und welche Fahrstreifen von der Breite aufgeweiteter Radaufstellstreifen bedeckt werden.

### 1.8 Art der Radverkehrsführung

Die Führungsformen von Radverkehrsanlagen stellen die Interaktionsmöglichkeiten und Konfliktpotentiale zwischen Radfahrenden und anderen Verkehrsteilnehmenden fest. Aufgrund der unterschiedlichen Gestaltung zwischen differenzierten Führungsformen ist ein direkter Vergleich der Fahrverhalten kaum möglich. Daher muss das Fahrverhalten an verschiedenen Führungsformen von Radverkehrsanlagen separat betrachtet werden.

### 1.9 Länge von Radverkehrsanlagen

An Knotenpunktzufahrten werden die Radverkehrsanlagen oft nicht durchgängig markiert. Die Länge von Radverkehrsanlagen beeinflusst die Erreichbarkeit von Knotenpunktzufahrten (z.B. Erreichbarkeit zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen). Darüber hinaus wirkt sich die Länge von Radverkehrsanlagen auf Verflechtungsvorgänge zwischen rechtsabbiegenden Kfz und geradeaus Rad- oder E-Tretrollerfahrenden bei Radfahrstreifen in Mittellage oder Dreiecksinseln aus. Eine kürzere Radverkehrsanlage führt zu einer Behinderung des Radverkehrs durch aufgestauten Kfz-Verkehr. Im Vergleich dazu verursacht eine längere Radverkehrsanlage eine höhere Geschwindigkeit des rechtsabbiegenden Kfz-Verkehrs.

### 1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen

Ist der an den Radverkehrsstreifen grenzende Fahrstreifen zu schmal, werden Rad- oder E-Tretrollerfahrende bei Führung auf der Fahrbahn häufig zu dicht überholt. Die Breite angrenzender Fahrstreifen ist daher bei der Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen zu berücksichtigen.

### 1.11 Breite des angrenzenden Gehwegs

Ein schmaler Gehweg beeinträchtigt in Abhängigkeit der Fußverkehrsstärke den Verkehrsablauf des Radverkehrs oder E-Tretrollers, da zu Fuß Gehende zu nah oder auf dem Radweg laufen. Andererseits können Radfahrende auch einen breiten Gehweg z.B. für Überholvorgänge regelwidrig nutzen. Deswegen steht die Breite des angrenzenden Gehwegs in Zusammenhang mit der Anzahl der Interaktionen und der Beeinträchtigung zwischen Radverkehr und Fußverkehr.

### 1.12 Vorhandensein von Parkständen und Frequenz von Parkvorgängen

Rad- und E-Tretrollernutzende werden oft durch ruhenden Verkehr behindert und gefährdet. Dies wird durch die Frequenz von Parkvorgängen bestimmt. Je häufiger Parkvorgänge stattfinden, desto mehr Gefährdungspotential liegt vor. Um die Auswirkung von Sicherheitstrennstreifen auf den Verkehrsablauf sowie das Konfliktpotenzial zwischen Rad- oder E-Tretrollernutzenden und Parkvorgängen zu analysieren, müssen nähere Untersuchungen angestellt werden.

### 1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen

Die Anzahl der Fahrstreifen stellt die Breite der Fahrbahnbreite dar und vermittelt einen ersten Eindruck der Kfz-Verkehrsstärke. Je höher die Anzahl an Fahrstreifen, desto höher ist die Kfz-Verkehrsstärke. Dadurch entsteht eine hohe Nutzungskonkurrenz zwischen Kfz- und Radverkehr oder E-Tretrollern. Dies beeinflusst die Verkehrsflächenwahl bei dualen Führungsformen und die Entscheidung für das direkte Linksabbiegen. Außerdem ist eine höhere Anzahl an Fahrstreifen bei dualen Führungsformen günstig, da der Kfz-Verkehr auf andere Fahrstreifen bei Überholvorgängen ausweichen könnte.

### 1.14 Knotenpunktart

Die Knotenpunktart bestimmt die verkehrsrechtlichen Regelungen und das Verhalten der Verkehrsteilnehmenden an Knotenpunkten. Je nach Knotenpunktart können die Interaktionsvorgänge und das Gefährdungspotenzial unterschiedlich sein. Für die Analyse der Konfliktfälle bei der Führung der geradeausfahrenden und linksabbiegenden Radnutzenden ist die Knotenpunktart zu berücksichtigen.

### 1.15 Signalisierung des Radverkehrs

Nach Steinhart (1985) hat die Signalisierungsform des Radverkehrs Einfluss auf das Einfahrverhalten sowie auf die Einfahrgeschwindigkeit. Zur erneuten Überprüfung der Einfahrgeschwindigkeit muss die Signalisierung des Radverkehrs berücksichtigt werden.

### 1.16 Vorhandensein von Dreiecksinseln

Bei den Dreiecksinseln wird der rechtsabbiegende Kfz-Verkehr zügig geführt, was das Gefährdungspotenzial zwischen rechtsabbiegenden Kfz und geradeausfahrenden Rad- oder E-Tretrollernutzenden erhöht. Aus dem Grund wird das Vorhandsein von Dreiecksinseln nicht vernachlässigt.

### 1.17 Baulicher Zustand

Der Radweg in einem ungenügenden baulichen Zustand verringert die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort an den Radverkehrsanlagen. Damit verschlechtert sich die Akzeptanz von Radverkehrsanlagen. Wie in Kapitel 1 erwähnt wird der bauliche Zustand in dieser Arbeit nicht behandelt. Darum werden die Radverkehrsanlagen in einem guten baulichen Zustand betrachtet, um negative Einflüsse auf das Fahrverhalten zu vermeiden.

### 2.1 Kfz-Verkehrsbelastung

In einem gewissem Maß bestimmt die Belastung von Kfz das Interaktionsgeschehen mit den Rad- oder E-Tretrollerfahrenden. Die Belastungsverhältnisse des Kfz-Verkehrs hängen auch mit der Verkehrsflächenwahl zusammen, da die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden wegen des subjektiven Sicherheitsgefühls den Gehweg regelwidrig benutzen könnten. In der Arbeit wird einerseits das Konfliktpotenzial zwischen verschiedenen Radtypen oder E-Tretrollern und Kfz analysiert. Anderseits werden überwiegend Hauptverkehrsstraßen untersucht. Daher ist die Kfz-Verkehrsstärke im Rahmen der Arbeit nur für

die Fragestellung der Verkehrsflächen bei dualen Führungsformen sowie die Akzeptanz des direkten Linksabbiegens des Radverkehrs bedeutsam.

**2.2 Radverkehrsbelastung (einschl. E-Tretroller)**

Die Radverkehrsstärke beeinflusst unmittelbar den Verkehrsablauf bezüglich der Überholvorgänge an Radverkehrsanlagen. Um eine aussagekräftige Untersuchung des Fahrverhaltens der Radfahrenden und E-Tretroller in einem gewissem Zeitraum zu erfassen, werden Strecken und Knotenpunkte mit einer hohen Radverkehrsbelastung betrachtet. Daher spielt die Variation der Radverkehrsstärke generell eine untergeordnete Rolle. Nur für das Thema der Aufstellmöglichkeit ist die Radverkehrsstärke von größerer Bedeutung.

**2.3 Fußverkehrsbelastung**

Für eine aussagekräftige Analyse der Interaktionen zwischen Radfahrenden oder E-Tretrollernutzenden und zu Fuß Gehenden ist die Fußverkehrsstärke zu berücksichtigen. Grundsätzlich ist ein breiterer Gehweg mit mehr zu Fuß Gehenden verträglich. Daher ist die Fußverkehrsstärke mit der Gehwegbreite zu berücksichtigen.

**3.1 Dichte und Häufigkeit der Grundstückzufahrten**

Bei den Grundstückzufahren werden Rad- und E-Tretrollerfahrende oft durch ein- oder abbiegende Kfz gestört. Wegen der instabilen Fahrweise von E-Tretrollern ist es nötig zu überprüfen, ob die neuen Fahrzeugtypen von Grundstückzufahrten stärker beeinträchtigt werden. Diese Konflikte an Strecken weisen auf äquivalente Risiken hin wie Abbiege- oder Einbiegen/ Kreuzen-Unfälle an Knotenpunkten. Zur Betrachtung der Verkehrssicherheit an den Strecken bezüglich des Störpotenzials durch ein- und abbiegende Kfz sollen die Grundstückzufahrten mit höherer Dichte und Frequentierung berücksichtigt werden.

Tabelle 4.2 fasst die obengenannten Einflussfaktoren und zugehörigen Themen zusammen.

## 4.3 Bewertungskriterien

Die Festlegung der Bewertungskriterien dient als einfache und zielorientierte Auswertungsgrundlage. Hierbei werden die Bewertungskriterien zusammengetragen und ihr Zusammenhang mit dem Forschungsziel erläutert.

**Verkehrsflächenwahl**

Die Verkehrsflächenwahl stellt einen Indikator für die Akzeptanz von Radverkehrsanlagen dar und zieht unmittelbare Rückschlüsse auf die Präferenz bei dualen Führungsformen. Zudem hat die Verkehrsflächenwahl einen engen Zusammenhang mit den Interaktionen, z.B. dass die Rad- oder E-Tretroller-Nutzenden, infolge des Bedrängens von Kfz, den Gehweg nutzen können. Die Auswertung der Verkehrsflächenwahl veranschaulicht, unter welchen infrastrukturellen und verkehrlichen Bedingungen die Nutzenden der untersuchten Fahrzeuge andere Verkehrsflächen regelwidrig benutzen.

**Geschwindigkeit**

Die Geschwindigkeit ist eine grundlegende Kenngröße zur Beschreibung der Verkehrssicherheit und des Verkehrsablaufs der Radfahrenden oder E-Tretrollernutzenden. Dank der Elektrounterstützung wird eine erhöhte Geschwindigkeit erwartet und entsprechend orientiert sich die Entwurfsgeschwindigkeit der Radverkehrsanlagen an 25 km/h (die für Radvorrangrouten an 30 km/h). Aus diesem Grund ist zu analysieren, bei welchen Faktoren die Geschwindigkeit deutlich verringert werden muss.

**Positionswahl (alleinig) an Radverkehrsanlagen**

Das Positionswahl einzelner Rad- oder E-Tretrollernutzenden im Querschnitt begründet die notwendigen Breitenanforderungen von Radverkehrsanlagen und Abgrenzung zu anderen Verkehrsflächen so-

wie anderen Verkehrsteilnehmenden in Hinblick auf Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort. Besonders für die schmaleren Radverkehrsanlagen ist die Position einzelner Rad- oder E-Tretrollernutzenden von Bedeutung, weil an breiteren Radverkehrsanlagen die Überholvorgänge maßgebend sind.

**Tabelle 4.2: Zusammenstellung der Einflussfaktoren nach den Fragestellungen**

| Einflussfaktoren \ Fragestellungen | | Entwurfselemente | | | | | | Führung an Strecken | | Führung an Knotenpunkten | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 Breite von Radverkehrsanlagen | 2 Trennung zwischen Geh- und Radweg | 3 Breite von Sicherheitstrennstreifen | 4 Längsneigung | 5 Kurvenbereich | 6 Aufstellmöglichkeiten | 7 Führung mit Fußverkehr | 8 Duale Führungsform | 9 Zwischenzeit (Einfahrzeit) | 10 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) | 11 Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) |
| **Straßenbauliche und betriebliche Faktoren** | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen | x | x | x | x | | x | x | x | | x | |
| | 1.2 Trennungsform zwischen Geh- und Radweg | | x | | | | | | | | | |
| | 1.3 Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen | | | x | | | | | | | | |
| | 1.4 Längsneigung | | | | x | | | | x | | | |
| | 1.5 Kurvenradius | | | | | x | | | | | | |
| | 1.6 Richtungänderungswinkel | | | | | x | | | | | | |
| | 1.7 Länge und Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen | | | | | | x | | | | | |
| | 1.8 Art der Radverkehrsführung | x | | x | x | | x | x | x | | x | |
| | 1.9 Länge von Radverkehrsanlagen | | | | | | x | | | | x | |
| | 1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen | x | | x | x | | | | | | x | |
| | 1.11 Breite des angrenzenden Gehwegs | | x | | | | | | | | | |
| | 1.12 Vorhandensein von Parkständen und Frequenz von Parkvorgängen | | | x | | | x | | | | | |
| | 1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen | | | | | | | | x | | | x |
| | 1.14 Knotenpunktart | | | | | | | | | | x | x |
| | 1.15 Signalisierung des Radverkehrs | | | | | | | | | x | | |
| | 1.16 Vorhandensein von Dreiecksinseln | | | | | | | | | | x | |
| | 1.17 Baulicher Zustand | | | | | | | | | | | |
| **Straßennutzungsbezogene Faktoren** | 2.1 Kfz-Verkehrsbelastung | | | | | | | | x | | | x |
| | 2.2 Radverkehrsstärke | | | | | | x | x | | | | |
| | 2.3 Fußverkehrsstärke | | | x | | | | x | | | | |
| **Umfeldbezogene Faktoren** | 3.1 Dichte und Häufigkeit der Grundstückzufahrten | x | | | | | | | | | | |

## Nebeneinanderfahren

Die Position von Nebeneinanderfahrenden weist darauf hin, welche Platzverhältnisse das Nebeneinanderfahren von Rad- oder E-Tretrollernutzenden innerhalb von Radverkehrsanlagen benötigt werden. Natürlich hängen die Geschwindigkeit und Position von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden zumeist voneinander ab. Daher ist das Nebeneinanderfahren für die Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen generell nicht maßgebend. Auffällig ist nur das Nebeneinanderfahren von einem Lastenrad und einem anderen Radtyp oder E-Tretroller.

## Seitliche Schwankung bergauf

An Steigungsstrecken wird oft eine instabile Fahrweise des Radverkehrs ermittelt. Die instabile Fahrweise wird durch seitliche Schwankungen geprägt. In der Untersuchung wird analysiert, wie groß die Schwankungen sind. Daraus kann abgeleitet werden, mit welcher Längsneigung die Radverkehrsanlagen in welchem Breitenmaß ausgebaut werden sollte.

## Interaktionen

Die Interaktionen dienen zur Beurteilung der Sicherheits- und Komfortwirkung im Verkehrsablauf und stehen in engem Zusammenhang mit der „Verkehrssituationsanalyse (VAS)“. Als Verkehrssituation beschreibt man eine kleinräumliche Konstellation von Bewegungsobjekten im Raum-Zeit-Kontinuum einer Verkehrsanlage unter einer mikroskopischen Beobachtungsweise (ANGENENDT 1989). Die Verkehrssituationsanalyse bewertet situationsbezogene Gefährdungen in dieser „Verkehrssituation“. Allerdings bestehen viele Zwischenstufen vom normalen Verkehrsablauf bis zum Unfallgeschehen in der Verkehrssituation. Dazwischen liegen die Fälle, wo die Verkehrsteilnehmenden ihr Verhalten bei der Annäherung im Raum-Zeit-Kontinuum einer Verkehrsanlage gegenseitig anpassen müssen. Die Auswertestufen der Zwischenfälle in der Verkehrssituation werden durch drei Typen von Verkehrsverhalten gekennzeichnet, nämlich **normal verlaufende Interaktionen** (Normalverlauf und „positive“ Reaktion), **Behinderungen** (B) und **kritische Situationen** (KS) (Alrutz und Stellmacher-Hein 1997; Eger 1985). Behinderungen beschreiben eine (starke) Abweichung des Normalverlaufs und kritische Situationen kennzeichnen ein Nichteinhalten ausreichend räumlicher Abstände. Dagegen charakterisiert eine „positive“ Reaktion eine Abstimmung des Verhaltens der Verkehrsteilnehmenden **ohne plötzliche** Bewegungsänderungen (z.B. Bremsen). In Anhang 5.1 werden solche Verhaltensweisen als Zwischenstufen ausführlich erklärt. Basierend darauf sind die Konflikttypen bezüglich der Forschungsziele in Tabelle 4.3 aufgeführt. In Anhang 5.1 werden die Konflikttypen der Interaktionsfälle detailliert besprochen.

**Tabelle 4.3: Zusammenfassung der betreffenden Konfliktypen**

| Gegner der Interaktionen bei den Interaktionen | Konflikttypen der Interaktionen |
|---|---|
| Interaktionen zwischen Radfahrenden und E-Tretrollerfahrenden | mit Radverkehr/ E-Tretrollern bei der **Begegnung**<br>mit Radverkehr/ E-Tretrollern beim **Überholen** |
| Interaktionen zwischen Rad-/ E-Tretrollerfahrenden und Kfz | mit Kfz im **Längsverkehr** (Überholen durch Kfz)<br>mit **ein- und ausbiegenden** Kfz |
| Interaktionen zwischen Rad-/ E-Tretrollerfahrenden und zu Fuß Gehenden | mit Fußverkehr im **Längsverkehr**<br>mit Fußverkehr im **Querverkehr** (Überschreiten-Unfall) |

## Post-Encroachment-Time (PET: $\Delta t_s$)

PET (deutsch: “*Sicherheitszeitlücke*” (Korda 1999)) stammt aus der Verkehrskonflikttechnik (VKT), die als standardisiertes Bewertungsverfahren zur Erfassung von Konflikten auf Verkehrsanlagen und zur Abschätzung von Gefahrensituationen betrachtet wird (Erke und Gstalter 1985). PET stellt eine Zeitspanne zwischen dem Zeitpunkt, an dem der erste Verkehrsteilnehmende den potentiellen Kollisionskurs verlässt, und dem Zeitpunkt dar, an dem ein anderer Verkehrsteilnehmender bei Entstehen des Kollisionskurses jene Stelle erreicht (Risse et al. 1991). PET wird auch als ein quantitatives Beobachtungsverfahren für Interaktionen angesehen. PET beschreibt eine tatsächliche Zeitdifferenz und ist ohne Geschwindigkeitsmessung erfassbar. Daher ist das Verfahren gegenüber anderen Kenngrößen in der Verkehrskonflikttechnik weniger aufwendig. In der Arbeit wird PET zur Auswertung der Interaktionen zwischen geradausfahrendem Radverkehr oder E-Tretrollern und rechtsabbiegenden Kfz benutzt.

## Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)

Wie Interaktionen zwischen Radverkehr oder E-Tretroller und fließendem Verkehr sind auch Interaktionen mit ruhendem Verkehr auszuwerten. Allerdings sind Interaktionen grundsätzlich durch einen „dynamischen Bewegungslauf“ gekennzeichnet. Sollten Parkstände vorhanden sein, werden Rad- oder E-Tretrollernutzende nicht nur durch Ein- oder Ausparkvorgänge behindert, sondern auch durch nicht regelkonformes Parken (z.B. geparkte Kfz behindern Radverkehrsanlagen) gestört. Daher wird diese Situation im Allgemeinen als „Beeinflussung“ durch ruhenden Verkehr bezeichnet.

## Aufstellverhalten

Das Aufstellverhalten beschreibt, wo sich die Rad- oder E-Tretrollernutzenden bei der Sperrzeit aufstellen. Einerseits zählt das Aufstellverhalten als Indikator für die Nutzbarkeit der aufgeweiteten Radaufstellstreifen (ausreichende Aufstellbereiche). Andererseits beeinflusst das Aufstellverhalten die Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen, da die vorher ankommenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden die Nutzung der aufgeweiteten Radaufstellstreifen von anderen behindern können.

**Belegung von aufgestellten Radaufstellstreifen**

Die Belegung der aufgeweiteten Radaufstellstreifen beschreibt den Auslastungsgrad (überfüllt oder überflüssig). Sie kennzeichnet die Nutzbarkeit und Effizienz der aufgeweiteten Radaufstellstreifen.

**Auswahl der Routen des Linksabbiegens**

Beim Linksabbiegen unterscheiden sich nicht nur das direkte oder indirekte Linksabbiegen. Je nach Art der Radverkehrsanlage werden auch aufgeweitete Radfahraufstellstreifen oder Fußgängeranlagen (z.B. Fußgängerfurt) benutzt. Es wird ausgewertet, wie hoch der Anteil für direktes Linksabbiegen bei unterschiedlichen Fahrradtypen (oder E-Tretrollern) ist.

**Einordnungsvorgänge beim direkten Linksabbiegen**

Die Einordnungsvorgänge werden als gefährlichste Vorgänge beim direkten Linksabbiegen beurteilt. Im Weiteren werden die Positionen der Einordnungsvorgänge vor dem Knotenpunkt, Verhalten beim Einordnen (Umsehen/Handzeichen) und die Zeitlücken zwischen eingeordneten Rad- oder E-Tretrollerfahrenden und sich annähernden Kfz bewertet.

In Tabelle 4.4 werden die Bewertungskriterien den zu untersuchenden Themen zugeordnet.

**Tabelle 4.4: Zusammenstellung der Bewertungskriterien nach Fragestellung**

| Fragestellungen / Bewertungskriterien | | Entwurfselemente | | | | | | Führung an Strecken | | Führung an Knotenpunkten | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 Breite von Radverkehrsanlagen | 2 Trennung zwischen Geh- und Radweg | 3 Breiten von Sicherheitstrennstreifen | 4 Längsneigung | 5 Kurvenbereich | 6 Aufstellmöglichkeiten | 7 Führung mit Fußverkehr | 8 Duale Führungsform | 9 Zwischenzeit (Einfahrzeit) | 10 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) | 11 Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) |
| S/K | Verkehrsflächenwahl | x | | x | x | x | | | x | | | |
| S/K | Geschwindigkeit | x | | x | x | x | | x | | x | | |
| S | Positionswahl (alleinig) an Radverkehrsanlagen | x | x | x | x | (x) | | | | | | |
| S | Nebeneinanderfahren | x | | x | x | | | | | | | |
| S | Seitliche Schwankung bergauf | | | | x | | | | | | | |
| S/K | Interaktion zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden | x | | x | x | | x | | | | x | |
| S/K | Interaktion mit Kfz | x | | x | | | x | | x | | x | |
| S | Interaktion mit zu Fuß Gehenden | | x | x | x | | | x | | | | |
| K | Post-Encroachment-Time (PET) | | | | | | | | | | x | |
| S/K | Beeinflussung durch ruhenden Verkehr an Parkständen | | | x | | | x | | | | | |
| K | Aufstellverhalten | | | | | | x | | | | | |
| K | Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen | | | | | | x | | | | | |
| K | Auswahl der Fahrweise des Linksabbiegens | | | | | | | | | | | x |
| K | Einordnungsvorgänge beim direkten Linksabbiegen | | | | | | | | | | | x |
| S: streckenbezogen/ K: knotenpunktbezogen | | | | | | | | | | | | |

## 4.4 Angewandte Methodik

### 4.4.1 Allgemeines

Im Zuge der Forschung kommen drei Methoden infrage.

Die Unfallanalyse stellt ein typisches und wichtiges Element zur Erkennung und Verbesserung der Verkehrssicherheit dar. Anhand einer eigenen mikroskopischen Unfallanalyse werden die Gemeinsamkeiten oder Unterschiede der Unfälle mit Pedelecs und Fahrrädern analysiert. Es zielt darauf ab, bauliche

oder verkehrstechnische Mängel zu erkennen und ebenfalls verkehrsrechtlich relevante Ursachen herauszuarbeiten. Wie vorab erwähnt sind bei Unfällen nur Pedelecs getrennt von den zu untersuchenden Fahrzeugen von der Polizei erfasst.

Die Befragung bezieht sich überwiegend auf eine Erfassung der subjektiven Wahrnehmung für Radverkehrsanlagen, weil die subjektive Sicherheit auch die Grundlage für Entwurfsanforderungen von Radverkehrsanlagen bildet (FGSV 2010). Zudem werden das Mobilitätsverhalten und die Fahrzeugnutzung in der Befragung berücksichtigt.

Die Videoerfassung ist ein Hauptteil der Untersuchung. Neben den quantitativen Unfalldaten und des subjektiven Empfindens der Befragten werden hierbei objektives Fahrverhalten, Akzeptanz der Radverkehrsanlagen sowie Fahrkomfort vor Ort erhoben und riskantes Fahrverhalten und Gestaltungsansätze aufgezeigt. Zur Auswahl der passenden Strecken und Knotenpunkte werden die ausführlichen Einflussfaktoren und Messgrößen sowie Bewertungskriterien systematisch erläutert.

### 4.4.2 Unfallanalyse

In Kapitel 2 werden die Unfallcharakteristiken (z.B. Unfalltypen, Unfallursachen) zum Teil mit Pedelecs und konventionellen Fahrrädern im Rahmen der Unfallstatistik des StBA verglichen. Allerdings bestehen bei den meisten Unfallcharakteristiken in der veröffentlichten Straßenverkehrsunfallstatistik keine differenzierten Aussagen zu Unfällen mit Pedelecs und Fahrrädern. Die Unfallanalyse anderer Organisationen (z.B. UdV) ergänzt in einem gewissen Maß die Aussagen zu Unfällen mit Pedelecs und Fahrrädern. In diesem Kapitel werden die Unfälle mit Fahrrädern und Pedelecs anhand eigener Datenquellen näher analysiert. Im Rahmen der Arbeit behandelt es sich schwerpunktmäßig um eine **infrastrukturbezogene Unfallanalyse** und **explizite Unfallkonfiguration** (dreistellige Unfalltypen). Nebenbei ist z.B. eine Relation zwischen Geschwindigkeitsbeschränkung und Unfallschwere auszuwerten.

Die Unfallanalyse erfolgte auf Grundlage des Unfallgeschehens in Südhessen der Jahre 2017 - 2019. Dies betrifft die folgenden Städte und Landkreise:

- **Landkreis**
  - Bergstraße
  - Darmstadt-Dieburg
  - Groß-Gerau
  - Main-Taunus-Kreis
  - Odenwaldkreis
  - Offenbach
- **Kreisfreie Städte**
  - Darmstadt
  - Offenbach am Main

Zur Analyse der Unfalldaten wird das Programm EUSka (**E**lektronische **U**nfalltypen-**S**teck**ka**rte), entwickelt von PTV Group, eingesetzt. Einerseits übernimmt das Programm die Funktion der traditionellen Nadel-Unfallsteckkarte und bietet eine Übersicht der Unfallhäufungsstellen. Andererseits umfasst es detaillierte Daten einzelner Unfallgeschehen, die meistens anhand einer „Filter-Funktion“ automatisch ausgewählt werden können. Für den Forschungszweck beinhaltet die EUSka die folgenden Daten:

- **Allgemeine Unfalldaten**
  - Unfallart
  - Unfalltypen
  - Unfallkategorie
  - Unfallursachen (Unfallursachen 01-69)
- **Unfallstelle**
  - Besonderheiten der Unfallstelle (z.B. Schienengleicher Wegübergang)
  - Charakteristik der Unfallstelle (z.B. Kurven, Gefälle)
  - Geschwindigkeitsbegrenzung (z.B. Tempo 30)
  - Lichtsignalanlagen (z.B. außer Betrieb)
- **Persönliche Daten der Unfallbeteiligten**
  - Alter
  - Geschlecht
  - Helmnutzung
- **Gegebenheiten zum Unfallzeitpunkt**
  - Allgemeine Ursachen (Unfallursachen 70 - 89)
  - Lichtverhältnisse (z.B. Dunkelheit)
  - Straßenzustand (z.B. Glätte)
- **Unfallhergang**

Die unterschiedlichen Infrastrukturtypen, wo die Unfälle geschehen, werden grundsätzlich in den „Besonderheiten der Unfallstelle“ erfasst. Allerdings wird diese Information auch im Text des Unfallhergangs beschrieben. In diesem Fall ist ein automatischer Abruf der Daten unmöglich. Daher ist eine aufwändige manuelle Analyse notwendig. Die feine Differenzierung der sieben Grundunfalltypen (dreistellige Unfalltypen) rekonstruiert die den Unfall auslösende Situation mit statistischer Bedeutung, da die Unfallkonfiguration aus den Grundunfalltypen nicht klar dargestellt wird. Allerdings wird der dreistelligen Unfalltyp nicht von der hessischen Polizei erfasst. Sie ist trotzdem durch den „Unfallhergang“ mithilfe des Leitfadens von ORTLEPP und BUTTERWEGGE (2016) der UdV ableitbar. Ebenso ist die Ableitung manuell durchzuführen. Zur Multifaktorenanalyse sind die vorliegenden manuell ausgewerteten Daten mit den im Unfallbericht direkt benutzbaren Daten gesamtheitlich in das Programm SPSS einzutragen.

### 4.4.3 Befragung

**Vorbereitung und Durchführung der Befragung**

Die Befragung wurde online mit dem Programm „LimeSurvey“ durchgeführt, um die Anzahl der Befragten und die „Reichweite“ der Umfrage zu vergrößern sowie (Zwischen-)Ergebnisse schnell interpretieren zu können. In der Befragung wird ein Bild der Örtlichkeit zur Abfrage des subjektiven Sicherheitsempfindens gezeigt, damit die Befragten die Gestaltung in der Praxis nachvollziehen können und ein Missverständnis durch fachliche Begriffe vermieden wird (Abbildung 4.1).

Die Umfrage wurde im Zeitraum vom 01.09.2019 bis 31.01.2021 durchgeführt. Im laufenden Erhebungsprozess wurde die Umfrage einmal modifiziert, um Fragen über die E-Tretrollernutzung zu integrieren. Für die Einladung zur Teilnahme an der Umfrage sowie die Verbreitung wurde ein Handzettel mit der Umfragebeschreibung und dem Online-Link vorbereitet. Die Einladung zur Umfrage wurde in folgender Weise platziert:

- Bei fachlichen Großveranstaltungen (z.B. Hessisches Symposium Verkehrssicherheit);
- über E-Mailverteiler anderer Universitäten/ Hochschulen (z.B. Goethe-Universität Frankfurt am Main, Frankfurt University of Applied Sciences, Johannes-Gutenberg-Universität Mainz), Institute (z.B. DLR) und Organisationen (z.B. ADFC Hessen);
- an öffentlichen Straßen und Stellen mit hoher Nutzungsintensität (z.B. Bahnhöfe von Darmstadt und Frankfurt am Main, Luisenplatz in Darmstadt)
- Sozialmedia (z.B. Facebook von *Darmstadt fährt Rad*)
- Probandenbörsen (z.B. Pollpool)

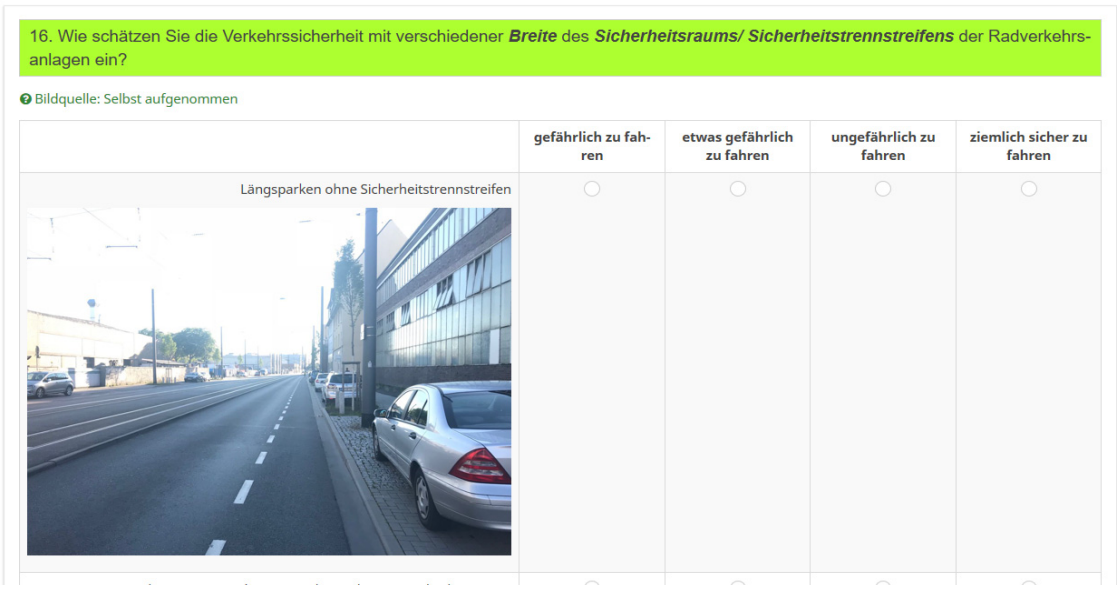



**Abbildung 4.1: Beispiel der Fragen in Limesurvey**

**Struktur und Inhalte der Befragung**

Die Umfrage gliedert sich insgesamt in vier Fragengruppen:

- Merkmale des Mobilitätsverhaltens und der Fahrzeugnutzung
- Merkmale des Fahrverhaltens in der gegebenen Infrastruktur
- Personenbezogene Daten
- Haushaltsbefragung

Der erste Fragenteil beinhaltet die Verkehrsmittelwahl und deren Nutzungshäufigkeit, Nutzungszwecke verschiedener Radtypen sowie E-Tretroller, räumliche und zeitliche Verteilung der Nutzung von Fahrrädern oder E-Tretrollern, die Gründe zur Akzeptanz oder Ablehnung von neuen Fahrzeugtypen und Reichweite der neuen Fahrzeugtypen.

Der zweite Fragenteil ist der Hauptbestandteil der Umfrage. Dabei werden zuerst das allgemeine (regelwidrige) Fahrverhalten und allgemeine Anregungen zu Radverkehrsanlagen abgefragt. Anschließend werden Fragen über die Wahrnehmung einzelner zu untersuchender Entwurfselemente gestellt. Hierbei verzahnen sich die Fragen nach den Merkmalen der Strecken oder Knotenpunkte mit denen der Videobeobachtung, um einen Vergleich zwischen subjektiver Wahrnehmung und objektivem Fahrverhalten zu ermöglichen.

Der dritte Fragenteil bezieht sich auf die personenbezogenen demografischen Merkmale, nämlich Geschlecht, Alter, Beruf, Ausbildung, und formale Merkmale wie z.B. Fahrkartenbesitz oder Führerscheinbesitz. Zum vierten Fragenteil gehören Anzahl der Personen und Fahrzeuge im Haushalt, Nettoeinkommen und Verfügbarkeit von ÖPNV in der Nähe vom Wohnort. Die dritte und vierte Fragengruppen dienen zu einem multivariaten Verfahren bei der Auswertung, um die Abhängigkeit z.B. zwischen Nutzung von Lastenrädern und Anzahl der Kinder im Haushalt festzulegen.

Die ausführliche Umfrage wird in Anhang 6 beigefügt.

### 4.4.4 Videoerfassung

Die Videoerfassung ist der Hauptteil der Untersuchungsmethode. Sie erfasst das objektive Fahrverhalten unter verschiedenen infrastrukturbezogenen Bedingungen und erhebt die potenziellen Sicherheitsdefizite vor Ort.

Als Aufzeichnungsgerät wurde die Videokamera Drift Ghost 4K mit einer Auflösung von 1080 p eingesetzt. Die geringe Größe der Kamera verhinderte eine Ablenkung sowie Beeinflussung des Fahrverhaltens. Die Videokamera wurde mit Hilfe einer Leiter und Kabelbinder in 2 - 3 m Höhe an Pfosten oder Bäumen aufgehängt. Da beim Videomaterial Pedelecs schwierig von konventionellen Fahrrädern unterschieden werden können, sollten Pedelecs zusätzlich von dem Beobachtenden manuell (z.B. anhand der Uhrzeit oder Kleiderfarbe) protokolliert werden. Der manuelle Einsatz bringt zudem den Vorteil, dass die Gründe des (regelwidrigen) Fahrverhaltens (z.B. Verkehrsflächenwahl) außerhalb der Beobachtungsstrecken identifiziert werden können.

Mit der Videokamera ist generell eine Sichtweite von 50 m je nach Umgebung (z.B. Lichtverhältnis, Baum) möglich. Bei schlechtem Sichtverhältnis (meistens an Strecken wegen Bäumen) ist noch eine Sichtweite von mindestens 30 m zu gewährleisten, um eine zweckmäßige Beobachtung durchzuführen. Diese Weiten entsprechen der Beobachtungslänge. Für das Thema „Führung mit Fußverkehr“ wurde eine Beobachtungslänge in Anlehnung von Angenendt und Wilken (1997) auf 20 m verkürzt. Für die Untersuchung von streckenbezogenen Fragestellungen war mindestens eine Videokamera einzusetzen. Für die Untersuchung von knotenpunktbezogenen Fragestellungen mussten mindestens zwei Videokameras angebracht werden. Dabei wurde je eine Videokamera an den Knotenpunktzufahrten installiert. Die Entfernung zu dem Knotenpunkt ist von den Forschungszwecken und der Knotenpunktgestaltung abhängig. Die zweite Kamera wurde in der Nähe des Knotenpunkts aufgehängt, um das Fahrverhalten sowie Konflikte an den Aufstellbereichen oder Knotenpunkten zu erfassen. Falls die Sichtweite einer Videokamera an der Knotenpunktzufahrt nicht ausreichend war, wurde eine dritte Videokamera eingesetzt. Die Positionen beider (aller) Kameras waren so abzustimmen, dass alle konfliktbehafteten Bereiche in Bezug auf die Fragestellungen abgedeckt werden konnten.

Prinzipiell wird der Abschnitt 50 m entfernt von Knotenpunkten als Strecke betrachtet. Allerdings ist innerorts der Abstand zwischen zwei Knotenpunkten sehr gering. Weil die Radfahrenden ihre Pedalbewegung frühzeitig bei ROT stoppen können und die Geschwindigkeit entsprechend (deutlich) reduziert wird, wurde die Beobachtung für benachbarte Knotenpunkte mit geringem Abstand eher in der Nähe vom ersten Knotenpunkt durchgeführt.

Die Videobeobachtung mit einer 4-stündigen Einheit fand von ca. 6.30 Uhr - 10.30 Uhr oder 15.00 Uhr - 19.00 Uhr von Mitte April bis Mitte Oktober (im Oktober wurde nachmittags aufgrund der Dämmerung eine halbe Stunde früher angefangen) in Darmstadt und Frankfurt am Main statt. Grundsätzlich unterschieden sich die Beobachtungszeiträume vormittags und nachmittags nicht. Allerdings war für einzelne Themen, z.B. Überprüfung der Zwischenzeit der Vormittag auszuwählen, da die Einfahrgeschwindigkeit empirisch an der Morgenspitze schneller ist (Dörfler 1965). Der Beobachtungszeitraum beinhaltet die Haupt- und Nebenverkehrszeit. Dies begünstigt z.B. die Analyse der Interaktionen infolge der Veränderung der Verkehrsbelastung. An den Strecken oder Knotenpunktarmen mit relativ schwacher Belastung der zu untersuchenden Fahrzeuge (z.B. Lastenräder) wurde eine 8-stündige Beobachtung durchgeführt, um eine aussagekräftige Stichprobengröße zu erhalten. Zur Auswertung der Videobeobachtung wurde das Programm **Kinovea** angewandt. Die ausführliche Beschreibung der Videoauswertung durch Kinovea ist Anhang 8 zu entnehmen.

## 4.5 Auswahl der untersuchten Strecken und Knotenpunktzufahrten

### 4.5.1 Einflussfaktoren zur Auswahl der Strecken oder Knotenpunktzufahrten

#### 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen

Nach dem Mindestmaß und Regelmaß gemäß ERA 2010, VwV-StVO und H RSV wird die Breite von Radverkehrsanlagen an Strecken je nach der Führungsform in drei Klassen (schmale, mäßige und breite) unterteilt (Tabelle 4.5). Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in der Praxis die Breite vieler Radwege und gemeinsamer Geh- und Radwege aufgrund der Schwierigkeit für Um- und Ausbau reduziert wird, d.h. die Radwege sowie gemeinsame Geh- und Radwege schmaler als Mindestmaß (Untermaß) ausgeführt werden. Ebenso wird der Gehweg mit der Regelung „Radfahrer frei“ nicht in der VwV-StVO vorgeschrieben, daher bestehen auch viele Gehwege, die trotz einer Gehwegbreite von unter 2,50 m für den Radverkehr freigegeben sind. Für geschützte Radfahrstreifen bestehen momentan kaum rechtliche oder technische Angaben in Deutschland. Nach den internationalen Regelwerken wird eine Breite von 2,00 - 2,10 m als Kriterium zur Beurteilung von Überholungsmöglichkeiten bei geschützten Radfahrstreifen angegeben. Für „Light Segregated Cycle Lane“ gilt als Orientierung ein Maß von 1,50 m.

An Knotenpunktzufahrten ist nur die Breite von Radverkehrsstreifen in Mittellage (gilt auch bei vorhandenen Dreiecksinseln) angegeben, da an schmalen Radverkehrsstreifen die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden mit engem Abstand zum Kfz-Verkehr gebündelt werden. Nach den ERA 2010 und Richter (2019) ist eine Unterteilung des Breitenniveaus in Tabelle 4.6 ersichtlich. Die Breite von Radverkehrsanlagen am Fahrbahnrand orientiert sich auch an Knotenpunktarmen nach der Breite an Strecken.

#### 1.2 Trennungsform zwischen Geh- und Radweg

Die Begrenzungsstreifen gemäß ERA 2010 sind bisher selten in der Praxis eingesetzt. Daher werden die bekannten Trennungsformen einbezogen.

- Pflasterbelag
- Weiße Linie (als Markierung)
- Poller
- Farb-/Materialunterschied

#### 1.3 Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen

Die Auswahlkriterien für die Breite von Sicherheitstrennstreifen gehen von den Anforderungen der ERA 2010 aus. Das Fehlen von Sicherheitstrennstreifen bei alten Radverkehrsanlagen wird mit einer Breite von 0 m angesehen. Die Auswahlkriterien sind der Tabelle 4.7 zu entnehmen.

**Tabelle 4.5: Kriterien zur Auswahl der Breite von Radverkehrsanlagen an Strecken**

| Führungsform | Breite [m] | | |
|---|---|---|---|
| | schmal | mäßig | breit |
| Schutzstreifen | 1,25 (Mindestmaß ERA) | 1,50 (Regelmaß ERA) | >1,50 |
| Radfahrstreifen | 1,50 (Mindestmaß VwV-StVO) | 1,85 (Regelmaß ERA) | > 1,85 |
| Einrichtungsrad-weg | <1,50 | 1,50 - 1,60 (Mindestmaß ERA, VwV-StVO) | 2,00 (Regelmaß ERA) |
| Zweirichtungsrad-weg | < 2,00 | 2,00 - 2,50 (Mindestmaß ERA) | 2,50 - 3,00 (Regelmaß ERA) |
| Führung mit Fuß-verkehr | < 2,50 | ≥ 2,50 (Mindestmaß ERA, VwV-StVO) | ≥ 4,00 (Regelmaß H RSV) |
| geschützter Rad-fahrstreifen | ≈ 1,50 (Mindestmaß in GB) | ≤2,10 (Mindestmaß in USA) | > 2,10 |

**Tabelle 4.6: Kriterium zur Auswahl der Breite von Radverkehrsanlagen an Knotenpunktzufahrten**

| Führungsform | **Breite [m]** (einschl. Markierung) | |
|---|---|---|
| | schmal | mäßig |
| Radfahrstreifen | < 2,00 | ≥ 2,00 (Regelmaß ERA) |

**Tabelle 4.7: Kriterien zur Auswahl der Länge von Sicherheitstrennstreifen**

| Zu angrenzendem Verkehr | Führungsform | Breite von Sicherheitstrennstreifen [m] |
|---|---|---|
| fließendem Verkehr | Einrichtungsradweg | 0 und 0,50 - 0,75 |
| Längsparken | Schutz-/ Radfahrstreifen | 0 und 0,50 - 0,75 |
| | Einrichtungsradweg | 0 und 0,75 |

### 1.4 Längsneigung: ±3% - ±7%

Nach Maiwald (2010) wird die Steigung in die drei Kategorien geringe Steigung (<3%), mittlere Steigung (3% - 7%) und starke Steigung (>7%) eingestuft. Gemäß ERA 2010 gilt eine Längsneigung ab 3% als Entscheidungspunkt für die Bemessungsfragen (z.B. Führungsform). Die Steigung größer als 6% sollte bei Radverkehrsanalgen mit Qualitätsstufe der Radvorrangrouten vermieden werden. Daher kommt nur eine Steigung von 3% - 7% für die Untersuchung von Auswirkungen der Längsneigung in Betracht.

Die Strecken mit einer Steigung kleiner als ±1% werden wie die Strecken ohne bemerkbare Steigung als „eben“ betrachtet, weil sich eine Steigung unter ±1% nur leicht auf das Fahrverhalten (hauptsächlich die Geschwindigkeit) auswirkt und ein Vergleich mit den Strecken ohne bemerkbare Steigung möglich ist.

### 1.5 Kurvenradius und 1.6 Richtungsänderungswinkel

Gemäß ERA 2010 ist ein Mindestkurvenradius von 10 m (Asphalt-/ Betonstraßen) für eine Geschwindigkeit von 20 km/h und 20 m für 30 km/h vorgeschrieben. Aber ein solch großzügiger Radius für den selbstständig geführten Radweg ist selten beim straßenbegleitenden Radweg eingehalten. Wie vorab angesprochen werden hauptsächlich Verschwenkungen und rechtsabbiegende Führungen bei straßenbegleitenden Radverkehrsanlagen betrachtet. Dabei ist eine Auswahl in Tabelle 4.8 aufgelistet.

### 1.7 Länge und Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen

Die Länge von aufgeweiteten Radaufstellstreifen werden nach den Anforderungen gemäß ERA 2010 und Wolfermann (2019c) ausgewählt. Die Auswahl der Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen erfolgt gemäß Angenendt et al. (2005) unter Berücksichtigung praktischer Anwendung (Tabelle 4.9).

### 1.8 Art der Radverkehrsführung

Für die streckenbezogene Untersuchung werden alle Führungsformen gemäß ERA 2010 zuzüglich geschützter Radfahrstreifen betrachtet. Die Führung im Mischverkehr ist kein Untersuchungsschwer-

punkt. Die Gestaltung mit oder ohne Piktogramm beeinflusst die Verkehrsflächenwahl bei dualen Führungsformen. Für den Radweg werden auch der Zweirichtungsbetrieb und die Benutzungspflicht berücksichtigt. Bei der Führung mit Fußverkehr wird auch ein gemeinsamer Geh- und Radweg (benutzungspflichtig) und Gehweg „Radfahrer frei“ (nicht benutzungspflichtig) unterschieden (Tabelle 4.10).

Für die Untersuchung an Knotenpunktzufahrten wird die Lage bei den Führungsformen schwerpunktmäßig untersucht. Anders als an Strecken kommen auch Radfahrstreifen in Mittellage und Radwege ohne oder mit mittlerer Furtabsetzung in Betracht. Sie sind für das Thema „Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)“ relevant. In der Regel gibt es noch den Radweg mit weiterer Furtabsetzung. Allerdings ist diese Gestaltung in der Praxis selten realisiert. Aus dem Grund wird der Radweg mit weiterer Furtabsetzung ausgeschlossen (Tabelle 4.11).

**Tabelle 4.8: Kriterien zur Auswahl der Kurvenradien und Richtungsänderungswinkel**

| Situation | Kurvenradius | Richtungsänderungswinkel |
|---|---|---|
| Verschwenkung | kurvig | Stumpfer Winkel |
| Rechtsabbiegende Kurve | großzügiger | Rechter oder Spitzer Winkel |

**Tabelle 4.9: Kriterium zur Auswahl der Länge und Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen (ARAS)**

| Länge von aufgeweiteten Radaufstellstreifen | | |
|---|---|---|
| < 3,00 m | ≥ 3,00 und < 5,00 m | ≥ 5,00 m |
| **Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen** | | |
| ARAS über einen Teil des Fahrstreifens | ARAS über die gesamte Breite eines Fahrstreifens | ARAS über mehrere Richtungsfahrstreifen |

**Tabelle 4.10: Die auszuwählende Führungsform an Strecken**

| Fahrbahn | | Seitenraum | | |
|---|---|---|---|---|
| Mischverkehr | mit Piktogramm | Radweg | Einrichtung | mit Benutzungspflicht |
| | ohne Piktogramm | | Zweirichtung | ohne Benutzungspflicht |
| Schutzstreifen | | Führung mit Fußverkehr | gemeinsamer Geh- und Radweg | |
| Radfahrstreifen | | | Gehweg „Radfahrer frei“ | |
| geschützter Radfahrstreifen | | | | |

**Tabelle 4.11: Die auszuwählende Führungsform an Knotenpunktzufahrten**

| Fahrbahn | Seitenraum | |
|---|---|---|
| Schutzstreifen | Radweg | ohne Furtabsetzung |
| Radfahrstreifen (am Fahrbahnrand) | | mit (mittlerer) Furtabsetzung |
| Radfahrstreifen in Mittellage | | |

## 1.9 Länge von Radverkehrsanlagen

Für die Länge von Radverkehrsanlagen an Knotenpunktzufahrten unterscheiden sich Radverkehrsstreifen am Fahrbahnrand und in Mittelage. Bei der Auswahl der Radverkehrsstreifen ist es ausschlaggebend, ob die Radverkehrsstreifen von Strecken bis zu den Knotenpunktzufahrten durchgehend markiert werden oder ob sie kurz vor dem Knotenpunkt erst markiert werden.

Nach Richter (2019) ist die Länge der Radfahrstreifen in Mittellage in drei Gruppen (< 40 m, 40 - 59 m und ≥60 m) unterteilt. Die Länge < 40 m ist bei der Auswahl zu vernachlässigen, da die angestauten Kfz oft zur Behinderung von Radfahrenden führen und die Verflechtungsvorgänge nicht ordnungsgemäß ausgewertet werden können. Daher kommen nur die Längen von 40 - 59 m und ≥60 m in Betracht. Diese Auswahlkriterien gelten auch für die Führung an Radverkehrsstreifen bei vorhandenen Dreiecksinseln.

**Tabelle 4.12: Kriterien zur Auswahl der Länge von Radverkehrsanlagen an Knotenpunktzufahrten**

| Führungsform | Lage von Radverkehrsanlagen | Kriterium | |
|---|---|---|---|
| Radverkehrsstreifen | am Fahrbahnrand | durchgehend | nicht durchgehend |
| Radfahrstreifen | in Mittellage | 40 - 59 m | ≥ 60 m |

**1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen**: ≥ 2,75 m

Gemäß ERA 2010 sollte die Breite angrenzender Fahrstreifen bei Schutzstreifen ≥ 2,25 m und bei Radfahrstreifen ≥ 2,75 m sein. Um eine negative Auswirkung (dichter Überholabstand) infolge der geringen Fahrstreifenbreite zu vermeiden, steht nur eine Fahrstreifenbreite ≥ 2,75 m zur Auswahl.

**1.11 Breite des angrenzenden Gehwegs**: ≥ 2,30 m oder < 2,30 m

Gemäß ERA 2010 sollte ein von dem Radweg getrennter Gehweg mindestens 2,30 m breit sein. Der schmalere Gehweg (< 2,30 m breit) ist in der Praxis zu berücksichtigen.

**1.12 Vorhandensein von Parken und Frequenz von Parkvorgängen**

Zur Beobachtung des Fahrverhaltens bei vorhandenen Parkständen werden auch die Strecken ohne Parkstände als Referenz betrachtet. Bei vorhandenen Parkständen kommt nur **Längsparken** zum Einsatz. Bei der Auswahl differenzieren sich markierte und bauliche Parkstände nicht. Zur Analyse der Beeinflussung von Parkständen spielt die Häufigkeit von Parkvorgängen eine wichtige Rolle. Sie wird in drei Stufen unterteilt:

- a - stark frequentierte Parkvorgänge
- b - mittelstark frequentierte Parkvorgänge
- c - schwach frequentierte Parkvorgänge

**1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen**

Für die Untersuchung der Verkehrsflächenwahl wird die Straße bei dualen Führungsformen in Beobachtungsrichtung mit **1 Fahrstreifen**, mit **2 Fahrstreifen** und mit mehr als **3 Fahrstreifen** klassifiziert.

Für die Untersuchung des Fahrverhaltens der Rad- bzw. E-Tretrollernutzenden beim Linksabbiegen ist die Anzahl der zu überquerenden Fahrstreifen in Fahrtrichtung geradeaus von **0 - 2 Fahrstreifen** einbezogen. Das Überqueren von mehr als 2 Fahrstreifen ist ohne signaltechnische Regelung unzulässig.

**1.14 Knotenpunktart**: Knotenpunkt mit Lichtsignalanlagen und Knotenpunkt mit Vorfahrtsregelung

Bei der Videoerfassung kamen nur Knotenpunkte mit Lichtsignalanlagen und mit Vorfahrtsregelung infrage. Knotenpunkte mit der Verkehrsregel „Rechts-vor-Links“ sind infolge schwachen Verkehrsaufkommens und mangelnder Radverkehrsanlagen (meistens „Mischverkehr“) nicht für die Untersuchung geeignet. Der Kreisverkehr ist für die Forschung auch nicht zweckmäßig.

**1.15 Signalisierung des Radverkehrs**: Signalisierung mit dem Kfz-Verkehr

Laut Steinhart (1985) hat der Radverkehr bei Signalisierung mit dem Kfz-Verkehr die größte Einfahrgeschwindigkeit. Zur Auswertung des Worst-Case-Szenarios wird eine solche Form der Signalisierung des Radverkehrs betrachtet.

**1.16 Vorhandensein von Dreiecksinseln**

In der Videoerfassung werden drei unterschiedliche Situationen hinsichtlich Dreiecksinseln für das Thema „Führung des geradausfahrenden Radverkehrs (E-Tretroller)“ ausgewählt:

- ohne Dreiecksinsel
- mit Dreiecksinsel ohne Lichtsignalanlage
- mit Dreiecksinsel mit Lichtsignalanlage

**2.1 Kfz-Verkehrsbelastung**

- I - vom Kfz-Verkehr hochbelastete Hauptverkehrsstraßen (DTV > 20.000 Kfz/ Tag)
- II - vom Kfz-Verkehr mittelbelastete Hauptverkehrsstraßen (10.000 ≤ DTV ≤ 20.000 Kfz/ Tag)
- III - vom Kfz-Verkehr schwachbelastete Hauptverkehrsstraßen (DTV < 10.000 Kfz/ Tag)

**2.2 Radverkehrsbelastung**

Anders als für die Kfz-Verkehrsbelastung existieren kaum Daten für die Radverkehrsbelastung. Daher wird die Radverkehrsbelastung qualitativ klassifiziert. Dabei bestehen drei Belastungsklassen:

- 1 - vom Radverkehr stark frequentierte Straßen
- 2 - vom Radverkehr mittelstark frequentierte Straßen
- 3 - vom Radverkehr schwach frequentierte Straßen

**2.3 Fußverkehrsbelastung**

Ebenso ist auch keine quantitative Fußverkehrsbelastung vorhanden. Daher wird die Fußverkehrsbelastung auch qualitativ gruppiert.

- i - vom Fußverkehr stark frequentierte Straßen
- ii - vom Fußverkehr mittelstark frequentierte Straßen
- iii - vom Fußverkehr schwach frequentierte Straßen

**3.1 Dichte und Häufigkeit der Grundstückzufahrten**

Bei der Videoerfassung wird eine Strecke mit einer Länge von 50 m beobachtet. Bei dieser Länge ist die Anzahl der Grundstückzufahrten beschränkt. Außerdem führt eine Strecke mit geringerer Anzahl, dafür mit hoch frequentierten Grundstückzufahrten öfter zur Behinderung des Radverkehrs als eine Strecke mit mehreren und dafür schwach frequentierten Grundstückzufahrten. Aus diesem Grund wird nur die Frequentierung der Grundstückzufahren und deren Auswirkung als Auswahlkriterium betrachtet. Dabei werden auch drei Frequenzstufen angegeben:

- A - Grundstückzufahrten mit hoher Frequenz
- B - Grundstückzufahrten mit mittelstarker Frequenz
- C - Grundstückzufahrten mit schwacher Frequenz

Neben den obengenannten „harten“ Einflussfaktoren werden zudem „weiche“ Einflussfaktoren berücksichtigt. Dazu gehören zuerst **teilnehmerstrukturelle Aspekte**. Der Anteil der Lastenräder ist relativ klein und einige Kriterien (z.B. Kurvenbereich) betreffen überwiegend Lastenräder. Es ist schwierig vorauszusagen, an welchen Strecken oder Knotenpunktzufahrten die Lastenräder besonders berücksichtigt werden müssen. Nach bisher gesammelten Erfahrungen gehören die Bereiche in der Nähe von Schulen (Transport für Kinder), von Einkaufszentren (Transport für Güter) und von Freizeit (Transport mit Kindern) zu den häufigsten Fahrtzwecken. Des Weiteren spielen die **Unfallhäufungsstellen** z.B. für das Thema „Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)“ eine gewisse Rolle. Bezüglich der Lage für die Videoerfassung sind nur die Unfalldaten in Darmstadt vorhanden. Daher sind die Unfallhäufungsstellen in der Statistik nur bedingt hilfreich.

### 4.5.2 Bewertungskriterien und Messgrößen für ausgewählte Strecken und Knotenpunktzufahrten

**Verkehrsflächenwahl** (Beobachtung)

Die Akzeptanz der Verkehrsfläche wird anhand des Anteils der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden beschrieben, die die vorgeschriebene Verkehrsfläche in regelgerechter Fahrtrichtung nutzen.

Die Verkehrsflächenwahl beinhaltet generell die Annahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen, kurzfristiges Verlassen von den vorgeschriebenen Verkehrsflächen (z.B. Überholen) und generell die Nichtannahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen. Zur Darstellung der Akzeptanz dieser Verkehrsflächen sollte die generelle Annahme sowie das kurzfristige Verlassen gleich betrachtet werden. Die Annahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen schließt auch die Nutzung des Sicherheitstrennstreifens ein, der (im Bedarf) als Gesamtradverkehrsfläche benutzt werden darf.

Relativ kompliziert ist das Nebeneinanderfahren. In der Arbeit wird das Nebeneinanderfahren noch zur Akzeptanz von Verkehrsflächen gezählt (kurz „*Nebeneinander 1*“), wenn ein Rad- oder E-Tretrollernut-

zender beim Nebeneinanderfahren innerhalb der vorgeschriebenen Verkehrsflächen fährt und ein anderer außerhalb dieser Verkehrsflächen z.B. entlang der Markierung der Radverkehrsanlagen. Dagegen wird das Nebeneinanderfahren (kurz „*Nebeneinander 2*“), bei dem beide Rad- oder E-Tretrollerfahrende die vorgeschriebenen Verkehrsflächen nicht benutzen, als keine Akzeptanz angesehen. Das bedeutet:

**Akzeptanz = generelle Annahme + kurzfristiges Verlassen + Nebeneinander 1**

Außerdem werden die Ursachen für die Nichtannahme von Verkehrsflächen betrachtet. Es wird beurteilt, ob eine Nichtannahme für die Bemessung von Radverkehrsanlagen relevant ist. Dabei sollte eine regelwidrige Nutzung der Fahrbahn oder des Gehwegs separat betrachtet werden, da die Ursachen dafür oft unterschiedlich sind (z.B. Ausweichen zum Gehweg infolge der Angst vor dem Kfz).

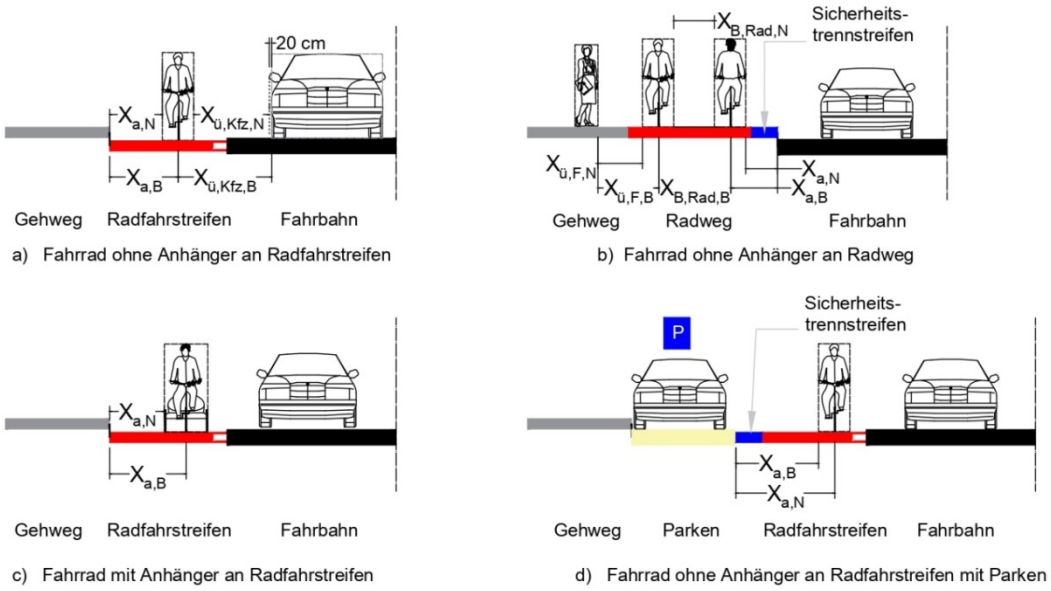



**Abbildung 4.2: Darstellung der Messung der Netto- und Bruttoabstände in verschiedenen Situationen**

**Tabelle 4.13: Die abzuziehende Breite je nach Fahrzeugart**

| Fahrzeugart | abzuziehende Breite |
|---|---|
| Fahrrad ohne Anhänger<br>Pedelec ohne Anhänger<br>E-Tretroller | 0,30 m |
| Lastenzweiräder | tatsächliche halbe Fahrzeugbreite je nach Fahrzeugmodell |
| Fahrrad mit Anhänger<br>Pedelec mit Anhänger<br>Lastendreiräder | direkte Messung zwischen der Bordsteinkante und dem der Bordsteinkante zugewandten Reifen |

**Geschwindigkeit** (Messung)

An Strecken wird die **durchschnittliche Geschwindigkeit** des Radverkehrs oder E-Tretrollers dargestellt.

Für die Überprüfung der Einfahrzeit an Knotenpunktzufahrten wird die **Einfahrgeschwindigkeit** verschiedener Radtypen (besonders Pedelecs) untersucht. Nach Steinhart (1985) wird eine **15% - Geschwindigkeit ($v_{15}$)**, also die Geschwindigkeit, die nur von 15% aller gemessenen Radfahrenden erreicht oder überschritten wird, als Einfahrgeschwindigkeit betrachtet.

**Positionswahl (alleinig) an Radverkehrsanlagen** (Messung)

Die Position einzelner Fahrräder oder E-Tretroller im Querschnitt bezieht sich immer auf den Abstand zwischen Fahrrad oder E-Tretroller und Bordsteinkante (oder Grünflächen/ Parkständen, wenn sie an-

grenzend zur Bordsteinkante vorhanden sind). Dabei wird der Abstand $x_{a,B}$ zwischen Mittelachse (mittlerem Reifen) eines Fahrrades oder E-Tretrollers zur Fahrbahn gemessen (*„Bruttoabstand“*). Allerdings variieren die Breiten der Lastenräder stark. Um die Auswirkung der Fahrzeugbreite auf die Position zu minimieren, wird die Fahrzeugbreite (hier: halbe Breite des Fahrzeugs) von dem Bruttoabstand abgezogen. Daraus ergibt sich der Abstand $x_{a,N}$ zwischen der Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugaußenkante und der Bordsteinkante (*„Nettoabstand“*) (Abbildung 4.2). Die abzuziehende Breite ist Tabelle 4.13 zu entnehmen. Für die Darstellung der Messergebnisse werden zuerst **durchschnittliche Brutto- und Nettoabstände** berechnet.

Neben dem durchschnittlichen Abstand wird eine **Positionsverteilung** dargestellt, die die minimale und maximale Position der Fahrzeugüberhänge abdeckt. Anhang 7 erklärt die Zeichnung und die damit verbundene Bedeutung der Positionsverteilung ausführlich.

Außerdem unterscheiden sich die vorliegenden durchschnittlichen Abstände und die Positionsverteilung in **interaktionsbezogene** und **interaktionsfreie** Situationen. Die interaktionsbezogenen Situationen beschreiben die Position beim Überholvorgang durch Kfz auf der Fahrbahn oder Vorbeifahren an zu Fuß Gehenden am Radweg oder dem gemeinsamen Geh- und Radweg. Dies betrifft auch die Interaktionen zwischen Fahrrädern oder E-Tretrollern. Bei den interaktionsfreien Situationen haben die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden keine Interaktionen mit den anderen Verkehrsteilnehmenden.

Die Messungen der Geschwindigkeit und Positionswahl könnten z.B. durch die Blockierung der Radverkehrsanlagen oder durch lang dauernde Überholvorgänge beeinflusst werden. Dies führt zu einer Abweichung der Stichprobe in der Ergebnisdarstellung.

**Nebeneinanderfahren** (Zählung)

Bei Nebeneinanderfahrenden wird gezählt, wie viele **Nebeneinander-Fälle** innerhalb von Radverkehrsanlagen auftreten.

**Seitliche Schwankung bergauf** (Messung)

Die Auswertung ergibt sich aus Abbildung A8.2 in Anhang 8 mit Hilfe des Rasters. Entscheidend ist die Anzahl der verteilten Rechtecke im Raster. Eine zu feine Unterteilung erschwert die Auswertung und eine zu grobe Verteilung zeigt keine differenzierten Ergebnisse. In der Arbeit wird das Raster in 5 Vierecke unterteilt, d.h. jedes Viereck hat eine Breite von etwa 0,30 m.

**Interaktionen** (Messung, Beobachtung)

Wie in Kapitel 4.3 erwähnt werden kritische Situationen (KS) als Nichteinhalten ausreichend räumlicher Abstände betrachtet. Nach dem Grad der räumlichen Nähe wird die Schwere der kritischen Situationen in zwei Stufen unterteilt (KS I/ KS II). Ähnlich wird die Schwere der Behinderungen (B) nach der Stärke der Reaktionen (z.B. Ausweichmanöver oder Geschwindigkeitsreduzierung) eingestuft (B I/ BII). Daneben existieren das Normalverhalten und die positive Reaktion. In Anhang 5.2 werden die konkreten Auswertungskriterien jeder Auswertestufe nach Schwere beschrieben und die Grenzwerte für quantitative Kriterien definiert. In Tabelle 4.14 werden die Messgrößen und Bewertungskriterien in Abhängigkeit von den Gegnern und Konflikttypen zusammengeführt.

**Tabelle 4.14: Zusammenfassung der zu bewertenden Interaktionen**

| Gegner | Konflikttypen | Messgröße | Kriterium (Grenzwert) | Infrastruktur |
|---|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | Längsverkehr | Überholabstand $x_{\ddot{u},Kfz,N}$ | KS (Tabelle A5.1) | Radverkehrsstreifen |
| | Ab- und Einbiegeverkehr | Beeinträchtigung | B | Grundstückzufahrt Knotenpunkt |
| Fußverkehr | Längsverkehr und Querverkehr | Seitenabstand $x_{\ddot{u},Fuß,N}$ Beeinträchtigung | KS (Abbildung A5.2) B | Radweg und Gehweg für Radverkehr freigegeben |
| Radverkehr | Längsverkehr (Begegnung) | Seitenabstand $x_{B,Rad,N}$ Beeinträchtigung | KS (Abbildung A5.2) B | Zweirichtungsradweg① |
| | Längsverkehr (Überholen) | (Weitere) Bewertungskriterien siehe folgende Texte | | |

① auch für die Strecken mit hohem Anteil linksfahrenden Radverkehrs oder E-Tretrollers

Zur Darstellung der Ergebnisse werden noch zwei Typen weiterer Kenngrößen eingeführt: **Rate** und **Quote** der kritischen Situationen (KSR/ KSQ), der Behinderung (BR/ BQ) oder der Summe von kritischen Situationen und Behinderungen ((KS+B) R/ (KS+B)Q). Ihre Definition und Berechnungsverfahren sind Anhang 5.3 zu entnehmen.

Die Auswertung der Interaktionen bedingt die Untersuchung Achtung der Vorfahrt durch die Verkehrsteilnehmenden. Die eingehende Betrachtung ist erforderlich, weil z.B. eine kleine Zeitlücke zwischen rechtsabbiegendem Kfz und geradeausfahrendem Radverkehr bei Missachtung der Vorfahrt durch Kfz-Führende kritischer wäre als bei Achtung der Vorfahrt.

**Überholen zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden** (Zählung, Messung)

Zum Thema Überholen zwischen Radverkehr/ E-Tretroller wird die Anzahl der Überholvorgänge sowie des Überholbedarfs gezählt. Zum Überholbedarf gehören sämtliche Überholvorgänge und durchgeführte Überholvorgänge. Dabei sind vier Situationen der Überholvorgänge zu unterscheiden:

- **Abgebrochenes Überholen** bedeutet eine Bereitschaft zum Überholen, jedoch wird der Überholvorgang z.B. wegen überholender Kfz abgebrochen. Sie ist oft durch Aus- und Wiedereinscheren der Radfahrenden gekennzeichnet
- (erfolgreiches) **Überholen außerhalb** von Radverkehrsanlagen/ vorgeschriebenen **Verkehrsflächen**
- (erfolgreiches) **Überholen innerhalb** von Radverkehrsanlagen/ vorgeschriebenen **Verkehrsflächen mit Abdrängung von Überholten** (Überholte werden behindert/ gestört)
- Sonstig

„Sonstige“ umfasst einen „erfolgreichen“ Überholvorgang ohne Besonderheiten. Das Überholen mithilfe des Sicherheitstrennstreifens (innerhalb von vorgeschriebenen Verkehrsflächen) wurde auch als „sonstige“ kategorisiert. Allerdings müssen solche Überholvorgänge gekennzeichnet sein, damit der Einfluss auf die Breite „reiner“ Radverkehrsanlagen bei der Bemessung verdeutlicht wird.

Neben der Zählung von Überholvorgängen werden Brutto- ($x_{\text{ü},Rad,B}$) und Netto-Überholabstände ($x_{\text{ü},Rad,N}$) gemessen sowie berechnet. Die Messmethode ist gleich wie bei der Begegnung von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden ((Abbildung 4.2 c)). Besonders ist zu vergleichen, ob ein Überholabstand bei Pedelec - Fahrrad größer ist als der von Fahrrad - Fahrrad. Die Messung des Überholabstands erfolgt bei niveaugleichen Verkehrsflächen ohne zusätzliche Verkehrsflächen dazwischen. Beispielsweise wird der Überholabstand beim Vorhandensein von Grünflächen zwischen Geh- und Radweg nicht berücksichtigt.

**Post-Encroachment-Time (PET)** (Messung)

Für die PET-Messung ist entscheidend, wie die Konfliktbereiche/ Schnittpunkte definiert werden. Nach Korda (1999) führt eine Betrachtung von der Mittelachse der Fahrzeuge (ohne Abmessung der Kfz-Breite) und der Fahrbahn zu einer deutlichen Ungenauigkeit. Mit dem Programm Kinovea wird eine Trajektorie eines Reifens der Kfz verfolgt, d.h. eine Betrachtung der Kfz-Abmessung als Konfliktbereich ist möglich. Eine Breite des Radverkehrs und E-Tretrollers ist analog zu den zu Fuß Gehenden in Anlehnung von Korda (1999) generell vernachlässigbar. Allerdings ist die Breite der Lastendreiräder deutlich größer. In dem Fall ist die Trajektorie des Reifens von Lastendreirädern (äquivalent zur Fahrzeugabmessung) durch dieses spezielle Programm verfolgbar (Abbildung A8.3 in Anhang 8).

Abbildung 4.3 skizziert zwei Situationen für die PET-Berechnung unter Berücksichtigung der Kfz-Abmessung. Hierbei bildet der Zeitunterschied vom Erreichen des roten Punktes durch Fahrrad und Kfz den PET-Wert (Rostami et al. 2020). Grundsätzlich wird PET > 5 s nicht mehr betrachtet. Für Interaktionen sowie Konflikte zwischen Kfz-Radverkehr werden drei Gefahrenstufen bei der PET $\leq$ 5 s unterteilt (Liu et al. 2019):

- 3,0 s < PET $\leq$5,0 s: potentiale Konflikte
- 1,5 s < PET $\leq$ 3,0 s: mittlere Konflikte
- PET $\leq$ 1,5 s: starke Konflikte

Durch die Gefahrenstufen wird zusammen mit der qualitativen Auswertung der Interaktionen beurteilt, ob Pedelecfahrende eher in den Risikobereich geraten.

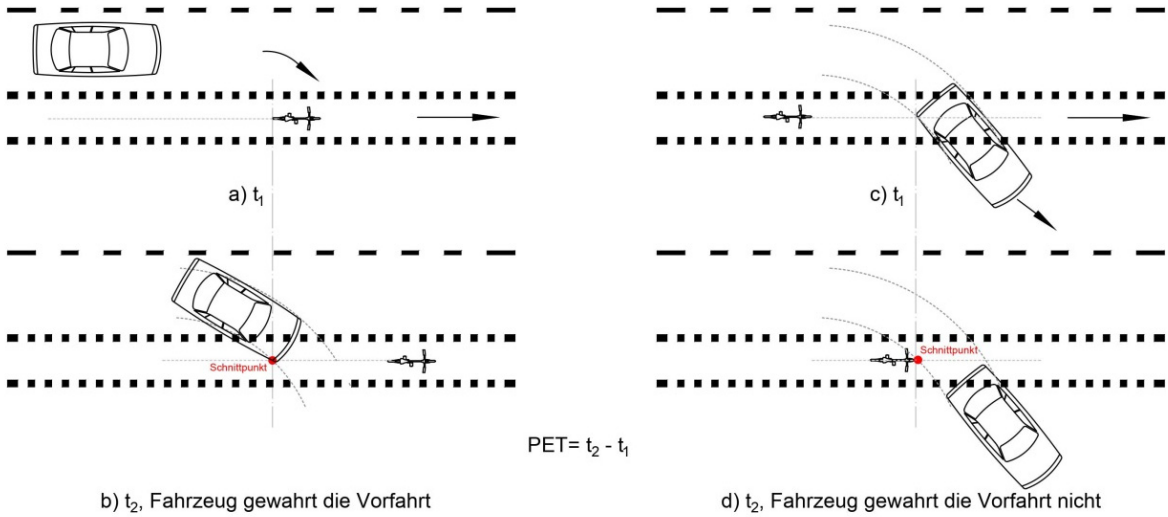



**Abbildung 4.3: Skizze zur Messung von PET (Schnittpunkt in Rot gekennzeichnet)**

**Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)** (Beobachtung)

Analog zu Interaktionen wird auch die Beeinflussung von ruhendem Verkehr in vier Schwerestufen gegliedert:

- Normalverhalten: Rad- und E-Tretrollerfahrende ändern ihren Bewegungsverlauf nicht;
- „positive“ Reaktion: Rad- und E-Tretrollerfahrende verlangsamen ihre Geschwindigkeit oder weichen bei der Annäherung geringfügig/ allmählich aus (ohne plötzliches Verhalten);
- Behinderung Stufe I (B I): leichte bis mittelstarke Behinderungen gekennzeichnet durch deutlich ausgeprägtes/ plötzliches Ausweichmanöver sowie Geschwindigkeitsreduzierung der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden;
- Behinderung Stufe II (B II): stärkere Behinderungen gekennzeichnet durch Anhalten, Absteigen bzw. Abspringen von Rad- und E-Tretrollernutzenden;

**Aufstellverhalten** (Beobachtung)

Bei dem Aufstellverhalten wird zuerst allgemein bezüglich der **Akzeptanz von aufgeweiteten Radaufstellstreifen** beobachtet, ob sich die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden

- innerhalb von Radaufstellstreifen oder auf zuführenden Radverkehrsstreifen aufstellen;
- deutlich außerhalb von Radaufstellstreifen (mehr als 1 m) aufstellen;
- andere Verkehrsflächen für das Aufstellen (z.B. Gehweg/ Fußgängerfurt) nutzen;

Angesichts der Position des Aufstellens benutzten die Radfahrenden bei den untersuchten Fallbeispielen überwiegend den rechten Randbereichen für das Aufstellen (Angenendt et al. 2005). Für den Forschungszweck wird beurteilt, ob die nachfolgend ankommenden geradeaus oder rechtsabbiegenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden die aufgeweiteten Radaufstellstreifen infolge der bereits aufgestellten Fahrzeuge nicht nutzen können oder wegen des eigenen Aufstellverhaltens nicht wollen. Dabei können zwei Aufstellverhalten unterschieden werden (Tabelle 4.15). Zum einen stellen sich die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden hintereinander auf den zuführenden Radverkehrsstreifen, obwohl sie problemlos an die aufgeweiteten Radaufstellstreifen fahren und sich dort aufstellen könnten. Zum anderen versuchen die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden sich voran an die aufgeweiteten Radaufstellstreifen aufzustellen, obwohl sie dadurch andere Rad- und E-Tretrollerfahrende beeinträchtigen. Dabei wird das **Aufstellverhalten von später ankommenden geradeaus und rechtsabbiegenden Rad-/ E-Tretrollerfahrenden** und deren mögliche Beeinflussung auf andere untersucht.

**Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen** (Messung, Zählung)

Bei der Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen wird ausgewertet, in welchem Maß die aufgeweiteten Radaufstellstreifen besonders in der Breitenausdehnung vom Fahrbahnrand aus benutzt werden. Eine Auswertung der genutzten Aufstellfläche der aufgeweiteten Radaufstellstreifen ist mit der Anzahl der ankommenden Fahrzeuge jeder Umlaufzeit und Staulänge an den zuführenden Radverkehrsstreifen zusammen zu berücksichtigen.

Die Auswertung der Erreichbarkeit von aufgeweiteten Radaufstellstreifen orientiert sich an den Kriterien aus den Interaktionen mit Kfz sowie an der Beeinflussung durch ruhenden Verkehr bei Parkständen.

**Auswahl der Routen beim Linksabbiegen** (Beobachtung)

Abbildung 4.4 skizziert die Routen beim Linksabbiegen. Route ① und Route ② stellen jeweils das direkte und indirekte Linksabbiegen gemäß ERA 2010 dar. Bei der Route ③ werden Fußgängerfurten genutzt. Falls die aufgeweiteten Radaufstellstreifen vorhanden sind, können Rad- oder E-Tretrollerfahrende die aufgeweiteten Radaufstellstreifen zum direkten Linksabbiegen nutzen (Route ⑩).

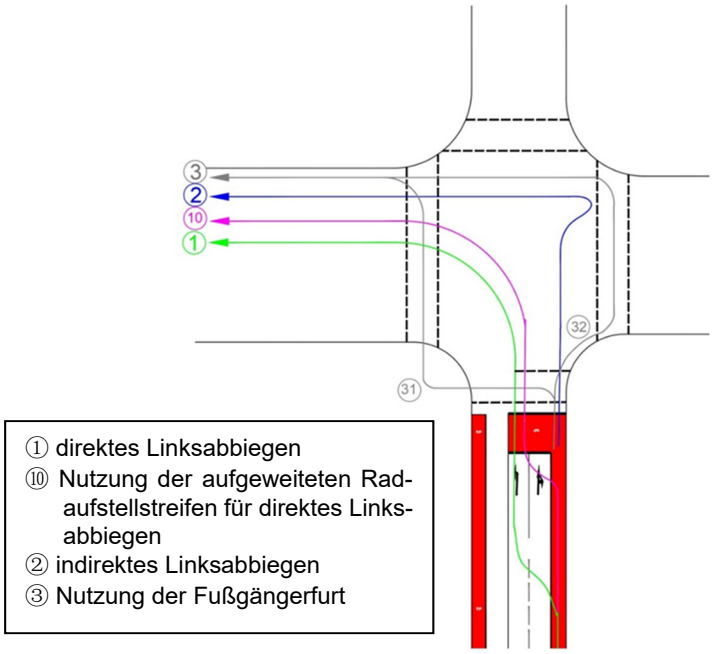



**Abbildung 4.4: Skizze der Routen für das Linksabbiegen**

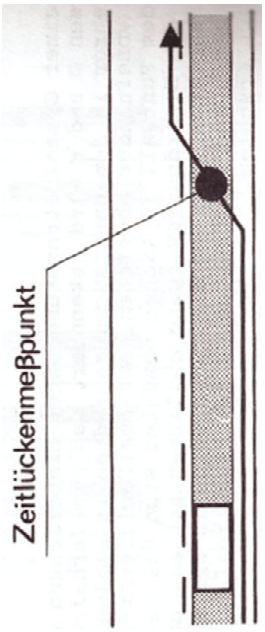



**Abbildung 4.5: Skizze zur Zeitlückenmessung (ANGENENDT 1984)**

**Tabelle 4.15: Übersicht der Aufstellverhalten, Beeinträchtigungsmöglichkeit sowie Anzahl und Typen aufgestellter Fahrzeuge an aufgeweiteten Radaufstellstreifen (ARAS)**

| Verhalten von geradeaus und rechtsabbiegenden Rad- /E-Tretroller-Fahrenden | Beeinträchtigungsmöglichkeit |
|---|---|
| • Aufstellen voran an die ARAS<br>• Aufstellen in ARAS im hinteren Bereich<br>• Aufstellen an zuführenden Radverkehrsstreifen | (1) **ARAS reibungslos zu erreichen**: ausreichender Platz für das Vorranfahren zu ARAS<br>(2) **ARAS kaum zu erreichen:** „Vordrängeln“ zwischen aufgestellten Fahrzeugen mit z.B. Geschwindigkeitsreduzierung<br>(3) **ARAS schwierig zu erreichen**: deutliche Störung anderer aufgestellter Fahrzeuge |

**Einordnungsvorgänge beim direkten Linksabbiegen** (Beobachtung, Messung)

Die Einordnungsvorgänge werden durch die Position vor dem Knotenpunkt, das Verhalten beim Einordnen (Umsehen/Handzeichen) und die Zeitlücken zwischen den sich einordnenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden und dem annähernden Kfz bewertet.

Die Position der Einordnungsvorgänge vor dem Knotenpunkt wird dort gekennzeichnet, wo die linksabbiegenden Rad- oder E-Tretroller die Radverkehrsanlagen vor dem Knotenpunkt zum Einordnen verlassen. Für das Verhalten bei der Einordnung wird beurteilt, ob sich die Rad- oder E-Tretrollernutzenden umsehen oder Handzeichen geben. Die Zeitlücke beschreibt eine Zeitspanne, wo die sich einordnenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden den Schnittbereich verlassen und die darauffolgenden Kfz den Schnittbereich erreichen. Es ist auszuwerten, ob Pedelecfahrende eine kleinere Zeitlücke einnehmen als Fahrradfahrende. In Anlehnung von ANGENENDT (1984) bezieht sich der Schnittbereich bei der Zeitlückenmessung auf die Mittelachse der Kfz-Bewegungsbänder (Abbildung 4.5). Die von Rad- und E-Tretrollernutzenden angenommen Zeitlücken kleiner als 5 s sind von großer Bedeutung und werden ausführlicher analysiert.

Bei der Auswertung werden sieben Typen von Fahrzeugen behandelt, nämlich Fahrrad mit oder ohne Anhänger, Pedelec mit oder ohne Anhänger, Lastenrad mit oder ohne Elektroantrieb und E-Tretroller. Neben der Geschwindigkeit und der Position werden andere Bewertungskriterien (z.B. Verkehrsflächenwahl, Interaktionen) in einem prozentualen Anteil dargestellt. Fahrrad mit Anhänger, Pedelec mit Anhänger und Lastenrad ohne Elektroantrieb tauchen nur im Einzelfall auf. Eine prozentuale Statistik ist für diese Einzelfälle nicht zielführend. Für solche Bewertungskriterien werden nur grobe Unterteilungen (Fahrrad, Pedelec, Lastenrad und E-Tretroller) betrachtet.

Die obengenannten Bewertungskriterien und betreffenden Themen werden in Tabelle 4.16 zusammengestellt.

### 4.5.3 Ausgewählte Strecken und Knotenpunktzufahrten

Für die Auswahl der Strecken und Knotenpunktzufahrten kommt nicht nur ein einzelner Einflussfaktor infrage. Hierbei werden alle relevanten Einflussfaktoren zusammengeführt und dadurch die entsprechenden Strecken und Knotenpunktzufahrten ausgesucht. Um eine Übersicht zu geben, werden die Messgrößen und Messmethoden gemäß Empfehlungen für Verkehrserhebungen (EVE) (FGSV 2012b) einbezogen. Die ausführliche Beschreibung der Strecken oder Knotenpunktzufahrten ist dem Anhang 17 zu entnehmen.

**1 Breiten von Radverkehrsanlagen** (Tabelle 4.17)

Für die Breite von Radverkehrsanlagen spielen die unterschiedlichen Führungsformen eine maßgebende Rolle. Dabei werden drei Strecken jeder Führungsform (abgesehen vom Einrichtungsradweg) mit drei Breitenklassen nach Tabelle 4.5 ausgewählt. Da die Breite der Radverkehrsanlagen mit den anderen Fragestellungen zusammenhängt, werden mehr Einrichtungsradwege in Betracht gezogen. Außerdem fließen Grundstückszufahren und deren Frequentierung in die Bewertung ein. Eine Differenzierung der Frequenz von Grundstückzufahrten für jede Führungsform ist kaum möglich.

**2 Trennung zwischen Geh- und Radweg** (Tabelle 4.18)

Zur Diskussion der Auswirkung zwischen Geh- und Radweg ist die Breite des angrenzenden Gehwegs mit der Fußverkehrsstärke sowie die Trennungsform zu berücksichtigen. Daher werden bei den Abtrennungen mit Pollern und Farb-/Materialunterschied zwei Niveaus der Gehwegbreite verglichen. Bei den ausgewählten Strecken befinden sich z.B. Schulen oder Hochschulen, was zu einem kurzfristigen hohen Fußverkehrsaufkommen in den Spitzenstunden führt. Während der Corona-Pandemie hat die Fußverkehrsstärke an solchen Strecken infolge der Schließung von Schulen oder Hochschulen auch deutliche Schwankungen. Die zeitliche Schwankung bedingt die Aussage für die Auswertung, dass eine unterschiedliche Fußverkehrsstärke bei ähnlichen Bemessungsmerkmalen vorkommt.

**3 Breite von Sicherheitstrennstreifen** (Tabelle 4.19)

Zur aussagekräftigen Analyse der Auswirkung von Sicherheitstrennstreifen sollten die Radverkehrsanlagen mit den gleichen Führungsformen und demselben Niveau der Breitenangaben ausgesucht werden, damit diese vergleichbar sind. Beim Sicherheitstrennstreifen zum ruhenden Verkehr wird im All-

gemeinen die Führungsform auf der Fahrbahn (Schutz- und Radfahrstreifen) und im Seitenraum (Radweg) getrennt betrachtet. So werden die Strecken ohne Parken als Referenz betrachtet und die Strecken mit Parkständen ohne Sicherheitstrennstreifen einbezogen. Außerdem ist die Frequenz von Parkvorgängen für die Analyse der Beeinflussung durch ruhenden Verkehr von Bedeutung.

**Tabelle 4.16: Zusammenstellung der Bewertungskriterien und Messgrößen für Videobeobachtung**

| Fragestellungen / Bewertungskriterien und Messgröße | | Entwurfselemente | | | | | | Führung an Strecken | | Führung an Knotenpunkten | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 Breite von Radverkehrsanlagen | 2 Trennung zwischen Geh- und Radweg | 3 Breite von Sicherheitstrennstreifen | 4 Längsneigung | 5 Kurvenbereich | 6 Aufstellmöglichkeiten | 7 Führung mit Fußverkehr | 8 Duale Führungsform | 9 Zwischenzeit (Einfahrzeit) | 10 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) | 11 Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) |
| S/K | Verkehrsflächenwahl | x | | x | x | x | | | x | | | |
| S/K | Geschwindigkeit | x | | x | x | x | | x | | x | | |
| S | Positionswahl (alleinig) an Radverkehrsanlagen | x | x | x | x | (x) | | | | | | |
| S | Nebeneinanderfahren | x | | x | x | | | | | | | |
| S | Seitliche Schwankung bergauf | | | | x | | | | | | | |
| S | Interaktion zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden | | | | | | | | | | | |
| S | Begegnung mit engem Seitenabstand (KS) $x_{B,Rad}$ und Behinderung (B) | x | | | | | | | | | | |
| S/K | Interaktion mit Kfz | | | | | | | | | | | |
| S/K | mit Kfz im Längsverkehr: Überholabstand (KS) $x_{ü,Kfz}$ | x | | x | | | | | x | | x | |
| S/K | mit ab- und einbiegenden Kfz (B) | (x) | | | | | | | | | x | |
| S | Interaktion mit zu Fuß Gehenden | | | | | | | | | | | |
| S | mit engem Seitenabstand (KS) $x_{ü,Fuß}$ und Behinderung (B) | | x | x | x | | | x | | | | |
| S | Überholen zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden | | | | | | | | | | | |
| S | Anzahl der Überholvorgänge/ des Überholbedarfs | x | | x | x | | | | | | | |
| S | Überholabstand $x_{ü,Rad}$ | x | | x | x | | | | | | | |
| S | Position von überholenden und überholten Rädern oder E-Tretrollern | x | | x | x | | | | | | x | |
| K | Post-Encroachment-Time (PET) | | | | | | | | | | x | |
| S/K | Beeinflussung vom ruhenden Verkehr an Parkständen | | | x | | | x | | | | | |
| K | Aufstellverhalten | | | | | | | | | | | |
| K | Akzeptanz von aufgeweiteten Radaufstellstreifen | | | | | | x | | | | | |
| K | Verhalten von nachfolgend ankommenden Rad-/ E-Tretrollerfahrenden | | | | | | x | | | | | x |
| K | Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen | | | | | | x | | | | | |
| K | Auswahl der Routen des Linksabbiegens | | | | | | | | | | | x |
| K | Einordnungsvorgänge beim direkten Linksabbiegen | | | | | | | | | | | |
| K | Position der Einodnungsvorgänge | | | | | | | | | | | x |
| K | Verhalten beim Einordnen | | | | | | | | | | | x |
| K | Zeitlücken | | | | | | | | | | | x |
| | Kfz-Verkehrsbelastung | Als verkehrliche Rahmenbedingung wird Verkehrsbelastung je nach dem Forschungszweck generell gezählt | | | | | | | | | | |
| | Radverkehrsbelastung (auch E-Tretroller) | | | | | | | | | | | |
| | Fußverkehrsbelastung | | | | | | | | | | | |

S: streckenbezogen/ K: knotenpunktbezogen

## 4 Längsneigung (Tabelle 4.20)

Da die Führungsform und die Breite von Radverkehrsanlagen das Verhalten von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden (z.B. Geschwindigkeit) beeinflussen können, werden versuchsweise Radverkehrsanlagen mit verschiedener Längsneigung, aber mit derselben Führungsform und demselben Niveau der Breite ausgewählt. Aus diesem Grund werden alle Strecken mit einer vorhandenen Radwegführung ausgewählt. Abgesehen von der Strecke Emser Brücke bergab liegt die Breite der Strecken bei ca. 1,50 m.

**Tabelle 4.17: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Breite von Radverkehrsanlagen“**

| Thema | Einflussfaktoren[13] | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Breite von Radverkehrsanlagen | **1.1 Breite von Radverkehrsanlagen**<br>**1.8 Art der Radverkehrsführung**<br>1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen: ≥ 2,75 m<br>3.1 Dichte und Häufigkeit der Grundstückszufahrten | Beobachtung | ▪ Verkehrsflächenwahl<br>▪ Begegnng zwischen Rad- und E-Tretrollernutzden<br>▪ Interaktion mit ab- und einbiegenden Kfz |
| | | Messung | ▪ Geschwindigkeit<br>▪ Position (alleinig) an Radverkehrsanlagen<br>▪ Begegnung mit engem Seitenabstand $x_{B,Rad}$<br>▪ Interaktion mit Kfz im Längsverkehr: Überholabstand $x_{ü,Kfz}$<br>▪ Überholabstand zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden $x_{ü,Rad}$<br>▪ Position von überholten und überholenden Rad oder E-Tretrollern |
| | | Zählung | ▪ Neneinanderfahren<br>▪ Anzahl der Überholvorgänge/ des Überholbedarfs |

| Ausgewählte Strecken | 1.8 Art der Radverkehrsführung | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 3.1 Dichte und Häufigkeit der Grundstückszufahrten[1)] |
|---|---|---|---|
| (1) Groß-Gerauer Weg 1 | Schutzstreifen | 1,25 | kein |
| (2) Bismarckstraße 1 | | 1,50 | kein |
| (3) Mainzer Landstraße | | 1,65 | A[14] |
| (4) Goebelstraße 1 | Radfahrstreifen | 1,50 (+ 0,30 Rinne) | B |
| (5) Heidelberger Straße 1 | | 1,85 (+ 0,15 Rinne) | C |
| (6) Heidelberger Straße 2 | | 2,00 (+ 0,15 Rinne) | C |
| (7) Hausener Weg | Einrichtungsradweg | 1,30 | kein |
| (8) Berliner Allee 1 | | 1,48 | B |
| (9) Bockenheimer Landstraße | | 1,50 | kein |
| (10) Heidelberger Straße 3 | | 1,50 | kein |
| (11) Berliner Allee 2 | | 1,50 | kein |
| (12) Goebelstraße 2 | | 1,50 | C |
| (13) Frankfurter Straße | | 1,60 | kein |
| (14) Heidelberger Straße 4 | | 2,10 | kein |
| (15) Rheinstraße 1 | Zweirichtungsradweg | 1,60 | kein |
| (16) Schaumainkai | | 2,50 | kein |
| (17) Deutschherrnufer | | 3,00 | kein |
| (18) Düsseldorfer Straße | geschützter Radfahrstreifen | 1,40 | kein |
| (19) Konrad-Adenauer-Straße | | 1,95 (+ 0,30 Rinne) | kein |
| (20) Rheinstraße 2 | | 2,25 (+0,15 Rinne) | B |

[1)] Die Anzahl/ Häufigkeit der Grundstückfahrten begrenzt sich auf den zu beobachtenden Streckenbereich

**Tabelle 4.18: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Trennung zwischen Geh- und Radweg“**

| Thema | Einflussmerkmale | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Trennung zwischen Geh- und Radweg | 1.1 Breite von Radverkehrsstreifen<br>**1.2 Trennungsform zwischen Geh- und Radweg**<br>**1.10 Breite des angrenzenden Gehwegs**<br>**2.3 Fußverkehrsstärke** | Beobachtung | ▪ Verkehrsflächenwahl<br>▪ Interaktionen mit zu Fuß Gehenden: Behinderung |
| | | Zählung | ▪ Radverkehrsbelastung<br>▪ Fußverkehrsbelastung |
| | | Messung | ▪ Position (alleinig) an Radverkehrsanlagen<br>▪ Interaktion mit zu Fuß Gehenden: Seitenabstand $x_{ü,Fuß}$ |

| Ausgewählte Strecken | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 1.2 Trennungsform zwischen Geh- und Radweg | 1.10 Breite des angrenzenden Gehwegs [m] | 2.3 Fußverkehrsstärke |
|---|---|---|---|---|
| (11) Berliner Allee 2 | 1,50 | Poller (0,75 m zum RW[1)]) | 3,40 | ii ~ i |
| (8) Berliner Allee 1 | 1,45 | Poller (0,75 m zum RW)<br>Farb-/Materialunterschied | 1,80 – 2,00 | iii ~ ii |
| (10) Heidelberger Straße 3 | 1,50 | Farb-/Materialunterschied | 1,50 | ii ~ i |
| (14) Heidelberger Straße 4 | 2,10 | Farb-/Materialunterschied | 2,50 | iii ~ ii |
| (7) Hausener Weg | 1,30 | Weiße Linie (0,15 m breit) | 1,60 | iii |
| (12) Goebelstraße 2 | 1,50 | Pflasterbelag (0,30 m breit) | 2,20 – 2,25 | iii ~ ii |

[1)] RW: Radweg

[13] Die „Haupteinflussfaktoren“ werden in Fett dargestellt.

[14] Die Legenden beziehen sich auf Kapitel § 4.5.1

**Tabelle 4.19: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Breite von Sicherheitstrennstreifen“**

| Thema | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Breite von Sicherheitstrennstreifen | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen<br>**1.3 Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen**<br>1.8 Art der Führungsform<br>1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen: ≥ 2,75 m<br>**1.12 Vorhandensein von Parkständen und Frequenz von Parkvorgängen** | Beobachtung | ▪ Verkehrsflächenwahl<br>▪ Beeinflussung vom ruhenden Verkehr bei Parkständen |
| | | Messung | ▪ Geschwindigkeit<br>▪ Position (alleinig) an Radverkehrsanlagen<br>▪ Überholabstand zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden $x_{ü,Rad}$<br>▪ Position von überholten und überholenden Rad oder E-Tretrollern<br>▪ Interaktion mit Kfz im Längsverkehr: Überholabstand $x_{ü,Kfz}$ |
| | | Zählung | ▪ Nebeneinanderfahren<br>▪ Anzahl der Überholvorgänge/ des Überholbedarfs |

| Ausgewählte Strecken | 1.8 Art der Radverkehrsführung | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 1.3 Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen [m] | | 1.12 Vorhandensein von Parkständen und Frequenz von Parkvorgängen |
|---|---|---|---|---|---|
| (2) Bismarckstraße 1 | Schutzstreifen | 1,50 | zum ruhenden Verkehr | kein | kein |
| (21) Bismarckstraße 2 | | 1,50 | | kein | c |
| (22) Gutleutstraße | | 1,40 | | 0,50 | a |
| (5) Heidelberger Straße 1 | Radfahrstreifen | 1,85 | | kein | kein |
| (6) Heidelberger Straße 2 | | 2,00 | | kein | kein |
| (23) Heidelberger Straße 4 | | 2,00 | | 0,50 | b |
| (24) Gießener Straße | | 1,85 | | 0,75 | b |
| (13) Frankfurter Straße | Einrichtungsradweg | 1,60 | | kein | kein |
| (25) Berliner Allee 2 | | 1,60 | | kein | c |
| (26) Donnersbergring | | 1,60 | | kein | b |
| (27) Stresemannallee 1 | | 1,60 | | 0,75 | b |
| (13) Frankfurter Straße | Einrichtungsradweg | 1,60 | zum fließenden Verkehr | kein | kein |
| (28) Stresemannallee 2 | | 1,60 | | 0,50 | kein |
| (29) Stresemannallee 3 | | 1,60 | | 0,75 | kein |
| (30) Hafentunnel | Radfahrstreifen | 1,85 | | 1,25 | kein |

**Tabelle 4.20: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Längsneigung“**

| Thema | Einflussmerkmale | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Längsneigung | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen<br>**1.4 Längsneigung**<br>1.8 Art der Radverkehrsführung | Beobachtung | ▪ Verkehrsflächenwahl |
| | | Messung | ▪ Geschwindigkeit<br>▪ Position (alleinig) an Radverkehrsanlagen<br>▪ Position von überholten und überholenden Rad oder E-Tretrollern<br>▪ Seitliche Schwankung bergauf<br>▪ Überholabstand zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden $x_{ü,Rad}$ |
| | | Zählung | ▪ Nebeneinanderfahren<br>▪ Anzahl der Überholvorgänge/ des Überholbedarfs |

| Ausgewählte Strecken | 1.8 Art der Radverkehrsführung | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 1.4 Längsneigung |
|---|---|---|---|
| (31) Untermainbrücke | Einrichtungsradweg | 1,50 | ± 3,0 % |
| (32) Pützer Straße | | Bergauf:1,50; Bergab: 1,44 | ± 4,2% |
| (33) Emser Brücke, Rampe zu Lissaboner Str. | | Bergauf: 1,50; Bergab: 1,90 | ± 6,2% - ± 6,5% |

**Tabelle 4.21: Übersicht der ausgewählten Strecken/ Knotenpunktarme für das Thema „Kurvenbereich“**

| Thema | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Kurvenbereichen | ▪ 1.15 Kurvenradius<br>▪ 1.16 Richtungsänderungswinkel | Beobachtung | ▪ Verkehrsflächenwahl |
| | | Messung | ▪ Geschwindigkeit |

| Ausgewählte Strecken/ Knotenpunkte | | 1.15 Kurvenradius [m] | 1.16 Richtungsänderungswinkel [°] |
|---|---|---|---|
| (34) Verschwenkung | Eckenheimer Landstraße | ca. 3,80[1)] | 150 |
| (35) Rechtsabbiegen | Alte Brücke - Sachsenhäuser Ufer | ca. 10,00 | 90 |

[1)] bezogen auf die Mittellinie der Radverkehrsanlagen

**5 Kurvenbereich** (Tabelle 4.21)

Wie vorab besprochen werden die Verschwenkung (stumpfer Winkel mit kleinerem Kurvenradius) und das Rechtsabbiegen (spitzer Winkel mit großzügigerem Kurvenradius) betrachtet. Bei der Verschwenkung wird ein Radweg mit Geländer zum Gehweg ausgewählt, wobei die Geschwindigkeit verschiedener Fahrzeugnutzenden bei derselben Verkehrsfläche ausgewertet werden kann. Beim Rechtsabbiegen wird der Wechsel von Schutzstreifen bis zum Zweirichtungsradweg gewählt. In diesem Fall tauchen verschiedene Trajektorien mit unterschiedlichen Radien je nach Fahrgeschwindigkeit und -fähigkeit auf (grüne Linien in Abbildung 4.6). Dadurch wird ermöglicht, einen Zusammenhang zwischen Kurvenradien und Geschwindigkeit herzustellen.

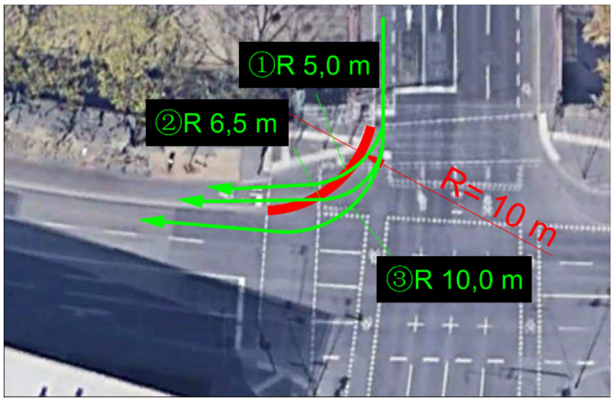



**Abbildung 4.6: Skizze der rechtsabbiegen Trajektorie bei einem Rechtsabbiegen mit 10 m Radius**

**6 Aufstellmöglichkeiten** (Tabelle 4.22)

Zur Untersuchung der Aufstellmöglichkeiten werden zum Knotenpunkt hinführende Radverkehrsstreifen und aufgeweitete Radaufstellstreifen getrennt betrachtet. Die Gestaltung der hinführenden Radverkehrsstreifen beeinflusst die Zugänglichkeit von aufgeweiteten Radaufstellstreifen. Dabei spielen die Breite und Länge der hinführenden Radverkehrsanlagen eine wichtige Rolle. Ebenfalls wird auch wie an Strecken das Vorhandsein von Parkständen und die Frequentierung von Parkflächen berücksichtigt. Die Bemessung (Länge und Breite) von aufgeweiteten Radaufstellstreifen stellt direkt ihre Nutzungsmöglichkeit dar. Selbstverständlich hängt die Nutzung von der Radverkehrsstärke ab.

**7 Führung mit dem Fußverkehr** (Tabelle 4.23)

Gemäß ERA 2010 und VwV-StVO ist eine Mindestbreite von 2,50 m vorgeschrieben. Dabei werden mehrere Strecken mit 2,50 m Breite untersucht. Zur Bemessung der Gehwegbreite mit Freigabe für den Radverkehr spielt die Belastung des Rad- und Fußverkehrs eine Rolle. Dabei werden bei demselben Breitenniveau verschiedene Belastungsklassen betrachtet. Natürlich können die Belastungen in der Hauptverkehrs- und Nebenverkehrszeit deutlich variieren. Dies wird durch den Beobachtungszeitraum abgedeckt.

Zudem wirkt sich die Führungsform auf die Verkehrsflächenwahl der Radfahrenden aus. Dabei können z.B. Pedelecs eher die Fahrbahn befahren und die Interaktionen sowie kritische Situationen zwischen Pedelecfahrenden und zu Fuß Gehenden minimiert werden.

**8 Duale Führungsformen** (Tabelle 4.24)

Bei der dualen Führungsform wirkt sich die Führungsform auf der Fahrbahnseite deutlich auf die Verkehrsflächenwahl aus. Außerdem haben die vorhergehenden Führungen auch Einfluss auf die Verkehrsflächenwahl, da Rad- oder E-Tretrollernutzende nicht die Führungsform wechseln möchten. In der Forschung wurde bestätigt, dass Radfahrende bei Vorhandensein von Schutzstreifen eher die Fahrbahn befahren. Dabei werden mehr Strecken ohne Schutzstreifen auf der Fahrbahn ausgewählt. Darüber hinaus spielen die Breite von Radverkehrsanlagen, die Anzahl der Fahrstreifen und die Kfz-Ver-

kehrsbelastung auch eine Rolle. Je schmaler die Radverkehrsanlagen, je geringer die Anzahl der Fahrstreifen und je schwächer die Kfz-Verkehrsbelastung sind, desto eher fahren die Radfahrenden im Seitenraum. Deswegen werden die drei Faktoren als „Rahmenbedingungen“ zufällig kombiniert.

**Tabelle 4.22: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Aufstellmöglichkeiten“**

| Thema | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Aufstellmöglichkeiten | **1.1 Breite von Radverkehrsanlagen**<br>**1.7 Länge und Breite von aufgeweiteten Radafstellstreifen**<br>1.8 Art der Radverkehrsführung<br>**1.9 Länge von Radverkehrsanlagen**<br>1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen: ≥ 2,75 m<br>1.12 Vorhandensein von Parkständen und Frequenz von Parkvorgängen<br>2.2 Radverkehrsstärke | Beobachtung | ▪ Beeinflussung vom ruhenden Verkehr bei Parkständen<br>▪ Aufstellverhalten |
| | | Messung | ▪ Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen (mit Messung der Länge an zuführenden Radverkehrsstreifen) |

| Ausgewählte Knotenpunktzufahrt | 1.8 Art der Radverkehrsführung | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 1.7 Länge von Radverkehrsanlagen [m] |
|---|---|---|---|
| (36) Kaiserstraße (KP[1]: Kaiserstraße - Roßmarkt) | Schutzstreifen | 1,25 (+ 0,50 m Sicherheitstrennstreifen) | 25 |
| (37) Kornmarkt Süd (KP: Kornmarkt – Berliner Str.) | Schutzstreifen | 1,50 | durchgehend |
| (38) Kornmarkt Nord (KP: Kornmarkt – Berliner Str.) | Schutzstreifen | 1,50 (+ 0,50 m Sicherheitstrennstreifen) | 40 |
| (39) Pützer Straße 2 (KP: Pützer Straße – Landgraf-Georg-Str.) | Radfahrstreifen | 2,00 - 2,50 | durchgehend |

| Ausgewählte Knotenpunktzufahrt | 1.8 Vorhandensein von Parkständen und Frequenz von Parkvorgängen | 1.12 Länge und Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen [m] | 2.2 Radverkehrsstärke |
|---|---|---|---|
| (36) Kaiserstraße (KP: Kaiserstraße - Roßmarkt) | c | Länge: 4,00<br>Breite: über die gesamte Breite eines Fahrstreifens (5,00) | 3 |
| (37) Kornmarkt Süd (KP: Kornmarkt - Berliner Str.) | kein | Länge: 3,00<br>Breite: über die gesamte Breite eines Fahrstreifens (4,50) | 1 |
| (38) Kornmarkt Nord (KP: Kornmarkt - Berliner Str.) | a | Länge: 5,00<br>Breite: über einen Teil des Fahrstreifens (4,25) | 2 |
| (39) Pützer Straße 2 (KP: Pützer Straße – Landgraf-Georg-Str.) | kein | Länge: 2,50<br>Breite: über mehrere Richtungsfahrstreifen (15,00) | 2 |

[1] KP: Knotenpunkt

**Tabelle 4.23: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Führung mit dem Fußverkehr“**

| Thema | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Führung mit dem Fußverkehr | **1.1 Breite von Radverkehranlagen**<br>1.8 Art der Radverkehrsführung<br>**2.2 Radverkehrsstärke**<br>**2.3 Fußverkehrsstärke** | Beobachtung | ▪ Interaktion mit zu Fuß Gehenden im Längsverkehr und Querrichtung: Behinderung |
| | | Messung | ▪ Geschwindigkeit<br>▪ Interaktion mit zu Fuß Gehenden im Längsverkehr: Seitenabstand $x_{ü,Fuß}$ |
| | | Zählung | ▪ Radverkehrsbelastung<br>▪ Fußverkehrsbelastung |

| Ausgewählte Strecken | 1.8 Art der Radverkehrsführung | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 2.2 Radverkehrsstärke | 2.3 Fußverkehrsstärke |
|---|---|---|---|---|
| (40) Kasinostraße | Gehweg „Radfahrer frei“ | 2,10 (2,60)[1] | 2 | iii ~ ii |
| (41) Groß-Gerauer Weg | | 2,50 (3,10)[1] | 3 ~ 2 | iii |
| (42) Am Kavalleriesand | Gemeinsamer Geh- und Radweg | 2,80 | 2 | ii ~ i |
| (43) Rheinstraße 3 | | 4,00 | 1 | ii ~ i |
| (44) Rheinstraße 4 | | 5,50 | 1 | iii ~ ii |

[1] An den Strecken werden Poller mit einem 0,50 - 0,60 m Abstand zur Bordsteinkante installiert. Die Werte außerhalb der Klammer beschreiben die „effektive“ Breite nach Abzug des Abstands zwischen Poller und Bordsteinkante

## 9 Zwischenzeit (Einfahrzeit) (Tabelle 4.25)

Die Signalisierung des Radverkehrs nimmt Einfluss auf das Einfahrverhalten. Für das Thema ist ein Worst-Case-Szenario mit der schnellsten Einfahrgeschwindigkeit zu betrachten wie vorab besprochen. Daher steht eine Signalisierung mit Kfz-Verkehr im Fokus. Daneben hat auch die Längsneigung einen deutlichen Einfluss auf die Einfahrgeschwindigkeit. Die Auswirkung der Längsneigung ist vom Thema „Längsneigung“ übertragbar.

**Tabelle 4.24: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Duale Führungsformen“**

| Thema | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| duale Führungsformen | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen<br>**1.8 Art der Radverkehrsführun**<br>1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen<br>2.1 Kfz-Verkehrsbelastung (DTV) | Beobachtung | ▪ Verkehrsflächenwahl |
| | | Messung | ▪ Interaktion mit Kfz im Längsverkehr: Überholabstand |

| Ausgewählte Strecken | 1.8 Art der Radverkehrsführung | | | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen | 2.1 Kfz-Verkehrsbelastung (DTV) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Seitenraum | Fahrbahn | vorhergehende Führung | | | |
| (40) Kasinostraße | Gehweg „Radfahrer frei“ | MV[1] ohne Piktogramm | Radweg | 2,10 (2,60) | 2 | III |
| (41) Groß-Gerauer Weg | | MV mit Piktogramm | Mischverkehr | 2,50 (3,10) | 2 | II |
| (7) Hausener Weg | Einrichtungsradweg | MV mit Piktogramm | Radweg | 1,30 | 1 | I |
| (8) Berliner Allee 1 | | MV mit Piktogramm | Radweg | 1,45 | 1 | II |
| (9) Bockenheimer Landstraße | | MV ohne Piktogramm | Radfahrstreifen | 1,50 | 1 | II |
| (10) Heidelberger Straße 3 | | MV ohne Piktogramm | Radweg | 1,50 | 3 | III |
| (22) Gutleutstraße | | Schutzstreifen | Radfahrstreifen | Schutzstreifen:1,40<br>Radweg: 1,20 | 1 | I |
| (32) Pützer Straße | | MV mit Piktogramm | Radweg | Bergauf:1,50<br>Bergab:1,44 | 1 | II |

[1] MV: Mischverkehr

**Tabelle 4.25: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Zwischenzeit (Einfahrzeit)“**

| Thema[1] | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Zwischenzeit (Einfahrzeit) | 1.15 Signalisierung des Radverkehrs | Messung | ▪ Geschwindigkeit |
| **Ausgewählte Knotenpunktzufahrten** | | **1.15 Signalisierung von Radverkehr** | |
| (45) Neckarstr. (KP: Neckarstr.- Hügelstr.) | | Signalisierung mit Kfz-Verkehr | |

[1] Für das Thema wird der Beobachtungszeitraum am Vormittag ausgewählt

## 10 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) (Tabelle 4.26)

Für die Fragestellung werden generell drei Situation betrachtet.

Zuerst werden die „normalen“ Knotenpunktzufahrten (ohne Radfahrstreifen in Mittellage oder Dreiecksinseln) untersucht. Dabei kommen die Führungsformen mit mittlerer Furtabsetzung zum Einsatz, da diese Gestaltung eine höhere Unfallrate aufzeigt.

Anschließend kommen die Knotenpunktzufahrten mit Radfahrstreifen in Mittellage und Dreiecksinseln infrage. Dabei ist die Breite sowie Länge von Radverkehrsanlagen von Bedeutung. Die Breite beeinflusst den Überholabstand durch Kfz-Verkehr und die Länge beeinflusst die Verflechtungsvorgänge.

Darüber hinaus werden noch zwei zusätzliche Fälle berücksichtigt. Einer umfasst die Zusammenführung von Fußgängerüberwegen und einer Radverkehrsfurt bei einem gemeinsamen Geh- und Radweg in Verbindung mit Dreiecksinseln. Diese Gestaltungsform wurde von den ERA 95 empfohlen und in den ERA 2010 weggenommen. Allerdings wird sie in der Praxis oft eingesetzt. Der andere Fall definiert eine Knotenpunktzufahrt als eine Unfallhäufungsstelle bezüglich des Kfz- und Radverkehrsaufkommens.

## 11 Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) (Tabelle 4.27)

Die Einordnungsvorgänge werden schwerpunktmäßig ausgewertet. Je größer die Anzahl der zu querenden Fahrstreifen, je höher die Kfz-Verkehrsstärke, desto mehr Rad- oder E-Tretrollernutzende wählen das indirekte Linksabbiegen. Daher sind die Anzahl der zu überquerenden Fahrstreifen und die geradeaus Kfz-Verkehrsbelastung für die Auswahl des direkten Linksabbiegens von großer Bedeutung.

**Tabelle 4.26: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)“**

| Thema | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) | **1.1 Breite von Radverkehrsanlagen**<br>**1.8 Art der Radverkehrsführun**<br>**1.9 Länge von Radverkehrsanlagen**<br>1.10 Breite angrenzender Fahrstreifen: ≥ 2,75 m<br>1.14 Knotenpunktart<br>1.16 Vorhandensein von Dreiecksinseln | Beobachtung | ▪ Interaktion mit ab- und einbiegenden Kfz: Achtung der Vorfahrt<br>▪ Interaktion mit ab- und einbiegenden Kfz: Behinderung |
| | | Messung | ▪ Interaktion mit Kfz im Längsverkehr: Überholabstand $x_{ü,Kfz}$<br>▪ PET |

| Ausgewählte Knotenpunktzufahrten | 1.8 Art der Radverkehrsführung | 1.1 Breite von Radverkehrsanlagen [m] | 1.9 Länge von Radverkehrsanlagen [m] | 1.14 Knotenpunktart | 1.16 Vorhandensein von Dreiecksinseln |
|---|---|---|---|---|---|
| (46) Heidelberger Str. 5 (KP:Neckarstr.- Sandstr.) | Radweg mit Furtabsetzung | 1,50 | - | mit Vorfahrtsregeln | ohne Dreiecksinseln |
| (47) Neue Mainzer Str. (KP: Willy-Brandt-Platz) | Radfahrstreifen in Mittellage | 2,10 | 100 | mit Lichtsignalanlagen | ohne Dreiecksinseln |
| (45) Neckarstr. (KP: Neckarstr.- Hügelstr.) | Radfahrstreifen | 1,50 | 40 | mit Lichtsignalanlagen | Dreiecksinsel ohne Lichtsignalanlagen |
| (48) Taunusanlagen (KP: Tanusanlagen -Junghofstr.) | Radfahrstreifen in Mittellage | 2,10 | 95 | mit Lichtsignalanlagen | Dreiecksinsel mit Lichtsignalanlagen |
| (49) Pallaswiesenstr. (KP:Pallaswisenstr.- Kasinostr.) | Gemeinsame Geh- und Radweg mit Furtabsetzung | 2,00 | - | mit Lichtsignalanlagen | Dreiecksinsel ohne Lichtsignalanlagen |
| (50) Dieburger Str. (KP: Dieburger Str.-Pützer Str.)[1)] | Radweg ohne Furtabsetzung | 1,50 | - | mit Lichtsignalanlagen | ohne Dreiecksinseln |

[1)] Unfallhäufungsstelle

**Tabelle 4.27: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)“**

| Thema | Einflussfaktoren | Verkehrserhebung | |
|---|---|---|---|
| | | Methode | Messgröße |
| Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) | **1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen**<br>1.14 Knotenpunktart<br>**2.1 Kfz-Verkehrsbelastung (DTV)** | Beobachtung | ▪ Auswahl der Routen des Linksabbiegens<br>▪ Position der Einordnungsvorgänge<br>▪ Verhalten beim Einordnen<br>▪ Zeitlücken |

| Ausgewählte Knotenpunktzufahrten | 1.13 Anzahl der (zu überquerenden) Fahrstreifen[1)] | 1.14 Knotenpunktart | 2.1 Kfz-Verkehrsbelastung (DTV) |
|---|---|---|---|
| (51) Heinheimer Str. (KP: Heinheimer Str.- Liebfrauenstr.) | 0 | Knotenpunkt mit Vorfahrtsregeln | I |
| (52) Elisabethenstr. (KP:Platz der Republik) | 1 | Knotenpunkt mit Lichtsignalanlagen | II |
| (53) Taunusanlage 2 (KP: Taunusanlage - Mainzer Landstraße) | 2 | Knotenpunkt mit Lichtsignalanlagen | III |
| (54) Friedrich-Ebert-Anlagen (KP: Platz der Republik) | 2 | Knotenpunkt mit Lichtsignalanlagen | III |

[1)] Für das Thema ist die Anzahl der **zu überquerenden** Fahrstreifen für geradeausfahrende Kfz gemeint

# 5 Ergebnisse der Unfallanalyse

## 5.1 Allgemeines

Insgesamt wurden innerorts 4196 Unfälle mit Fahrrädern und 277 Unfälle mit Pedelecs zwischen 2017 und 2019 in der EUSka-Datenbank registriert. Von den Pedelecunfällen wurden drei Unfälle mit dem Lastenrad erfasst. Die drei Unfälle sind für eine statistische Betrachtung nicht aussagekräftig, daher wurden diese mit den Pedelecunfällen zusammengefasst.

Die Hälfte der Unfälle mit Fahrrädern und 56% der Unfälle mit Pedelecs geschahen an Knotenpunkten. 48% bzw. 43% der Unfälle wurden auf Streckenabschnitten aufgenommen und 1-2% der Unfälle wurden auf Parkplätzen erfasst (Tabelle 5.1).

In Anhang 9 werden die Ergebnisse der Unfallauswertung tabellarisch und bildlich dargestellt.

**Tabelle 5.1: Verteilung der Unfälle nach der Örtlichkeit**

| | | Fahrrad | | Pedelec | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Knoten-punkt** | Kreuzung | 2095 (50%) | 1050 | 155 (56%) | 78 |
| | Einmündung | | 914 | | 67 |
| | Kreisverkehr | | 131 | | 10 |
| **Strecken** | | 2020 (48%) | | 118 (43%) | |
| **Auf Parkplätzen** | | 81(2%) | | 4 (1%) | |

## 5.2 Verkehrsflächen der Unfallstelle

In Abbildung A9.1 zeigt sich eine Übersicht der Verkehrsflächen, an denen die Unfälle geschahen, ausgenommen Parkplätze. Bei der Fahrbahnführung im Mischverkehr sind am meisten Unfälle zu verzeichnen. Hier weisen die Unfälle mit dem Fahrrad einen deutlich höheren Anteil (60%) auf als die Unfälle mit dem Pedelec (50%). Jedoch ist der **Anteil** von **Unfällen an Radwegen mit dem Pedelec höher**. Dies wird besonders am Zweirichtungsradweg deutlich. Generell geschahen, unabhängig des Antriebs, fast 10% der Unfälle an Gehwegen, die nicht für den Radverkehr freigegeben sind.

Anschließend wird betrachtet, inwieweit das Unfallgeschehen mit der ordnungswidrigen Nutzung der Verkehrsflächen durch Radfahrende zusammenhängt (Abbildung A9.2). Die ordnungswidrige Nutzung wird durch die Nutzung der nicht vorgeschriebenen Verkehrsflächen oder durch die Nutzung der Verkehrsflächen in falscher Richtung gekennzeichnet. Generell liegt der Anteil der regelwidrig genutzten Flächen im Seitenraum im Einrichtungsbetrieb höher als auf der Fahrbahnseite. Wenn die Unfälle mit dem Fahrrad und Pedelec getrennt betrachtet werden, weisen die Unfälle mit dem Pedelec einen deutlich höheren Anteil der regelwidrigen Nutzung an Schutzstreifen (17%) auf als die Unfälle mit dem Fahrrad (8%). Dagegen sind die Unfälle mit dem Fahrrad bei der ordnungswidrigen Nutzung am Einrichtungsradweg (29%) gegenüber dem Pedelec (23%) häufiger. Außerdem liegt der Prozentsatz der regelwidrigen Nutzung an Radfahrstreifen und Gehwegen mit Freigabe für den Radverkehr im Einrichtungsbetrieb höher. Unter Berücksichtigung der Verteilung des Unfallgeschehens auf verschiedene Verkehrsflächen ist festzulegen, dass **die Unfälle mit Fahrrädern häufiger durch regelwidrige Verkehrsflächennutzung verursacht werden als mit Pedelecs**.

Allerdings hat eine reine Betrachtung der Verkehrsflächen für das Unfallgeschehen wenig Aussagekraft. Im Folgenden wird die Verkehrsflächennutzung in die Unfallauswertung der anderen Merkmale integriert. Um eine übersichtliche Betrachtung der Verkehrsflächen in der folgenden Auswertung zu ermöglichen, wird der „Gehweg mit Freigabe für den Radverkehr“ je nach den Freigabe-Richtungen in Einrichtungsradweg sowie Zweirichtungsradweg zugeordnet. Basierend auf dieser Tatsache sind die Unfälle mit dem Fußverkehr nicht maßgebend.

## 5.3 Charakteristik der Unfallstelle

Die Charakteristik der Unfallstelle gehört zu einer detaillierten Unfallerfassung und beschreibt die baulichen Merkmale der Stellen, an denen im Straßennetz ein höheres Unfallrisiko auftreten könnte.

Tabelle A9.1 zeigt, dass im Allgemeinen die Unfälle mit dem Pedelec öfter an Knotenpunkten geschehen als mit dem Fahrrad. Besonders an Kreuzungen und Einmündungen wird der Prozentsatz deutlich. Außerdem zeigen die Unfälle mit dem Pedelec einen vernachlässigbar höheren Anteil an den Grundstückein-/ ausfahrten und den Strecken mit Längsneigung.

Im Weiteren wird die Charakteristik der Unfallstellen in Abhängigkeit der Verkehrsflächen betrachtet (Tabelle A9.2). Auffällig ist, dass der Anteil der Unfälle mit dem Fahrrad im Mischverkehr an den Kreuzungen und Einmündungen eindeutig höher liegt (in Gelb markiert) als der Anteil der Unfälle mit dem Pedelec. Basierend auf der Tatsache, dass der Anteil der Unfälle mit dem Fahrrad an Knotenpunkten niedriger ist (Tabelle A9.1) und die Differenz im Mischverkehr zwischen Fahrrädern und Pedelecs ca. 10% beträgt (Abbildung A9.1), ist abzuleiten, dass **an Knotenpunkten und Einmündungen im Mischverkehr das Fahrrad deutlich unfallanfälliger ist als das Pedelec**. Dagegen weisen die Unfälle mit dem Pedelec einen unbedeutend höheren Anteil an Schutzstreifen sowie auf Radwegen an Knotenpunkten (in Grün markiert) auf. Dies stimmt mit den vorherigen Ergebnissen der Unfallauswertung in Tabelle A9.1 und Abbildung A9.1 überein..

Bei den Grundstückein-/ ausfahrten zeigt sich eine ähnliche Verteilung der Verkehrsflächen bei den Unfällen mit dem Fahrrad und dem Pedelec. Ein leicht höherer Anteil an Unfällen wurde am Gehweg, der nicht für den Radverkehr freigegeben ist, mit dem Pedelec registriert. Diese Unfälle wurden aufgrund der regelwidrigen Nutzung der Verkehrsflächen von Pedelecfahrenden verursacht. Das bedeutet, dass das **Pedelec** generell **keine spezifische Unfallstelle** bezüglich der vorgeschriebenen Verkehrsflächen **an Grundstückein-/ ausfahrten** gegenüber dem Fahrrad zeigt.

Bei der Unfallstelle mit Gefälle zeigen die Unfälle mit dem Fahrrad und Pedelec die kontroversen Ergebnisse bei der Verteilung der Verkehrsflächen. Obwohl die Unfälle mit dem Fahrrad und Pedelec **am häufigsten im Mischverkehr** passieren, konzentrieren sich die **Unfälle mit dem Fahrrad** überwiegend an **Radverkehrsstreifen**. Dagegen zeigen die **Unfälle mit dem Pedelec** einen deutlichen höheren Anteil **im Seitenraum**.

An den Unfallstellen mit Steigung und Kurve bestand eine zu kleine Stichprobe der Unfälle mit dem Pedelec, weshalb der Vergleich vernachlässigt wird.

## 5.4 Unfallfolge

Die Unfallfolge wird durch die Verletzungsart und Verletzungsschwere der Verkehrsbeteiligten mit dem Fahrrad oder Pedelec charakterisiert. Als Unfallfolge zeigen sich im Allgemeinen anteilig mehr Leichtverletzte und Schwerletzte bei der Benutzung von Pedelecs (Abbildung A9.3). Die Ergebnisse sind mit den Unfalldaten aus der StBA vergleichbar und stimmen überein.

Danach wird die Unfallfolge in Abhängigkeit von den Verkehrsflächen der Unfallstelle (Abbildung A9.4) im Vergleich zu Verkehrsflächen zum Unfallgeschehen in Abbildung A9.3 näher betrachtet. Am Fußgängerüberweg sowie an dem Führungsformwechsel hatten die Unfälle mit dem Pedelec eine zu kleine Stichprobe, daher ist ein Vergleich zwischen den Unfällen mit dem Fahrrad und Pedelec schwierig. Allerdings ist aufgefallen, dass ein leicht höherer Anteil der Schwerverletzten bei den Unfällen mit dem Fahrrad am Fußgängerüberweg und Führungsformwechsel zu finden ist als im Durchschnitt der Abbildung A9.3.

Wenn die Unfallfolge an den anderen Verkehrsflächen betrachtet wird, verzeichnet der Radverkehrsstreifen (Radfahrstreifen und Schutzstreifen) den größten Anteil der Verletzten und der für den Radverkehr nicht freigegebene Gehweg den geringsten Anteil der Verletzten unabhängig von den Fahrrad- oder Pedelecunfällen. Außerdem zeigt die Unfallauswertung, dass ein **Großteil der Verletzten bei Pedelecunfällen auf der Fahrbahn im Mischverkehr verzeichnet** wurden, während die Unfälle mit dem Fahrrad an dieser Stelle in ihrer Anzahl deutlich geringer blieben.

Werden nur die Schwerverletzten betrachtet, ist ersichtlich, dass **auf der Fahrbahn im Mischverkehr**, **an Schutzstreifen und Einrichtungsradwegen** der Anteil an Schwerverletzten bei den Unfällen mit dem **Pedelec** geringfügig höher ist als der Durchschnitt und die Differenz im Gegensatz zu den Unfällen mit dem Fahrrad auch leicht höher liegt. Dagegen zeigen die **Fahrradunfälle** einen höheren Anteil der Schwerverletzten **an Radfahrstreifen und Zweirichtungsradwegen** als der Durchschnitt. Zudem lag

bei den Fahrradunfällen ein, im Vergleich zu den Pedelecunfällen, deutlich höherer Anteil der Schwerverletzten am Gehweg. Trotzdem lag der Anteil der Schwerverletzten bei den Fahrradunfällen am Gehweg deutlicher niedriger als der Durchschnitt (Abbildung A9.3).

Anschließend wird die Unfallschwere von Fahrrad- oder Pedelecfahrenden in Abhängigkeit der demographischen Merkmale ausgewertet.

Zuerst wird die Verletzungsart der Verkehrsbeteiligten im Vergleich zum Alter betrachtet (Abbildung A9.5). Die Altersgruppe zwischen 41 und 64 Jahren stellt den größten Anteil der Unfallbeteiligten und -verletzten. Dabei ist der Anteil der Unfallbeteiligten und Leichtverletzten in dieser Altersgruppe bei Pedelecunfällen deutlicher höher als bei Fahrradunfällen. Außerdem zeigt sich ein hoher Anteil der Unfallbeteiligten und -verunglückten unter 18 Jahren mit dem Fahrrad. Unfallbeteiligte mit dem Pedelec sind in dieser Altersgruppe kaum vertreten, weil Kinder und Teenager selten mit einem Pedelec fahren.

Auffällig ist, dass **in jeder Altersgruppe** (abgesehen von „unter 18“) der **Anteil der Verletzten mit dem Pedelec höher liegt als mit dem Fahrrad**. Dies zeigt ebenfalls, dass Verletzungen eng mit den neuen Eigenschaften der Pedelecs verbunden sind. Aufgrund ihrer körperlichen Einschränkungen ist ein **deutlich höherer Anteil der Schwerverletzten** (auch der Leichtverletzten) **mit dem Pedelec ab 65 Jahren festzustellen**.

Angesichts der Geschlechterverteilung der Unfallbeteiligten und -verletzten demonstrieren die Unfälle mit dem Fahrrad und Pedelec ähnliche Bilder (Abbildung A9.6). Die Anteile der Unfallbeteiligten, Leichtverletzten und Schwerverletzten der männlichen Nutzenden lagen deutlich höher als der weiblichen Nutzenden. Fast zwei Drittel der Unfallbeteiligten, mehr als die Hälfte der Leichtverletzten und ca. 10% der Schwerverletzten waren männlich.

Daneben werden zwei Sonderauswertungen der Unfallfolge betrachtet. In Abbildung A9.7 zeigt sich eine Auswertung der Unfallfolge in Abhängigkeit der Helmnutzung. Im Vergleich zu der Abbildung A9.3 liegt ein geringer Anteil der Schwerverletzten bei Pedelecunfällen mit Helmnutzung (10% gegenüber durchschnittlich 15%). Da bei einer Vielzahl von Unfällen die Helmnutzung von den Unfallbeteiligten nicht festgestellt werden kann, sind die Auswirkungen der Helmnutzung auf die Unfallfolgen nicht zu abzubilden. Trotzdem wird im Weiteren eindeutig ausgewertet, dass sich der Anteil der **Schwerverletzten mit dem Pedelec mit Helmnutzung** (10%) **stark verringert im Gegensatz zu den Personen, die keinen Helm tragen** (22%). Dieser Trend wird nicht bei den Verunglückten mit dem Fahrrad aufgezeigt. Der Sicherheitsgewinn durch das Tragen eines Helms steht bei der Pedelecnutzung im Einklang mit der „Version Null“, wobei die tödlichen Unfälle vermieden und Unfälle mit Schwerverletzten minimiert werden.

Zum Schluss wird die Unfallfolge in Abhängigkeit von der Geschwindigkeitsbeschränkung betrachtet. Abbildung A9.8 stellt die Unfallfolge im verkehrsberuhigten Bereich oder im Bereich mit Tempo 30 dar. Dabei wird die **Unfallschwere kaum von der Geschwindigkeitsbeschränkung beeinflusst** gegenüber der Darstellung in Abbildung A9.3. Der Anteil der Schwerverletzten mit Pedelecs erhöht sich sogar leicht.

## 5.5 Unfallbeteiligung

Danach wird die Anzahl der Unfallbeteiligten betrachtet (Abbildung A9.9). Die meisten Unfälle entstehen unabhängig von dem genutzten Fahrzeug durch zwei Beteiligte. Bei den Unfällen mit dem Pedelec gab es einen leicht höheren Anteil an Alleinunfällen, was mit UdV (2017) zu vergleichen ist.

Bei den Alleinunfällen mit dem Pedelec (insgesamt 29 Unfälle) sind 15% der Unfälle mit **Schienengleisen** (Straßenbahngleisen) verbunden, wobei die Pedelecfahrenden in das Gleis geraten sind oder die Kontrolle wegen Unebenheiten oder rutschigen Gleisen verloren haben. Der Anteil bei den Alleinunfällen mit dem Fahrrad beträgt nur 5% (insgesamt 294 Unfälle).

Bei den Alleinunfällen ist die Unfallfolge unabhängig von den Unfällen mit dem Fahrrad oder Pedelec schwerer (Abbildung A9.10) als im Durchschnitt der Abbildung A9.3. Hier liegen deutlich höhere Anteile der Schwerverletzten vor. Allerdings besteht keine schwerere Unfallfolge mit dem Pedelec gegenüber dem Fahrrad rein aus der Sicht der Unfallschwere. Die Fahrradunfälle bilden sogar einen höheren Anteil

der Schwerverletzten. Aber bei Pedelecfahrenden werden häufiger Alleinunfälle verzeichnet, die schwereren Unfallfolgen mit sich führen.

Anschließend steht die Art der Unfallbeteiligten (Unfallgegner) im Fokus (Abbildung A9.11). Die Auswertung wird je nach Strecke und Knotenpunkt getrennt durchgeführt. Die Hauptunfallgegner sind Pkw, unabhängig von, ob es zu Unfällen mit dem Fahrrad oder Pedelec kam. Dies ist besonders an den untersuchten Knotenpunkten ausgeprägter als an den untersuchten Strecken. Auffällig ist, dass bei den Unfällen mit dem Pedelec der Anteil der Unfallgegner „Fahrrad/ Pedelec“ höher als bei den Unfällen mit dem Fahrrad ist. Besonders an den Strecken beträgt der Anteil der Unfallgegner „Fahrrad/ Pedelec“ bei den Pedelecunfällen 18%, viel höher als bei den Fahrradunfällen (7%). Der höhere Anteil der Unfallgegner von Fahrrad/ Pedelec bei Unfällen mit dem Pedelec konzentriert sich überwiegend auf **Zweirichtungsradwegen an Strecken**, teilweise **an Zweirichtungsradwegen** und **Einrichtungsradwegen an Knotenpunkten**.

## 5.6 Unfalltypen

Bei den einstelligen Unfalltypen verzeichnen die Unfälle mit dem Fahrrad und Pedelec ähnliche Bilder (Abbildung A9.12). Dabei geschehen am häufigsten Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle, dann folgten die Abbiege-Unfälle und Unfälle im Längsverkehr. Außerdem liegt der Anteil der Unfälle durch den ruhenden Verkehr mit dem Fahrrad (12%) deutlicher höher als mit dem Pedelec (8%), während der Anteil der Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle mit dem Pedelec (44%) höher liegt als mit dem Fahrrad (41%).

Weitergehend werden die dreistelligen Unfalltypen besprochen. Anhang 9.5 zeigt die relevanten dreistelligen Unfalltypen anhand einer Konfigurationsskizze. In Abbildung A9.13 werden sie in der Reihenfolge mit absteigender Häufigkeit aufgelistet. Unabhängig von dem benutzten Fahrzeug bei einem Unfall gehören die Unfalltypen 321, 341, 342 und 301 zu den häufigsten Unfalltypen. Allerdings stand der **Unfalltyp 342 mit dem Pedelec**, der eine Kollision der Pedelecnutzenden auf den linksliegenden Radverkehrsanlagen (ordnungsmäßig oder -widrig) von rechts kommend beschreibt, an erster Stelle. Dies passt zu den Ergebnissen der Verkehrsflächen der Unfallstelle, dass die vorliegenden Pedelecunfälle einen höheren Anteil am Zweirichtungsradweg haben als die Fahrradunfälle. Im Vergleich dazu geschah am häufigsten der **Unfalltyp 321 mit dem Fahrrad**, welcher den Unfall mit bevorrechtigten Fahrzeugen auf der Fahrbahn (im Mischverkehr) von rechts kommend darstellt.

Im Weiteren wird festgehalten, dass die **Pedelecfahrenden an den Radverkehrsanlagen kaum merklich öfter durch ein einbiegendes Fahrzeug gestört wurden als die Fahrradfahrenden**. Der Unfalltyp 341 reiht sich trotzdem bei dem Pedelec vor dem Fahrrad ein, zeigt aber kaum einen Unterschied in seinen Anteilen der Gesamtunfalltypen.

Zudem wird der Unfalltyp 501 mit dem Fahrrad häufig registriert. Der Unfalltyp 501 illustriert, dass Fahrradfahrende die parkenden Fahrzeuge streifen oder touchieren. Dies entspricht ebenso dem Ergebnis der einstelligen Unfalltypen. Dagegen fällt der Unfalltyp 261 öfter bei Pedelecs an, wobei das bevorrechtigte linksabbiegende Fahrzeug mit dem wartepflichtigen einfahrenden Fahrzeug kollidiert. Das ist oft mit dem Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot der Linksabbieger verbunden.

Weil die Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle den größten Anteil der Unfalltypen betragen, gehören auch die meisten dreistelligen Unfalltypen zu den Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle. Um einen vertiefenden Vergleich der dreistelligen Unfalltypen zwischen dem Fahrrad und Pedelec zu ermöglich, werden die drei häufigsten dreistelligen Unfalltypen von jedem Unfalltypen separat betrachtet (siehe Abbildung A9.14). Da viele Unbekannten bei dem „Fahrunfall und sonstigem Unfall“ und zu kleine Unfallanzahlen bei dem „Überschreiten-Unfall“ mit dem Pedelec bestanden, werden vertiefende Betrachtungen beim Fahrunfall, Überschreiten-Unfall und sonstigen Unfall ausgeschlossen.

Bei der Gesamtbetrachtung der Abbiegeunfälle zählt der Unfalltyp 261 zu den häufigsten Pedelec-Unfalltypen. Dagegen ist der Unfalltyp 243 der häufigste Abbiege-Unfall bei Unfällen mit dem Fahrrad. Der Unfalltyp 243 beschreibt den Konflikt zwischen rechtsabbiegenden Fahrzeugen und geradeausfahrenden Rädern. Hierbei verzeichnen die Unfälle mit dem Fahrrad einen höheren Anteil (27%) bei diesem Unfalltyp als die Unfälle mit dem Pedelec (15%). Die Konflikte zwischen geradeausfahrenden Radnutzenden und rechtsabbiegenden Kfz werden in der Arbeit thematisch behandelt. Außerdem bezogen

sich die **Fahrradunfälle öfter auf den Linksabbiege-Unfall** mit dem geradeausfahrenden Fahrzeug (Unfalltypen 211 und 224), während die **Pedelecs öfter in einen Rechtsabbiege-Unfall** mit dem geradeausfahrenden Fahrzeug verwickelt waren (Unfalltypen 244 und 243).

In der Gesamtbetrachtung der dreistelligen Unfalltypen werden die drei häufigsten Einbiegen-/ Kreuzen-Unfälle besprochen. Hierbei ist zu ergänzen, dass die **Unfalltypen 371 und 372**, nämlich „**Überschreiten-Unfall" der Radfahrenden**, bei dem Unfall mit dem **Fahrrad einen höheren Anteil** (9%) darstellen als bei dem Unfall mit dem Pedelec (5%).

Bei dem Unfall durch den ruhenden Verkehr ist die Unfallkonfiguration unterschiedlich aufgeteilt. Der **Unfalltyp 581** ist der „**Dooring-Unfall**", bei dem Unfälle mit dem **Pedelec** deutlich öfter auftreten (45%) als bei den Unfällen mit dem Fahrrad (18%). Dies hängt eng mit der Bemessung der Sicherheitstrennstreifen neben den Parkständen zusammen. Im Vergleich dazu dominiert der Unfalltyp 501 bei den Unfällen mit dem Fahrrad.

Bei dem Unfall im Längsverkehr fallen die Unfalltypen 601, 651 und 681 mit ähnlicher Verteilung der häufigsten Unfallkombination an. Allerdings spielt der **Auffahrunfall mit dem vorausfahrenden Fahrzeug** (Unfalltyp 601) bei **Pedelecs** die wichtigste Rolle, während für das Fahrrad der **Begegnungsunfall** (Unfalltyp 681) mit dem entgegenkommenden Fahrzeug von größter Bedeutung ist. Ein häufiges Auftauchen der Unfallkonfiguration 681 und ein höherer Anteil der Unfallgegner von „Fahrrad/ Pedelec" an Zweirichtungsradwegen bei Pedelecunfällen haben eine direkte Auswirkung auf die Bemessung der Breitenangaben von Zweirichtungsradwegen.

Im nächsten Schritt werden die (einstelligen) Unfalltypen mit den Verkehrsflächen der Unfallstellen zusammen betrachtet (Abbildung A9.15). Der Überschreiten-Unfall wird wegen kleiner Vorfälle nicht berücksichtigt und bei den sonstigen Unfällen wird wegen der komplett unterschiedlichen Unfallkonfiguration auf einen Vergleich verzichtet.

Bei allen Unfalltypen ist die Fahrbahnführung im Mischverkehr die häufigste Unfallstelle, aber beim Fahrunfall ist die Differenz der Anteile zwischen Fahrrad- und Pedelecunfällen am größten. Dementsprechend stellen die **Pedelecunfälle einen deutlich höheren Anteil der Unfälle am Führungswechsel** (21%) beim Fahrunfall dar als die Fahrradunfälle (6%).

Bei dem Abbiege-Unfall und Einbiegen-/ Kreuzen-Unfall zeigen die Unfälle mit dem **Fahrrad** einen höheren Anteil am **Einrichtungsradweg** und die mit dem **Pedelec** einen höheren Anteil am **Zweirichtungsradweg**. Dies spiegeln die dreistelligen Unfalltypen 342 und 244 wider, die öfter bei den Pedelecunfällen auftauchen. Außerdem werden mehr Einbiege-Unfälle mit dem Pedelec am Gehweg ohne Freigabe für den Radverkehr verzeichnet.

Beim Unfall durch ruhenden Verkehr und Unfall im Längsverkehr bildet sich eine ähnliche Verteilung der Verkehrsflächen der Unfallstelle zwischen Fahrrad- und Pedelecunfällen. Beim Unfall durch den ruhenden Verkehr wird ein leicht erhöhter Anteil der Gehwegnutzung beim Fahrradunfall (9%) gegenüber dem Pedelecunfall (5%) erfasst, welcher dem häufigen Auftreten des Unfalltypen 502 beim Fahrradunfall entspricht. Im Vergleich passieren häufiger Fahrradunfälle im Längsverkehr an Radfahrstreifen als an Schutzstreifen. Trotzdem wird ein ähnlicher Anteil an Unfällen an Radverkehrsstreifen beim Fahrrad- und Pedelecunfall festgestellt.

Im Folgenden werden die Sonderfälle, die Unfalltypen 232/ 243 und Unfalltypen 301/ 341 in Abhängigkeit von der Verkehrsfläche des Unfalls ausgewertet (Abbildung A9.16). Die Unfalltypen 232/ 243 charakterisieren die Unfallkonfiguration zwischen den geradeausfahrenden Rädern und rechtsabbiegenden Fahrzeugen je nach Verkehrsflächen. Die Unfalltypen betreffen die direkten Fragenstellungen in der Arbeit. Die Unfalltypen 301/ 341 charakterisieren die Konflikte zwischen dem einbiegenden Fahrzeug und dem von links kommenden bevorrechtigten Fahrzeug. Um diese zu beantworten, werden im Weiteren die Radwege in abgesetzt und nicht abgesetzt unterteilt.

Bei den Unfalltypen 232/ 243 zeigt sich eine fast gleichmäßige Verteilung der Verkehrsflächen bei den Unfällen mit dem Fahrrad, wenn der Schutzstreifen und Radfahrstreifen als Radverkehrsstreifen zusammen betrachtet wird. Dagegen fällt der größere Anteil der Unfälle mit dem **Pedelec** eher auf der **Fahrbahn im Mischverkehr** und an **abgesetzten Radwegen** an, obwohl wenige Vorfälle mit dem Pe-

delec geschahen. Bei den Unfalltypen 301/ 341 mit dem **Fahrrad** geschieht der größte Anteil der Unfälle auf der **Fahrbahn im Mischverkehr** (45%). Die Unfälle mit dem **Pedelec** zeigen im Vergleich dazu trotzdem auch einen großen Anteil auf der Fahrbahn im Mischverkehr (28%). Allerdings fällt der größte Anteil der Unfälle mit dem Pedelec bei Radwegen (besonders **nicht abgesetzten Radwegen**) an.

## 5.7 Unfallursachen

Die Auswertung der Unfallursachen wird in drei Gruppen unterteilt. Hierzu zählen Alleinunfälle, Radfahrende als Hauptverursacher bei mehreren Unfallbeteiligten und Radfahrende, die nicht als Hauptverursacher gelten bei mehreren Unfallbeteiligten. Die Unfallursachen werden je nach dem Oberbegriff laut UdV (2016b) in 10 Kategorien der Fehler von Fahrzeugführenden zuzüglich der Ursachen der Verkehrstüchtigkeit gegliedert.

An Knotenpunkten reihen sich die Hauptursachen wie „Vorfahrt, Vorrang“, „Abbiegen, Wenden, Rückwärts“ und „Straßennutzung“ unabhängig von dem Hauptverursacher aneinander (Tabelle A9.3). Bei den Unfällen, bei denen die Radfahrenden nicht zu den Hauptverursacher zählen, werden die konkreten Unfallursachen „27-Nichtbeachten der Regel „rechts vor links“, „34-Fehler beim Abbiegen nach rechts“ und „10-Verbotswidrige Benutzung der Fahrbahn oder anderer Straßenteile (z.B. Gehweg, Radweg)“ als Hauptunfallursachen festgestellt. Im Vergleich dazu spielt die Ursache „34-Fehler beim Abbiegen“ bei den Unfällen mit Radfahrenden als Hauptverursacher eine untergeordnete Rolle, teilweise war die Ursache „28-Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen“ in dem Fall bedeutsamer. Die obenliegenden Unfalltypen unterscheiden sich nicht zwischen Unfällen der Fahrräder und Pedelecs. Bei einem Alleinunfall wurden keine Besonderheiten festgelegt.

An den Streckenabschnitten ist das Verschulden durch „Abbiegen, Wenden und Rückwärts“ und „Straßenbenutzung“ unabhängig von den Hauptverursachern bei den Unfällen mit mehreren Unfallbeteiligten maßgebend (Tabelle A9.4). Hierbei trägt die Unfallursache „37-Fehler beim Einfahren in den fließenden Verkehr“ einen großen Teil bei. Außerdem ist die häufigste Ursache für Unfälle mit Radfahrenden (kein Eigenverschulden) der „Ruhende Verkehr“. Dagegen tauchen Unfälle mit Radfahrenden in der Kategorie „Sonstige“ als Hauptverursacher auf. Hierbei ist der Anteil der Unfallursache „Sonstige“ bei dem Fahrradunfall deutlich höher als bei dem Pedelecunfall.

Bei den Alleinunfällen spielt die Ursache „Sonstige“, die überwiegend durch „49-Andere Fehler beim Fahrzeugführer“ geprägt wird, eine wichtige Rolle. Dazu wurde die Verkehrsuntüchtigkeit, die meistens durch „1-Alkoholeinfluss“ charakterisiert wird, öfter bei Alleinunfällen mit dem Pedelec erfasst als mit dem Fahrrad (blau markiert). Im Vergleich dazu wurde ein höherer Anteil der Verkehrsuntüchtigkeit bei dem Fahrradunfall mit dem Radfahrenden als Hauptverursacher verzeichnet.

## 5.8 Fazit

Im Allgemeinen geschehen die Unfälle mit dem Pedelec öfter an Knotenpunkten und an Radwegen, besonders an den Zweirichtungsradwegen als Verkehrsfläche der Unfallstelle. Dagegen sind die Fahrradunfälle häufiger auf der Fahrbahnführung im Mischverkehr zu verzeichnen. Hierbei waren die Fahrradfahrenden im Mischverkehr an den Knotenpunkten und Einmündungen unfallanfälliger als die Pedelecfahrenden. Am Gefälle konzentrieren sich die Unfälle mit dem Fahrrad auf der Fahrbahnseite, während ein größerer Anteil der Unfälle mit dem Pedelec an den Radwegen im Seitenraum aufgenommen wurde. Dies sollte bei der Auswahl der Führungsform der Strecken mit Längsneigung berücksichtigt werden.

Angesichts der Unfallfolge stellen die Pedelecunfälle generell einen höheren Anteil der Verletzten in jeder Altersgruppe dar, abgesehen von der Altersgruppe bis 18 Jahre. Der größte Anteil der Unfallbeteiligten sowie Unfallverletzten mit dem Pedelec liegt in der Altersgruppe zwischen 41-65 Jahren, allerdings ist der größte Anteil an Schwerverletzten in der Altersgruppe ab 65 Jahren zu ermitteln. Mit der Helmnutzung könnte der Anteil der Schwerverletzten der Pedelecfahrenden deutlich verringert werden. Diese Auswirkung tritt bei den Schwerverletzten mit dem Fahrrad kaum auf. Allerdings wirkt sich eine Geschwindigkeitsbeschränkung nur gering auf die Unfallschwere aus.

Generell werden keine besonderen Verkehrsflächen bei den Unfällen mit Schwerverletzten festgestellt. An den Radverkehrsstreifen werden höhere Prozentsätze an Verletzten unabhängig von den Unfällen mit dem Fahrrad oder Pedelec ermittelt. Zudem wird ein höherer Anteil der Verletzten im Mischverkehr bei den Unfällen mit dem Pedelec registriert. Hinsichtlich der Schwerverletzten legen die Pedelecunfälle leicht höhere Anteile der Schwerverletzten auf der Fahrbahn im Mischverkehr, an Schutzstreifen und an Einrichtungsradwegen als der Durchschnitt vor. Im Vergleich dazu zeigen die Fahrradunfälle einen dezent höheren Anteil der Schwerverletzten an Radfahrstreifen und Zweirichtungsradwegen. Das bedeutet, dass die Fahrbahnführung im Mischverkehr eine schwerere Unfallfolge bei einem Pedelecunfall bezüglich der Gesamtverletzten und Schwerverletzten aufweist. Der Zweirichtungsradweg verzeichnet trotzdem eine höhere Unfallhäufung mit dem Pedelec, allerdings keine schwere Unfallfolge.

Im Hinblick auf die Unfallbeteiligung sind ein wenig mehr Alleinunfälle mit dem Pedelec als mit dem Fahrrad zu verzeichnen, besonders in Kombination mit einem Schienengleis stürzen Pedelecfahrende häufiger. Die negative Auswirkung der Schienengleise auf die Sicherheit des Pedelecs sollte in der Bemessung von Radverkehrsanlagen neben dem Gleis berücksichtigt werden. Als Unfallbeteiligte wird das Pkw als größter Unfallgegner angesehen. Außerdem können eindeutig häufiger Fahrräder/ Pedelecs als Unfallgegner bei den Unfällen mit dem Pedelec, besonders an den Streckenabschnitten, bewiesen werden. Dies passierte am häufigsten auf Zweirichtungsradwegen an Strecken, teilweise auch an Ein- und Zweirichtungsradwegen an Knotenpunkten.

Bei den einstelligen Unfalltypen besteht kaum ein Unterschied zwischen den Unfällen mit dem Fahrrad und Pedelec, wobei der Einbiegen-/ Kreuzen-Unfall den größten Anteil beträgt. Bei den dreistelligen Unfalltypen gehören die Unfalltypen 321, 341, 342 und 301 zu den häufigsten Unfalltypen unabhängig von Unfällen mit dem Fahrrad oder Pedelec. Dabei wird der Unfalltyp 342, der eng mit dem Zweirichtungsradweg zusammenhängt, am häufigsten beim Pedelecunfall aufgenommen, während der Unfalltyp 321, der oft mit der Missachtung von „rechts-vor-links“ verbunden ist, am meisten beim Fahrradunfall festgestellt wird. Bei der Betrachtung der Unfalltypen 341 und Unfällen an Grundstücksein- und ausfahrten wird keine Unfallhäufung (Pedeleceinbiegeunfall) verifiziert gegenüber dem Fahrradunfall. Außerdem wird ein deutlich größerer Anteil des Unfalltyps 501 mit dem Fahrrad und des Unfalltyps 581 mit dem Pedelec beim Unfall durch den ruhenden Verkehr erfasst. Der Unfalltyp 581 ist der sogenannte „Dooring-Unfall“ auf Fahrbahnseite. Eine Unfallhäufung durch „Dooring-Unfälle“ stellt die Bemessung von Breiten der Sicherheitstrennstreifen in Frage und steht somit im direkten Zusammenhang mit der Verkehrssicherheit. Beim Unfall im Längsverkehr zeigen die Unfälle mit dem Fahrrad und Pedelec ähnlich häufige Unfallkonfigurationen, nämlich Auffahrunfall, Begegnungsunfall und Überholunfall. Der Begegnungsunfall (Unfalltyp 681) zeigt sich öfter beim Fahrrad und der Auffahrunfall (Unfalltyp 601) beim Pedelec. Eine Unfallhäufung von Begegnungsunfällen und einem Großteil von Fahrrad/ Pedelec als Unfallgegner an Zweirichtungsradwegen weist auf die unzureichende Bemessung der Zweirichtungsradwege hin.

Bei der ausführlichen Sonderauswertung der Unfälle zwischen geradeausfahrendem Rad und rechtsabbiegendem Fahrzeug wird festgelegt, dass Pedelecfahrende im Mischverkehr und an abgesetzten Radwegen unfallanfälliger sind. Bei den Unfällen zwischen geradeausfahrendem Rad und einbiegendem Fahrzeug geschehen die Unfälle am häufigsten im Mischverkehr. Allerdings passieren die Unfälle mit dem Pedelec öfter an (nicht abgesetzten) Radwegen.

Bei den häufigsten Unfallursachen mit mehreren Beteiligten besteht kaum ein Unterschied zwischen Fahrrad- und Pedelecunfällen. Nur die Verursachung durch die Verkehrsuntüchtigkeit sowie durch den Alkoholeinfluss passiert öfter bei einem Alleinunfall mit dem Pedelec und bei einem Unfall mit dem Fahrradfahrenden als Hauptverursacher.

# 6 Ergebnisse der Umfrage

## 6.1 Allgemeines

Insgesamt nahmen 755 Personen an der Umfrage teil, davon wurden 451 als vollständige Rückläufer[15] registriert.

Die Betrachtung der Stichprobe unter Angabe der demografischen Merkmale ergibt eine Beteiligung von etwa 57% Männer (n=263) und 43% Frauen (n=197). Die Altersverteilung der Stichprobe ist der Tabelle 6.1 zu entnehmen, wobei eine Dominanz der Altersgruppe zwischen 25 bis 59 Jahren deutlich wird.

**Tabelle 6.1: Altersverteilung der Rückläufer**

| Altersgruppe | Anteil | Altersgruppe | Anteil |
|---|---|---|---|
| Unter 18 Jahre | 0% | 60-64 Jahre | 7% |
| 18-24 Jahre | 10% | 65-75 Jahre | 1% |
| 25-40 Jahre | 45% | älter als 75 Jahre | 1% |
| 41-59 Jahre | 36% | **Anzahl der Rückläufer: n=463** | |

Anhand der Postleitzahlen werden die Wohnorte der Befragten ermittelt. Fast die Hälfte der 428 Rückläufer ist aus dem Bundesland Hessen, davon beträgt die Teilnehmerzahl aus der Stadt Darmstadt und dem Landkreis Darmstadt-Dieburg 9% (Tabelle 6.2). Außerdem kommen vernachlässigbare 1% der Befragten aus den Nachbarländern, wie z.B. Österreich oder Frankreich. Durch die Postleitzahl ist auch ein zusammengefasster regionalstatischer Raumtyp (Kurz: *Raumtyp*) nach BMVI (11.2020) zu ermitteln. Die meisten Rückläufer (92%) sind aus Metropolen, Groß- und Mittelstädten der Stadtregion, wobei die Großstädte mit 41% den größten Anteil davon bilden.

**Tabelle 6.2: Verteilung der regionalen Zugehörigkeiten und Raumtypen von Wohnorten der Rückläufer**

<table>
<tr><th colspan="4">Regionale Zugehörigkeit der Rückläufer (Anzahl der Rückläufer: n= 428)</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Darmstadt 7%<br>Landkreis Darmstadt-Dieburg 2%</td><td rowspan="2">Südhessen (Regierungsbezirk Darmstadt) 39%</td><td rowspan="2">Hessen 47%<br>Deutschland 99%<br>Ausland 1%</td></tr>
<tr><th colspan="4">Raumtypen der Wohnorte der Rückläufer (Anzahl der Rückläufer: n=424 )</th></tr>
<tr><td colspan="2">Stadregion</td><td colspan="2">Ländliche Region</td></tr>
<tr><td>71 Metropolen</td><td>34%</td><td>75 Zentrale Städte einer ländlichen Region</td><td>3%</td></tr>
<tr><td>72 Regiopolen und Großstädte</td><td>41%</td><td>76 Mittelstädte, städtischer Raum</td><td>1%</td></tr>
<tr><td>73 Mittelstädte, städtischer Raum einer Stadtregion</td><td>17%</td><td>77 Kleinstädtischer, dörflicher Raum einer ländlichen Region</td><td>2%</td></tr>
<tr><td>74 Kleinstädtischer dörflicher Raum einer Stadtregion</td><td>2%</td><td></td><td></td></tr>
</table>

Die Auswertung der Umfrage zielt darauf ab, inwieweit sich die Pedelec-, Lastenrad und E-Tretrollerfahrenden unterschiedlich verhalten (als Fahrradfahrende) und welche neuen Anforderungen der Nutzenden an die Radverkehrsanlagen entstehen. Durch die Frage „Welchen Radverkehr (mit Hilfsmotor) oder E-Tretroller nutzen Sie überwiegend?“ sind die Nutzenden verschiedener Fahrzeugtypen zu unterscheiden, damit die soziodemographischen Merkmale und die Wahrnehmung für die Radverkehrsanlagen genau den Personen mit den meistgenutzten Fahrzeugtypen [16] zugeordnet werden können.

[15] Es wurden keine verpflichtenden Fragen eingestellt, damit die Beteiligten die Umfrage bei Nichtbeantworten fortführen können. Daher bedeutet „vollständige Rückläufer“ nur ein Durchscrollen der Umfrage bis zum Ende.

[16] Die Nutzenden, die überwiegend mit dem Fahrrad unterwegs sind, werden im folgenden Text einfach als „Fahrradfahrende“ bezeichnet. Dementsprechend stehen ihnen die Pedelec-, Lastenrad- und E-Tretrollerfahrenden gegenüber.

Die Arbeit dient zur Verbesserung der Verkehrssicherheit und des Fahrkomforts des gesamten Radverkehrs. Die gelegentlich Rad- und E-Tretrollernutzenden sollen hierbei aber nicht vernachlässigt werden. Aus diesem Grund werden die Belange aller Rad- und E-Tretrollerfahrenden bei der Auswertung der Wahrnehmung für die Radverkehrsanlagen dargestellt (in der Auswertung „Allgemein“ genannt). Die Fragegruppen über „Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung“ beziehen sich zum einen auf die Nutzenden, die überwiegend mit dem Rad oder E-Tretroller unterwegs sind und zum anderen auf alle anderen, auch die unregelmäßig Nutzenden. Dies könnte zu einer inhaltlichen Abweichung der Rückläufer führen. Die Stichprobengröße von Lastenrad- und E-Tretrollerfahrenden ist klein, weshalb die Auswertung der Tendenz bei der Zusammenführung der Umfrage mit der bisherigen Literatur abzugleichen ist.

In Anhang 10 werden die Ergebnisse der Umfrage graphisch dargestellt.

## 6.2 Soziodemographische Merkmale

Angesichts soziodemographischer Merkmale stellt sich zuerst die Frage nach der Geschlechterverteilung der Nutzenden (Abbildung A10.1). Unabhängig von den Fahrzeugtypen fahren mehr Männer mit dem Rad oder E-Tretroller als Frauen, wobei diese Auswertung teilweise von der Geschlechterverteilung der Gesamtrückläufer beeinflusst wird. Die Fahrrad- und Pedelecfahrenden zeigen ein ähnliches Bild der Geschlechterverteilung auf, wobei der Anteil der männlichen Fahrenden um 14% - 18% höher ist als der der weiblichen Fahrenden. Im Vergleich zu den vorherigen Untersuchungen von UdV (2017) und Borgstedt et al. (2019) verringert sich die Differenz der Geschlechterverteilung der Nutzenden mit Pedelecs, d.h. es benutzen mehr Frauen Pedelecs. Auffallend hoch ist der Anteil männlicher E-Tretrollerfahrenden (ca. zwei Drittel männlich), der mit der Studie von GDV (2021) konform ist.

In Hinblick auf die Altersverteilung sind Pedelecfahrende generell älter als Fahrradfahrende (Abbildung A10.2). Dabei sind die Pedelecfahrenden (ab 60 Jahren) mit 29% gegenüber den älteren Fahrradfahrenden (7%) stärker vertreten. Die Altersgruppe zwischen 41 - 59 Jahren ist auf 47% gestiegen im Gegensatz zu 33% in den Forschungen von Borgstedt et al. (2019), wobei die beiden eine ähnliche Altersspannweite in Bezug auf die Gesamtstichprobe zwischen 14 - 64 Jahre aufweisen. Für die **Nutzenden im mittleren Erwachsenenalter spielt das Pedelec eine wichtigere Rolle**.

Die Altersverteilung der Lastenradfahrenden ähnelt stark der Verteilung der Fahrradfahrenden abgesehen von den Nutzenden ab 60 Jahren, d.h. dass **ältere Personen kein Lastenrad fahren**. Verglichen mit den Studien von Borgstedt et al. (2019) und Wolfermann (2019b), bei denen die Lastenradnutzenden überwiegend unter 40 - 45 Jahren sind, scheint die Gruppe der Lastenradnutzenden geringfügig älter geworden zu sein. Deshalb wird bei der Befragung die Altersgruppe 41 - 50 Jahre nicht feiner unterteilt, da ein weiterer Vergleich schwierig ist. Anders als bei den vorliegenden Fahrzeugen sind E-Tretroller nach wie vor bei Jüngeren besonders beliebt. 90% der befragten E-Tretrollerfahrenden sind unter 40 Jahren und ca. ein Fünftel sogar unter 24 Jahren. Dies ist mit den Ergebnissen der Studie von Saisonstart (2020) weitestgehend konform.

Die Verteilung der Erwerbstätigkeit der Rad- und E-Tretrollernutzenden hängt eng mit dem Alter zusammen (Abbildung A10.3). Ein Großteil der Befragten ist Teilzeit- und Vollzeit berufstätig, unabhängig von einem bestimmten Fahrzeugtyp. Die nächste größere Gruppe bilden Studierende und Auszubildende bei der Nutzung von E-Tretrollern mit 17%. Auffällig ist dagegen der hohe Anteil an Pedelecfahrenden im Rentenalter (12%).

Hinsichtlich des Einkommens haben Pedelecfahrende (79%) und Lastenradfahrende (86%) ein gehobenes Nettoeinkommen (>3000€ pro Monat) (Abbildung A10.4). Dagegen verfügen die E-Tretrollerfahrenden über ein geringeres Einkommen. Dies spiegelt sich in dem Alter und der Berufstätigkeit der Nutzenden wider, da zu den E-Tretrollerfahrenden viele Studierende und Schüler(in) zählen, die zu einer einkommensschwachen Gruppe gehören.

Mit dem Blick auf die Raumtypen der verschiedenen Wohnorte, stechen besonders Pedelecfahrende in Mittel- und Kleinstädten der Stadtregion oder in ländlichen Regionen im Vergleich zu den Fahrradfahrenden hervor (Abbildung A10.5). Bei der Betrachtung der Wohnorte in der Stadtregion ähnelt sich

die Verteilung der Lastenradfahrenden und Fahrradfahrenden. In ländlicher Region scheinen die Lastenräder selten zum Einsatz zu kommen. Die E-Tretrollerfahrenden konzentrieren sich nur in Stadtregionen, überwiegend in Metropolen und Großstädten. Das ist darauf zurückzuführen, dass die E-Tretroller oft als ergänzendes Verkehrsmittel („letzte Meile“) zum Einsatz kommen und die Nutzenden oft auf einen Sharing-Service zurückgreifen, der vor allem in Metropolen und Großstädten angeboten wird (Bierbach et al. 2018; BDU 2019). In der Befragung haben 65% der E-Tretrollernutzenden eine Nutzung des öffentlichen Sharing-Systems bejaht (Fahrradfahrende 35%).

Neben der Verteilung der Raumtypen der Nutzenden wird auch die Anzahl der Räder und E-Tretroller pro Haushalt ausgewertet (Abbildung A10.6). Pedelecs kommen hierbei häufiger außerhalb von Metropolen und Großstädten zum Einsatz, obwohl die Stichprobe der Anzahl der Haushalte in ländlichen Regionen viel geringer ist. Das Ergebnis wird von Nobis (2019) bestätigt. Es ist jedoch auch ein deutlicher Anstieg der Pedelecnutzung in den Metropolen und Großstädten zu verzeichnen. Der Anteil von Haushalten mit Pedelecs steigt auf 16% (MiD 2019: 4%) in Metropolen sowie auf 18% (MiD 2019: 7%) in Großstädten durch die vermehrte Pedelecnutzung für den Arbeitsweg. Die Lastenräder und E-Tretroller verteilen sich vor allem in der Stadtregion. E-Tretroller sind besonders in den Haushalten von Großstädten und Metropolen anzutreffen.

## 6.3 Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung

### 6.3.1 Verkehrsmittelwahl und Wegezweck

Es stellt sich die Frage, für welche Aktivitäten welche Fahrzeuge am häufigsten genutzt werden. Um diese Frage zu beantworten, wurden die Probanden nach ihrem meistgenutzten Verkehrsmittel für einen bestimmten Zweck befragt. Eine Verkehrsmittelwahl des Gesamtverkehrs (Modal Split) je nach Wegezwecken wird in Abbildung A10.7 dargestellt. Da die absolute Anzahl der Wege mit den Lastenrädern und E-Tretrollern ziemlich gering ist und der Anteil der Wege mit den Fahrrädern dominiert, wird daher eine Verteilung der Wegezwecke nur mit den Rädern oder E-Tretrollern herangezogen (Abbildung A10.8), um einen expliziten Vergleich zu ermöglichen.

Es ist auffällig, dass der Anteil des Radverkehrs unabhängig von den Wegezwecken ziemlich hoch gegenüber den bisherigen Studien von Nobis (2019) ausfällt. Das ist auf der einen Seite darauf zurückzuführen, dass sich die Umfrage auf Rad- oder E-Tretrollerfahrende bezieht und mehr radaffine Personen an der Umfrage teilgenommen haben. Auf der anderen Seite kommt ein Großteil der Befragten aus den Metropolen, Groß- und Mittelstädten, bei denen das Rad als favorisiertes Verkehrsmittel zählt.

Für Wege in der Freizeit kommen Räder und E-Tretroller mit einem prozentualen Anteil von 62% am häufigsten zum Einsatz. Daran reihen sich die Wege für die Arbeit und Einkaufen an. Für den Weg zum Einkaufen ist klar ersichtlich, dass sich der Anteil der Lastenradnutzung vergrößert. Dagegen kommt der E-Tretroller kaum für Einkaufswege infrage. Für die dienstlichen und beruflichen Wege werden die Räder und E-Tretroller am wenigsten eingesetzt.

Anschließend werden nur die Wege mit den Rädern und E-Tretrollern betrachtet (Abbildung A10.8). Die Wege mit Fahrrädern und Pedelecs verzeichnen ein ähnliches Bild für den Wegezweck. Hierbei werden Fahrräder und Pedelecs überwiegend im Freizeitverkehr und Pendlerverkehr genutzt. Die Ergebnisse sind mit den Ergebnissen von Runkel et al. (2016) konform. Allerdings verringert sich die Differenz der Anteile mit Pedelecs und Fahrrädern für den Weg zur Arbeit. Das hängt mit der Altersverteilung und Berufstätigkeit zusammen, denn ein Großteil der Befragten ist im jungen und mittleren Erwachsenenalter. Deutlich unter dem Durchschnitt liegen die Dienstwege.

Bei der Lastenradnutzung verdoppelt sich erwartungsgemäß der Anteil der Einkaufswege (44%) im Vergleich zu der Fahrrad- (22%) und Pedelecnutzung (20%). Dementsprechend ist der Anteil der Wege zur Arbeit oder Freizeit mit Lastenrädern zurückgegangen. Für die Dienstwege werden Lastenräder genauso selten genutzt wie Fahrräder und Pedelecs.

Die Wegezwecke mit dem E-Tretroller weichen merkbar von den Wegen mit anderen Rädern ab. Die E-Tretroller werden hauptsächlich für die Wege im Pendlerverkehr und für Dienstwege genutzt, wobei

mehr als die Hälfte aller Wege für die Arbeit zurückgelegt werden. Im Gegensatz dazu werden E-Tretroller selten in der Freizeit benutzt. Für die Wege zum Einkaufen kommen die E-Tretroller kaum zum Einsatz, da ihre kleinen Fahrzeugabmessungen nicht für den Warentransport geeignet sind. Das Ergebnis weicht deutlich von anderen Studien von GDV (2021) und BDU (2019) ab, in denen die E-Tretroller überwiegend im Freizeitverkehr benutzt werden. Dies lässt sich auf die Nutzungshäufigkeit zurückführen, da in der Befragung regelmäßig E-Tretrollernutzende angesprochen wurden, die meist private E-Tretroller besitzen und diese im Pendlerverkehr einsetzen. In GDV (2021) wurden am meisten touristische E-Tretrollerfahrende (84% der Gesamtstichprobe) vor Ort beobachtet und befragt, die zufällige E-Tretroller für den Freizeitverkehr ausgeliehen haben. Solch ein Unterschied im Wegezweck nach der Nutzungshäufigkeit wird auch in Hobusch et al. (2021) ermittelt.

### 6.3.2 Nutzungshäufigkeit

Anschließend wird die Nutzungshäufigkeit in Abhängigkeit vom Wegezweck betrachtet (Abbildung A10.9).

Auffällig ist, dass die Schlussfolgerung von Nobis (2019) unabhängig von Fahrzeugtypen bestätigt wird, je seltener die Räder oder E-Tretroller pro Monat benutzt werden, desto häufiger kommen sie in der Freizeit zum Einsatz.

Bei dem (fast) täglichen Einsatz eines Fahrzeugtypens wird meist der Weg zur Arbeit zurückgelegt, dies wird bei den E-Tretrollernutzenden deutlich. Daneben werden Pedelecs häufiger in der Freizeit und Lastenräder zum Einkauf bei der (fast) täglichen Nutzung eingesetzt.

Der Einsatz von Lastenrädern zum Einkaufen ist bei mehrmaliger Nutzung pro Woche eindeutig erkennbar, da fast drei Fünftel der Wege für diesen Zweck zurückgelegt werden. Erstaunlich ist, dass auch fast drei Fünftel der Befragten die Dienstwege mit E-Tretrollern zurücklegen. Daraus entsteht die Diskussion, ob die Dienstwege mit dem E-Tretroller aus Sicherheitsgründen verboten werden sollten (VDR 15.08.2019).

Folglich stellt sich die Frage, ob sich die Jahreszeit auf die Nutzungshäufigkeit auswirkt. Abbildung A10.10 demonstriert, dass während der **Winterzeit die Nutzungshäufigkeit von Rädern und E-Tretrollern sinkt**. Der Rückgang wird besonders bei der (fast) alltäglichen Nutzung festgestellt, z.B. sinkt die (fast) tägliche Nutzung bei der Fahrradnutzung von 49% im Sommer um 16% auf 33% im Winter.

### 6.3.3 Wegelänge und Reichweite

Die Wegelänge bezieht sich auf die nutzungsbezogene maximal zurückgelegte Streckenlänge (Abbildung A10.11). Dabei müssen die Lastenräder mit und ohne Elektrounterstützung getrennt betrachtet werden.

Die größten Anteile der Pedelec- (33 %) und Lastenradfahrenden (38 %) liegen bei einer Wegelänge zwischen 15 km bis 30 km, während der größte Anteil der Fahrradfahrenden eine Wegelänge von 5 km bis 15 km zurücklegt. Längere Strecken zwischen 30 km bis 50 km werden von 23 % der Pedelecfahrenden und nur von 9 % der Fahrradfahrenden zurückgelegt. Auch ein Großteil der E-Lastenradfahrenden (31 %) legt eine Strecke von 5 km bis 15 km zurück. Es fällt auf, dass bei Langstrecken über 50 km Fahrräder (20 %) öfter verwendet werden als Pedelecs (16 %) und Lastenräder (18 %). Das könnte einerseits daran liegen, dass die sportlichen Fahrradfahrenden oft weitere Wege zurücklegen. Andererseits sind die Wegelängen der Pedelecs und Lastenräder von der Reichweite der Akkus beschränkt.

Trotz der Elektrounterstützung fahren E-Tretrollerfahrende erheblich kürzere Wegelängen im Vergleich zu Fahrradfahrenden. Hierbei legen drei Viertel der E-Tretrollerfahrenden eine Weglänge bis zu 5 km zurück. Das lässt sich aus dem Nutzungsmotiv von E-Tretroller erschließen, denn diese werden oft als Ergänzung zum ÖPNV eingesetzt (Schmitt et al. 2019; BDU 2019).

Ebenso legen die Nutzenden der Lastenräder ohne Elektroantrieb auch viel kürzere Wegelängen zurück. 84 % davon haben eine Wegelänge bis 15 km, wobei die Hälfte nur eine Wegelänge von maximal 5 km überwindet.

Abgesehen von der zurückgelegten Wegelänge wird auch die fahrzeugtechnische Reichweite des Akkus in Abhängigkeit der Saison betrachtet (Abbildung A10.12). In der Sommerzeit haben fast drei Fünftel der Pedelecs und die Hälfte der Lastenräder mit Elektroantrieb eine Reichweite zwischen 50 - 100 km. Circa 75% der Pedelecs und 90% der Lastenräder können eine Reichweite bis zu 100 km erreichen. Im Winter verringern sich die Anteile der Reichweite zwischen 50 - 100 km mit dem Pedelec und Lastenrad jeweils auf 45% und 40%. Dementsprechend vergrößern sich die Anteile der Reichweite zwischen 30 - 50 km von 15 - 19% auf 36 - 38%. Selbstverständlich ist die Reichweite stark von der Leistungsfähigkeit und der Anzahl der Akkus abhängig.

### 6.3.4 Wegenutzung

Bei der Wegenutzung geht es um bevorzugte Wege je nach der Örtlichkeit und Kfz-Belastung ohne Berücksichtigung der Radverkehrsanlagen (Abbildung A10.13).

Unabhängig von den Fahrzeugtypen werden die Hauptverkehrsstraßen mit hoher Kfz-Belastung außerorts nicht benutzt.

Die Pedelecfahrenden verzeichnen ein ähnliches Bild der Wegenutzung wie die Fahrradfahrenden. Dabei nutzen die Pedelecfahrenden mit einem geringeren Anteil innerörtliche Straßen mit niedriger Kfz-Belastung oder Wege im Grünen (24 %). Zugleich besteht ein höherer Anteil von Pedelecnutzenden (39%), die alle Wege in gleichem Maß befahren. Diese Tatsache fällt bei den Lastenradfahrenden noch deutlicher aus (43%). Daraus geht hervor, dass die Pedelec- und Lastenradfahrenden eher mutiger mit den Verkehrssituationen mit hoher Kfz-Belastung umgehen.

Dagegen bevorzugen bis zu 55 % der E-Tretrollerfahrenden innerörtliche Straßen mit niedriger Kfz-Belastung oder Grünanlagen. Das subjektive Sicherheitsempfinden der Wegenutzung ist weitestgehend mit der Beobachtung in Meyer et al. (2020) und GDV (2021) identisch, wo beschrieben wird, dass E-Tretroller aus Angst vor dem Kfz-Verkehr oft regelwidrig den Seitenraum oder den Gehweg nutzen.

### 6.3.5 Verkehrsmittelverlagerung

Bei der Verkehrsmittelverlagerung stellt sich die Frage über substitutive Verkehrsmittel, wenn die Räder und E-Tretroller nicht für den gesamten Weg genutzt werden (Abbildung A10.14). Unabhängig von den Fahrzeugtypen werden Wege, besonders bei den Lastenrad- und E-Tretrollerfahrenden, am häufigsten durch Fußwege ersetzt. Zwischen den anderen alternativen Verkehrsmitteln besteht kein großer Unterschied zwischen Radfahrenden, wobei die S-Bahn oder Regionalbahn noch häufiger als Ersatz benutzt wird. Im Gegensatz zu den Radfahrenden steigen die E-Tretrollerfahrenden viel öfter für die Komplettierung der Wegeketten auf den ÖPNV mit kurzer und mittlerer Entfernung (Bus, Straßenbahn und U-Bahn) um.

### 6.3.6 Nutzungsmotive

Zur genaueren Untersuchung der Nutzungsmotive von neuen Fahrzeugtypen mit Elektroantrieb (im Vergleich zu Fahrrädern) wurden die Vor- und Nachteile abgefragt. Um die Übereinstimmung der verschiedenen Aussagen zu vergleichen, werden die Aussagen je nach Konformitätsstufe skaliert (Abbildung A10.15 und Abbildung A10.16). Hierbei wurden die Vorteile eines Elektrofahrrades allgemein anstelle eines Pedelecs befragt.

Ein Argument für den Einsatz eines Elektrofahrrades besteht darin, eine „Steigung zu bewältigen“. Ebenso ist der „Fahrspaß“ auch einer der wichtigsten Gründe zur Nutzung eines Elektrofahrrads. Die ausgedehnte Wegelänge spielt sowohl im Alltag als auch in der Freizeit eine wichtige Rolle, was mit der Auswertung der Wegelänge in Kapitel § 6.3.3 übereinstimmt.

Für die Nutzung eines E-Lastenrades zählt erwartungsgemäß der einfache Transport von Lasten oder Kindern zu den bedeutsamsten Faktoren. Außerdem werden staufreies Vorankommen in der Stadt und

leichte Bewältigung der Steigungsstrecken als Nutzungsmotive der E-Lastenräder angesehen. Das repräsentiert gerade das Potenzial des Einsatzes von Lastenrädern im urbanen Lastenverkehr gemäß des Nationalen Radverkehrsplans 3.0.

Zu den bedeutsamsten Gründen der E-Tretrollernutzung zählen das staufreie Vorankommen und problemlose Abstellen in der Stadt. Eine E-Tretrollernutzung ist zudem mit der Reduktion der körperlichen Anstrengung verbunden, da E-Tretroller nicht (anders als beim Pedelec oder Lastenrad) durch Muskelkraft betrieben werden müssen. Desweitern wird das einfache Kombinieren mit der Nutzung von Auto oder ÖPNV sowie das leichte Mitführen der E-Tretroller angedeutet. Die Antworten der beiden nur für die E-Tretrollernutzung erstellten Fragen werden offensichtlich bestätigt.

Der Hintergrund für die Nicht-Nutzung kommt durch die hohen Anschaffungskosten eines Pedelecs. Außerdem werden erhöhte Kosten des Ersatzakkus und ein hohes Gewicht eines Pedelecs als Ursachen für die Ablehnung aufgeführt. Allerdings sind die Defizite der Radverkehrsanlagen wichtig, aber nicht maßgebend.

Ebenso werden hohe Anschaffungskosten als eines der größten Hindernisse für die Lastenradnutzung angegeben. Darüber hinaus sprechen die Defizite der Radverkehrsanlagen für einen der wichtigsten Faktoren gegen die Lastenradnutzung. Die Defizite der Radverkehrsanlagen umfassen in der Befragung die Mängel der Radwege, den schlechten baulichen (z.B. Unebenheit) und gestalterischen (z.B. zu schmal) Zustand. Ein hohes Gewicht und hohe Kosten des Ersatzakkus sind in einem gewissen Maß als Hürde für Lastenradnutzung gleichermaßen wie bei der Pedelecnutzung anzusehen.

Anders als bei der Pedelec- und Lastenradnutzung wird die Empfindlichkeit bei schlechtem Wetter als bedeutendster Nachteil für einen E-Tretroller angesehen. Gleichermaßen sind auch die Defizite der Radverkehrsanlagen die wichtigste Ursache für das Desinteresse der E-Tretrollernutzung. Allerdings stehen hierbei nur der schlechte bauliche Zustand wegen der Anfälligkeit der kleinen Räder und das Fehlen der Radwege wegen der Angst einer Fahrbahnführung in der Kritik. Dahingegen spielen die Bemessungsfragen der Radverkehrsanlagen hinsichtlich der Breitenangaben für die Auswahl der E-Tretrollernutzung eine weniger wichtige Rolle (sieht Abbildung A10.21 und Abbildung A10.22).

### 6.3.7 Sonderauswertung: Lastenradtypen

Die Lastenräder haben je nach Typ unterschiedliche Fahrzeugabmessungen. Angesichts der Fahrzeugnutzung lohnt es sich, die Verteilung aller (gelegentlich) benutzten Lastenradtypen zu ermitteln (Abbildung A10.17).

Die größte Anwendung findet das zweirädrige Lastenrad „Long John“ mit 75 %, darauf folgt das dreirädrige Lastenrad „Trike“. Die Verteilung zeigt kaum Unterschiede zu der Studie von Wolfermann (2019c) (68% „Long John“ und 18% „Trike“). Die beiden Lastenradtypen kommen überwiegend für die private Nutzung zum Einsatz. Ein großer Unterschied zu Wolfermann (2019c) liegt in dem Anteil von Dreirad-Schwertransportern mit 6%, da das Modell nicht in der genannten Studie enthalten ist. Der Schwertransporter mit einer Breite von mehr als 1 m dient vor allem wirtschaftlichen Zwecken und ist für die Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen maßgebend. Aus der Befragung wird deutlich, dass ein breites Lastenrad noch selten zum Einsatz kommt.

## 6.4 (Regelwidriges) Fahrverhalten

Hinsichtlich der Studie wird schwerpunktmäßig untersucht, inwieweit sich das Fahrverhalten hinsichtlich der Fahrzeugmerkmale (z.B. Geschwindigkeit, Bremsen) und der spezifischen Umstände (z.B. Steigung, Nässe) der E-Fahrzeugnutzenden gegenüber den Nutzenden konventioneller Fahrräder ändert (Abbildung A10.18). Hierbei werden die Fahrzeuge in Pedalieren und Elektrounterstützung (Pedelec und E-Lastenrad) sowie Fahrzeuge mit reinem Elektroantrieb (E-Tretroller) unterteilt.

Für die Pedelec- und E-Lastenradfahrenden erweist sich das leichte und schnelle Befahren steiler Steigung als positive Fahreigenschaft. Dies ermöglicht den Pedelec- und E-Lastenradfahrenden das häufige Überholen auch an steilen Stellen im Gelände. Ein weiteres Merkmal der beiden Verkehrsmittel ist eine höchstmögliche Geschwindigkeit.

Wegen einer technisch zulässigen Geschwindigkeit von 20 km/h ohne Pedalmöglichkeit, ist die Spezifikation des Fahrverhaltens von E-Tretrollern nicht so umfangreich ausgeprägt wie von Pedelecs oder Lastenrädern. Es fällt nur die „leichte Beschleunigung“ ins Gewicht. Ansonsten werden leichtes Befahren, häufiges Überholen auf Steigungsstrecken und ein schnelles Anfahren am Knotenpunkt in einem gewissen Maß bestätigt. Das schnelle Anfahren am Knotenpunkt wird bei einem E-Tretroller durch das Betätigen eines Gasgriffes ermöglicht. Ein Grund für die Ablehnung der E-Tretrollernutzung sind längere Bremswege bei Nässe als mit dem Pedelec oder E-Lastenrad.

Daran schließt sich die Frage an, wie sich Rad- und E-Tretrollernutzende verhalten (Abbildung A10.19). Generell verhalten sich E-Tretrollerfahrende öfter regelwidrig als Nutzende anderer Fahrzeugtypen. Besonders fallen die ordnungswidrige Nutzung der Gehwege und das Fahren in falscher Richtung auf. Bei den Lastenradfahrenden gehört die ordnungswidrige Nutzung der Fahrbahn zum häufigsten Verstoß. Dies wird durch Wolfermann (2019c) teilweise so begründet, dass Lastenradfahrende (vor allem Fahrende des Modells Trike) Konflikte auf dem Gehweg oder zu schmalen Radwegen vermeiden und deshalb verstärkt die Fahrbahn bevorzugen. Im Vergleich dazu zeigen Pedelecfahrende keine auffällige ordnungswidrige Nutzung gegenüber Fahrradfahrenden.

## 6.5 Wahrnehmung der Bemessung von Radverkehrsanlagen

### 6.5.1 Allgemeines Sicherheitsempfinden

Zuerst wird die generelle Frage nach dem subjektiven Sicherheitsempfinden von Rad- und E-Tretrollerfahrenden an Radverkehrsanlagen behandelt (Abbildung A10.20). Im Allgemeinen hat fast die Hälfte der Fahrenden (46%) ein relativ sicheres („sehr sicher“ und „sicher“) und 15% ein relativ unsicheres Empfinden („unsicher“ und „sehr unsicher“). Die restlichen 38% empfinden die subjektive Sicherheit als neutral.

Das subjektive Empfinden der Nutzenden neuer Fahrzeuge weist ein unterschiedliches Bild gegenüber den Fahrradfahrenden auf. Die Anteile der „sicheren“ und „unsicheren“ Empfindungen der Peledecfahrenden sind zusammen leicht höher als die der Fahrradfahrenden.

Im Vergleich dazu haben **Lastenrad- und besonders E-Tretrollerfahrende** ein **deutlich unsicheres Empfinden**. Die „unsichere“ Empfindung bei Lastenradfahrenden wird gegenüber den Fahrradfahrenden mehr als verdoppelt und bei E-Tretrollerfahrenden sogar verachtfacht. Dabei finden mehr als 50% der E-Tretrollernutzenden das Fahren als unsicher.

Darauf aufbauend ist festzulegen, welche Kriterien für die Radverkehrsanlagen je nach den Nutzenden verschiedener Fahrzeugtypen von großer Bedeutung sind (Abbildung A10.21).

Die spezifische (getrennte) Führungsform der Radverkehrsanlagen, breitere Radverkehrsanlagen und ein guter baulicher Zustand der Radverkehrsanlagen werden von den Nutzenden aller Fahrzeugtypen als wichtig angesehen. Allerdings erachten die **E-Tretrollerfahrenden die spezifischen Führungsformen und den guten baulichen Zustand der Radverkehrsanlagen** für wichtiger als breitere Radverkehrsanlagen. Dagegen halten die **Lastenradfahrenden breitere Radverkehrsanlagen** als besonders wichtig. Dies korrespondiert mit dem Ergebnis der Gründe für die Ablehnung der E-Tretrollernutzung (Abbildung A10.16).

Neben den genannten Kriterien, werden zudem „Strecken mit weniger Kfz“ generell als wichtig bewertet, besonders von E-Tretrollerfahrenden. Dadurch wird nochmal nachgewiesen, dass die E-Tretrollerfahrenden generell ein Angstgefühl gegenüber Kfz haben. Im Vergleich dazu ist dieses Argument für Lastenradfahrende weniger maßgebend, weil sie wegen ihrer größeren Fahrzeugabmessung weniger Angst bei der Fahrbahnführung haben laut Wolfermann (2019c).

Des Weiteren wird der „Vorrang für die Führung des Radverkehrs“ als sehr wichtig bewertet, abgesehen von der Gruppe der E-Tretrollerfahrenden.

„Die an den Radverkehr angepasste Lichtsignalsteuerung“ stellt die deutliche Diskrepanz der Empfindungen dar. Die Fahrrad- und Pedelecfahrenden erachten sie für wichtig, während die E-Tretrollerfahrenden sie als unwichtig ansehen. Das hängt überwiegend mit der unterschiedlichen Geschwindigkeit

zusammen. Ein Anliegen ist hierbei die Anpassung der Lichtsignalsteuerung an den Radverkehr in Form der Grünen Welle mit Tempo 30. Daraus resultiert die Erwartung, dass die schnellen Radfahrenden in die Grüne Welle zu integrieren sind. Die angepasste Lichtsignalsteuerung ist für die E-Tretrollerfahrenden mit einer technisch maximalen Geschwindigkeit von 20 km/h weniger bedeutend.

Neben den vorliegenden Kriterien ist den Fahrradfahrenden eine umwegfreie und schnelle Führung besonders wichtig. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Fahrradfahrenden ohne Elektrounterstützung bei Umwegen viel mehr Zeit und Mühe aufwenden müssten als die Nutzenden anderer Fahrzeugtypen.

Für die Pedelecfahrenden ist zusätzlich eine direkte Führung beim Linksabbiegen relevant.

Für die Lastenradfahrenden sind ein großzügiger Kurvenradius und Strecken mit weniger Einflussnahme von zu Fuß Gehenden viel relevanter als für die anderen Nutzenden. Ersteres kann sonst bei Lastenradfahrenden wegen ihrer besonderen Baukonfiguration zu Schwierigkeit bei der Kurvenfahrt führen. Letzteres führt zu Konfliktsituationen mit zu Fuß Gehenden bei der Führung im Seitenraum.

Zum Schluss werden noch die Aussagen über die Breite von Radverkehrsanlagen und die Führungsform des Radverkehrs hinsichtlich der Konflikte mit zu Fuß Gehenden abgefragt (Abbildung A10.22). Über das Thema der Bemessung von Radverkehrsanlagen wird aktuell stark diskutiert. Es wird abermals nachgewiesen, dass die E-Tretrollerfahrenden breitere Radverkehrsanlagen zur Erhöhung subjektiver Sicherheit bevorzugen, während die Radfahrenden, besonders Lastenradfahrende, diese zur Vereinfachung des Überholens präferieren. Aussagen über die Führungsform werden grundsätzlich weniger getroffen. Allerdings ist zu erkennen, dass die Lastenradfahrenden stärker die Fahrbahnführung vorziehen als die anderen Nutzenden.

### 6.5.2 Wahrnehmung der Entwurfselemente

**Breite von Radverkehrsanlagen**

Im Folgenden werden das subjektive Sicherheitsempfinden und die Einschätzung von Überholmöglichkeiten je nach Führungsform in Abhängigkeit der gefühlten Breite von Radverkehrsanlagen näher untersucht (Abbildung A10.23). Natürlich wird bei schmalen Radverkehrsanlagen der Fokus auf die Sicherheit gerichtet, während bei breiten Radverkehrsanlagen das Hauptaugenmerk auf den Überholmöglichkeit liegt.

Im Allgemeinen steigt das Sicherheitsempfinden an Radverkehrsstreifen (Abbildung A10.23 (a) und (b)) ab einer Breite von 1,85 m deutlich. Auffallend ist allerdings, dass die subjektive Sicherheit an breiteren Schutzstreifen (1,75 m) schlechter bewertet wird, als an schmaleren Radfahrstreifen (1,50 m). Dies könnte mit dem rechtlichen Gebot verbunden sein, dass die Kfz den Schutzstreifen im Notfall mitbenutzen dürfen. Angesichts der Überholmöglichkeit halten 33% der Nutzenden das Überholen an einem 1,85 m breiten Radfahrstreifen für einfach und knapp 50% für schwierig.

Am Einrichtungsradweg (Abbildung A10.23 (c)) und geschützten Radfahrstreifen (Abbildung A10.23 (e)) ist das Sicherheitsempfinden im Allgemeinen besser als an Radverkehrsstreifen. Es ist hervorzuheben, dass an einem 1,40 m breiten geschützten Radfahrstreifen der Anteil des bedrohlichen Gefühls bei 25% („gefährlich“ und „etwas gefährlich“) liegt, während der Anteil bei 1,50 m - 1,75 m breiten Schutzstreifen 57% - 38% und am 1,50 m breiten Radfahrstreifen 37% beträgt. In Hinsicht auf die Überholmöglichkeit sieht ein Großteil der Probanden (71%) kein Problem bei 2,00 m breiten Radwegen zu überholen, im Gegensatz zu Radfahrstreifen mit derselben Breite (57%). Am 2,25 m breiten geschützten Radfahrstreifen empfinden vier Fünftel der Nutzenden das Überholen als reibungslos.

Bei einem Zweirichtungsradweg (Abbildung A10.23 (d)) unter dem Mindestmaß von 1,60 m Breite, ist ein deutlich negativeres Sicherheitsempfinden der Nutzenden erkennbar (56%), als bei einem Einrichtungsradweg mit selbiger Breite oder sogar unter dessen Mindestmaß von 1,30 m Breite (35%). Erstaunlicherweise weist ein Zweirichtungsradweg mit dem Regelmaß von 2,50 m Breite einen leicht höheren Anteil (23%) des unsicheren Empfindens auf als ein 1,60 m breiter Einrichtungsradweg. Die Überholmöglichkeit wird am 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg auch nicht als besonders befriedigend beurteilt, nur 43% der Befragten finden diese Breite als überholsicher.

Werden Pedelecfahrende mit Fahrradfahrenden verglichen, haben Pedelecfahrende ein höheres unsicheres Empfinden auf Radverkehrsanlagen mit mäßiger Breite (z.B. 1,75 m breiter Schutzstreifen, 1,60 m breiter Einrichtungsradweg). Bei schmalen Radverkehrsanlagen ist das subjektive Sicherheitsempfinden beider Befragungsgruppen (Pedelecs und Fahrräder) schlecht. Auch auf breiten Radverkehrsanlagen (z.B. 2,00 m breiter Radfahrstreifen und Radweg) ist der Anteil der Pedelecfahrenden im Vergleich leicht höher, der Schwierigkeiten beim Überholen hat. Allerdings ist der Unterschied des Sicherheitsempfindens und der Überholmöglichkeit zwischen Pedelec- und Fahrradfahrenden kleiner als der Unterschied zwischen Lastenrad- und Fahrradfahrenden.

Die Lastenradfahrenden haben ein eindeutig schlechteres Sicherheitsempfinden an schmalen Radverkehrsanlagen (z.B. 1,50 m breiter Radfahrstreifen, 1,30 m breiter Radweg) als die Fahrradfahrenden.

Schwerpunktmäßig wird die Überholmöglichkeit bei Lastenrädern betrachtet. Es haben doppelt so viele Lastenradfahrende Schwierigkeiten auf 2,00 m breiten Radfahrstreifen und Radwegen zum Überholen anzusetzen. Dieses Hemmnis sinkt deutlich ab einem 2,25 m breiten geschützten Radfahrstreifen.

Die E-Tretrollerfahrenden zeigen deutlich unterschiedliche Empfindungen an schmalen und breiten Radverkehrsanlagen. An schmalen Radverkehrsanlagen (z.B. 1,25 m und 1,50 m breite Schutzstreifen) haben sie ein schlechteres Sicherheitsempfinden (höherer Anteil von „gefährlich“ und „etwas gefährlich“) als die Fahrradfahrenden, während an breiten Radverkehrsanlagen (z.B. 2,00 m breiter Radfahrstreifen oder Radweg) die E-Tretrollernutzenden häufiger als Fahrradfahrende von einem einfachen Überholen sprechen. Das stimmt mit den vorliegenden Ergebnisse überein, dass die E-Tretrollerfahrenden die breiteren Radverkehrsanlagen zur Erhöhung der subjektiven Sicherheit benötigen, allerdings finden sie das Überholen als unproblematisch.

**Breite von Sicherheitstrennstreifen**

Zuerst wird die Auswirkung der Sicherheitstrennstreifen in Kombination mit Parken auf die subjektive Sicherheit erläutert (Abbildung A10.24). Im Allgemeinen hat der **unmarkierte Sicherheitstrennstreifen kaum Einfluss auf die subjektive Sicherheit** gegenüber den Strecken ohne Sicherheitstrennstreifen. Unter den beiden Fällen haben mehr als 80% der Nutzenden ein Gefühl von Unsicherheit. Beim 0,25 m breiten unmarkierten Sicherheitstrennstreifen sind mehr Probanden mit einem unsicheren Empfinden (89%) unterwegs als bei der Strecke ohne Sicherheitstrennstreifen (83%). Das könnte durch die Visualisierung der Verkehrssituationen ausgelöst werden (Frage 16 im Anhang 6). Für die Strecke ohne Sicherheitstrennstreifen wird die Abbildung mit baulichen Parkständen gezeigt, dabei parkten fast alle Fahrzeuge passend in den Parkständen. Demgegenüber wird die Abbildung mit markierten Parkständen für die Strecke mit unmarkiertem Sicherheitstrennstreifen beigefügt und die Fahrzeuge parkten gerade an der Markierung oder ragten über die Radverkehrsanlagen hinaus. Mit dem Einsatz der 0,50 m und 0,75 m breit markierten Sicherheitstrennstreifen fallen die Anteile des unsicheren subjektiven Sicherheitsempfinden eindeutig jeweils auf 53% und 23%.

An der Strecke ohne Sicherheitstrennstreifen lassen die Lastenrad- und E-Tretrollernutzenden höhere Anteile eines subjektiven Sicherheitsrisikos erkennen und an der Strecke mit unmarkierten Sicherheitstrennstreifen zeigen die Pedelecfahrenden einen vernachlässigbar höheren prozentualen Teil als Fahrradfahrende. Natürlich sind solche leicht unterschiedlichen Prozente wenig aussagekräftig, da die vorhandene Akzeptanz der beiden Fälle bereits ziemlich unzulänglich ist.

Im Gegensatz dazu wird dieser Trend an der Strecke mit 0,50 m breitem Sicherheitstrennstreifen verdeutlicht. Dabei haben die Pedelec-, Lastenrad- und E-Tretrollernutzenden häufiger ein eindeutig geringeres Sicherheitsempfinden als die Fahrradfahrenden. Besonders bei den Lastenradfahrenden beträgt die Differenz 30% zu den Fahrradfahrenden.

An der Strecke mit 0,75 m breitem Sicherheitstrennstreifen bilden die E-Tretrollerfahrenden die deutlich subjektiv sicherste Gruppe, ganz anders als die Lastenradfahrenden. Trotzdem **hält der Großteil der Nutzenden** (mehr als 70%), unabhängig von dem Fahrzeugtypen, **einen 0,75 m breiten Sicherheitstreifen als ungefährlich**.

Anschließend wird der Blick auf die Auswirkung des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radweg und Fahrbahn gerichtet (Abbildung A10.25). Wie vorab erwähnt hat der Radweg generell ein besseres Sicherheitsempfinden als Radverkehrsstreifen. Daher hat der Radweg ohne Sicherheitstrennstreifen auch nur 37 % der unsicheren Einschätzung. Trotzdem fällt der Anteil des gefährdeten Eindrucks („gefährlich“ und „etwas gefährlich“) von 37 % auf 15 % und der Anteil der sicheren Empfindung steigt von 20 % stark auf 52 % nach dem Einsatz von Sicherheitstrennstreifen. Besonders nennenswert ist, dass die Pedelec- und Lastenradfahrenden mit einer stärkeren unsicheren Empfindung am Radweg ohne Sicherheitstrennstreifen als die Fahrradfahrenden abschneiden. Solche Unterschiede sind nicht an Radwegen mit 0,50 m breitem Sicherheitstrennstreifen erkennbar.

Zuletzt wird die subjektive Sicherheit beim Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn erfasst, der innovativ in Frankfurt am Main in der Praxis eingesetzt wird (Abbildung A10.26). Im Vergleich zu den Radfahrstreifen mit einer Breite von 1,85 m und 2,00 m sinkt der Anteil der gefährdeten Empfindung („gefährlich“ und „sehr gefährlich“) kaum bei den Nutzenden aller Fahrzeugtypen. Laut der Berliner Studie von Tagesspiegel (2021) hat eine **bauliche Trennung eine bessere Sicherheitsempfindung** (92%) als eine **reine Markierung der Sperrfläche als Sicherheitstrennstreifen** (wie Visualisierung in der Umfrage) mit 71,5%.

### Längsneigung

Angesichts der Auswirkung der Längsneigung werden die Geschwindigkeitsänderung und die Befahrbarkeit mit unterschiedlicher Steigung eingeschätzt (Abbildung A10.27). Im Allgemeinen hat eine Steigung bis zu 3 % einen geringen Einfluss auf die Geschwindigkeit, nur 12 % der Nutzenden haben eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung gezeigt. Bei einer 5 % Steigung stellt sich bei zwei Fünftel der Nutzenden eine deutliche Geschwindigkeitsreduktion ein, jedoch führt es nur selten dazu, dass die Personen zum Absteigen oder Schieben neigen (2 %). Bei einer 6 % Steigung kommt es bei fast drei Fünftel der Nutzenden zu einer deutlichen Geschwindigkeitsreduzierung und der Anteil zum Absteigen oder Schieben vervierfacht sich gegenüber einer Steigung von bis zu 5 %.

Zwischen den Nutzenden der verschiedenen Fahrzeugtypen werden Pedelecfahrende am geringsten von der Längsneigung beeinflusst. An der 6 % Steigung erfolgt bei weniger als einem Drittel die deutliche Geschwindigkeitsreduzierung und vernachlässigbare 2 % der Pedelecfahrenden haben Probleme mit der Befahrbarkeit. Die Lastenradfahrenden werden ein bisschen deutlicher von der Längsneigung beeinflusst als die Pedelecfahrenden. An der 6 % Steigung vollzieht die Hälfte eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung, dennoch ohne Absteigen und Schieben. Problematisch ist es bei den E-Tretrollerfahrenden bezüglich der Befahrbarkeit. Bis zu einer Steigung von 5% ist die Auswirkung der Längsneigung auf die E-Tretroller noch vergleichbar mit den Fahrrädern. Allerdings steigt ein besonders hoher Anteil der E-Tretrollerfahrenden ab und schiebt (22%) gegenüber dem Anteil der Fahrradfahrenden (7%). Das heißt, dass **an einer steilen Steigung die Befahrbarkeit mit dem E-Tretroller schwieriger** sein könnte als die Befahrbarkeit mit dem Fahrrad.

### Kurvenbereich

Hierbei stellt sich die Frage, ob sich die kurvige Gestaltung der straßenbegleitenden Radverkehrsanlagen auf die Geschwindigkeit und Befahrbarkeit auswirkt (Abbildung A10.28). Insgesamt kommen vier Szenarien in der Umfrage auf, nämlich die Verschwenkung der Straßenraumgestaltung, der Übergang von Radfahrstreifen auf einen Radweg (Führungsformwechsel), der Knick der Radverkehrsanlagen und das Rechtsabbiegen mit spitzem Winkel. **Bei der Verschwenkung und dem Übergang von Radfahrstreifen auf einen Radweg** haben Rad- und E-Tretrollerfahrenden **kaum oder kleine Hürden**. Beim Knick von Radverkehrsanlagen haben 40% der Nutzenden deutliche Geschwindigkeitsreduzierungen. **Am unbequemsten ist das spitzwinklige Rechtsabbiegen** mit dem Führungsformwechsel, wo 70% der Nutzenden deutliche Geschwindigkeitsreduzierungen vornehmen und 15% der Nutzenden ein Absturzrisiko befürchten.

Die Pedelecfahrenden schätzen die Beeinträchtigung in Kurvenbereichen wie die Fahrradfahrenden ein, abgesehen von Verschwenkungen. Bei der Verschwenkung haben 9 % mehr Nutzende von Pedelecs eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung oder höheres Absturzrisiko als von Fahrrädern. Das

ist auf die generell höhere Geschwindigkeit von Pedelecs zurückzuführen. Allerdings schätzen die meisten Pedelecnutzenden (83 %) die Verschwenkung als problemlos ein. Die steigende negative Auswirkung der Kurvenbereiche bleibt im Vergleich zu Fahrrädern bei Pedelecs unbemerkt.

Im Folgenden wird der Fokus auf Lastenräder gelegt. Bei der Verschwenkung und dem Wechsel der Führungsform ist die Auswirkung auf Lastenräder nicht gravierender als auf Fahrrädern. Dennoch liegt der Anteil des Absturzriskos mit Lastenrädern geringfügig höher als mit Fahrrädern, zum Teil wegen der kleinen Stichprobengröße. **Bei dem Knick und dem spitzwinkligen Rechtsabbiegen werden die Lastenradfahrenden viel deutlicher beeinflusst als die Fahrradfahrenden**. Beim spitzwinkligen Rechtsabbiegen geben lediglich 4 % der Lastenradnutzenden keinen Einfluss auf ihren Fahrstil an.

Die E-Tretrollerfahrenden werden viel weniger von den kurvigen Radverkehrsanlagen beeinflusst als die Radfahrenden. Aus Bierbach et al. (2018) entsteht die Vermutung, dass die „normalen "auf Fahrräder ausgerichtete Kurvenradien weniger Einfluss auf die E-Tretroller nehmen. Bedenklich ist die Befahrbarkeit beim spitzwinkligen Rechtsabbiegen. Dennoch ist die Auswirkung hier nicht prekärer als auf die Fahrräder.

### 6.5.3 Wahrnehmung der Führung an Strecken

Die Kernfrage der Radverkehrsführung an Strecken liegt darin, ob eine gemeinsame Führung mit dem Fußverkehr wegen schneller Radfahrenden noch verträglich ist oder eine Führung auf der Fahrbahn besonders im Mischverkehr akzeptiert werden sollte (Abbildung A10.29).

Für die gemeinsame Führung mit dem Fußverkehr werden zwei kontroverse Verkehrssituationen, nämlich mehr Fuß- und Radverkehr am breiten Gehweg und weniger Fuß- und Radverkehr am schmalen Gehweg, betrachtet. Im Allgemeinen empfinden die Nutzenden **den breiten Gehweg mit mehr Fuß- und Radverkehr unsicherer als den schmalen Gehweg mit weniger Fuß- und Radverkehr**. Am breiten Gehweg stufen fast 10% mehr die Situation als „sehr gefährlich" ein im Vergleich zum schmalen Gehweg. Die Diagramme zeigen auf, dass an breiten Gehwegen das Sicherheitsempfinden besser ist (weniger Probanden gaben hier „sehr gefährlich" an) im Gegensatz zu dem Mischverkehr innerorts. Trotzdem wird das gesamte Sicherheitsempfinden an breiten Gehwegen mit mehr Fuß- und Radverkehr („sehr gefährlich" und „gefährlich": 66%) nicht besser als im Mischverkehr innerorts („sehr gefährlich" und „gefährlich": 70%) eingeschätzt.

Zwischen den Nutzenden der verschiedenen Fahrzeugtypen weisen die Pedelec- und Lastenradfahrenden, im Gegensatz zu den Fahrradfahrenden, den höchsten Anteil einer gefährlichen Wahrnehmung auf Gehwegen auf. Dieser Trend wird bei den Lastenradfahrenden besonders auffällig. Dahingegen liegt der Anteil des gefährlichen Empfindens bei den E-Tretrollerführenden eindeutig unter dem Durchschnitt, besonders am schmalen Gehweg mit weniger Fuß- und Radverkehr. Dies könnte zum Teil erklären, warum die E-Tretrollerfahrenden von der Fahrbahn in den Seitenraum oder auf den Gehweg ausweichen.

Bei der Fahrbahnführung im Mischverkehr innerorts haben die Pedelec- und Lastenradfahrenden ein positiveres Sicherheitsempfinden als die Fahrradfahrenden, während die E-Tretrollerfahrenden ein deutlich schlechteres Sicherheitsempfinden aufweisen. Fast 90 % halten es für ausgeschlossen, eine sichere Fahrt im innerörtlichen Mischverkehr zu erlangen (Einstufung als „sehr gefährlich" und „gefährlich"), dies verhält sich äquivalent bei der Führung im Mischverkehr außerorts.

Die Fahrbahnführung im Mischverkehr außerorts wird unabhängig von den Fahrzeugtypen generell als gefährlich eingestuft. Hierbei halten fast 90 % der Nutzenden die Fahrt als gefährlich und davon mehr als 60% als sehr gefährlich. Dies stimmt mit dem Ergebnis der Wegenutzung überein (Abbildung A10.13). In diesem Fall haben die Lastenradfahrenden eine schlechtere subjektive Empfindung als die anderen Verkehrsteilnehmenden.

Basierend darauf wurde anschließend die Verkehrsflächenwahl in verschiedenen Situationen befragt (Abbildung A10.30). Die verschiedenen Situationen beziehen sich hauptsächlich auf die duale Führungsform mit unterschiedlicher Straßenraumgestaltung, Markierung und Verkehrszeichen. Daneben werden auch die Akzeptanz und Erkenntnisse über die Radverkehrsanlagen erhoben, weil in den Fragen nur „Schilder" und „Piktogramme" angesprochen werden und nicht die Benutzungspflicht.

Geht es um die grundsätzliche Regelung Gehweg „Radfahrer frei“, wollten mehr Nutzende die Fahrbahn (Abbildung A10.30 (a)) befahren als bei den nicht benutzungspflichtigen Radwegen (Abbildung A10.30 (b)(c)). Auffällig ist, dass ein sogar noch höherer Personenanteil den Seitenraum bei der Strecke mit Piktogrammen (Abbildung A10.30 (b)) nutzt als ohne Piktogramme (Abbildung A10.30 (c)). Das könnte teilweise mit der Visualisierung in der Umfrage zusammenhängen (Frage 23 im Anhang 6). Bei der Rekonstruktion der Strecke mit Piktogrammen herrscht eine höhere Kfz-Verkehrsflussdichte direkt neben dem Radweg. Dagegen taucht kaum Kfz-Verkehr bei der Strecke ohne Piktogramm auf. An der Strecke ohne Radweg oder hinweisende Schilder (Abbildung A10.30 (d)) kennen 83 % der Nutzenden im Bild die Regelung, dass die Radfahrenden und E-Tretrollerfahrenden ohne Radweg im Regelfall die Fahrbahn nutzen müssen. Allerdings findet ein schmaler gemeinsamer Geh- und Radweg (Abbildung A10.30 (e)) schlechtere Akzeptanz, sodass mehr als die Hälfte der Nutzenden regelwidrig die Fahrbahn benutzen wollten.

Ob die Pedelecfahrenden eine Fahrbahnführung bei dualer Führungsform bevorzugen, variiert stark nach der Strecke. Bei der Regelung Gehweg „Radfahrer frei“ bevorzugen 13 % mehr Pedelecfahrende die Fahrbahnnutzung als die Fahrradfahrenden, während an der Strecke mit Radweg ohne Piktogramm die Anteile der Fahrrad- und Pedelecfahrenden kaum prozentuale Unterscheide aufweisen.

Nur bei der Regelung Gehweg „Radfahrer frei“ verzeichnen die Lastenradfahrenden mit 54 % einen deutlichen Trend zur Fahrbahnnutzung im Gegensatz zu den Fahrradfahrenden mit 27 %. An nicht benutzungspflichten Radwegen und am schmalen gemeinsamen Geh- und Radweg mit schlechter Akzeptanz ist im Vergleich von Lastenrad- und Fahrradnutzung kein bemerkbarer anteiliger Unterschied zu finden. An den Radwegen stellen die Lastenradfahrenden sogar einen höheren Anteil mit der Führung im Seitenraum als die Fahrradfahrenden. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der Radweg bei den Lastenradfahrenden besonders beliebt ist (Wolfermann 2019c) .

Es ist klar ersichtlich, dass die E-Tretrollerfahrenden gegenüber Radfahrenden eindeutig zur Gehwegnutzung neigen. Bei der Regelung Gehweg „Radfahrer frei“ wählen noch 95% der E-Tretrollerfahrenden den Gehweg, obwohl der Gehweg in dieser Regelung nicht für diese Gruppe freigegeben wird. An der Straße ohne Radweg und dem benutzungspflichtigen schmalen Gehweg mit schlechter Akzeptanz, wählt ein Großteil der E-Tretrollerfahrenden den Seitenraum aus.

### 6.5.4 Wahrnehmung der Führung an Knotenpunkten

Zuerst wird die Führung der geradeaus Rad- und E-Tretrollerfahrenden bezüglich der rechtsabbiegenden Kfz untersucht (Abbildung A10.31). Dazu wurde das subjektive Sicherheitsempfinden für die Gestaltung mit Führung der rechtsabbiegenden Kfz abgefragt.

Im Allgemeinen werden von mehr als 70 % der Nutzenden **Radfahrstreifen in Mittellage mit längerem Verflechtungsbereich als gefährlich** („gefährlich“ und „sehr gefährlich“) eingeschätzt. Das Vorhandensein von Dreiecksinseln ohne Signalisierung und absetzte Radwege zeigen dagegen ein besseres Sicherheitsempfinden. Diese beiden Möglichkeiten werden von etwa 55 % der Nutzenden als gefährlich eingestuft. Das Vorhandensein von Dreiecksinseln ohne Signalisierung wird hiervon als leicht gefährlicher angesehen, d.h. an abgesetzten Radwegen sind weniger die gefährlichen, mehr die ungefährlichen Empfindungen der Probanden zu verzeichnen.

Zwischen den Nutzenden der verschiedenen Fahrzeuge zeigen Lastenrad- und E-Tretrollerfahrende ein unsicheres Gefühl an Radfahrstreifen in Mittellage und sichereres Gefühl an abgesetzten Radwegen im Vergleich zu Fahrrad- und Pedelecfahrenden. Besonders an abgesetzten Radwegen fühlen sich nur 19 % der E-Tretrollerfahrenden gefährdet. Zwischen Fahrrad- und Pedelecfahrenden besteht kein wesentlicher Unterschied des Sicherheitsempfindens.

Im Folgenden wird die bevorzugte Führung der linksabbiegenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden besprochen (Abbildung A10.32). Drei Fünftel der Befragten präferieren das direkte Linksabbiegen und circa ein Viertel das indirekte Linksabbiegen. Zwischen Fahrrad-, Pedelec- und Lastenradfahrenden wird kaum ein Unterschied der Bevorzugung der Führung vom Linksabbiegen ersichtlich. Auffällig ist, dass die Pedelec- und Lastenradfahrenden einen unwesentlich niedrigen Anteil des direkten Linksabbiegens verzeichnen. E-Tretrollerfahrende hingegen, bevorzugen das indirekte Linksabbiegen (57 %).

Zudem favorisieren weitere 39 % der E-Tretrollernutzenden die Führung über die Fußgängerfurt. Daraus ergibt sich ein vernachlässigbarer Anteil der E-Tretrollerfahrenden für das direkten Linksabbiegen.

## 6.6 Fazit

Die soziodemographischen Merkmale zeigen, dass mehr Männer mit dem Rad oder E-Tretroller fahren als Frauen, besonders zwei Drittel der E-Tretrollernutzenden sind männlich. Pedelecs spielen eine wichtige Rolle bei Senioren. Allerdings gewinnen Pedelecs bei Berufstätigen im mittleren Erwachsenenalter an Bedeutung und generell ist eine Tendenz zu jüngeren Pedelecnutzenden deutlich bemerkbar. Die Lastenrad- und E-Tretrollernutzenden sind jünger als die Fahrradfahrenden. Ein Anteil der E-Tretrollerfahrenden besteht aus Studierenden und Schüler(innen), die hingegen nie Pedelecs und Lastenräder nutzen. Pedelec- und Lastenradfahrende haben ein gehobeneres Einkommen als die Fahrrad- und E-Tretrollerfahrenden. Das ist zum Teil mit den hohen Anschaffungskosten der Fahrzeuge verbunden. Als Örtlichkeit kommen Lastenräder und E-Tretroller vor allem in Stadtregionen zum Einsatz, insbesonders konzentriert sich die Nutzung der E-Tretroller fast nur in Metropolen und Großstädten, weil sie oft als Ergänzung des ÖPNV gesehen und das öffentliche Sharing-System genutzt werden. Dagegen kommen Pedelecs häufiger in Haushalten außerhalb von Metropolen und Großstädten infrage, Anzahl steigend.

Angesichts des Mobilitätsverhaltens werden Fahrräder und Pedelecs überwiegend im Freizeitverkehr eingesetzt, während Lastenräder hauptsächlich zum Einkaufen benutzt werden. Die E-Tretroller, die regelmäßig benutzt werden, kommen überwiegend im Pendlerverkehr oder bei Dienstreisen zum Einsatz. Der Wegezweck hängt mit der Nutzungshäufigkeit zusammen. Bei der (fast) täglichen Nutzung werden alle Fahrzeuge am häufigsten für den Weg zur Arbeit benutzt. Die Wege zum Einkaufen mit Lastenrädern und Dienstwegen mit E-Tretrollern treten bei mehrmaliger Nutzung pro Woche vermehrt auf. Die Wege im Freizeitverkehr werden bei geringerer Nutzungshäufigkeit wichtiger.

Durch die Nutzung der Pedelecs und Lastenräder ist die maximale Wegelänge auf 15 km bis 30 km gestiegen. Die Wegelänge der Pedelecs und Lastenräder ist von der Reichweite des Akkus eingeschränkt besonders in der Winterzeit. Die nutzungsbezogene und fahrzeugtechnische Entfernung mit dem E-Tretroller ist deutlich kürzer als mit dem Fahrrad. Im Allgemeinen ist eine längere Strecke nicht für die E-Tretroller geeignet. Als Besonderheit der elektrounterstützten Fahrzeuge wird das schnelle und leichte Befahren hoher Steigungen mit Pedelecs und Lastenrädern erfasst und dementsprechend kommt ein häufiges Überholen mit Pedelecs und Lastenrädern an Steigungen vor. Mit dem E-Tretroller werden überwiegend eine leichte Beschleunigung und ein schnelles Anfahren am Knotenpunkt positiv gesehen.

Die Gründe für die Nutzung der neuen Fahrzeuge bleiben unverändert. Die Pedelecs dienen überwiegend zur einfachen Bewältigung der Steigung. Die Lastenräder kommen überwiegend zum mühelosen Transport der Lasten und Kinder zum Einsatz. Die E-Tretroller haben den Vorteil staufrei durch die Stadt zufahren und einfach einen Abstellplatz zu finden. Außerdem zählen die einfache Mitnahme der Fahrzeuge und die Ergänzung von ÖPNV zu den wichtigsten Vorteilen der E-Tretroller. Das Hindernis zur Nutzung von Pedelecs und Lastenräder liegt an den hohen Anschaffungskosten, während die Hürde für die E-Tretrollernutzung das schlechte Wetter darstellt. Darüber hinaus sind die Defizite der Radverkehrsanlagen die bedeutsamsten Gründe für die Ablehnung der Nutzung von Lastenrädern und E-Tretrollern.

Wird der Blick auf die Anforderungen an Radverkehrsanlagen geworfen, sind breitere, gut gebaute und vom Kfz separat geführte Radverkehrsanlagen für alle Fahrzeugnutzenden wichtig. Allerdings brauchen die Lastenradfahrenden die breiteren Radverkehrsanlagen für einfachere Überholvorgänge, während die E-Tretrollerfahrenden die von Kfz separaten Radverkehrsanlagen in einem guten baulichen Zustand vorziehen. Ansonsten fühlen sich die E-Tretrollerfahrenden unsicher und weichen öfter regelwidrig in den Seitenraum aus. Aufgrund solcher Angst vor Kfz, bevorzugen sie die Wege innerorts mit weniger Kfz-Verkehr. Außerdem präferieren die Lastenradfahrenden großzügige Kurvenradien und Strecken mit weniger Störungen von zu Fuß Gehenden, weil sie ansonsten plötzlich und ordnungswidrig auf die Fahrbahn ausweichen müssen. Für die Pedelecnutzenden ist das direkte Linksabbiegen und die, an den Radverkehr, angepasste Lichtsignalsteuerung von großer Bedeutung, um ihr Ziel noch

schneller zu erreichen. Im Vergleich dazu haben die Fahrradfahrenden einen besonderen Anspruch an umwegfreie Verbindungen.

Betrachtet man die Wahrnehmung für die Breite von Radverkehrsanlagen, erweist sich ein besseres Sicherheitsempfinden an schmaleren Radwegen und geschützten Radfahrstreifen als an Radverkehrsstreifen. Ein Sicherheitsempfinden wird deutlich verbessert ab einer Radfahrstreifenbreite von 1,85 m. An Schutzstreifen wird ein generell schlechtes Sicherheitsempfinden erfasst. Ein Zweirichtungsradweg mit Untermaß (1,60 m) verzeichnet ein unangenehmeres Sicherheitsempfinden als ein Einrichtungsradweg mit Untermaß (1,30 m). Im Gegensatz zu den Nutzenden verschiedener Fahrzeuge haben die Lastenradfahrenden das unsicherste Empfinden an schmalen Radwegen und größere Schwierigkeiten einen Überholvorgang an breiten Radverkehrsanlagen vorzunehmen als die Fahrradfahrenden. Im Vergleich dazu haben die E-Tretrollerfahrenden ebenso ein schlechtes Sicherheitsempfinden an schmalen Radverkehrsanlagen als die Fahrradfahrenden, allerdings auf Grund der Abmessungen kein Problem mit dem Überholen an breiten Radverkehrsanlagen. Die Pedelecfahrenden haben ein subjektiv schlechteres Sicherheitsempfinden an Radverkehrsanlagen mit mäßiger Breite und auch größere Schwierigkeit beim Überholen als die Fahrradfahrenden. Allerdings ist der Unterschied zwischen Pedelec- und Fahrradfahrenden nicht so deutlich ausgeprägt wie zwischen Lastenrad- und Fahrradfahrenden.

Angesichts des Sicherheitstrennstreifens zu Parkständen ist eine Breite ab 0,75 m im Allgemeinen akzeptabel. Einen 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen empfinden fast drei Fünftel der Nutzenden als relativ gefährlich und generell empfinden die Nutzenden der neuen Fahrzeuge eine höhere Unsicherheit als Fahrradfahrende. Die Auswirkung des 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifens zwischen Radweg und Fahrbahn ist auch bei Pedelec- und Lastenradfahrenden deutlich bemerkbar. Die innovative Lösung des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn spielt hierbei kaum eine Rolle. Damit wird das Sicherheitsempfinden nicht merklich verbessert im Vergleich zu breiten Radfahrstreifen ohne Sicherheitstrennstreifen.

Bei der Längsneigung werden die Pedelecfahrenden am geringsten beeinflusst, dann folgen die Lastenradfahrenden. Problematisch sind die E-Tretrollerfahrenden. An großen Steigungen (6%) haben circa 20% der Fahrenden das Problem der Befahrbarkeit. An Kurvenbereichen werden Lastenräder schwerpunktmäßig betrachtet. Die Verschwenkung und Wechsel der Führungsform sind für die Lastenradfahrenden noch verträglich. Ein Knick der Radverkehrsanlagen führt zu stärkeren Geschwindigkeitsreduzierungen und Absturzrisiken. Ein Rechtsabbiegen mit dem Spitzwinkel ist für alle Fahrzeugnutzenden schwierig, einschließlich E-Tretroller, die bei „normalen“ Verschwenkungen oder einem Knick der Radverkehrsanlagen deutlich weniger Problem haben.

Angesichts der Führung an Strecken haben die Lastenradfahrenden ein deutlich schlechteres Sicherheitsempfinden bei gemeinsamer Führung mit zu Fuß Gehenden als die Nutzenden anderer Fahrzeuge, während die E-Tretrollerfahrenden in dem Fall ein besseres Sicherheitsempfinden haben. Das erklärt auch teilweise, warum die E-Tretrollerfahrenden den Seitenraum und den Gehweg benutzen. An der Fahrbahnführung im Mischverkehr innerorts haben die E-Tretrollerfahrenden erwartungsgemäß das schlechteste Sicherheitsempfinden. Die Fahrbahnführung im Mischverkehr außerorts wird generell als gefährlich angesehen. Wenn die Verkehrsflächenwahl bei den konkreten Szenarien beurteilt wird, favorisieren die E-Tretrollerfahrenden deutlich den Seitenraum, obwohl er häufig nicht für sie freigegeben ist. Die Lastenradfahrenden neigen bei der Regelung Gehweg „Radfahrer frei“ nur zur Fahrbahnführung im Gegensatz zu den Fahrradfahrenden. Bei den Pedelecfahrenden ist kein eindeutiger Trend abzuleiten.

Bei der Führung der geradeaus Rad- und E-Tretrollerfahrenden mit rechtsabbiegenden Kfz wird der Radfahrstreifen in Mittellage am gefährlichsten eingestuft, besonders bei den Lasten- und E-Tretrollerfahrenden. Am abgesetzten Radweg haben die E-Tretrollerfahrenden ein eindeutig besseres Sicherheitsempfinden. Bei der Führung des linksabbiegenden Radverkehrs ist festzulegen, dass die E-Tretroller indirektes Linksabbiegen bevorzugen und zum Teil die Fußgängerfurt dafür nutzen. Eine Bevorzugung des direkten Linksabbiegens mit Pedelecs wird in der Umfrage nicht bestätigt.

# 7 Ergebnisse der Videoerfassung

## 7.1 Allgemeines

Die Videoerfassung wurde an 55 Strecken oder Knotenpunktzufahrten in den Städten Darmstadt und Frankfurt am Main durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 20815 Fahrräder, 2287 Pedelecs (9%), 693 E-Tretroller (3%) und 549 Lastenräder (2%) erfasst. 70 % der Lastenradfahrenden, die das Modell Long John in der Umfrage benutzen, decken sich mit der Menge an Long John Lastenräder auf den Videoerfassungen. Der restliche Anteil setzt sich überwiegend aus einem Velotaxi (7%), Trike (6%), Bäckerfahrrad (zweirädriges Postbike)/ Lori (6%) und Longtail (4%) zusammen (Abbildung 7.1).

Wie bereits in Kapitel 1 erwähnt, trat die geringe Stichprobengröße der Lastenräder an jeder Strecke oder Knotenpunktzufahrt auf und die E-Tretroller wurden nicht an allen Strecken oder Knotenpunktzufahrten registriert. Daher sollte eine Analyse unter der Zusammenführung mehrerer Strecken abgewickelt werden oder ein (qualitativer) Trend gesetzt werden.

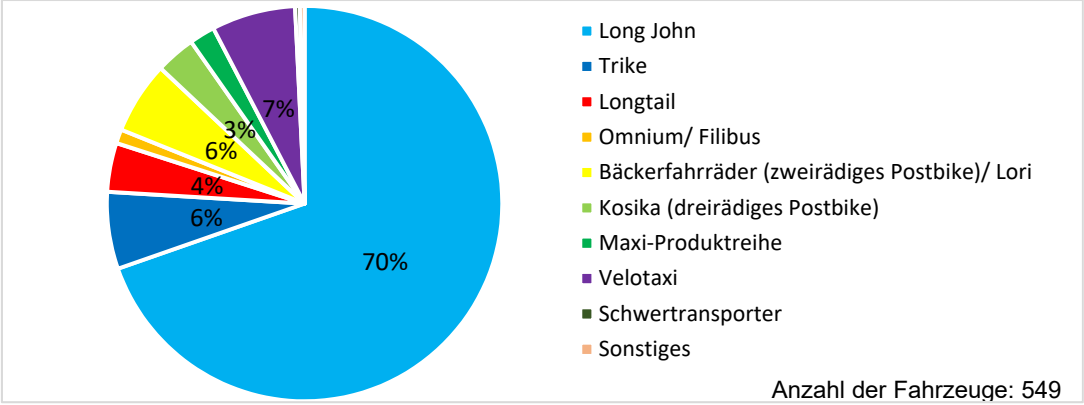



**Abbildung 7.1: Verteilung der Typen von Lastenräder in der Videoerfassung**

## 7.2 Entwurfselemente

### 7.2.1 Breite von Radverkehrsanlagen

**Verkehrsflächenwahl (Akzeptanz)**

Ein erster Betrachtungspunkt gilt der Akzeptanz der Rad- und E-Tretrollerfahrenden, die durch die jeweilige Verkehrsflächenwahl gekennzeichnet wird**.** In Tabelle 7.1 wird die Verkehrsflächenwahl je nach der Breite und Führungsform von Radverkehrsanlagen aufgelistet.

An den Radverkehrsfahrstreifen ist die Akzeptanz der Pedelecfahrenden genauso hoch bzw. sogar höher gegenüber Fahrradfahrenden, da sie in den Aufzeichnungen seltener den Gehweg nutzten.

Bei den Lastenradfahrenden war die Analyse der einzelnen Strecken wegen der kleinen Stichprobe schwierig. Bei einer gemeinsamen Betrachtung von den Strecken (1), (2) und (4) wurden die schmalen Radverkehrsstreifen von 89% der 18 Lastenradfahrenden ordnungsgemäß benutzt. Das weist darauf hin, dass die Lastenradfahrenden nur eine leicht niedrigere Akzeptanz an den schmalen Radverkehrsstreifen gegenüber den Fahrrad- und Pedelecfahrenden haben. Zudem wird hervorgehoben, dass die an den Gehwegen fahrenden Lastenräder an den Strecken (1) und (6) Postbikes waren. Dazu bestehen bereits Überlegungen, dass die Bemessung der Gehwege an die Nutzung von Lastenrädern anpassen werden sollte, weil die Lastenradfahrenden im Wirtschaftsverkehr für die Warensendung zur Gehwegnutzung tendieren.

Bei der Führung an den Radverkehrsstreifen wurden die E-Tretrollerfahrenden nur an der Strecke (3) erfasst. Dabei wurde eine geringere Nutzung des Schutzstreifens bei den E-Tretrollerfahrenden (infolge der Gehwegnutzung) festgestellt als bei den Fahrradfahrenden. Die Gehwegnutzung durch E-Tretrollerfahrende wurde mit einer größeren Stichprobe an den Strecken (Strecken (9), (16), (17) und (18)) erfasst. Dabei wurde eine höhere Affinität zur Gehwegnutzung bei E-Tretrollerfahrenden festgestellt.

An den Einrichtungsradwegen wurden generell höhere Anteile regelkonformer Verkehrsflächennutzung gegenüber Radverkehrsstreifen festgestellt, abgesehen von der Strecke (11) und den in rot markierten Feldern in Tabelle 7.1. Das ist teilweise auf die schmalen Radwege zurückzuführen, die nicht benutzungspflichtig sind und somit die Nutzung der Fahrbahn rechtfertigen. Außerdem benutzten die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden je nach Trennung zwischen Geh- und Radwegen im Bedarfsfall den Gehweg. An der Strecke (11) wurden Poller streckenlang zur Trennung zwischen Geh- und Radweg eingesetzt. Dabei wurde eine niedrigere Akzeptanz aller Rad- oder E-Tretrollerfahrenden erfasst, die besonders bei den Pedelecfahrenden und E-Tretrollerfahrenden auffällig ausgeprägt war. Einer der wichtigsten Gründe besteht darin, dass die überholenden Radfahrenden aufgrund der Poller auf den Verkehrsflächenwechsel verzichteten und entweder komplett den Gehweg oder die Fahrbahn nutzten.

Die Pedelecfahrenden hatten, abgesehen von der Strecke (11), eine vernachlässigbar höhere Akzeptanz der vorgesehenen Verkehrsflächen an den Einrichtungsradwegen gegenüber den Fahrradfahrenden, weil die sportlichen Fahrradnutzenden gelegentlich die Fahrbahn statt des benutzungspflichtigen Radweges befuhren.

Ausgenommen von der Strecke (7) wurde auch eine hohe Akzeptanz bei den Lastenradfahrenden an den Einrichtungsradwegen nachgewiesen. Das könnte zum Teil mit der Beliebtheit der Radwegführung bei den Lastenradfahrenden verbunden sein. Die niedrige Akzeptanz an der Strecke (7) ist allerdings aufgrund der statistisch kleinen Stichprobe wenig aussagekräftig.

Die E-Tretrollerfahrenden verzeichneten einen niedrigeren Anteil der Nutzung der vorgeschriebenen Verkehrsflächen an den Einrichtungsradwegen ohne Benutzungspflicht, z.B. Strecken (7) und (9). Besonders an der Strecke (7) wurden nur 25% der E-Tretrollernutzenden bei der regelkonformen Nutzung der Verkehrsflächen festgestellt. Mit dem schwächerem Kfz-Verkehrsaufkommen befuhr auch der Großteil der E-Tretrollerfahrenden die Fahrbahn, allerdings wurde eine Fahrbahnnutzung in dem Fall nicht für den E-Tretrollerfahrenden freigegeben.

An den Zweirichtungsradwegen wurde eine sehr schlechte Akzeptanz an der Strecke (15) erfasst. Die Pedelec- und Lastenradfahrenden nahmen die vorgeschriebene Radwegführung nur zu 80% bzw. 60% an. Die negative Auswirkung der schmalen Radverkehrsstreifen oder Einrichtungsradwege für die Verkehrsflächenwahl war bei den Pedelec- oder Lastenradnutzenden nicht so stark geprägt wie an den schmalen Zweirichtungsradwegen. An den schmalen Radverkehrsstreifen oder Einrichtungsradwegen konnten sie z.B. bei Bedarf langsam fahren, während an den Zweirichtungsradwegen die Begegnung bei Lastenrädern keine Weiterfahrt ermöglichte. An den 2,50 m und 3,00 m breiten Zweirichtungsradwegen (Strecken (16) und (17)) erhöhten sich die Anteile der Radwegnutzung deutlich. Allerdings stellte der 2,50 m breite Zweirichtungsradweg (Strecke (16)) eine noch geringere Akzeptanz dar als der 1,60 m breite Einrichtungsradweg (Strecke (13)), wobei die beiden Radwege eine ähnliche Gestaltung haben. Dazu muss erwähnt werden, dass eine Gehwegnutzung an der Strecke (13) wegen der schmalen Abmessung und einem unzureichenden Belag schwieriger war.

Die geschützten Radfahrstreifen wurden an der Strecke (18) mit 1,40 m Breite etwas weniger gerne genutzt. Im Vergleich zu den schmalen Radverkehrsstreifen (Strecken (1), (2) und (4)) war die Akzeptanz der geschützten Radfahrstreifen bei den Fahrradfahrenden und besonders bei den Pedelecfahrenden an der Strecke (18) deutlich geringer. Aber an den breiten geschützten Radfahrstreifen (Strecken (19), (20)) zeigten die Fahrrad- und Pedelecnutzenden äquivalent hohe oder leicht höhere Anteile der Akzeptanz gegenüber den breiten Radfahrstreifen (Strecken (5), (6)).

Im Folgenden werden die Gründe der (kurzfristigen) Nutzung der nicht vorgeschriebenen Verkehrsflächen dargestellt. Die Darstellung der Gründen ist dem Anhang 17 bei jeder Strecke zu entnehmen. Hierbei sind die Strecken mit erhöhter Nutzung nicht vorgeschriebener Verkehrsflächen der Analyse und Auswertung von Bedeutung. Die Gründe „Überholen“ und „Nebeneinanderfahren“ haben einen direkten Zusammenhang mit den Bemessungen der Breite von Radverkehrsanlagen. Der nicht zu vernachlässigende Grund „Sonstiges“ bedeutet eine Nichtannahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen ohne bekannte Ursache. Trotzdem steht dieser Grund zum Teil auch mit der Bemessung der Radverkehrsanlagen in Zusammenhang.

**Tabelle 7.1: Verkehrsflächenwahl in Anhängigkeit von der Führung und Breiten von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | | Fahrzeug-art | Radverkehrs-anlagen | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der regelge-rechten Verkehrsflä-chennutzung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Füh-rung | Nr. | Breite | | | | | | |
| Schutzstreifen (**Sst**) | (1) | 1,25 m | Fahrrad | 300 (7) | 1 | 1 | 302 | **99%** |
| | | | Pedelec | 28 (2) | 0 | 0 | 28 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 6 | 0 | 1 | 7 | **86%** |
| | | | E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |
| | (2) | 1,50 m | Fahrrad | 273 (1) | 0 | 3 | 276 | **99%** |
| | | | Pedelec | 22 | 0 | 1 | 23 | **96%** |
| | | | Lastenrad | 4 | 0 | 0 | 4 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |
| | (3) | 1,65 m | Fahrrad | 572 (51) | 0 | 18 | 590 | **97%** |
| | | | Pedelec | 31 (3) | 0 | 2 | 33 | **94%** |
| | | | Lastenrad | 5 (1) | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 19 (2) | 0 | 2 | 21 | **90%** |
| Radfahrstreifen (**RFS**) | (4) | 1,50 m | Fahrrad | 152 (10) | 10 | 6 | 168 | **90%** |
| | | | Pedelec | 18 | 0 | 0 | 18 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 7 (2) | 0 | 0 | 7 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |
| | (5) | 1,85 m | Fahrrad | 385 (3) (26) | 1 | 14 | 400 | **96%** |
| | | | Pedelec | 74 (4) | 0 | 4 | 78 | **95%** |
| | | | Lastenrad | 14 (1) | 0 | 0 | 14 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |
| | (6) | 2,00 m | Fahrrad | 497 (1) (13) | 0 | 11 | 508 | **98%** |
| | | | Pedelec | 78 (2) (4) | 0 | 2 | 80 | **98%** |
| | | | Lastenrad | 17 (2) | 0 | 1 | 18 | **94%** |
| | | | E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |
| Einrichtungsradweg (**E-RW**) | (7) | 1,30 m* | Fahrrad | 238 (10) | 47 | 1 | 286 | **99,7%** |
| | | | Pedelec | 25 | 10 | 0 | 35 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 3 | 0 | 1 | 4 | **75%** |
| | | | E-Tretroller | 2 | 6 | 0 | 8 | **25%** |
| | (8) | 1,48 m* | Fahrrad | 409 (9) | 11 | 2 | 422 | **99,5%** |
| | | | Pedelec | 41 (1) | 1 | 0 | 42 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 7 | 0 | 0 | 7 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |
| | (9) | 1,50 m* | Fahrrad | 703 | 42 | 21 | 765 | **97%** |
| | | | Pedelec | 45 | 11 | 2 | 58 | **97%** |
| | | | Lastenrad | 14 | 3 | 0 | 17 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 27 | 1 | 3 | 31 | **87%** |
| | (10) | 1,50 m* | Fahrrad | 364 (29) | 10 | 4 | 378 | **99%** |
| | | | Pedelec | 54 (7) | 1 | 0 | 55 | **98%** |
| | | | Lastenrad | 9 (2) | 0 | 0 | 9 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 3 | 0 | 0 | 3 | **100%** |
| | (11) | 1,50 m | Fahrrad | 408 (3) (1) | 10 | 18 | 436 | **94%** |
| | | | Pedelec | 32 (1) | 3 | 2 | 37 | **86%** |
| | | | Lastenrad | 13 | 0 | 1 | 14 | **93%** |
| | | | E-Tretroller | 5 | 0 | 1 | 6 | **83%** |
| | (12) | 1,50 m | Fahrrad | 138 (8) | 0 | 1 | 139 | **99%** |
| | | | Pedelec | 19 (1) | 0 | 0 | 19 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 6 | 0 | 0 | 6 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |
| | (13) | 1,60 m | Fahrrad | 232 (2) | 2 | 0 | 234 | **99%** |
| | | | Pedelec | 34 | 0 | 0 | 34 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 4 | 0 | 0 | 4 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |
| | (14) | 2,10 m | Fahrrad | 345 (13) | 1 | 2 | 348 | **99%** |
| | | | Pedelec | 42 (2) | 0 | 0 | 42 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 10 | 1 | 0 | 11 | **91%** |
| | | | E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Zweirichtungsrad (**Z-RW**) | (15) | 1,60 m | Fahrrad | 253 (19) | 0 | 57 | 310 | **82%** |
| | | | Pedelec | 22 (3) | 0 | 7 | 29 | **76%** |
| | | | Lastenrad | 10 (1) | 0 | 7 | 17 | **59%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |
| | (16) | 2,50 m | Fahrrad | 770 | 7 | 18 | 795 | **97%** |
| | | | Pedelec | 52 | 0 | 4 | 56 | **93%** |
| | | | Lastenrad | 8 | 0 | 1 | 9 | **89%** |
| | | | E-Tretroller | 37 | 1 | 2 | 40 | **93%** |
| | (17) | 3,00 m | Fahrrad | 865 | 0 | 47 | 912 | **95%** |
| | | | Pedelec | 74 | 0 | 2 | 76 | **97%** |
| | | | Lastenrad | 10 | 0 | 0 | 10 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 36 | 1 | 5 | 42 | **86%** |
| geschützter Radfahrstreifen (**PBL**) | (18) | 1,40 m | Fahrrad | 588 (1) | 57 | 1 | 646 | **91%** |
| | | | Pedelec | 37 | 8 | 0 | 45 | **82%** |
| | | | Lastenrad | 17 | 1 | 0 | 18 | **94%** |
| | | | E-Tretroller | 44 | 3 | 1 | 48 | **92%** |
| | (19) | 1,95 m | Fahrrad | 495 | 0 | 0 | 495 | **100%** |
| | | | Pedelec | 41 | 0 | 1 | 42 | **98%** |
| | | | Lastenrad | 6 | 0 | 0 | 6 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 13 | 0 | 1 | 14 | **93%** |
| | (20) | 2,25 m | Fahrrad | 759 (1) | 0 | 17 | 776 | **98%** |
| | | | Pedelec | 43 | 0 | 1 | 44 | **98%** |
| | | | Lastenrad | 13 (1) | 0 | 0 | 13 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinander 1**
* Nicht benutzungspflichtiger Radweg: für Radfahrende ist eine Fahrbahnutzung erlaubt und für E-Tretrollerfahrenden nicht

Es ist deutlichen zu sehen, dass die „Blockierung von Radverkehrsanlagen“ einer der wichtigsten Auslöser für das Ausweichen auf die Fahrbahn bei der Führung an Radverkehrsstreifen ist, unabhängig von den betrachteten Fahrzeugtypen. Dieser Anlass wurde nicht an den geschützten Radfahrstreifen erfasst. Die Vermeidung der „Blockierung von Radverkehrsanlagen“ ist hier eher mit z.B. der Überwachung des regelwidrigen Parkens verbunden. Außerdem wurde der Grund „Ziele/Abfahrt“ näher betrachtet. Diese zwei Aspekte spielten unabhängig von den Führungsformen der Radverkehrsanlagen oder von den Nutzenden verschiedener Fahrzeugtypen eine wichtige Rolle und führte überwiegend zur regelwidrigen Gehwegnutzung.

Bezogen auf die Kernfrage wurden die Gründe „Überholen“ und „Nebeneinanderfahren“ besprochen. Die Angabe „Nebeneinanderfahren“ wurde überwiegend an den schmalen Radverkehrsanlagen z.B. an der Strecke (11) erfasst. Der Grund „Überholen“ wurde fast an allen Strecken registriert und besonders an der Strecke (14) bei einer Breite von 2,10 m als maßgebende Begründung für die regelwidrige Nutzung der anderen Verkehrsflächen angegeben. Das weist darauf hin, dass ein Überholvorgang bei einer Breite von 2,10 m noch zu schwierig ist. Unter der Betrachtung aller dargestellten Strecken war auffällig, dass das **„Überholen“ der Hauptgrund für die Pedelec- und Lastenradfahrenden für das unerlaubte Nutzen von Verkehrsflächen galt. Das wurde besonders bei den Fahrenden von Lastenrädern beobachtet.** Das bedeutet, dass die Auswirkungen nach der Verbreiterung von unzureichend breiten Radverkehrsanlagen stärker von Pedelecs und Lastenrädern wahrgenommen wurde. Allerdings ist hier noch zu ergänzen, dass die Wahrscheinlichkeit für eine Störung z.B. durch das Blockieren von Radverkehrsanlagen gering ist, da die absolute Anzahl der Pedelecs und Lastenräder jeder Strecke klein ist.

Der Unterschied zwischen den Gründen für die Nutzung der Fahrbahn und des Gehwegs lag in „zügiges Fahren“ und „langsames Fahren“. Die zügig Fahrenden benutzten regelwidrig die Fahrbahn, während die langsamen Nutzenden eher den Gehweg befuhren. Das zügige oder langsame Fahren wurde eher subjektiv von den Beobachtenden beurteilt. Die durch langsames und zügiges Fahren verursachte regelwidrige Verkehrsflächennutzung wurde insbesondere an der Strecke (11) mit einer Breite von 1,50 m mit dem Einsatz von Pollern erfasst. Dies ist auf die fehlenden Überholmöglichkeiten und den schmalen Radweg zurückzuführen. Die durch „langsames Fahren“ ausgelöste regelwidrige Verkehrsflächennutzung wurde zudem an der breiten Strecke (20) (2,25 m) mit hohem Radverkehrsaufkommen beobachtet. Wie zu erwarten wurde „langsames Fahren“ nur bei den Fahrradfahrenden registriert.

Zu den Gründen für die Nutzung der Gehwege zählen noch die Vermeidung von zu Fuß Gehenden und des Radverkehrs in Gegenrichtung. Letzteres wurde an den Radwegen beobachtet, weil die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden selten den Radverkehrsstreifen in Gegenrichtung befuhren. Die „Vermeidung von zu Fuß Gehenden“ wurde an den Strecken (8) und (10) mit schmaler Gehwegbreite, starker Fußverkehrsbelastung und „weicher“ Trennung zwischen Geh- und Radweg (Trennung rein durch Farbunterschied) geprägt. Die „Vermeidung des Radverkehrs in Gegenrichtung“ wurde überwiegend an der Strecke (15), dem Zweirichtungsradweg mit einer Breite von 1,60 m, erfasst. Hierbei machte die „Vermeidung des Radverkehrs in Gegenrichtung“ bei den Pedelecs einen größeren Anteil aus als bei den Fahrrädern.

Darüber hinaus wurde für die Strecken (3), (9), (11), (15) und (17) häufig der Grund „Sonstiges“ für die Gehwegnutzung ausgewertet. Die Strecken (3), (11), (15) und (17) hatten den breitesten Gehweg mit schwach bis mittelstarkem Fußverkehrsaufkommen. Dies begünstigt eine regelwidrige Gehwegnutzung, besonders wenn die Bemessung der Radverkehrsanlagen nicht ideal war (z.B. zu schmal). Entlang der Strecken (3) und (9) gab es viele Büros oder Geschäfte. Dies führt zu einer erhöhten Gehwegnutzung, weil der Eingang verschiedener Geschäfte, Büros etc. angenehmer zu erreichen ist. An den Strecken (9) und (11) bestand ein hohes Radverkehrsaufkommen. Dabei nahmen die Nutzenden den Gehweg, um z.B. Überholen oder Behinderungen zu vermeiden. Für die absolute Anzahl der regelwidrigen Nutzenden mit dem Grund „Sonstiges“ kam die Strecke (15) in Betracht. Wegen besonderer Schwierigkeiten bei der Befahrbarkeit im Begegnungsfall verzichteten die Ortskundigen (z.B. Berufspendler) einfach aus „Gewohnheit“ und ohne Begründung auf die Radwegnutzung.

An der Strecke (18) mit einer Breite von 1,40 m wurde ein Sondergrund „Rechtes oder linkes Einbiegen“ als hauptsächliche Ursache für die Fahrbahnnutzung betrachtet. An der Strecke wurde die physische Trennung bis zur Knotenpunktausfahrt eingerichtet. Die zügig rechts Einbiegenden holten infolge der schmalen Breite außerhalb des geschützten Radfahrstreifens aus. Allerdings können solche Fahrenden wegen der Einrichtung der physischen Trennung nicht zu den Radverkehrsanlagen zurückfahren. Dies sollte bei der Bemessung der Kurvenradien berücksichtigt werden. Die links einbiegenden Fahrenden benutzten die, den geschützten Radfahrstreifen kreuzende, Fußgängerfurt. Um die Konflikte sowie Verzögerungen durch zu Fuß Gehende zu minimieren, fuhren sie vorzeitig von der Fußgängerfurt ab und benutzten die Fahrbahn weiter. Damit war eine weitere Nutzung des geschützten Radfahrstreifens wegen der physischen Trennung kaum möglich.

**Geschwindigkeit**

Anschließend wird die durchschnittliche Geschwindigkeit an den Radverkehrsanlagen mit den verschiedenen Führungsformen und Breitenangaben besprochen. Für die E-Lastenräder werden zusätzlich die Geschwindigkeiten der E-Lastenzweiräder und E-Lastendreiräder separat betrachtet.

Tabelle 7.2 zeigt, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit der Räder im Allgemeinen durch die Verbreiterung stieg und diese **Geschwindigkeitssteigerung am Radweg** besonders **ausgeprägt war**, z.B. an den Radfahrstreifen mit Breiten von 1,50 m (Strecke (4)) und 2,00 m (Strecke (6)) erhöhten sich die Geschwindigkeiten der Fahrräder (ohne Anhänger) und Pedelecs (ohne Anhänger) jeweils um 0,45 und 0,20 km/h, während an den Einrichtungsradwegen mit den Breiten von 1,30 m (Strecke (7)) und 2,10 m (Strecke (14)) die Geschwindigkeiten der Fahrräder und Pedelecs jeweils um 4,10 km/h und 2,11 km/h zunahmen. Zudem ist ersichtlich, dass die Geschwindigkeit auf der Fahrbahn (Strecke (7) - (10)) viel schneller war als die an den schmalen Radwegen ohne Benutzungspflicht. Die stärkere Geschwindigkeitsreduzierung an Radwegen ist darauf zurückzuführen, dass an schmalen Radwegen das hohe Absturzrisiko und die fehlenden Überholmöglichkeiten wegen der Gestaltung und des hohen Rad- und Fußverkehrsaufkommens bestanden. Die Anordnung eines schmalen Radwegs zwischen Fahrbahn und Grünfläche brachte die Nutzenden in eine besonders unangenehme Situation, da ein höheres Absturzrisiko bestand und das Überholen kaum möglich war (Abbildung 7.2 links). Zugleich hatte der Fußverkehr Einfluss auf den Verlauf der Radwegführung. Anders als der vorbeifahrende Kfz-Verkehr, bewegte oder hielt sich der Fußverkehr auf dem ganzen Gehweg auf, was das Überholen zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden erschwerte.

**Tabelle 7.2: durchschnittliche Geschwindigkeit nach Führungsformen und Breiten der Radverkehrsanlagen [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | | E-Tret-roller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Führung (Breite) | ohn Ahn.[1)] | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El.[2)] | E-Zweiräder<br>E-dreiräder | ohne El. | |
| (1)[3)] | Sst (1,25 m) | 21,33 (n=299) | 20,48 (n=1) | 24,10 (n=28) | - | 21,73 (n=6) | 22,80 (n=5)<br>16,37 (n=1) | - | 28,14 (n=1) |
| (2) | Sst (1,50 m) | 19,65 (n=273) | - | 22,36 (n=22) | - | 21,89 (n=4) | 21,89 (n=4)<br>- | - | - |
| (3) | Sst (1,65 m) | 19,79 (n=571) | 19,35 (n=1) | 23,70 (n=31) | - | 20,86 (n=5) | 21,82 (n=4)<br>17,00 (n=1) | - | 19,38 (n=19) |
| (4) | RFS (1,50 m) | 19,96 (n=151) | 20,70 (n=1) | 23,24 (n=17) | 18,56 (n=1) | 21,65 (n=7) | 23,67 (n=4)<br>18,96 (n=3) | - | - |
| (5) | RFS (1,85 m) | 20,41 (n=372) | 16,67 (n=3) | 23,06 (n=73) | 20,10 (n=1) | 24,18 (n=14) | 24,62 (n=13)<br>18,34 (n=1) | - | 19,96 (n=1) |
| (6) | RFS (2,00 m) | 20,85 (n=497) | - | 23,44 (n=78) | - | 24,05 (n=17) | 24,60 (n=15)<br>19,88 (n=2) | - | 18,21 (n=1) |
| (7) | E-RW (1,30 m) | 17,25 (n=228) | 15,15 (n=1) | 20,93 (n=25) | - | 20,86 (n=3) | 20,86 (n=3)<br>- | - | 17,86 (n=2) |
| | Fahrbahn | 22,70 (n=47) | - | 24,37 (n=10) | - | - | - | - | 21,04 (n=6) |
| (8) | E-RW (1,48 m) | 19,39 (n=406) | 13,02 (n=3) | 22,19 (n=40) | - | 18,90 (n=7) | 21,15 (n=5)<br>13,27 (n=2) | - | 20,34 (n=1) |
| | Fahrbahn | 25,20 (n=10) | - | 24,13 (n=1) | - | - | - | - | - |
| (9) | E-RW (1,50 m) | 19.41 (n=702) | 14,20 (n=1) | 21,95 (n=44) | - | 18,89 (n=14) | 19,81 (n=10)<br>16,60 (n=4) | - | 19,22 (n=27) |
| | Fahrbahn | 26,96 (n=42) | - | 25,53 (n=11) | - | 24,30 (n=3) | 25,21 (n=1)<br>23,84 (n=2) | - | 19,56 (n=1) |
| (10) | E-RW (1,50 m) | 18,17 (n=360) | 15,38 (n=4) | 21,41 (n=52) | 18,42 (n=2) | 18,85 (n=9) | 18,85 (n=9)<br>- | - | 16,70 (n=3) |
| | Fahrbahn | 27,01 (n=10) | - | 26,99 (n=1) | - | - | - | - | - |
| (11) | E-RW (1,50 m) | 18,99 (n=406) | 19,59 (n=2) | 21,43 (n=32) | - | 20,76 (n=13) | 21,13 (n=11)<br>18,74 (n=2) | - | 20,02 (n=5) |
| (12) | E-RW (1,50 m) | 20,77 (n=137) | 20,64 (n=1) | 22,72 (n=18) | 23,49 (n=1) | 20,21 (n=6) | 21,71 (n=4)<br>17,21 (n=2) | - | - |
| (13) | E-RW (1,60 m) | 19,78 (n=231) | 14,48 (n=1) | 23,03 (n=33) | 17,94 (n=1) | 23,33 (n=4) | 23,33 (n=4)<br>- | - | - |
| (14) | E-RW (2,10 m) | 21,35 (n=342) | 17,15 (n=3) | 23,04 (n=39) | 22,23 (n=3) | 24,10 (n=10) | 24,10 (n=10)<br>- | - | 19.14 (n=1) |
| (15) | Z-RW (1,60 m) | 18,87 (n=253) | - | 20,40 (n=21) | 20,21 (n=1) | 21,47 (n=7) | 23,91 (n=4)<br>18,21 (n=3) | 16,66 (n=3) | - |
| (16) | Z-RW (2,50 m) | 20,33 (n=770) | - | 22,37 (n=52) | - | 22,19 (n=8) | 22,19 (n=8)<br>- | - | 18,90 (n=37) |
| (17) | Z-RW (3,00 m) | 21,26 (n=862) | 17,97 (n=3) | 24,02 (n=74) | - | 23,23 (n=10) | 23,21 (n=9)<br>23,49 (n=1) | - | 19,52 (n=36) |
| (18) | PBL (1,40 m) | 19,41 (n=587) | 13,69 (n=1) | 21,68 (n=37) | - | 20,64 (n=16) | 22,13 (n=4)<br>20,15 (n=12) | 12,18 (n=1) | 18,94 (n=44) |
| (19) | PBL (1,95 m) | 20,31 (n=493) | 14,64 (n=2) | 22,96 (n=41) | - | 22,31 (n=5) | 22,31 (n=5)<br>- | 13,52 (n=1) | 18,40 (n=13) |
| (20) | PBL (2,25 m) | 20,10 (n=753) | 18,07 (n=6) | 22,99 (n=41) | 22,30 (n=2) | 23,36 (n=13) | 23,33 (n=11)<br>23,03 (n=2) | 14,02 (n=1) | - |

[1)] Ahn.: Anhänger; [2)] El.: Elektrounterstützung (Abkürzungen für die Führungsform siehe in Tabelle 7.1)
[3)] An der Strecke (1) besteht ein Gefälle von 0,9%. An der Strecke ist die Geschwindigkeit als Sonderfall zu betrachten.

An dem schmalen geschützten Radfahrstreifen mit 1,40 m Breite (Strecke (17)) wurde im Allgemeinen eine leicht höhere Geschwindigkeiten erfasst als an dem schmalen Radweg mit 1,30 m Breite (Strecke (7)), weil der schmale geschützte Radfahrstreifen, trotz „geschlossenem“ Raum ohne Überholmöglichkeit, kein Absturzrisiko mit sich bringt. Allerdings wurde keine höhere Geschwindigkeit an den breiten

geschützten Radfahrstreifen erfasst. Das war zum Teil mit dem ziemlich hohen Radverkehrsaufkommen verbunden, besonders an der Strecke (20). Dies wird in dem folgenden Text ausführlich diskutiert.

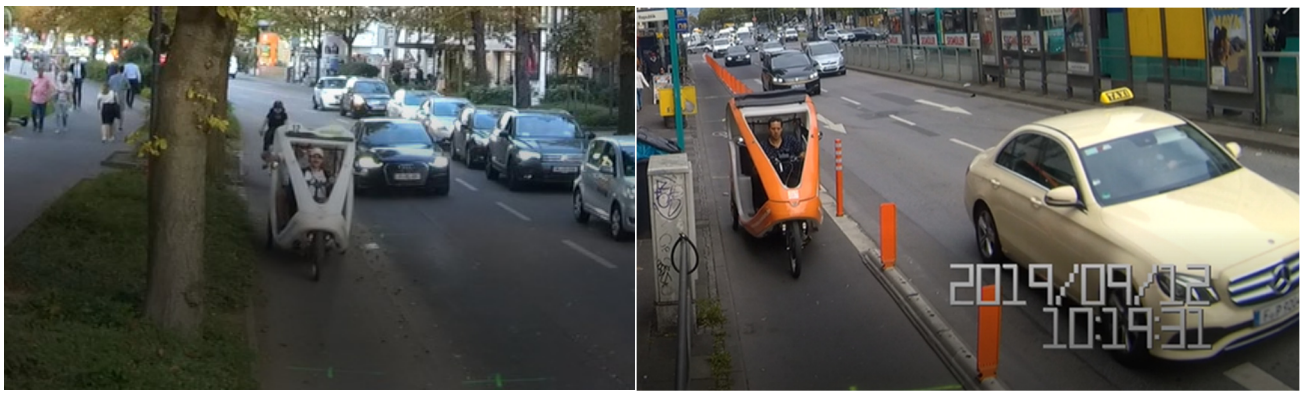



**Abbildung 7.2: Velotaxi fuhr an einem 1,50 m breiten Radweg (Strecke (9)) (links) und 1,40 m breiten geschützten Radfahrstreifen (Strecke (18)) (rechts) [eigene Aufnahme]**

In Abhängigkeit von den Fahrzeugtypen lag die durchschnittliche Geschwindigkeit mit dem Pedelec in der Gesamtheit der betrachteten Fallbeispiele um ca. 2-3 km/h höher als mit dem Fahrrad an Radverkehrsanlagen. Viele sportlich Fahrradfahrende, die auf der Fahrbahn unterwegs waren, wiesen zum Teil eine höhere Geschwindigkeit als die Pedelecfahrenden auf. Der Geschwindigkeitsunterschied zwischen Fahrrädern und Pedelecs bleibt unverändert im Vergleich zu vorherigen Studien. Natürlich erhöhte sich das Geschwindigkeitsniveau in der Spitzenstunde deutlich, da mehr jüngere Pedelecfahrende in der Videoerfassung zu verzeichnen waren. Dementsprechend steigerte sich auch das Geschwindigkeitsniveau der Fahrräder mit mehr jüngeren Fahrradfahrenden. An den Radverkehrsstreifen (ohne Strecke (1) mit Gefälle) wurde die Geschwindigkeit unwesentlich von der Breite der Radverkehrsstreifen beeinflusst. Die Geschwindigkeitsdifferenz betrug nur 1 km/h. Die Auswirkung der Breite von Radverkehrsanlagen auf die Geschwindigkeit der Pedelecs wurde an geschützten Radfahrstreifen im schwächsten Maß geprägt und an Radwegen am stärksten bemerkt. An dem 1,30 m breiten Einrichtungsradweg wurde oft der Stopp der Pedalbewegung der Pedelecfahrenden bei einer Geschwindigkeit über 20 km/h beobachtet, was hingegen kaum bei sportlichen Fahrradfahrenden bemerkt wurde. An den Zweirichtungsradwegen betrug der Geschwindigkeitsunterschied mehr als 3,5 km/h (Strecke (15) und (17)).

**Für die Geschwindigkeit der (E-)Lastenräder spielt die Breite an den Radverkehrsanlagen eine wichtigere Rolle** als für die Geschwindigkeit der Fahrräder und Pedelecs. An den Radverkehrsstreifen (Strecke (3) und (6)) wurde eine Geschwindigkeitssteigerung um mehr als 3 km/h erfasst. An den Radwegen (Strecke (10) und (14)) machte das sogar eine Geschwindigkeitsdifferenz von mehr als 5 km/h aus, da das Überholen für Lastenräder mit größeren Fahrzeugabmessungen am Radweg sehr schwierig war. Auffällig ist, dass an der Strecke (1) mit leichtem Gefälle die Geschwindigkeit der Fahrräder höher lag als an den Strecken (2) und (3). Im Gegensatz dazu veränderte sich die Schnelligkeit der Lastenräder unmerklich. Zudem wurden die Lastenräder kaum von den Seniorinnen und Senioren benutzt, weshalb die Geschwindigkeit der Lastenräder manchmal höher lag als die Geschwindigkeit der Pedelecs, wenn die Radverkehrsanlagen ausreichend breit waren (z.B. Strecke (5), (6), (13) und (14)).

Außerdem war die Geschwindigkeit der E-Lastenzweiräder generell um 4 - 6 km/h höher als die der E-Lastendreiräder. Allerdings bestanden große Unterschiede in der Geschwindigkeit der E-Lastendreiräder je nach den Lastenradtypen. Das Velotaxi, das nur an den Strecken (9) und (18) in Frankfurt beobachtet wurde, dient zur Personenbeförderung und ist leistungsfähiger. Daher betrug die Geschwindigkeit von Velotaxis in den Videomessungen oft rund 25 km/h bei den breiten Infrastrukturen. Ein statistischer Nachweis ist an der Strecke (9) zu erkennen, da dort die durchschnittliche Geschwindigkeit der E-Lastendreiräder (beide Fälle waren Velotaxis) auf der Fahrbahn 23,84 km/h betrug.

Die **E-Tretroller** wiesen eine **Obergrenze der durchschnittlichen Geschwindigkeit von ca. 20 km/h auf**. Infolge keiner Pedalmöglichkeiten wurde keine deutlich höhere Geschwindigkeit an den breiten

Radverkehrsanlagen festgestellt. Im Vergleich dazu wurden geringere Geschwindigkeiten an den schmalen Radverkehrsanlagen (Strecke (7) und (10)) registriert. Diese Geschwindigkeitsreduzierung wurde auch überwiegend am Radweg beobachtet. Nach der Zulassung der E-Tretroller haben sie sich schnell in der Umgebung von der Stadtmitte Frankfurt am Main verbreitet und wurden ab Sommer 2020 auch in Darmstadt eingeführt. Bei den privaten E-Tretrollern (nicht aus einem Sharing-Service), die außerhalb von der Stadtmitte in Frankfurt oder im Jahre 2019 in Darmstadt beobachtet wurden, wurde oft eine Geschwindigkeit höher als 25 km/h gemessen. Erstaunlicherweise lag eine besonders hohe Geschwindigkeit eines E-Tretrollers von 28,14 km/h an der Strecke (1) vor, welche durch eine unerlaubte Leistungssteigerung ermöglicht worden sein könnte. Es ist anzunehmen, dass diese Ausnahme der Geschwindigkeitsmessung an der Strecke (1) zu einem Fahrzeug mit modifiziertem Motor zählt. Eine so hohe Geschwindigkeit wurde nicht bei E-Tretrollern von Sharing-Services erfasst.

**Positionswahl (alleinig) an Radverkehrsanlagen**

Im Weiteren wird die Position im Querschnitt einzelner Rad- und E-Tretrollerfahrenden anhand durchschnittlicher Abstände der Fahrzeuge zur Bordsteinkante (Grünflächen) und der Positionsverteilung verdeutlicht. Wie vorab beschrieben ist die Position je nach vorhandenen Interaktionsvorgängen getrennt zu betrachten. An den schwachbelasteten Strecken traten zu Fuß Gehende oder Radfahrende in Gegenrichtung (an Zweirichtungsradwegen) nur an einem bestimmten Punkt an der Beobachtungsstrecke auf. Deswegen könnte die Positionswahl eines Rad- oder E-Tretrollerfahrenden an den Beobachtungsstrecken zweimal (mit und ohne Interaktion) gemessen werden. Um eine Übersicht der durchschnittlichen Abstände zu geben, werden die Ergebnisse je nach den Führungsformen in Tabelle 7.3 bis Tabelle 7.5 getrennt gelistet. Die Positionsverteilung wird grundsätzlich für jede Strecke einzeln in Anhang 17 dargestellt. Im Text wird die Positionsverteilung selektiv dargestellt. Die Positionswahl an den Einrichtungsradwegen hängte eng mit der Trennung zwischen Geh- und Radwegen zusammen. Dies wird in den nächsten Abschnitten erläutert.

In der Tabelle 7.3 ist zu erkennen, dass an Radverkehrsstreifen die **Pedelec- und Lastenradfahrenden generell weiter von der Bordsteinkante entfernt fuhren als die Fahrradfahrenden**. Dabei waren die durchschnittlichen Abstände bei Pedelecs (ohne Anhänger) um ca. 0,05 - 0,10 m größer als bei Fahrrädern (ohne Anhänger). An den schmalen Radverkehrsstreifen (z.B. Strecken (1), (2)) fiel im interaktionsbezogen Zustand bei den Pedelecfahrenden der größere durchschnittliche Abstand zur Bordsteinkante gegenüber den Fahrradfahrenden nicht sonderlich ins Gewicht, während an den breiten Radverkehrsstreifen (z.B. Strecken (5), (6)) solche größeren Abstände bei Pedelecs eindeutig erfasst wurden.

Im Vergleich dazu wurden noch größere durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bei (E-)Lastenrädern erfasst, d.h. ein **größerer durchschnittlicher Abstand** zur Bordsteinkante wurde nicht nur durch die breitere Abmessung der Ladefläche (Wert in Klammern aus Tabelle 7.3) ausgelöst, sondern auch durch die **spezifische Fahrweise infolge neuer Fahrzeugabmessungen**. Dazu ist hervorzuheben, dass z.B. die Höhe der Ladefläche der Lastenräder so hoch lag wie die Bordsteinkante, daher musste ausreichend Abstand zwischen Ladefläche und Bordsteinkante gehalten werden. Im Vergleich dazu können die Lenker sowie die Schulter der Fahrrad-, Pedelec und E-Tretrollernutzenden über die Bordsteinkante hinausragen.

Die Vergrößerung der Abstände zur Bordsteinkante bei E-Lastenrädern trat insbesondere an den breiten Radverkehrsstreifen (z.B. Strecken (5), (6)) im interaktionsfreien Zustand und an den schmalen Radverkehrsstreifen im interaktionsbezogenen Zustand (z.B. Strecken (1)(4)) in Erscheinung, wobei die Differenz der durchschnittlichen Abstände zwischen dem Fahrrad und dem Lastenrad ca. 0,15-0,20 m betrug. An den schmalen Radverkehrsstreifen konnten die Fahrräder beim Überholen durch Kfz-Verkehr noch zur Bordsteinkante abgedrängt werden im Gegensatz zu den Lastenrädern (aufgrund spezifischer Fahrzeugabmessung). Dagegen hatten die E-Lastenradnutzenden ausreichend Spielraum an den breiten Radverkehrsstreifen. Sie konnten im interaktionsfreien Zustand weiter entfernt von der Bordsteinkante fahren und sich im interaktionsbezogenen Zustand der Bordsteinkante nähern.

Die E-Tretroller wurden an der Strecke (3) mit größerer Stichprobe erfasst. Durch die Aufnahmen an Strecke (3) wurde ermittelt, dass die Abstände bei den E-Tretrollern im Vergleich zu Fahrradfahrenden im interaktionsfreien Zustand durchschnittlich kleiner waren und im interaktionsbezogenen Zustand

durchschnittlich größere Abstände erfasst wurden. Hierbei konnte keine Aussage über die Positionswahl der E-Tretrollerfahrenden abgeleitet werden.

**Tabelle 7.3: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radverkehrsstreifen [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tretroller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Führung (Breite) | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (1) | Sst (1,25 m) | ① | 0,68 (0,38) (n=136) | - | 0,76 (0,46) (n=11) | - | 0,81 (0,47) (n=4) | - | 0,82 (0,52) (n=1) |
| | | ② | 0,56 (0,26) (n=158) | 0,50 (0,20) (n=1) | 0,61 (0,31) (n=17) | - | 0,76 (0,43) (n=2) | - | - |
| (2) | Sst (1,50 m) | ① | 0,77 (0,47) (n=144) | - | 0,84 (0,54) (n=14) | - | 0,98 (0,53) (n=3) | - | - |
| | | ② | 0,66 (0,36) (n=129) | - | 0,68 (0,38) (n=8) | - | 0,78 (0,46) (n=1) | - | - |
| (3) | Sst (1,65 m) | ① | 0,94 (0,64) (n=361) | - | 1,03 (0,73) (n=15) | - | 1,20 (0,86) (n=4) | - | 0,91 (0,61) (n=13) |
| | | ② | 0,80 (0,50) (n=207) | 0,92 (0,57) (n=1) | 0,85 (0,55) (n=15) | - | 0,99 (0,62) (n=1) | - | 0,85 (0,55) (n=6) |
| (4) | RFS (1,50 m) | ① | 0,91 (0,61) (n=91) | - | 0,97 (0,67) (n=14) | 0,86 (0,56) (n=1) | 1,05 (0,70) (n=3) | - | - |
| | | ② | 0,78 (0,48) (n=59) | 0,89 (0,54) (n=1) | 0,90 (0,60) (n=3) | - | 1,00 (0,67) (n=4) | - | - |
| (5) | RFS (1,85 m) | ① | 0,92 (0,62) (n=176) | 0,77 (0,38) (n=2) | 1,00 (0,70) (n=34) | 1,35 (0,95) (n=1) | 1,18 (0,86) (n=6) | - | 0,61 (0,31) (n=1) |
| | | ② | 0,79 (0,49) (n=176) | 0,95 (0,55) (n=1) | 0,90 (0,60) (n=39) | - | 0,99 (0,65) (n=8) | - | - |
| (6) | RFS (2,00 m) | ① | 0,92 (0,62) (n=265) | - | 1,04 (0,74) (n=43) | - | 1,19 (0,87) (n=9) | - | 0,82 (0,52) (n=1) |
| | | ② | 0,84 (0,54) (n=198) | - | 0,92 (0,62) (n=29) | - | 0,98 (0,64) (n=8) | - | - |

Status ①: interaktionsfrei; ② interaktionsbezogen (bei Überholen durch Kfz-Verkehr)

Wenn die Positionsverteilung betrachtet wird, ist bei den Fahrrädern die größte Spannweite der Positionsverteilung im Allgemeinen dargestellt. Besonders auffällig ist, dass die nahen, der Bordsteinkante zugewandten, Verkehrsflächen fast nur von den Fahrradfahrenden benutzt wurden (Abbildung 7.3 als Beispiel). Unabhängig von der Rinnenbreite und den Interaktionsvorgängen wurde der minimale Positionswert von 0,30 - 0,40 m zur Bordsteinkante vor allem durch die Fahrradfahrenden gehalten.

Angesichts der Auswirkung der Rinne auf die minimalen Positionswerte fuhren die Pedelecnutzenden eher weiter von der Bordsteinkante entfernt bei breiter Rinne im interaktionsfreien Zustand (z.B. Strecken (1), (3)), während sie eher näher an der Bordsteinkante bei schmaler Rinne (z.B. Strecken (5), (6)) oder im interaktionsbezogenen Zustand fuhren (z.B. Strecken (1), (5)). Das bedeutet, dass die **Pedelecfahrenden aufgrund ihrer allgemein höheren Geschwindigkeit nicht an der Rinne fahren wollten**. Im Vergleich dazu pedalierten die Lastenradfahrenden besonders weit entfernt von der Bordsteinkante.

Die 50%-Positionswerte können die Positionswahl der Nutzenden verschiedener Fahrzeugtypen gut widerspiegeln. Im interaktionsfreien Zustand lagen die 50%-Positionswerte aller Fahrzeugnutzenden an den schmalen Radverkehrsstreifen auf der linken Hälfte der Radverkehrstreifen (z.B. Strecke (1) und (3)), während an den breiten Radverkehrsstreifen die 50%-Positionswerte der Fahrrad- und Pedelecnutzenden auf der rechten und die der Lastenradfahrenden auf der linken Hälfte lagen. Im interaktionsbezogenen Zustand lagen die 50%-Positionswerte der Fahrrad- und Pedelecnutzenden unabhängig von der Breite der Radverkehrsanlagen immer nahe der Mitte oder auf der rechten halben Seite der Radverkehrsstreifen, letzteres wurde bei den Lastenradfahrenden erst ab einem 2,00 m breiten Radfahrstreifen festgestellt.

Infolge der großen Abstände zur Bordsteinkante befuhren die Lastenräder je nach ihrer Fahrzeugabmessung auf der Markierung oder sogar außerhalb von den Radverkehrsstreifen bei den schmalen Radverkehrsstreifen (Abbildung 7.4).

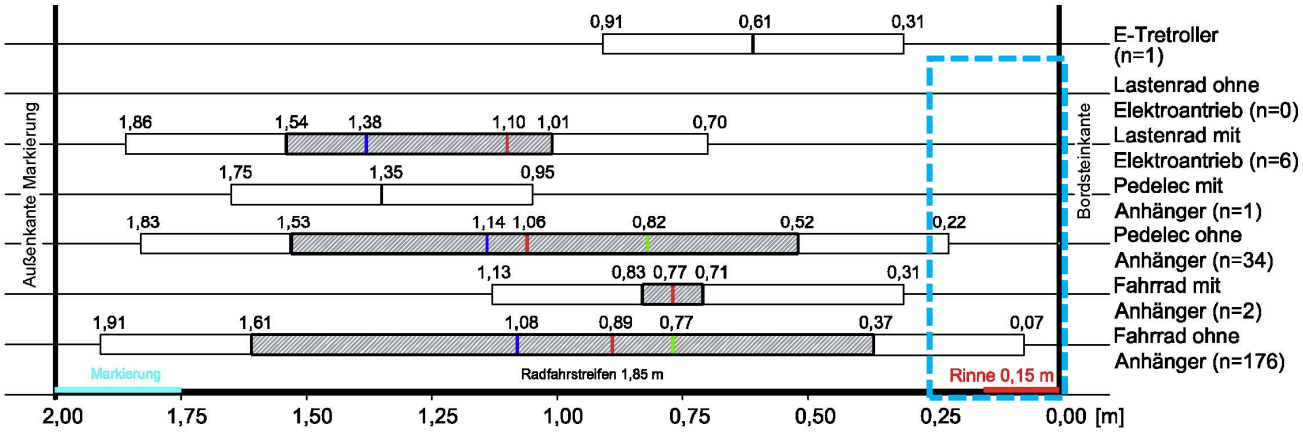



**Abbildung 7.3: Positionsverteilung an einem 2,00 m breiten Radfahrstreifen (Strecke (6)) im interaktionsfreien Zustand (n: Anzahl der Nutzenden)**

**Abbildung 7.4: Beispiele für das Fahren der Lastenräder an der Markierung oder außerhalb von Radverkehrsstreifen**

Solch eine Erscheinung tritt auch beim Vorbeifahren von Kfz-Fahrzeugen (z.B. Strecke (4) im interaktionsbezogenen Zustand) auf. Allerdings ist zu erwähnen, dass die Fahrrad- und Pedelecfahrenden auch auf der Markierung fuhren (Strecken (1), (3) und (6) im interaktionsfreien Zustand), sogar im interaktionsbezogenen Zustand (Strecken (1) und (6)). Dadurch lässt sich folgern, dass die maximal Werte der Abstände (besonders im interaktionsbezogenen Zustand) bei Fahrrad- und Pedelecfahrenden eher vom „Mut“ der Nutzenden abhängig war und bei Lastenradfahrenden eher von der Fahrzeugabmessung. Beim Vorbeifahren von Kfz-Verkehr wurden überwiegend 25%-75% Positionswerte der Nutzenden beeinflusst, da sie sich im minimalen Positionswert bereits ziemlich weit vom Kfz-Verkehr abdrängen ließen und im maximalen Positionswert weniger Angst vor Kfz-Verkehr hatten.

Anschließend kommt der Zweirichtungsradweg in Betracht. Tabelle 7.4 stellt dar, dass an dem schmalen Zweirichtungsradweg (Strecke (15)) nur die Begegnungen zwischen Fahrrad - Fahrrad erhoben werden konnten, weil eine Begegnung mit Pedelecs mit höherer Geschwindigkeit und Lastenräder mit großer Fahrzeugabmessung kaum möglich war. Aus den durchschnittlichen Abständen war ersichtlich, dass am schmalen Zweirichtungsradweg kaum ein Unterschied zwischen Rechts- und Linksfahrenden im interaktionsfreien Zustand bestand. Im interaktionsfreien Zustand benutzten die linksfahrenden Fahrradfahrenden die rechte Hälfte des Radweges (nach Fahrrichtung des Kfz-Verkehrs) und im interaktionsbezogenen Zustand ragten sie deutlich über die Grünflächen hinaus.

Schwerpunktmäßig wird der Blick auf die Zweirichtungsradwege mit einer standardmäßigen Breite von 2,50 m und 3,00 m geworfen. An dem 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg (Strecke (16)) waren die durchschnittlichen Abstände der linksfahrenden Fahrräder und Pedelecs im interaktionsfreien Zustand mit den durchschnittlichen Abständen an dem 1,48 m breiten Einrichtungsradweg (Strecke (8) ohne Poller) identisch (Tabelle 7.6). Große durchschnittliche Abstände bei den linksfahrenden E-Tretrollern wurden am 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg nicht festgestellt. Zugleich ähnelten sich die durchschnittlichen Abstände der rechtsfahrenden Fahrräder, Pedelecs und E-Tretroller zur Grünfläche (Breite der Radwege abzüglich durchschnittlicher Abstände zur Bordsteinkante) im interaktionsfreien

Zustand mit den am 1,50 m breiten Einrichtungsradweg (Strecke (9) in Tabelle 7.6). Mit der Verbreiterung auf 3,00 m vergrößerten sich die durchschnittlichen Abstände der linkfahrenden Fahrrad-, Pedelec- und E-Tretrollernutzenden (um 0,10 m) unabhängig des Interaktionszustandes leicht, wohingegen sich die Abstände zur Bordsteinkante der rechtsfahrenden Nutzenden um 0,40 - 0,45 m steigerten. Dies zeigt, dass sich die **Fahrrad-, Pedelec- und E-Tretrollernutzenden an standardmäßig breiten Zweirichtungsradwegen unabhängig vom Interaktionszustand je nach Fahrtrichtung eher auf der Seite der Radwege orientierten**.

**Tabelle 7.4: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (der zur Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Zweirichtungsradwegen [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tretroller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Führung (Breite) | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (15) | Z-RW (1,60 m) | ①rechts | 1,06 (0,76) (n=120) | - | 1,07 (0,77) (n=16) | 0,98 (0,61) (n=1) | 1,09 (0,75) (n=6) | 1,05 (0,75) (n=3) | - |
| | | ① links | 0,88 (0,58) (n=79) | - | 0,93 (0,63) (n=3) | - | - | - | - |
| | | ②rechts | 1,20 (0,90) (n=11) | - | - | - | - | - | - |
| | | ②links | 0,33 (0,03) (n=12) | - | - | - | - | - | - |
| | | ③rechts | 0,91 (0,61) (n=14) | - | - | - | 0,87 (0,56) (n=2) | 0,90 (0,60) (n=2) | - |
| | | ③links | 0,81 (0,51) (n=14) | - | 0,84 (0,54) (n=1) | - | - | - | - |
| (16) | Z-RW (2,50 m) | ①rechts | 1,78 (1,48) (n=152) | - | 1,73 (1,43) (n=13) | - | 1,50 (1,17) (n=2) | - | 1,78 (1,48) (n=9) |
| | | ① links | 0,92 (0,62) (n=339) | - | 0,98 (0,68) (n=24) | - | 1,18 (0,83) (n=5) | - | 0,94 (0,64) (n=17) |
| | | ②rechts | 2,00 (1,00) (n=135) | - | 1,92 (1,62) (n=10) | - | 1,95 (1,63) (n=1) | - | 1,96 (1,66) (n=7) |
| | | ②links | 0,68 (0,38) (n=164) | - | 0,66 (0,36) (n=9) | - | 0,74 (0,40) (n=2) | - | 0,71(0,41) (n=8) |
| (17) | Z-RW (3,00 m) | ①rechts | 2,27 (1,97) (n=187) | 1,88 (1,54) (n=1) | 2,17 (1,87) (n=9) | - | 2,05 (1,73) (n=2) | - | 2,19 (1,89) (n=12) |
| | | ① links | 0,98 (0,68) (n=368) | 0,80 (0,40) (n=1) | 1,05 (0,75) (n=41) | - | 1,04 (0,69) (n=7) | - | 1,05 (0,75) (n=9) |
| | | ②rechts | 2,45 (2,15) (n=119) | 2,42 (2,04) (n=1) | 2,44 (2,14) (n=8) | - | - | - | 2,38 (2,08) (n=5) |
| | | ②links | 0,82 (0,52) (n=149) | - | 0,86 (0,56) (n=14) | - | 1,01 (0,67) (n=1) | - | 0,87 (0,57) (n=8) |

Status ①: interaktionsfrei; ② interaktionsbezogen (Begegnung von Radverkehr in Gegenrichtung); ③ interaktionsbezogen (Vorbeifahren von Fußverkehr)

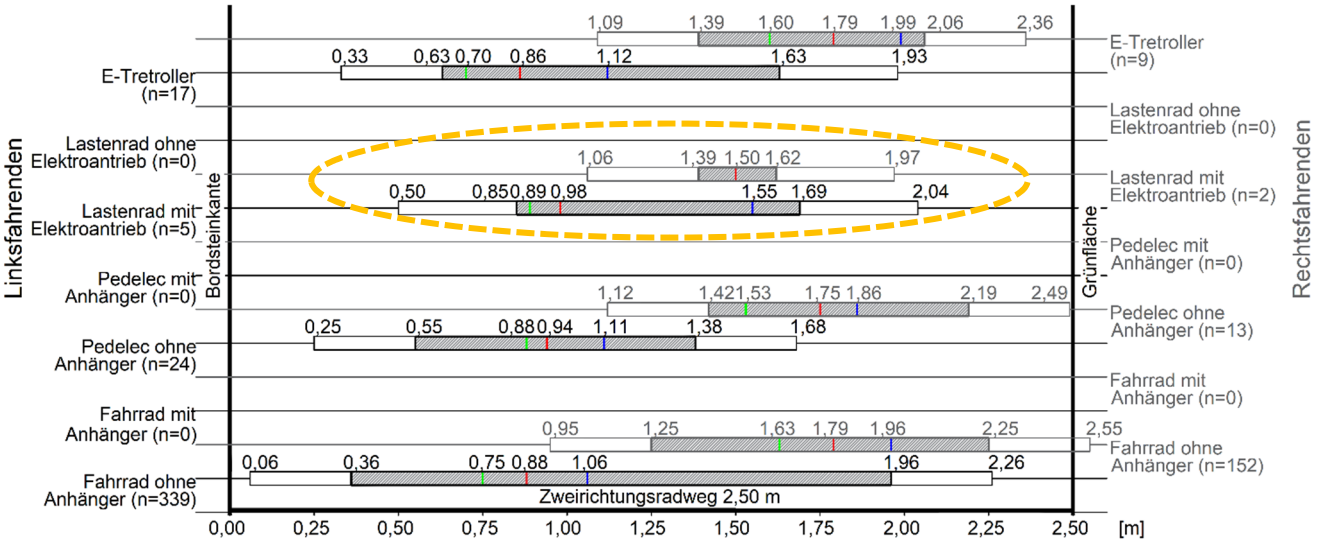



**Abbildung 7.5: Positionsverteilung an einem 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg (Strecke (16)) im interaktionsfreien Zustand (n: Anzahl der Nutzenden)**

Zudem blieben die Unterschiede der durchschnittlichen Abstände der Fahrräder, Pedelecs und E-Tretroller zwischen interaktionsfreiem und interaktionsbezogenem Zustand am 3,00 m breiten Radweg vernachlässigbar klein im Vergleich zum 2,50 m breiten Radweg. Dabei könnten bei der Begegnung mit dem Gegenverkehr die Abstände zur Bordsteinkante der Linksfahrenden bezogen auf den Fahrzeugüberhang (Wert im Klammern aus Tabelle 7.4) 0,40-0,50 m betragen.

Allerdings wichen die durchschnittlichen Abstände der Lastenräder erheblich von denen der anderen Fahrzeugtypen am 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg ab. Die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante der Linksfahrenden ist ziemlich groß und die der Rechtsfahrenden ziemlich klein. Das weist darauf hin, dass **Lastenradfahrende am 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg im interaktionsfreien Zustand eher mittig pedalieren** wollen. Das ist durch das Fahrverhalten der Lastenradfahrenden an den Einrichtungsradwegen bereits zu erkennen, da sie gegenüber den Fahrrad- und Pedelecfahrenden eher mit größerem Abstand von der Bordsteinkante und Hindernissen sowie Grünflächen fahren. Mit der Verbreiterung des Radwegs auf 3,00 m Breite blieben die durchschnittlichen Abstände der rechtsfahrenden Lastenradnutzenden unverändert und die der linksfahrenden Nutzenden haben sich sogar verkleinert. In dem Fall waren die durchschnittlichen Abstände der Lastenradfahrenden von der Bordsteinkante oder Grünflächen im Vergleich zu Fahrradfahrenden eher größer. Allerdings ist am 3,00 m breiten Zweirichtungsradweg mehr Spielraum (restliche Verkehrsflächen) für die Begegnung in der Mitte.

Die Positionsverteilung spiegelte die Ergebnisse der durchschnittlichen Abstände ziemlich gut wider. Von den 25%-75%-Positionswerten ist abzulesen, dass die Pedelecnutzenden leicht abseits von der Bordsteinkante oder Grünfläche im interaktionsfreien Zustand fuhren im Vergleich zu den Fahrradfahrenden. Der Unterschied verstärkte sich mit der Verbreiterung auf 3,00 m. Ebenso hatten die E-Tretrollerfahrenden eine ähnliche Positionsverteilung zwischen 25%- bis 75%-Positionswerte wie die Fahrradfahrenden am 2,50 m breiten Radweg im interaktionsfreien Zustand. Mit zunehmender Breite des Radwegs entfernten sich die E-Tretrollerfahrenden deutlich von der Bordsteinkante oder Grünflächen wie die Pedelecfahrenden.

Es ist anzumerken, dass am 2,50 m breiten Radweg die 75% bis maximalen Positionswerte der Linksfahrenden und die Positionswerte der rechtsfahrenden Lastenradnutzenden im interaktionsfreien Zustand deutlich in der Mitte des Radwegs lagen (Abbildung 7.5). Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass der **höhere Anteil der Lastenradfahrenden** angenehmer **in der Mitte des Zweirichtungsradwegs fuhr**. An dem 3,00 m breiten Radweg veränderten sich die 25%-50% Positionswerte der linksfahrenden Lastenradnutzenden zur Bordsteinkante wenig und 50% bis maximale Positionswerte der rechtsfahrenden Lastenradnutzenden zur Grünfläche kaum gegenüber an dem 2,50 m breiten Radweg. Aber die üblichen Verkehrsflächen schienen in dem Fall für das Durchfahren des Gegenverkehrs zu genügen.

Die zur Bordsteinkante nahliegenden Verkehrsflächen (minimaler Positionswert) wurden fast ausschließlich von den linksfahrenden Fahrradnutzenden bei der Begegnung (interaktionsbezogener Zustand) benutzt. Im Gegensatz dazu wurde die zur Grünfläche nahliegende Fläche (maximale Positionswerte) von den rechtsfahrenden Nutzenden der Pedelecs und Fahrräder unabhängig vom Interaktionszustand befahren.

Zum Schluss werden geschützte Radfahrstreifen näher untersucht (Tabelle 7.5). An dem schmalen geschützten Radfahrstreifen mit einer Breite von 1,40 m (Strecke (18)) wurden die einheitlichen, durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante bezogen auf Fahrzeugmittelachsen bei allen Fahrzeugen unabhängig von Überholvorgängen durch Kfz erfasst. Dem gegenüber steht Strecke (2) mit einer Breite von 1,50 m, wo die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante bei Pedelec- und Lastenradfahrenden deutlicher größer waren als bei Fahrradfahrenden. Da die Strecke stark von Velotaxis frequentiert wurde, waren die durchschnittlichen Abstände der Bordsteinkante bezogen auf das Fahrzeugmittel bei den E-Lastenrädern kleiner als bei den Fahrrädern und Pedelecs. Zugleich wurde nachgewiesen, dass keine größeren Abstände zur Bordsteinkante bei den E-Tretrollern bei der Führung auf der Fahrbahn erfasst wurde. In solchen „geschlossenen“ Verkehrsflächen waren die Bewegungsspielräume für Pedelecs und Lastenräder viel mehr eingeschränkt. Dabei wurde bei der Positionsverteilung (Strecke (18) im interaktionsfreien und -bezogenen Zustand) festgestellt, dass der **Abstand zwischen Überhang der Lastenräder und baulicher Trennung etwa 0,20 - 0,25 m** betrug. Außerdem war der Unterschied

der durchschnittlichen Abstände bei den Fahrrädern und Pedelecs im interaktionsfreien und interaktionsbezogenen Zustand etwas kleiner als an Strecke (1) mit einer Breite von 1,25 m und Strecke (2) mit einer Breite von 1,50 m. Dies könnte darauf hinweisen, dass im Vergleich zu den schmalen Radverkehrsstreifen **der Druck vom Kfz-Verkehr auf den Radverkehr durch die bauliche Trennung leicht abgebaut wurde**.

Die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante waren unabhängig der Fahrzeugtypen an der Strecke (19) leicht größer als an der Strecke (6) mit einer Breite von 2,00 m. Die Positionsverteilungen an der Strecke (19) und der Strecke (6) waren identisch (außer bei Pedelecs im interaktionsfreien Zustand). Es wurde keine besondere Fahrweise der Pedelecfahrenden beobachtet.

Auffällig ist, dass die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante mit einer Verbreiterung geschützter Radfahrstreifen abnahmen. Im Vergleich zu den Strecken (6) und (19) wurde der 25%-75%-Positionswert aller Fahrzeugtypen nach rechts (zur Bordsteinkante) verschoben. Der Trend war bei Fahrrädern deutlicher ausgeprägt. In der Videoerfassung an Strecke (20) wurde beobachtet, dass sich die Nutzenden, besonders langsam Fahrende, der Bordsteinkante nähern. Dieses Verhalten wurde mit Zunahme der Radverkehrsstärke deutlicher. Dieses Verhalten wurde öfter bei den Fahrradfahrenden erfasst und seltener bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden.

Weiterhin wurde bei hohem Radverkehrsaufkommen oft „Parallel-Fahren“ beobachtet (siehe Abbildung 7.6). Das „Parallel-Fahren“ wurde ausgelöst, wenn die überholenden Radfahrenden ein- oder zweimal überholt hatten und das nächste Überholen wegen vorausfahrender Nebeneinanderfahrenden kaum möglich war. Daher mussten die überholenden Radfahrenden auf die nächste Überholmöglichkeit warten. Bei starken Radverkehrsaufkommen kamen einige Fälle des „Parallel-Fahrens“ gleichzeitig vor und sie blockierten die gegenseitige Überholmöglichkeit. Dazu ist hervorzuheben, dass der geschützte Radfahrstreifen mit baulicher Trennung die Radfahrenden gut von fahrenden Kfz trennte und das „Parallel-Fahren“ ermöglichte.

**Tabelle 7.5: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bozogen auf die Fahrzeugmittelachse (der Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang in Klammern) an geschützten Radfahrstreifen [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tretroller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Führung (Breite) | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (18) | PBL (1,40 m) | ① | 0,72 (0,42) (n=195) | - | 0,72 (0,42) (n=10) | - | 0,68 (0,29) (n=3) | 0,66 (0,34) (n=1) | 0,75 (0,45) (n=12) |
| | | ② | 0,63 (0,33) (n=390) | 0,52 (0,17) (n=1) | 0,63 (0,33) (n=27) | - | 0,64 (0,20) (n=13) | - | 0,60 (0,30) (n=32) |
| (19) | PBL (1,95 m) | ① | 0,93 (0,63) (n=69) | 0,97 (0,52) (n=1) | 1,12 (0,82) (n=5) | - | - | - | 1,21 (0,91) (n=1) |
| | | ② | 0,86 (0,56) (n=414) | 0,95 (0,65) (n=1) | 0,96 (0,66) (n=36) | - | 1,02 (0,68) (n=5) | 0,75 (0,43) (n=1) | 0,82 (0,52) (n=12) |
| (20) | PBL (2,25 m) | ① | 0,85 (0,55) (n=208) | 0,87 (0,46) (n=3) | 0,98 (0,68) (n=13) | - | 1,17 (0,85) (n=3) | 0,70 (0,35) (n=1) | - |
| | | ② | 0,75 (0,45) (n=498) | 0,91 (0,49) (n=3) | 0,85 (0,55) (n=28) | 0,83 (0,44) (n=2) | 0,94 (0,59) (n=10) | - | - |
| Status ①: interaktionsfrei; ② interaktionsbezogen (bei Überholung durch Kfz-Verkehr) | | | | | | | | | |

**Abbildung 7.6: „Parallel-Fahren“ an der Strecke (20) [eigene Aufnahme]**

## Nebeneinanderfahren und Überholen

Abgesehen von einzelnen Rad- und E-Tretrollenfahrenden wird der Blick auf das Nebeneinanderfahren und Überholen zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden geworfen. Dabei wird beurteilt, an wie breiten Radverkehrsanlagen das Nebeneinanderfahren oder Überholen innerhalb von Radverkehrsanlagen möglich war. In Anhang 11 werden die beispielhaften Kriterien - Nebeneinanderfahren und Überholvorgänge - tabellarisch zusammengestellt.

Tabelle A11.1 zeigt die Häufigkeit des Auftretens von Nebeneinanderfahren innerhalb und außerhalb von Radverkehrsanlagen in Abhängigkeit der Ausführung des Radweges im betrachteten Zeitraum. Sie verdeutlicht, dass unter einer Breite von 1,50 m das Nebeneinanderfahren innerhalb von Radverkehrsanlagen kaum möglich ist und **eine Breite von 1,50 m fast eine Untergrenze für das Nebeneinanderfahren ohne Lastenräder darstellt**. An den Strecken (8) - (11) variierte der Anteil des Nebeneinanderfahrens innerhalb von Radverkehrsanlagen ohne Versetzung erheblich je nach der Gestaltung der Radwege. An der Strecke (11) wurden Poller zwischen Geh- und Radweg eingesetzt. Dabei versuchten die Rad- oder E-Tretrollernutzenden innerhalb vom Radweg zu fahren, weil ein Wechsel der Verkehrsflächen infolge des Vorhandenseins der Poller erschwert war. An der Strecke (10) befanden sich Grünflächen zwischen Fahrbahn und Radweg. Dabei fuhren die Linksfahrenden der Nebeneinanderfahrenden nicht so nah zur Grünfläche wie an den Strecken (8) und (11) ohne Grünflächen.

Das Nebeneinanderfahren mit dem Lastenrad wurde nur einmal an der Strecke (10) beobachtet. Natürlich konnte keine Schlussfolgerung durch den einzelnen Fall gezogen werden.

Wie vorher beschrieben ist das Nebeneinanderfahren für die Bemessung für die Breiten von Radverkehrsanlagen nicht maßgebend. Das Hauptaugenmerk wird daher auf die Überholvorgänge zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden gelegt. Die Ergebnisse werden je nach Führungsform auf der Fahrbahnseite (Radverkehrsstreifen und geschützter Radfahrstreifen) oder im Seitenraum (Radweg) in Tabelle A11.3 und Tabelle A11.4 zusammengefasst.

Zuerst wird festgestellt, ob die Breiten der Radverkehrsanlagen für Überholvorgänge ausreichend groß sind. Eine Breite von 1,60 m (zzgl. Sicherheitstrennstreifen) ist als Mindestmaß für das Überholen gemäß ERA 2010 vorgeschrieben. Die Ergebnisse an den Strecken (4) und (8) - (11) zeigen, dass Überholen an Strecken mit einer Breite von 1,50 m im Gegensatz zum Nebeneinanderfahren kaum möglich ist. An den Strecken (5)[17] und (13) zeigte sich, dass auch **eine standardmäßige Breite von 1,60 m für das Überholen schwierig ist**. An der Strecke (5) konnten 40% des Überholbedarfs innerhalb des Radfahrstreifens realisiert werden. An der Strecke (13) war die Situation ungenügend, weil der Sicherheitstrennstreifen fehlte. Außerdem schränkten die Grünflächen zwischen Geh- und Radweg die Verkehrsflächen für das Überholen ein. Ein erfolgreicher Überholvorgang an Strecke (13) war mit einem Rennrad bei sehr geringem Abstand zur Bordsteinkante möglich.

Auch Radverkehrsanlagen mit einer Breite von 2,00 - 2,10 m (Strecke (6), (14) und (19)) stellten zum Teil keine idealen Bedingungen für ein Überholen dar. Am vorschriftsmäßigen 2,10 m breiten Radweg (14) konnten nur ca. 40% der nötigen Überholvorgänge erfolgen, weil neben der mangelnden Breite zusätzlich kein Sicherheitstrennstreifen vorhanden war. Im Vergleich dazu hatte die Strecke (19) einen hohen Anteil der erfolgreichen Überholungen innerhalb von Radverkehrsanlagen. Einerseits konnte die Breite der Rinne unzweckmäßig als „Sicherheitsraum“ (unabhängig ihrer Befahrbarkeit) genutzt werden, sodass eine zu Strecke (6) um 0,15 m breitere Gesamtverkehrsfläche von insgesamt 2,25 m Breite genutzt wurde. Der benötigte Abstand zum Kfz war größer als der benötigte Abstand zur physischen Trennung an geschützten Radfahrstreifen. Die **Überholenden konnten die Radverkehrsanlagen dank der physischer Trennung an dem geschützten Radfahrstreifen ausnutzen**. Darüber hinaus wurden die Überholenden „gezwungen“, innerhalb von geschützten Radfahrstreifen zu bleiben, wenn die physische Trennung keine Öffnung hatte. Ob damit die (subjektive) Schwierigkeit für das Überholen erhöht wurde, war nicht durch die Videoerfassung zu beurteilen.

Ein hoher Anteil der erfolgreichen Überholvorgänge innerhalb von Radverkehrsanlagen wurde ebenso erwartungsgemäß an den noch breiteren Radverkehrsanlagen mit einer Breite von 2,30 - 2,50 m (Stre-

[17] 1,85 m breiter Radfahrstreifen bezieht sich auf eine 1,60 m breite (reine) Verkehrsfläche für den Radverkehr zuzüglich 0,25 m breiter Markierung.

cken (16) und (20)) beobachtet. Erstaunlicherweise war der Anteil (89%) an erfolgreichen Überholvorgängen innerhalb von Radverkehrsanlagen (einschließlich von Sicherheitstrennstreifen) an der breiteren Strecke (20) (2,25 m + 0,15 m breite Rinne) nicht größer als an der schmaleren Strecke (19) (1,95 m + 0,30 m breite Rinne) (89%). Dies wurde hauptsächlich durch eine sehr hohe Radverkehrsbelastung (mehr als 800 Fz/4h) verursacht. Die Überholvorgänge wurden außerdem durch das Nebeneinanderfahren, das „Parallel"-Fahren, sowie andere Überholende verhindert. Der Bedarf, dass der zweite Überholende einen bereits überholenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden überholen wollte, wurde ebenso an der Strecke (6) festgestellt (Abbildung 7.7). Solche Überholvorgänge zwischen drei Fahrenden betrifft das Thema des Qualitätsstandards der Radvorrangrouten (wie in Kapitel § 1.4 erwähnt). Die Strecke (20) wurde nach dem Umbau im Frühjahr 2019 in Betrieb genommen. Die neue Bemessung vereinfachte den Überholvorgang zwischen zwei Fahrenden, allerdings wurde der Überholbedarf zwischen drei Fahrenden nicht mitgerechnet.

**Abbildung 7.7: Überholvorgang zwischen drei Fahrenden an der Strecke (6) [eigene Aufnahme]**

Zudem wurde Überholen mit dem Lastenrad an breiteren Radverkehrsanlagen beobachtet. An der Strecke (6) wurden vier Überholvorgänge mit überholenden Lastenrädern registriert. Davon überholten zwei Lastenräder des Typs „Long John" außerhalb des Radfahrstreifens, während zwei überholende Lastenräder des Typs „Lorri" (ähnlich einem zweirädrigen Postbike) innerhalb des Radfahrstreifens blieben. Der Lastenradtyp „Lorri" spielte für die Bemessung der Radverkehrsanlagen aufgrund seiner einem Fahrrad ähnlichen Fahrzeugabmessung eine weniger wichtige Rolle.

An der Strecke (19) wurde nur ein Überholvorgang mit dem Lastenrad des Typen „Long John" erfasst, bei dem die überholte Fahrradfahrende eindeutig gestört wurde. An der Strecke (20) wurden drei Überholvorgänge gleicher Art beobachtet. Davon erfolgten zwei Überholvorgänge innerhalb der Radverkehrsanlage, beim dritten Überholvorgang musste das überholende Lastenrad wegen der verengten Radverkehrsanlage infolge unerlaubten Parkens auf den Kfz-Fahrstreifen ausweichen. Dies zeigt, dass eine Radverkehrsanlage mit **einer Breite von 2,25 m (zzgl. der Rinne) für das Überholen mit dem zweirädrigen Lastenrad im Privatverkehr grundsätzlich ausreicht**.

Zu Strecke (20) sind zwei weitere Punkte zu erwähnen: Erstens fuhren die langsamen Radnutzenden nah zur Bordsteinkante, was zum Teil durch starkes Radverkehrsaufkommen verursacht wurde. Solches Fahrverhalten vereinfachte das Überholen. Es ist schwierig abzuklären, ob an Radverkehrsanlagen mit schwächerer Belastung auch ein solches Fahrverhalten auffiel. Zweitens wurde die Strecke (20) durch den Rundbord mit der schmalen Rinne gestaltet. Es ist fraglich, ob der Rundbord das Fahrverhalten (zu nah zur Bordsteinkante Fahren) beeinflusste.

Im Anschluss daran wurden Überholabstände betrachtet. Für die Radwegführung werden die Überholabstände getrennt nach links- bzw. rechtsseitigem Überholen separat ausgewertet, weil die Überholabstände auf der linken Seite generell geringer als auf der rechten Seite ausfielen. Tabelle A11.3 und Tabelle A11.4 zeigen, dass mit der **Verbreiterung der Radverkehrsanlagen die Überholabstände** je nach der Führungsform (und Überholseite) **zunahmen**. Dies gilt für fast alle Strecken außer Strecke (1), da an dieser ziemlich schmalen Strecke (1) die überholenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden über die Markierung des Schutzstreifen hinaus überholen mussten. Dabei orientierten sich die

Überholenden nicht an der Markierung des Schutzstreifens, sondern benutzten den Kfz-Streifen. Das heißt, dass die Überholabstände an der Strecke (1) weniger mit der Breite der Radverkehrsanlagen zusammenhingen. Außerdem wurde ausgewertet, dass die Überholabstände an breiteren geschützten Radfahrstreifen kleiner waren, was wie bereits erläutert, eine Folge der physischen Trennung ist.

Werden die Überholabstände zwischen den bestimmten Fahrzeugtypen verglichen, lassen sich größere Überholabstände zwischen Pedelec (ohne Anhänger) und Fahrrad (ohne Anhänger)[18] messen, als zwischen zwei Fahrrädern (ohne Anhänger). An Strecke (19) war der Überholabstand zwischen zwei Fahrrädern nur geringfügig höher als zwischen Pedelec und Fahrrad. Dadurch wurde ein in den meisten Fällen **um etwa 0,10 m größerer Überholabstand Pedelec - Fahrrad gegenüber Fahrrad - Fahrrad** nachgewiesen. Es wurde aber kein größerer Überholabstand Fahrrad - Pedelec registriert. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Überholenden bei diesen Überholvorgängen zwischen Fahrrad - Pedelec meistens sportlich Fahrradfahrende waren. Sie konnten den Überholvorgang mit sehr kleinem Überholabstand schaffen, wenn keine ausreichenden Verkehrsflächen für das Überholen vorhanden waren. Ansonsten überholten sie mit dem großen Überholabstand infolge sehr hoher Geschwindigkeit. Diese Erscheinung taucht auch auf beim Überholen Fahrrad - Lastenrad auf.

Die Überholabstände zwischen Lastenrad und Fahrrad (ohne Anhänger) waren über alle Strecken betrachtet um 0,15 - 0,40 m größer als zwischen zwei Fahrrädern (ohne Anhänger), unterlagen jedoch einer großen Schwankung. Werden die Überholabstände Lastenrad - Fahrrad bei der größeren Stichprobe (Strecke (6) (10)) betrachtet, ist der Abstand um 0,15 - 0,20 m größer.

Beim Überholvorgang zwischen E-Tretroller und Fahrrad (ohne Anhänger) wurde nur ein Fall registriert, wobei der Überholabstand kleiner war als der Überholabstand zwischen zwei Fahrrädern, sodass dies nicht signifikant ist. Beim umgekehrten Überholvorgang (Fahrrad - E-Tretroller) waren die Überholabstände um 0,15 m größer als zwischen zwei Fahrrädern.

Die Auswertung bestätigt, dass ein Überholabstand zwischen Pedelec - Fahrrad um ca. 0,10 m größer ist als zwischen zwei Fahrrädern. Verallgemeinert ist zu erkennen, dass der **Überholabstand zwischen zwei Fahrrädern generell kleiner war, als zwischen zwei verschiedenen Zweiradtypen**.

Die Überholhäufigkeit wird an dieser Stelle aufgrund der Verbreitung der neuen Fahrzeuge angesprochen. Hierbei wird der Überholbedarf bezüglich des Radverkehrsaufkommens gemäß HBS mit einer Länge von 1 km für die Videoerfassung auf eine Beobachtungslänge von 50 m umgerechnet. Die Umrechnung basiert auf der Annahme einer linearen Verteilung der Überholvorgänge auf die Streckenlänge. Daraus folgt eine berechnete Überholungsrate, die mit der theoretischen Überholungsrate gemäß Bild S8-1 HBS verglichen wird. Dadurch kann ermittelt werden, ob die Überholungsrate in der Praxis höher als in den HBS liegt. Für den Vergleich werden nur die Strecken mit mehreren Überholvorgängen betrachtet.

Tabelle A11.2 verdeutlicht, dass sich nur an der Strecke (14) eine im Vergleich zu den HBS höhere Überholungsrate zeigt. Daraus lässt sich schließen, dass **die Anzahl an Überholvorgängen nicht durch die Verbreitung der neuen Fahrzeuge steigt** (unter derzeitigen Bedingungen). Bei mangelnder Breite von Verkehrsflächen konnte der Überholbedarf minimiert werden. Allerdings wurde anhand der Videoerfassung ausgewertet, dass die nah zum Knotenpunkt liegenden Strecke mehr Überholvorgänge aufweisen, weil die Rad- und E-Tretrollerfahrenden in der Sperrzeit „gesammelt“ wurden.

### Interaktionsvorgänge

Zum Schluss werden Interaktionsvorgänge zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden und Kfz-Fahrenden analysiert. Anhang 12 stellt alle Ergebnisse der Interaktionsvorgänge bildlich dar. Im ersten Schritt wurde das Hauptaugenmerk auf die Interaktionsvorgänge im Längsverkehr (Überholabstände an Radverkehrsstreifen) gelegt. Die Ergebnisse sind in Abbildung A12.1 zusammengefasst. Fälle mit sehr kleiner Stichprobe sind durch einen hellgrauen Rahmen gekennzeichnet.

[18] Nachfolgend beschreibt die Reihenfolge der Aufzählung der Zweiräder die Reihenfolge beim Überholungsvorgang. Das erstgenannte Zweirad ist das überholende Fahrzeug, das zweitgenannte das überholtwerdende Fahrzeug.

Werden die Breiten von Radverkehrsstreifen betrachtet, nimmt der **Anteil der kritischen Überholabstände** (< 1,50 m) **mit einer Verbreiterung der Radverkehrsstreifen ab und fällt sprunghaft ab einer Breite von 1,85 m**. Dies wurde entweder durch die Rate der kritischen Situationen (KSR) oder die Quote der kritischen Situationen (KSQ) nachgewiesen. Dafür wurde vorausgesetzt, dass der Anteil des Schwerverkehrs an den sechs Strecken auf einem vergleichbaren Niveau lag. An der Strecke (6) mit einer Breite von 2,00 m wurden die kritischen Überholabstände nur in Zusammenhang einer Straßenbahn oder bei überholenden Radfahrenden erfasst. Beim Vorbeifahren der Straßenbahnen erhöhten Kfz eher den Abstand zur Straßenbahn und näherten sich dadurch dem Radfahrstreifen und folglich den Radfahrenden (Abbildung 7.8). Dies führte zu den kritischen Überholabständen. Allerdings löste diese Ereigniskonstellation nur kritische Überholabstände der KS-Stufe I (≥ 1,00 m und < 1,50 m) aus. Außerdem wurden die kritischsten Überholabstände bei den überholenden Radfahrenden verursacht, der extremste Fall ist in Abbildung 7.9 dargestellt. Dabei überholte ein Kfz die Radfahrenden, während ein Lastenrad gleichzeitig ein Fahrrad überholte. Solche engen kritischen Überholabstände wurden in die KS- Stufe II (< 1,00 m) eingeordnet.

Darüber hinaus ist zu hervorheben, dass der Anteil der kritischen Überholabstände an Strecke (1) mit 1,25 m Breite im Säulendiagramm der Abbildung A12.1 die gefährliche Situation nicht exakt widerspiegelt, weil dort viele Kfz beim Überholen den Gegenfahrstreifen regelwidrig benutzten. Für eine genauere Betrachtung der Überholvorgänge an dieser Strecke wurden im Balkendiagramm in Abbildung A12.1 die Überholungen ohne Nutzung des Gegenfahrstreifens den KS Stufen zugeordnet. Dabei ist der Anteil der kritischen Überholabstände der Stufe II bei allen Radtypen eindeutig gestiegen und nur ein vernachlässigbarer Anteil von 1 % der Überholabstände lag außerhalb des kritischen Bereichs.

Wird die Einstufung der kritischen Überholabstände nach Fahrzeugtypen betrachtet, gerieten **Pedelecs generell öfter in Situationen mit kritischen Überholabständen**. Dies ist zum großen Teil auf die von der Bordsteinkante entfernte Positionswahl zurückzuführen. Die höheren Anteile der kritischen Überholabstände bei den Pedelecs wurden an den breiteren Radverkehrsstreifen deutlicher wahrgenommen. An den Strecken (1) - (3) mit schmalen Radverkehrsstreifen lag der Anteil der kritischen Überholabstände bei den Pedelecs nur 2% - 3% höher als bei den Fahrrädern, während an den Strecken (5) und (6) mit breiten Radverkehrsstreifen die kritischen Überholabstände bei den Pedelecs mit 5% - 7% deutlich höher war als bei den Fahrrädern. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Nutzenden aller Radtypen an den schmalen Radverkehrsstreifen wegen beschränkter Bewegungsspielräume oft in kritische Überholabstände verwickelt waren. Allerdings verzeichnete sich eine eindeutigere Differenz der KRQ zwischen Pedelecs und Fahrrädern an den schmalen Radverkehrsstreifen (Strecken (1), (2)) als an den breiten Radverkehrsstreifen (Strecke (5), (6)). Das bedeutet, dass die kritischen Überholabstände bei Pedelecs unter Berücksichtigung der Radverkehrsstärke auch an den schmalen Radverkehrsstreifen kritischer sind als bei Fahrrädern.

**Abbildung 7.8: Kfz überholt ein Fahrrad beim Vorhandensein der Straßenbahn [eigene Aufnahme]**

**Abbildung 7.9: Kfz überholt ein überholendes Lastenrad [eigene Aufnahe]**

Bei den **breiten Radverkehrsstreifen wurde für Lastenräder eine höhere Rate und die höchste Quote der kritischen Überholabstände** gemessen. An den schmalen Radverkehrsstreifen gab es große Schwankungen der Ergebnisse infolge der kleinen Stichprobe. Dazu ist hervorzuheben, dass die kritischen Überholabstände bei Lastenrädern von den Typen sowie Fahrzeugabmessungen abhängig

waren. Beispielsweise wurde an der Strecke (3) nur der Lastenradtyp „Postbike“ im interaktionsbezogenen Zustand erfasst. Die Postbikes haben fahrradähnliche Fahrzeugabmessungen, daher wurden die beiden Überholabstände nicht in die kritischen Überholabstände eingestuft. Dagegen wurde die Strecke (4) von Schwertransportern befahren, die wegen ihrer größeren Fahrzeugabmessungen öfter in den kritischen Überholabstand geraten sind.

Das Überholen von E-Tretrollern wurde nur an der Strecke (3) (mit größerer Stichprobe) erfasst. Bei den E-Tretrollern wurde eine höhere Rate der kritischen Überholabstände, aber eine niedrigere Quote der kritischen Überholabstände ermittelt als bei den Fahrrädern. An der untersuchten Strecke (3) traten keine Besonderheiten auf.

Der Vergleich von Interaktionsvorgängen zwischen Rädern oder E-Tretrollern und ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten anhand der Strecken (3), (5), (6) und (20) ergibt, dass **an den schmalen Radverkehrsstreifen** (oder geschützten Radfahrstreifen) **die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden öfter von den ein- oder ausbiegenden Kfz beeinträchtigt** wurden, wobei sich die Behinderungsrate mit Verbeiterung der Radverkehrsanlagen verringert (Tabelle A12.2). Die Beeinträchtigungen sind darauf zurückzuführen, dass an den schmalen Radverkehrsstreifen die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden nah zur Bordsteinkante fuhren und einbiegende Kfz leicht in die Radverkehrsstreifen überragten. Außerdem hatten die Rad- oder E-Tretrollernutzenden an breiten Radverkehrsstreifen mehr Verkehrsräume, um den Fahrverlauf beim Erkennen der ein- und ausbiegenden Kfz allmählich anzupassen. Dies wurde gegenüber dem Normalverhalten als „positive“ Reaktion eingestuft.

Die Behinderungsrate ist stark von dem Radverkehrsaufkommen abhängig. Bei höherem Radverkehrsaufkommen wurden die Kfz-Führenden in Bezug auf das Gewähren der Vorfahrt ungeduldiger, wobei mehr Rad- und E-Tretrollerfahrenden während eines Ein- oder Ausbiegevorgangs vorbeifahren konnten. Ein Beispiel mit geringem Radverkehrsaufkommen mit mittelstarker Frequenz der Ein- und Ausbiegevorgänge, an der keine Behinderungen beobachtet wurden, ist Strecke (4). Im Gegensatz dazu gab es ein hohes Radverkehrsaufkommen mit schwacher Frequenz der Ein- und Ausbiegevorgänge an Strecke (3) mit gleichzeitig höherer ermittelter Behinderungsrate.

Für die Beantwortung der Frage, ob die neuen Fahrzeuge, besonders Pedelecs, öfter oder stärker von ein- oder ausbiegenden Kfz beeinträchtigt wurden, konnten an den einzelnen Strecken nur kleine Stichproben der Interaktionen ermittelt werden. Daher sind die Resultate aller Strecken zusammengefasst dargestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Behinderungsrate- und quote bei Pedelecs niedriger war als bei Fahrrädern, **Pedelecs wurden seltener oder weniger von den ein- oder ausbiegenden Kfz gestört** als Fahrräder. Diese Ergebnisse stimmen mit der Unfallauswertung überein.

Dagegen wurde bei Lastenrädern eine deutlich höhere Behinderungsrate mit 33% (Fahrrad: 13%) und eine leicht höhere Behinderungsquote mit 1,4 (Fahrrad: 0,7) ermittelt. Wegen der geringen Gesamtstichprobengröße konnte nicht geklärt werden, ob Lastenräder z.B. wegen ihrer spezifischen Fahrzeugabmessungen häufiger von den ein- oder abbiegenden Kfz behindert wurden gegenüber Fahrrädern.

Im Folgenden werden die Interaktionen zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden an Zweirichtungsradwegen betrachtet (Abbildung A12.9). Da es auf Zweirichtungsradwegen auch zur Nutzung von dreistreifigen Verkehrsräumen (z.B. Begegnung einer einzeln fahrenden und zwei nebeneinander fahrenden Personen) kommt, werden die Begegnungen nachfolgend in drei Gruppen unterteilt:

- Einzelfahrende - Einzelfahrende,
- Einzelfahrende - Nebeneinander Fahrende
- Einzelfahrende - Überholende

Die Begegnungen von zwei einzeln Fahrenden werden zusätzlich anhand der Begegnungen mit Nutzenden verschiedener Fahrzeugtypen verglichen. Die feine Unterteilung legt den Schwerpunkt auf Pedelecs und Lastenräder im Hinblick auf die Fragestellung, ob Pedelec- und Lastenradfahrende wegen der höheren Fahrgeschwindigkeit und der spezifischen Fahrzeugabmessungen die Interaktionen anders erleben könnten als die Fahrradnutzenden.

Der Zweirichtungsradweg mit einer Breite von 1,60 m ist schmaler als das Mindestmaß gemäß ERA 2010, weshalb nur 5 % der Radfahrenden Interaktionen mit geringer Anpassung der Fahrverläufe

(„positive“ Reaktion) herbeiführen konnten. Bei den Begegnungen bremste ein Teil der Fahrradfahrenden stark oder wich stark aus. Im Vergleich dazu mussten die Pedelec- sowie Lastenradfahrenden den Gehweg für die Begegnungen benutzen. Daher verzeichneten 100 % der Begegnungen Behinderungen bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden.

Der Zweirichtungsradweg mit einer Breite von 2,50 m gilt als Standardmaß für den Zweirichtungsradweg und bezieht sich auf einen zweistreifigen Verkehrsraum. Wegen des resultierenden Verkehrsraummangels waren alle Begegnungen von Nebeneinanderfahrenden und Überholenden mit Behinderungen verbunden. Insgesamt konnten ca. zwei Drittel der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden ungehindert fahren (Normalverhalten).

Wenn die Nutzenden verschiedener Fahrzeugtypen betrachtet werden, hatten die Begegnungen E-Tretroller-Fahrrad/ E-Tretroller einen ähnlichen Anteil an Behinderungen und kritischen Situationen wie die Begegnungen zweier Fahrräder. Dagegen wiesen **die Begegnungen Pedelec - Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller einen leicht höheren Anteil an kritischen Situationen und einen höheren Anteil der Behinderungen** infolge der höheren Geschwindigkeit der Pedelecs auf. Bei der Beobachtung wurde festgestellt, dass **bei einer Begegnung mit einem Pedelecfahrenden die begegnenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden oft auswichen**. Grund hierfür könnte Respekt vor dem schnell ankommenden Pedelecfahrenden sein. Allerdings wurde dieses Verhalten selten bei einer Begegnung mit sportlich Fahrradfahrenden mit hoher Geschwindigkeit beobachtet. Diese fuhren oft nah zur Bordsteinkante oder Grünfläche, weshalb Rad- oder E-Tretrollerfahrende weniger abgedrängt wurden. Auch die Begegnung mit einem Lastenrad unterlag Behinderungen, wobei wegen zu geringer Häufigkeit dieser Begegnungen keine statistische Bewertung vorgenommen werden kann. Bei der Positionswahl wurde bereits erfasst, dass die **Lastenradfahrenden eher mittig am Zweirichtungsradweg fahren, daher bedingen die Lastenradfahrenden bei einer Begegnung starkes Ausweichen der Interagierenden**.

An einem Zweirichtungsradweg mit 3,00 m Breite verringerte sich die Rate der kritischen Situationen und Behinderungen von 29% auf 14%. Bei Begegnungen zweier Einzelfahrenden ist der Anteil an Behinderungen bei Begegnungen mit einem E-Tretroller unwesentlichen höher als bei Begegnungen mit einem Fahrrad. Eine **Begegnung mit einem E-Tretroller stellt demnach keine besondere Schwierigkeit gegenüber einer Begegnung mit einem Fahrrad** dar. Bei einer Begegnung mit einem Pedelec liegt der Anteil aller kritischen Situationen und Behinderungen mit 16 % erheblich niedriger als an einem 2,50 m breiten Radweg (44 %). Begegnungen mit einem Lastenrad traten nur einmal auf, daher ist die Auswirkung bei der Begegnung mit einem Lastenrad nicht direkt zu ermitteln.

Weiterhin wurden Begegnungen mit nebeneinander Fahrenden oder Überholenden betrachtet, wofür sich die Bemessung nach dem 3,00 m breiten Zweirichtungsradweg richtet. Im Vergleich zu den Begegnungen zwischen Einzelfahrenden stellten die Begegnungen mit den Nebeneinanderfahrenden oder Überholenden eine Problematik dar. Die Auswertung zeigt, dass nur 20 % der Begegnungen beim Nebeneinanderfahren problemlos verliefen und sich die Begegnungen mit Überholenden als noch problematischer herausstellten, weil das Überholen mehr Raum braucht. Da ausreichend Abstand zu Bordsteinkante oder Grünflächen gehalten wurde, blieben weniger Verkehrsflächen für reibungslose Begegnungen mit anderen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden.

**Vergleich mit der Umfrage**

Die Verbesserung des Sicherheitsempfindens an Radverkehrsstreifen in der Umfrage (Abbildung A10.23 (a) und (b)) steht mit der Veränderung der anteilig kritischen Überholabstände durch Kfz in der Videoerfassung in Einklang. Der Vergleich zeigt, dass sich mit einer Verbreiterung der Radverkehrsanlage, besonders ab einer Breite von 1,85 m, das Sicherheitsempfinden in der Umfrage deutlich erhöhte und sich der Anteil der kritischen Überholabstände in der Videoerfassung reduzierte. Zudem stimmt der zwischen Fahrrad und Pedelec leicht höhere Anteil des unsicheren Empfindens bei den Pedelecfahrenden in der Umfrage mit dem höheren Anteil an kritischen Überholabständen bei den Pedelecfahrenden in der Videoerfassung überein.

Unter den Lastenradfahrenden in der Umfrage schätzte ein deutlich höherer Anteil als bei den Fahrradfahrenden die Sicherheit an schmalen Radverkehrsstreifen als „(sehr) gefährlich“ ein. An breiteren Radverkehrsanlagen wurde ein solcher Unterschied nicht registriert. In der Videoerfassung wurde allerdings

auch festgestellt, dass an den breiten Radverkehrsstreifen ein höherer Anteil an kritischen Situationen bei den Lastenradfahrenden erfasst wurde als bei den Fahrradfahrenden.

Bei den E-Tretrollern ist ein direkter Vergleich schwierig, weil diese nur an einer Strecke per Videoerfassung beobachtet wurden.

Im Hinblick auf die Überholmöglichkeiten wurde in der Umfrage im Gegensatz zu den Fahrradfahrenden ein leicht höherer Anteil der subjektiven Schwierigkeit des Überholens bei den Pedelecfahrenden und ein eindeutig höherer Anteil bei den Lastenradfahrenden verzeichnet. Dies wurde durch größere Überholabstände zwischen Pedelec - Fahrrad und Lastenrad - Fahrrad und den Nachweis in der Videoerfassung bestätigt, dass an einem 2,00 m breiten Radfahrstreifen nur 50% der Überholvorgänge innerhalb von Radfahrstreifen erfolgten und dies mit dem Lastenrad aufgrund größerer Fahrzeugabmessung noch schwieriger war.

In Hinblick auf den Zweirichtungsradweg spiegeln die hohe Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen an einem 1,60 m breiten Zweirichtungsradweg in der Videoerfassung den hohen Anteil schlechten Sicherheitsempfindens in der Umfrage (Abbildung A10.23 (d)) wider. Für einen 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg wurden die höheren Anteile des schlechten Sicherheitsempfindens in der Videoerfassung bestätigt. Allerdings wurde ein hohes Potenzial der Behinderung bei den Lastenradfahrenden in der Videoerfassung nicht durch die Umfrage bestätigt.

Das Sicherheitsempfinden an den geschützten Radfahrstreifen in der Umfrage (Abbildung A10.23 (e)) spiegelt sich grundsätzlich in der Videoerfassung wider, weil kaum Interaktionsvorgänge an den geschützten Radfahrstreifen festgestellt wurden. Die Umfrage zeigte, dass sich das Sicherheitsempfinden an einem schmalen geschützten Radfahrstreifen (1,40 m breit) verbessert gegenüber einem schmalen Schutz- oder Radfahrstreifen (1,25 - 1,50 m breit). Dies wurde zum Teil mit dem kleineren Unterschied der durchschnittlichen Abstände im interaktionsfreien und -bezogenen Zustand deutlich. Bezüglich der Überholvorgänge zeigt die Umfrage, dass das Überholen mit dem Lastenrad an einem 2,25 m breiten geschützten Radfahrstreifen nicht schwieriger eingeschätzt wurde, als das Überholen mit dem Fahrrad. Auch in der Videoerfassung wurde beobachtet, dass das Überholen Lastenrad - Fahrrad an einem 2,25 m breiten geschützten Radfahrstreifen grundsätzlich problemlos verlief.

### 7.2.2 Trennung zwischen Geh- und Radweg

Bevor auf die Kriterien zur Auswertung der Trennung zwischen Geh- und Radweg näher eingegangen wird, werden zuerst die Ergebnisse der Verkehrsflächenwahl am Einrichtungsradweg wiederholt. Bei der Verkehrsflächenwahl wurde für die Strecke (11) mit dem streckenlangen Einsatz von Pollern eine schlechtere Akzeptanz nachgewiesen, besonders bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden, weil sie z.B. nach dem Überholen von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden infolge der Poller nicht wieder den Radweg benutzen. Im Folgenden werden die Positionswahl und Interaktionsvorgänge mit den zu Fuß Gehenden in Hinblick auf die Trennungsform zwischen Geh- und Radweg erörtert.

#### Positionswahl (alleinig) an den Radverkehrsanlagen

Zur Analyse der Position der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden am Einrichtungsradweg ist die Trennung zwischen Geh- und Radweg zu berücksichtigen. Hierbei wurde der Fall der Grünfläche als Trennung zwischen Geh- und Radweg im interaktionsfreien Zustand auch berücksichtigt, obwohl die Grünfläche als Trennung nicht Schwerpunkt der Untersuchung war.

Zuvor wurde die Positionswahl im interaktionsfreien Zustand besprochen (Tabelle 7.6). Anders als an Radverkehrsstreifen waren die **durchschnittlichen Abstände bei den Fahrrädern** (ohne Anhänger) und **Pedelecs** (ohne Anhänger) am Einrichtungsradweg **ähnlich**. An den Strecken bis zu einer Breite von 1,50 m waren die durchschnittlichen Abstände bei Fahrrädern und Pedelecs immer 0,90 m, sofern keine bauliche Trennung z.B. Grünflächen neben dem Radweg existierten (Strecken (7), (8)b), (10) und (12)). Anhand der Positionsverteilung (z.B. Strecken (8), (9) und (13)) wurde der minimale Positionswert zur Bordsteinkante (bezogen auf die Fahrzeugmitte) bei Fahrrädern mit ca. 0,40 - 0,50 m und bei Pedelecs mit ca. 0,50 - 0,60 m festgelegt. Das heißt, dass die nah zur Bordsteinkante liegenden Bereiche selten von Pedelecs benutzt wurden (Abbildung 7.11). Durch Grünflächen zwischen Geh- und Radweg

verschob sich die (minimale) Position zur Borsteinkante hin zur Mitte der Einrichtungsradwege (Strecken (9) und (13)), wobei die durchschnittlichen Abstände und der 50%-Wert der Position der Fahrräder und Pedelecs um die Mitte der Einrichtungsradwege lagen. Aus der Analyse folgt, dass **zum Radweg 0,75 m entfernte Poller gegenüber Grünflächen eine geringere Auswirkung auf die Positionswahl der Fahrräder und Pedelecs haben** (Strecken (8)a) und (11) gegenüber Strecken (9) und (13)).

**Tabelle 7.6: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante (Grünfläche) bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandter Fahrzeugüberhang in Klammern) an Einrichtungsradwegen [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status[1)] | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tretroller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Breite | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (7) | 1,30 m | ① | 0,93 (0,63) (n=200) | 0,94 (0,54) (n=1) | 0,95 (0,65) (n=20) | - | 1,02 (0,67) (n=3) | - | 1,01 (0,71) (n=2) |
| | | ② | 0,70 (0,40) (n=38) | - | 0,72 (0,42) (n=7) | - | - | - | - |
| (8) | a)[2)] 1,48 m | ① | 0,88 (0,58) (n=326) | 0,83 (0,46) (n=2) | 0,88 (0,58) (n=37) | - | 0,89 (0,54) (n=6) | - | 1,05 (0,75) (n=1) |
| | | ② | 0,77 (0,47) (n=53) | 0,84 (0,49) (n=1) | 0,81 (0,51) (n=4) | - | - | - | - |
| | b)[3)] 1,48 m | ① | 0,95 (0,63) (n=317) | 1,04 (0,66) (n=2) | 0,93 (0,63) (n=30) | - | 1,02 (0,65) (n=7) | - | 1,04 (0,74) (n=1) |
| | | ② | 0,62 (0,32) (n=82) | 0,68 (0,35) (n=2) | 0,69 (0,39) (n=12) | - | - | - | - |
| (9) | 1,50 m | ① | 0,73 (0,43) (n=702) | 0,73 (0,43) (n=1) | 0,73 (0,43) (n=44) | - | 0,76 (0,38) (n=14) | - | 0,77 (0,47) (n=27) |
| (10) | 1,50 m | ① | 0,92 (0,62) (n=227) | 0,94 (0,59) (n=3) | 0,93 (0,63) (n=35) | 0,85 (0,47) (n=2) | 0,93 (0,61) (n=5) | - | 0,94 (0,64) (n=3) |
| | | ② | 0,76 (0,46) (n=109) | - | 0,77 (0,47) (n=17) | - | 0,66 (0,33) (n=3) | - | 0,54 (0,24) (n=1) |
| (11) | 1,50 m | ① | 0,89 (0,59) (n=334) | 0,94 (0,53) (n=2) | 0,86 (0,56) (n=29) | - | 0,93 (0,58) (n=12) | - | 0,89 (0,59) (n=5) |
| | | ② | 0,88 (0,58) (n=92) | 0,93 (0,47) (n=1) | 0,83 (0,53) (n=4) | - | 0,87 (0,52) (n=9) | - | 0,87 (0,57) (n=1) |
| (12) | 1,50 m | ① | 0,91 (0,61) (n=107) | 1,10 (0,66) (n=1) | 0,89 (0,59) (n=15) | 0,95 (0,55) (n=1) | 0,89 (0,54) (n=6) | - | - |
| | | ② | 0,88 (0,58) (n=31) | - | 0,83 (0,53) (n=4) | - | 0,75 (0,44) (n=1) | - | - |
| (13) | 1,60 m | ① | 0,76 (0,46) (n=227) | 0,77 (0,34) (n=1) | 0,77 (0,47) (n=33) | 0,73 (0,43) (n=1) | 0,85 (0,54) (n=4) | - | - |
| (14) | 2,10 m | ① | 1,44 (1,14) (n=267) | 1,35 (0,96) (n=3) | 1,44 (1,14) (n=29) | 1,57 (1,24) (n=2) | 1,42 (1,11) (n=9) | - | 1,48 (1,18) (n=1) |
| | | ② | 1,19 (0,89) (n=83) | 1,36 (0,96) (n=1) | 1,23 (1,13) (n=15) | 1,51 (1,13) (n=1) | 1,03 (0,76) (n=2) | - | - |

[1)] Status ①: interaktionsfrei; ② interaktionsbezogen (Überholen des Fußverkehrs); [2)] Teilstrecke mit Poller; [3)] Teilstrecke ohne Poller und nur farbiger Unterschied zum Gehweg

**Tabelle 7.7: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bezogen auf Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandter Fahrzeugüberhang in Klammern) abhängig von vorbeifahrenden Kfz an der Strecke (7) (n: Anzahl der Fahrzeuge)**

| | Ohne Vorbeifahren von Kfz auf der Fahrbahn | Mit Vorbeifahren von Kfz auf der Fahrbahn |
|---|---|---|
| Fahrrad ohne Anhänger (n=195) | 0,88 (0,58) (n=121) | 0,97 (0,67) (n=74) |
| Pedelec ohne Anhänger (n=22) | 0,91 (0,61) (n=13) | 0,94 (0,64) (n=9) |
| Lastenrad mit Elektroantrieb (n=3) | 0,92 (0,57) (n=1) | 1,07 (0,72) (n=2) |
| E-Tretroller (n=2) | 1,01 (0,71) (n=2) | - |

Die Positionswahl der (E-)Lastenräder ist mit der Gestaltung der Radwege verbunden. An den unmittelbar zur Fahrbahn liegenden schmaleren Radwegen versuchten **die Lastenradnutzenden, weiter weg von der Bordsteinkante zu fahren als die Fahrrad- oder Pedelecnutzenden**, sofern keine bauliche Trennung zwischen Geh- und Radweg vorhanden war. Dabei wurden größere durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bei den Lastenrädern erfasst (Strecke (7), (8)b) ohne Poller). Dadurch waren die durchschnittlichen Abstände bezogen auf den Fahrzeugüberhang bei den Lastenrädern nicht kleiner als bei Fahrrädern oder Pedelecs und die minimalen Positionswerte des zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhangs lagen nicht zu nah zur Bordsteinkante. Dies trat auch beim Einsatz

von Grünflächen auf (Strecke (13)). An Strecke (13) wurden die absoluten Werte der durchschnittlichen Abstände bei den Lastenrädern gegenüber Strecken (7) und (8)b) verringert, allerdings waren die Werte größer als bei Fahrrädern und Pedelecs. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Lastenradfahrenden (besonders E-Lastenzweiradfahrende) infolge der Instabilität und des damit verbundenen erhöhten Absturzrisikos eher weiter weg von der Bordsteinkante fahren. Im Vergleich der durchschnittlichen Abstände wurde eine Verkleinerung bei Lastenrädern an Strecke (9) erkannt. Dort wurde eine große Anzahl an im Wirtschaftsverkehr genutzten Lastenrädern mit großer Fahrzeugabmessung (Velotaxi) ermittelt. Resultierend betrug der Abstand **zwischen dem von der Bordsteinkante abgewandten Fahrzeugüberhang und der Grünfläche etwa 0,20 m.** Dieser Abstand ist identisch zum Abstand zwischen Fahrzeugüberhang der Lastenräder und baulicher Trennung an den geschützten Radfahrstreifen (Strecke (18)).

Aus den Positionsverteilungen der Strecken (9) und (13) im interaktionsfreien Zustand folgt, dass die **Lastenräder eine deutlich kleinere Spannbreite der Positionsverteilung beim Radweg zwischen Fahrbahn und Grünfläche** hatten als die Fahrrad- und Pedelecfahrenden. Wenn die Positionsverteilungen an allen Radwegen betrachtet werden, wurden die zur Bordsteinkante nahliegenden Verkehrsflächen kaum von den Lastenradfahrenden benutzt. An den Strecken (9) und (13) mussten die **Lastenradfahrenden die Balance zwischen Bordsteinkante und Grünfläche halten**.

Dass sich die Positionswahl der Lastenradnutzenden zur Bordsteinkante verschob, wurde auch an den Strecken (8)a) und (11) im interaktionsfreien Zustand nach dem Einsatz von Pollern beobachtet. Dabei waren die Werte der durchschnittlichen Abstände sowie die 50%-Positionswerte der Lastenräder gleich oder vernachlässigbar höher als die der Fahrräder und Pedelecs. Das heißt, dass sich die **0,75 m zum Radweg stehenden Poller stärker auf die Positionswahl der Lastenradfahrenden auswirkte als auf die der Fahrrad- und Pedelecfahrenden**. Zudem scheint sich die **Höhe der Hindernisse** (z.B. Grünfläche, Poller) auf die Positionswahl sowie die durchschnittlichen Abstände der Lastenräder auszuwirken: An Strecke (13) bestand eine Grünfläche ohne Pflanzkübel (befahrbare Grünfläche), die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante waren bei den Lastenrädern deutlich größer als bei den Fahrrädern und Pedelecs. An den Strecken (8)a), (9) und (10) gab es höhere Hindernisse (Grünflächen mit Kübel oder Poller) und die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante waren bei den Lastenrädern ähnlich wie bei den Fahrrädern und Pedelecs.

Wenn Grünflächen zur Trennung der Fahrbahn und des Radwegs vorhanden waren (Strecken (10) und (12)), wurde **keine von der Grünfläche entfernte Positionswahl bei den Lastenradfahrenden** im interaktionsfreien Zustand beobachtet. Dabei waren die durchschnittlichen Abstände zur Grünfläche und die 25% - 50%-Positionswerte der Lastenräder identisch mit den Werten der Fahrräder und Pedelecs.

An den direkt neben der Fahrbahn liegenden Radwegen schienen die **E-Tretrollerfahrenden auch weiter von der Bordsteinkante entfernt zu fahren** (Strecken (7) und (8)) als die Fahrrad- und Pedelecfahrenden. Beim Einsatz von Grünflächen (Strecke (9)) wurden leicht größere durchschnittliche Abstände bei den E-Tretrollern gemessen. Allerdings zeigen die anderen Ergebnisse an Strecke (11), dass die Positionswahl der E-Tretrollerfahrenden nicht deutlich weiter weg von der Bordsteinkante lag als die der Fahrrad- und Pedelecfahrenden. Daher kann kein einheitliches Verhalten über die Positionswahl der E-Tretroller festgelegt werden. Trotzdem ist der Trend der größeren durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante an den schmalen Radwegen infolge der Angst vor Kfz bei den E-Tretrollerfahrenden nicht zu vernachlässigen.

Alle obengenannten Unterschiede der Positionswahl zwischen den Nutzenden verschiedener Fahrzeuge wurden überwiegend an schmäleren Einrichtungsradwegen nachgewiesen. **An den breiten Einrichtungsradwegen** (Strecke (14)) wurde **eine ähnliche Positionswahl zwischen den Nutzenden der Fahrräder, Pedelecs und Lastenräder erfasst**, wobei 25%-75% der Positionswerte in der Positionsverteilung identisch waren. Es wurde ersichtlich, dass die Verkehrsflächen nah zur Bordsteinkante nicht von den Lastenradfahrenden benutzt wurden.

Darüber hinaus wurde an Strecke (7) mit einer Breite von 1,30 m registriert, dass die Rad- oder E-Tretrollernutzenden beim Vorbeifahren von Kfz weiter von der Bordsteinkante entfernt fuhren, obwohl eine Führung im Seitenraum vorlag. Das Phänomen wurde bei Fahrrad- und Lastenradfahrenden deut-

lich bemerkt (Tabelle 7.7). Der Unterschied der durchschnittlichen Abstände bei Fahrradfahrenden betrug ca. 0,10 m. Der quantitative Unterschied bei den Lastenradfahrenden konnte wegen zu kleiner Stichprobengröße (n=3) nicht ermittelt werden.

Bei der Betrachtung der Positionswahl am Einrichtungsradweg im interaktionsbezogenen Zustand (Tabelle 7.6) wird die Auswirkung der Trennungsform fokussiert. Tabelle 7.6 zeigt, dass an Strecke (8)a) **mit Pollern eine Verkleinerung der Differenz der durchschnittlichen Abstände zwischen interaktionsbezogenem und interaktionsfreiem Zustand** auftritt im Gegensatz zu Stecke (8)b) ohne Poller. Mit der Verbreiterung des Gehwegs an der Strecke (11) und dem Einsatz der Poller wurde kaum eine Verkleinerung der durchschnittlichen Abstände im interaktionsfreien gegenüber -bezogenen Zustand beobachtet. Es wurde ein **kleinerer Unterschied der durchschnittlichen Abstände** zwischen interaktionsbezogenen und interaktionsfreien Zustand an Strecke (12) **mit dem 0,30 m breiten Pflasterbelag** gemessen.

An den restlichen Strecken mit dem Farbunterschied und der weißen Linie wurde eine stärkere Verkleinerung der durchschnittlichen Abstände beobachtet. Dies war bei den Lastenrädern besonders ausgeprägt. Außerdem war der Unterschied der durchschnittlichen Abstände an der Strecke (7) mit der weißen Linie noch kleiner als an den Strecken (8)b) und (14) mit dem Farbunterschied. Dabei waren die durchschnittlichen Abstände an der schmaleren Strecke (7) sogar größer als die an der breiteren Strecke (8)b). Dies weist darauf hin, dass sich **die weiße Linie als Markierung in einem gewissen Maß positiv auf die Positionswahl auswirkte gegenüber dem reinen Farbunterschied**.

**Abbildung 7.10: Radfahrende zu nah zur Bordsteinkante beim Vorbeifahren an zu Fuß Gehenden an den schmalen Radwegen (1,30 m und 1,48 m) [eigene Aufnahme]**

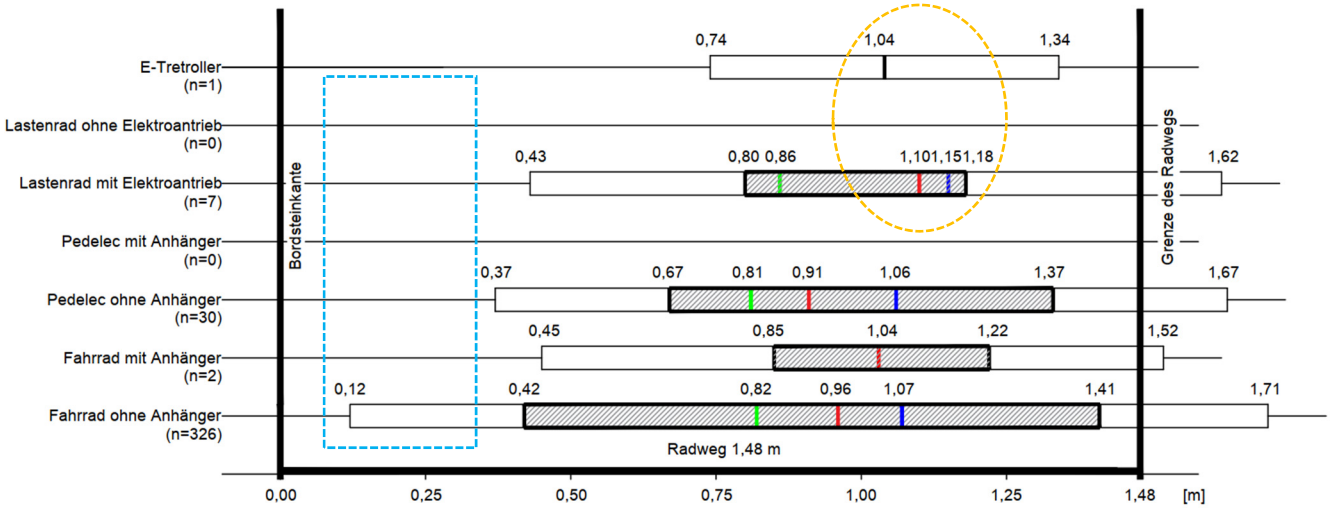



**Abbildung 7.11: Positionsverteilung an einem 1,48 m breiten Einrichtungsradweg (Strecke (8)b)) mit dem Farbunterschied als Trennung zwischen Geh- und Radweg im interaktionsfreienn Zustand (n: Anzahl der Nutzenden)**

Angesichts der Positionsverteilung wurde der Fokus auf die minimale Position gelegt. Es war deutlich zu erkennen, dass die minimalen Werte der Positionsverteilung der Fahrradfahrenden an den Strecken

(7), (8)b), (12) und (14) nur mit der weißen Linie oder einem Farbunterschied ziemlich klein waren. Dies war an den schmalen Strecken besonders ausgeprägt. Diese Positionswahl führte dazu, dass die Fahrradfahrenden zu nah zur Bordsteinkante fuhren und beim Vorbeifahren von Kfz, besonders von Schwerkehr, risikobehaftet waren (Abbildung 7.10). Die kleinen minimalen Werte der Positionsverteilung wurden auch an Strecke (8)a) mit Pollern beobachtet, wo der Radweg bei zeitweise hohem Fußverkehrsaufkommen von den Fußgängergruppen mitbenutzt wurde. Das heißt, dass **bis zum mittelstarken Fußverkehrsaufkommen die Poller eine falsche Nutzung des Radwegs durch den Fußverkehr verhindern konnten**. An den Strecken (11) und (12) mit Pollern bzw. Pflasterbelag wurden keine kleinen minimalen Werte der Positionsverteilung beobachtet.

**Interaktionsvorgänge**

In diesem Abschnitt werden vor allem die Interaktionsvorgänge zwischen Rad- oder E-Tretrollernutzenden und zu Fuß Gehenden beschrieben. Tabelle A12.3 in Anhang 12 zeigt, dass die Strecken mit Poller (Strecken (8)a) und (11)) und mit Pflasterbelag (Strecke (12)) bezüglich der Trennung zwischen Geh- und Radweg eine niedrigere Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen im Vergleich zu allen Strecken erwiesen, abgesehen von der Strecke (14). Mit dem breiten Gehweg und schwächerem Fußverkehrsaufkommen wurden keine kritischen Situationen und Behinderungen an Strecke (14) beobachtet. Auffällig war, dass die Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen an Strecke (8)b) mit nur Farbunterschied eindeutig höher waren als an Strecke (8)a) mit Pollern. Mit Verbreiterung des Gehwegs entstanden an Strecke (11) mit Pollern gegenüber der Strecke (8)a) keine kritischen Situationen oder Behinderungen trotz starken Fußverkehrsaufkommens.

Weiterhin wurde bemerkt, dass die breiteren Strecken (10) und (8)b) mit Farbunterschied keine besondere Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen aufwiesen gegenüber der Strecke (7), obwohl die Strecken (10) und (8)b) stärker mit Fußverkehr belastet waren. Dies wird zum großen Teil mit der Verbreiterung der Radwege begründet.

Daneben wurden die Interaktionsvorgänge mit Fahrrädern und Pedelecs basierend auf der Frage verglichen, ob ein 0,30 m breiter Begrenzungsstreifen für die breiteren Pedelecs ausreicht. Dazu werden die Strecken (7) und (12) betrachtet.

An Strecke (12) verzeichneten die Pedelecs gegenüber den Fahrrädern einen höheren Anteil der Behinderungen. Allerdings ist die statistische Aussage aufgrund der geringen Anzahl der Pedelecs eingeschränkt. An der Strecke (7) wurden die Interaktionen zusammen mit den „Bedingungen“ vertiefend ausgewertet (Tabelle A12.4), da das Fußverkehrsaufkommen die Interaktionsvorgänge an dem schmalen Geh- und Radweg deutlich beeinflussen konnte.

Beim Auftauchen einzelner zu Fuß Gehender hatten die Pedelecs nur einen geringfügig höheren Anteil an kritischen Situationen und Behinderungen als die Fahrräder. Zu berücksichtigen ist die kleine Stichprobegröße der Pedelecs und die damit verbundene statistische Schwankung. Der hohe Anteil der kritischen Situationen und Behinderungen konzentrierte sich auf die Anwesenheit von drei oder mehr zu Fuß Gehenden. Basierend auf der Tatsache, dass der 1,30 m breite Radweg und der schmale Gehweg (1,60 m breit) nur für ein Vorbeigehen von einzelnen oder maximal zwei zu Fuß Gehenden geeignet war, **beeinflussten** die 0,15 m breite weiße Linie sowie der **0,30 m breite Begrenzungsstreifen die Interaktionssituationen mit Pedelecs nicht negativ**.

**Vergleich mit der Umfrage**

Ein Vergleich mit der Umfrage fokussiert in diesem Kapitel nicht die Auswirkung der Trennungsform. Allerdings wird hier zuerst das Sicherheitsempfinden und die Überholmöglichkeit der Umfrage anhand der Positionsverteilung und Interaktionsvorgänge mit Fußverkehr aus der Videoauswertung erläutert.

In der Umfrage wurde die Trennung zwischen Geh- und Radweg nur mit einem Farbunterschied oder einer weißen Linie beim Einrichtungsradweg dargestellt. Ein direkter Vergleich zwischen der Umfrage und den Aufnahmen an den Strecken (7), (8), (13) und (14) ist möglich. In der Umfrage wurden höhere Anteile des Sicherheitsempfindens als „(etwas) gefährlich“ bei den Lastenrad- und E-Tretrollerfahrenden an dem 1,30 m breiten Radwegen eingeschätzt als bei den Fahrradfahrenden. Dies spiegelt sich

zum Teil in der von der Bordsteinkante entfernte Positionswahl der Lastenräder und E-Tretroller an den schmalen Radwegen in der Videoerfassung wider. Solch ein Unterschied zwischen Lasten- und Fahrrädern wurde ebenso an dem 1,60 m breiten Radweg festgestellt. Der höhere Anteil des Sicherheitsempfindens „(etwas) gefährlich“ bei den Pedelecs an den 1,30 m und 1,60 m breiten Radverkehrsanlagen in der Umfrage zeigt sich auch gegenüber den Fahrrädern durch eine höhere Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen mit zu Fuß Gehenden an den schmäleren Radwegen in der Videoerfassung.

An dem 2,00 m breiten Einrichtungsradweg blieb der Anteil des Sicherheitsempfindens „(etwas) gefährlich“ generell niedrig. Dies bestätigt der reibungslose Ablauf in der Videoerfassung.

### 7.2.3 Breite von Sicherheitstrennstreifen

#### 7.2.3.1 Sicherheitstrennstreifen zu den Parkständen

Verkehrsflächenwahl (Akzeptanz)

Zuerst wird die Aufmerksamkeit auf die Akzeptanz sowie die Verkehrsflächenwahl an den Radverkehrsanlagen mit Parkständen gelegt. Hierbei wird eine Mitnutzung der Sicherheitstrennstreifen generell als Akzeptanz der Radverkehrsanlagen eingeordnet.Tabelle 7.8 zeigt, dass die **Radverkehrsstreifen mit Parkständen** unabhängig von den Sicherheitstrennstreifen **eine gute Akzeptanz** aufwiesen. Hierbei wurde eine leicht geringere Akzeptanz bei Fahrradfahrenden aufgezeigt als bei den Nutzenden der neuen Fahrzeuge, weil die Fahrradfahrenden gegebenenfalls den Gehweg benutzten. Dies wurde allerdings nicht durch Parkstände bedingt, weil an den Radverkehrsstreifen ohne Parkstände die gleiche Akzeptanz beobachtet wurde.

**Tabelle 7.8: Verkehrsflächenwahl an den Radverkehrsanlagen mit Parkständen**

| Strecke | | | Fahrzeug-art | Radverkehrs-anlagen | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der regelgerechten Verkehrsflächen-nutzung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Schutz-/ Radfahrstreifen | (21) | i 1,50 m ii 0 m | Fahrrad | 257 (22) | 1 | 4 | 262 | **98%** |
| | | | Pedelec | 23 (2) | 0 | 0 | 23 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 5(1) | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |
| | (22) | i 1,40 m ii 0,50 m | Fahrrad | 294 (10) | 3 | 17 | 314 | **94%** |
| | | | Pedelec | 33 (1) | 0 | 0 | 33 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 5 | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 10 | 0 | 0 | 11 | **91%** |
| | (23) | i 2,00 m ii 0,50 m | Fahrrad | 197 (1) (1) | 0 | 4 | 201 | **98%** |
| | | | Pedelec | 51 (1) | 0 | 0 | 51 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 13 | 0 | 0 | 13 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | | | | | |
| | (24) | i 1,85 m ii 0,75 m | Fahrrad | 214 (3) | 1 | 10 | 225 | **95%** |
| | | | Pedelec | 41 (2) | 0 | 2 | 43 | **95%** |
| | | | Lastenrad | 7 (1) | 0 | 0 | 7 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 6 | 0 | 0 | 6 | **100%** |
| Einrichutngsradweg | (25) | i 1,60 m ii 0 m | Fahrrad | 367 (2) | 38 | 18 | 423 | **87%** |
| | | | Pedelec | 21 | 1 | 2 | 24 | **88%** |
| | | | Lastenrad | 6 | 1 | 0 | 7 | **86%** |
| | | | E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |
| | (26) | i 1,60 m ii 0 m | Fahrrad | 129 (3) | 3 | 1 | 133 | **97%** |
| | | | Pedelec | 34 (3) | 0 | 0 | 34 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 10 (1) | 1 | 0 | 11 | **91%** |
| | | | E-Tretroller | 3 (2) | 0 | 0 | 3 | **100%** |
| | (27) | i 1,60 m ii 0,75 m | Fahrrad | 414 (19) | 5 | 0 | 419 | **99%** |
| | | | Pedelec | 35 (4) | 0 | 0 | 35 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 8 (1) | 0 | 0 | 8 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 20 (1) | 0 | 0 | 21 | **100%** |
| ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Radwegnutzung + Nebeneinander 1 | | | | | | | | |

Im Gegensatz dazu war **die Akzeptanz am Radweg deutlicher vom Sicherheitstrennstreifen abhängig**. Die Strecke (25), wo der Radweg zwischen Fahrbahn und Parkständen ohne Sicherheitstrennstreifen liegt, wies eine eindeutig schlechtere Akzeptanz auf. Dabei zeigten Pedelec- und Lastenradfahrende teilweise infolge kleiner Stichprobe eine unwesentlich schlechtere Akzeptanz als die Fahrradfahrenden. An dieser Strecke wurde auch vermehrt eine Fahrbahnnutzung registriert, was an dem zur Verfügung stehenden Busstreifen zwischen dem Kfz-Fahrstreifen und Radweg lag. Mit der Anordnung des Radwegs zwischen Parkständen und Gehweg wurde die Akzeptanz stark verbessert (Strecke (26)), da im Vergleich an der Strecke (25) der Spielraum der Verkehrsflächen sehr eingeschränkt ist. Der Einsatz von Sicherheitstrennstreifen steigerte die Akzeptanz besonders.

Im Vergleich der Verkehrsflächenwahl an den Strecken (7) - (14) zeigte sich zudem der Trend bei den Lastenrädern, dass die Radwege mit Parkständen aber ohne Sicherheitstrennstreifen schlechter akzeptiert wurden. Allerdings wurde dieser Trend nur anhand einer kleinen Stichprobe ermittelt.

Bei der Betrachtung der (kurzfristigen) Nichtannahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen liegt der Fokus auf der Frage, ob infolge der Parkstände gegenüber Strecken mit derselben Führungsform und Breitenniveau andere oder spezifische Gründe relevant sind. Daher werden die Gründe „Blockierung der Radverkehrsanlagen“ und „Ziel/ Abfahrtsort“, die als wichtige Gründe für die Nichtnutzung der vorgeschriebenen Verkehrsflächen angesehen werden, hier nicht detailliert erläutert.

Die Auswertungen an den Strecken (21) – (27) im Anhang 17 veranschaulichen, dass das „**Ein- und Ausparken**“ einer der Hauptgründe **zur Fahrbahnnutzung** an den **Radverkehrsstreifen** war, welches direkt mit dem Vorhandensein der Parkständen verbunden ist. Dieser Grund führt zur Nutzung anderer Verkehrsflächen unabhängig von Vorhandsein und Breite des Sicherheitstrennstreifens. An der Strecke (24) mit dem 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen wurde dieser Grund als Hauptargument erfasst. Außerdem betraf der Grund überwiegend die Fahrradfahrenden. Das ist mit der kleineren Wahrscheinlichkeit der Interaktionen zwischen ein- und ausparkenden Kfz und Pedelecs, Lastenrädern oder E-Tretrollern infolge absolut kleiner Anzahl verbunden. Ausführlich wird dies im Absatz „Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)“ beschrieben.

Zudem spielte hierbei der Grund „**Überholen**“ eine **wichtigere Rolle** als an den Strecken ohne Parkstände. Das „Überholen“ veranlasste die Fahrbahnnutzung an den Radverkehrsstreifen und die Fahrbahn- oder Gehwegnutzung an den Radwegen je nach der Gestaltung des Radwegs. Neben den schmäleren Radverkehrsanlagen (z.B. Strecke (21) oder (22)) hing das Verhalten mit der von den Parkständen entfernten Positionswahl der überholten Rad- oder E-Tretrollerfahrenden zusammen. Dies wird im Absatz „Positionswahl (alleinig) an den Radverkehrsanlagen“ und „Nebeneinander und Überholen“ beschrieben.

Ein großer Teil des „langsamen Fahrens“ wurde bei der Gehwegnutzung an Strecke (22) registriert, nicht aber an Strecke (21) mit dem schmalen Radverkehrsstreifen und ohne Sicherheitstrennstreifen. Daher ist der Trend, dass die (langsamfahrenden) Nutzenden, die Angst vor Kfz hatten, eher den Gehweg am schmalen Radverkehrsstreifen mit den Parkständen nutzten, nicht belegbar.

Darüber hinaus wurde ein hoher Anteil der „sonstigen Gründe“ an Strecke (25) erfasst, besonders bei der Gehwegnutzung. Bei der besonders ungünstigen Gestaltung der Radverkehrsanlagen, wo der Radweg ohne Sicherheitstrennstreifen zwischen der Fahrbahn und Parkständen lag, wollten viele ortskundige Nutzende (z.B. Berufspendler sowie Dienstfahrende) begründungslos auf die Nutzung des Radwegs verzichten.

Zwischen den Nutzenden verschiedener Fahrzeuge wurde bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden wieder der Grund „Überholen“ als Hauptkriterium angeführt, wie an den Strecken ohne Parkstände. Daher wird dies nicht vertiefend diskutiert. Allerdings ist zu erwähnen, dass die Pedelec- und Lastenradfahrenden wegen der vorab besprochenen Wahrscheinlichkeit selten von den Ein- und Ausparkvorgängen beeinflusst wurden.

Geschwindigkeit

Beim Betrachten der durchschnittlichen Geschwindigkeit zeigt Tabelle 7.9, dass sich **an den Radverkehrsstreifen** die **Geschwindigkeit** aller Fahrzeugtypen beim Vorhandsein von Parkständen unabhängig von der Breite der Sicherheitstrennstreifen gegenüber der Geschwindigkeit an Strecken ohne

Parkstände desselben Breitenniveaus (Strecken (3) und (5)) **kaum veränderte**. Die Geschwindigkeit an der Strecke (21) mit Parkständen ohne Sicherheitstrennstreifen war sogar höher als an Strecke (3) ohne Parkstände. Das ist auf das leichte Gefälle an der Strecke (3) zurückzuführen.

Im Gegensatz dazu wurde die **Geschwindigkeit der Pedelecs** (ohne Anhänger) und **E-Lastenräder am Radweg** deutlicher **von** dem Vorhandensein der **Parkstände** und der **Breite der Sicherheitstrennstreifen beeinflusst**. Im Vergleich zu der Strecke (13) wurde an der Strecke (25) eine Geschwindigkeitsreduzierung um 2,5 km/h bei Pedelecs und um 5,0 km/h bei Lastenrädern festgestellt. Allerdings wurde keine Geschwindigkeitsreduzierung bei Fahrrädern gemessen. An der Strecke (26) erhöhte sich die Geschwindigkeit der Pedelecs und (E-)Lastenräder gegenüber der Strecke (25) leicht.

Der Vergleich der Anordnung des Radweges an den Strecken (25) und (26) zeigt, dass Fahrende von Pedelecs und (E-)Lastenrädern auf dem zwischen Parkständen und Gehweg liegenden Radweg (Strecke (26)) nah zum Gehweg und mit höherer Geschwindigkeit fuhren als diejenigen, durch die Lage zwischen Fahrbahn und Parkständen räumlich beschränkten Radweg, an Strecke (25). Nach dem Einsatz von Sicherheitstrennstreifen erhöhte sich die Geschwindigkeit der Pedelecs und Lastenräder weiter, wobei der Geschwindigkeitsunterschied der Pedelecs und Lastenräder zwischen Strecke (13) und (27) ziemlich klein war.

Die Geschwindigkeit der E-Tretroller lag unabhängig vom Vorhandensein von Parkständen bei ca. 20 km/h und wurde folglich nicht beeinflusst. Bei dieser im Vergleich zu Pedelecs und Lastenrädern niedrigeren Geschwindigkeit war eine Reduzierung nicht bemerkbar.

**Tabelle 7.9: durchschnittliche Geschwindigkeit bei vorhandenen Parkständen je nach Breite der Sicherheitstrennstreifen [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | | E-Tretroller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Führung | Nr. | Breite | ohn Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | E-Zweiräder<br>E-dreiräder | ohne El. | |
| Schutz-/ Radfahrstreifen | (3) | i 1,50 m<br>kein Parken | 19,65<br>(n=273) | - | 22,36<br>(n=22) | - | 21,89<br>(n=4) | 21,89 (n=4)<br>- | - | - |
| | (5) | i 1,85 m<br>kein Parken | 20,41<br>(n=372) | 16,67<br>(n=3) | 23,06<br>(n=73) | 20,10<br>(n=1) | 24,18<br>(n=14) | 24,62 (n=13)<br>18,34 (n=1) | - | 19,96<br>(n=1) |
| | (21) | i 1,50 m<br>ii 0 m | 20,41<br>(n=254) | 17,59<br>(n=3) | 23,00<br>(n=23) | - | 22,50<br>(n=5) | 22,50 (n=5)<br>- | - | - |
| | (22) | i 1,40 m<br>ii 0,50 m | 19,80<br>(n=279) | 19,34<br>(n=2) | 22,85<br>(n=32) | - | 21,92<br>(n=5) | 22,91 (n=4)<br>17,99 (n=1) | - | 19,72<br>(n=9) |
| | (23) | i 2,00 m<br>ii 0,50 m | 20,82<br>(n=196) | - | 23,12<br>(n=44) | 22,71<br>(n=7) | 23,90<br>(n=13) | 24,95 (n=10)<br>20,38 (n=3) | - | - |
| | (24) | i 1,85 m<br>ii 0,75 m | 18,66<br>(n=213) | 10,84<br>(n=1) | 23,50<br>(n=41) | - | 21,26<br>(n=7) | 22,74 (n=6)<br>12,36 (n=1) | - | 19,20<br>(n=6) |
| Einrichtungsradweg | (13) | i 1,60 m<br>kein Parken | 19,79<br>(n=231) | - | 23,04<br>(n=33) | - | 23,33<br>(n=4) | 23,33 (n=4)<br>- | - | - |
| | (25) | i 1,60 m<br>ii 0 m | 19,60<br>(n=364) | 17,75<br>(n=3) | 20,41<br>(n=20) | 19,37<br>(n=1) | 18,07<br>(n=6) | 18,38 (n=5)<br>16,56 (n=1) | - | 20,61<br>(n=1) |
| | (26) | i 1,60 m<br>ii 0 m | 18,17<br>(n=129) | - | 22,00<br>(n=33) | 22,66<br>(n=1) | 20,45<br>(n=7) | 20,99 (n=6)<br>17,24 (n=1) | 14,82<br>(n=3) | 19,57<br>(n=3) |
| | (27) | i 1,60 m<br>ii 0,75 m | 18,82<br>(n=414) | 18,23<br>(n=2) | 23,25<br>(n=35) | - | 22,16<br>(n=8) | 22,16 (n=8)<br>- | - | 18,92<br>(n=20) |

i Breite der Radverkehrsanlagen; ii Breite der Sicherheitstrennstreifen („0“ bedeutet kein Sicherheitstrennstreifen)

Positionswahl (alleinig) an den Radverkehrsanlagen

Bei der Positionswahl werden zuerst die Strecken mit Radverkehrsstreifen als Führungsform betrachtet (Tabelle 7.10). Der Vergleich der Strecken (2) und (21) zeigt, dass sich die **Nutzenden aller Fahrzeugtypen im interaktionsfreien Zustand** bei der Nichtmarkierung der Sicherheitstrennstreifen **weiter von den Parkständen entfernten als von der Bordsteinkante**. Dieses Verhalten ist durch eine Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände um 0,13 - 0,18 m gekennzeichnet. Die von den Parkständen

entfernte Positionswahl spiegelt sich auch in der Vergrößerung der minimalen Position in der Positionsverteilung wider (Strecke (21)). An der Strecke (21) mit Parkständen fuhren Pedelec- und E-Lastenradfahrende weiter von den Parkständen entfernt als Fahrradfahrende ähnlich wie an der Strecke (2) ohne Parkstände, was bei allen Fahrzeugtypen oft zu einer Überschreitung des Fahrzeugüberhangs in den Kfz-Fahrstreifen in der Positionsverteilung führte.

**Im interaktionsbezogenen Zustand** wurden **Pedelec- und Lastenradfahrende deutlicher in Richtung der Parkstände** an Strecke (21) **gedrängt** als Fahrradfahrende. Besonders bei Lastenradfahrenden wurden im Vergleich zu den Fahrradfahrenden kleinere durchschnittliche Abstände und 50%-Positionswerte nachgewiesen. Trotzdem waren diese Werte der Pedelecs noch größer als an der Strecke (2) ohne Parkstände.

**Tabelle 7.10: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante/ zu den Parkständen bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante/ den Parkstände zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radverkehrsstreifen mit Parkständen [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tret-roller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Breite | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (2) | i 1,50 m kein Parken | ① | 0,77 (0,47) (n=144) | - | 0,84 (0,54) (n=14) | - | 0,98 (0,53) (n=3) | - | - |
| | | ② | 0,66 (0,36) (n=129) | - | 0,68 (0,38) (n=8) | - | 0,78 (0,46) (n=1) | - | - |
| (5) | i 1,85m kein Parken | ① | 0,92 (0,62) (n=176) | 0,77 (0,38) (n=2) | 1,00 (0,70) (n=34) | 1,35 (0,95) (n=1) | 1,18 (0,86) (n=6) | - | 0,61 (0,31) (n=1) |
| | | ② | 0,79 (0,49) (n=176) | 0,95 (0,55) (n=1) | 0,90 (0,60) (n=39) | - | 0,99 (0,65) (n=8) | - | - |
| (6) | i 2,00 m kein Parken | ① | 0,92 (0,62) (n=265) | - | 1,04 (0,74) (n=43) | - | 1,19 (0,87) | - | 0,82 (0,52) (n=1) |
| | | ② | 0,84 (0,54) (n=198) | - | 0,92 (0,62) (n=29) | - | 0,98 (0,64) (n=8) | - | - |
| (21) | i 1,50 m ii 0 m | ① | 0,95 (0,65) (n=198) | 0,86 (0,53) (n=3) | 1,01 (0,71) (n=16) | - | 1,11 (0,80) (n=3) | - | - |
| | | ② | 0,84 (0,54) (n=51) | - | 0,84 (0,54) (n=7) | - | 0,75 (0,42) (n=2) | - | - |
| (22) | i 1,40 m ii 0,50 m | ① | 1,00 (0,70) (n=117) | 1,10 (0,60) (n=1) | 1,08 (0,78) (n=16) | - | 1,10 (0,78) (n=1) | - | 0,91 (0,61) (n=1) |
| | | ② | 0,82 (0,52) (n=156) | 1,13 (0,73) (n=1) | 0,91 (0,61) (n=16) | - | 0,81 (0,47) (n=4) | - | 0,86 (0,56) (n=8) |
| (23) | i 2,00 m ii 0,50 m | ① | 1,26 (0,96) (n=108) | - | 1,29 (0,99) (n=28) | 1,40 (1,03) (n=5) | 1,36 (1,02) (n=6) | - | - |
| | | ② | 1,13 (0,83) (n=83) | - | 1,17 (0,87) (n=16) | 1,25 (0,87) (n=2) | 1,18 (0,85) (n=7) | - | - |
| (24) | i 1,85 m ii 0,75 m | ① | 1,25 (0,95) (n=133) | - | 1,33 (1,03) (n=27) | - | 1,37 (1,02) (n=6) | - | 1,00 (0,70) (n=3) |
| | | ② | 1,09 (0,79) (n=70) | 1,14 (0,79) (n=1) | 1,19 (0,89) (n=11) | - | 1,22 (0,87) (n=1) | - | 0,88 (0,58) (n=2) |

①: interaktionsfrei; ② interaktionsbezogen
i Breite der Radverkehrsanlagen; ii Breite der Sicherheitstrennstreifen („0“ bedeutet kein Sicherheitstrennstreifen)

**Abbildung 7.12: Der Radfahrende und zu Fuß Gehende benutzten den Sicherheitstrennstreifen [eigene Aufnahme]**

**Bei einer Markierung der Sicherheitstrennstreifen verringerten sich die Unterschiede der auf den Fahrzeugüberhang bezogenen durchschnittlichen Abstände** (Werte in Klammern in Tabelle

7.10) (gilt nicht für die durchschnittlichen Abstände der Pedelecs an Strecke (22) im interaktionsbezogenen Zustand). Dabei waren die Unterschiede der durchschnittlichen Abstände bis zu 0,10 m kleiner als an der Strecke (5) ohne Parkstände und an der Strecke (21) mit Parkständen ohne Sicherheitstrennstreifen. Das bedeutet, dass die **Sicherheitstrennstreifen** die **Positionswahl unabhängig vom Interaktionszustand vereinheitlichten**. Die durchschnittlichen Abstände der Pedelecs an Strecke (21) (in Tabelle 7.10 in Gelb markiert) wurden durch in den Sicherheitstrennstreifen sowie in den Radverkehrsstreifen ragende, parkende Kfz verursacht. Dies wird in „Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)“ ausführlich beschrieben.

Die Differenz der durchschnittlichen Abstände bei den Radfahrenden von ca. 0,25 m an den Strecken (22) und (24) entspricht gerade den unterschiedlichen Breiten von Sicherheitstrennstreifen an den beiden Strecken (0,50 m bzw. 0,75 m breiter Sicherheitstrennstreifen). (Eine Ausnahme stellt der durchschnittliche Abstand der Lastenräder an Strecke (24) im interaktionsbezogenen Zustand (in rot markiert) dar, wobei dieser Einzelfall keine statistische Auswertung ermöglicht.) Diese Differenz deutet darauf hin, dass sich Radfahrende an den Strecken (22) und (24) an der Markierung des Sicherheitstrennstreifen orientierten. Dies könnte damit begründet werden, dass sich die Radfahrenden an der Strecke (22) mit dem schmalen Schutzstreifen eher der Markierung der Sicherheitstrennstreifens nähern wollten, um den Abstand zum fließenden Verkehr zu vergrößern. An der Strecke (23) wollten sich die Radfahrenden im Vergleich zu der Strecke (22) eher weiter von den Parkständen entfernen, weil so die Abstände zum fließenden Kfz-Verkehr durch den breiten Radfahrstreifen besser gewährleistet werden konnten. An der Strecke (24) mit dem breiten Radfahrstreifen und breiten Sicherheitstrennstreifen könnte **eine Breite des Sicherheitstrennstreifens von 0,75 m als ausreichend** betrachtet werden. Dies erklärt, warum die durchschnittlichen Abstände der Räder an den Strecken (23) und (24) in einem ähnlichen Bereich lagen.

Im Gegensatz zu den Radfahrenden zeigt sich bei der Positionswahl der E-Tretrollerfahrenden ein gänzlich uneinheitliches Resultat. Die durchschnittlichen Abstände der E-Tretroller im interaktionsbezogenen Zustand an der Strecke (22) waren mit den Rädern konform, während in den anderen Fällen (interaktionsfreier Zustand an (22) und (24)) die Werte der E-Tretroller viel kleiner waren als die Werte der Räder. Dies war zum Teil mit der Nutzung der Sicherheitstrennstreifen (nah zu Parkständen) verbunden (z.B. Strecke (24)). Dazu wurde festgestellt, dass die E-Tretroller weniger Platz für die Pedalbewegung der Beine benötigten. Dies führte teils zu kleineren Abständen zu Parkständen.

**Tabelle 7.11: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante (Parkstände) bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radwegen mit Parkständen [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tret-roller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Breite | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (8) | i 1,48 m kein Parken | ① | 0,95 (0,63) (n=317) | 1,04 (0,66) (n=2) | 0,93 (0,63) (n=30) | - | 1,02 (0,65) (n=7) | - | 1,04 (0,74) (n=1) |
| | | ② | 0,62 (0,32) (n=82) | 0,68 (0,35) (n=2) | 0,69 (0,39) (n=12) | - | - | - | - |
| (13) | i 1,60 m kein Parken | ① | 0,76 (0,46) (n=227) | 0,77 (0,34) (n=1) | 0,77 (0,47) (n=33) | 0,73 (0,43) (n=1) | 0,85 (0,54) (n=4) | - | - |
| (25) | i 1,60 m ii 0 m | ① | 0,69 (0,39) (n=364) | 0,72 (0,37) (n=3) | 0,75 (0,45) (n=20) | 0,68 (0,28) (n=1) | 0,71(0,35) (n=6) | - | 0,71 (0,41) (n=1) |
| (26) | i 1,60 m ii 0 m | ① | 1,08 (0,78) (n=118) | - | 1,08 (0,78) (n=32) | 0,93 (0,53) (n=1) | 1,07 (0,73) (n=6) | 1,16 (0,83) (n=3) | 1,07 (0,77) (n=3) |
| | | ② | 0,88 (0,58) (n=14) | - | 0.81 (0,51) (n=3) | - | 0,85 (0,53) (n=1) | - | 0,79 (0.49) (n=1) |
| (27) | i 1,60 m ii 0,75 m | ① | 1,83 (1,52) (n=331) | 1,79 (1,40) (n=2) | 1,84 (1,54) (n=32) | - | 1,82 (1,49) (n=7) | - | 1,74 (1,44) (n=17) |
| | | ② | 1,54 (1,24) (n=161) | - | 1,58 (1,27) (n=13) | - | 1,38 (1,06) (n=5) | - | 1,56 (1,26) (n=7) |

①: interaktionsfrei; ② interaktionsbezogen
i Breite der Radverkehrsanlagen; ii Breite der Sicherheitstrennstreifen („0“ bedeutet kein Sicherheitstrennstreifen)

Die Positionsverteilung zeigt, dass die Minimal- und 25%-Positionswerte der Fahrräder und Pedelecs an der Strecke (22) mit Sicherheitstrennstreifen zum Teil kleiner waren als an der Strecke (21) ohne Sicherheitstrennstreifen, besonders im interaktionsbezogenen Zustand (Strecke (21) im interaktionsfreien Zustand und Strecken (21) und (22) im interaktionsbezogenen Zustand). Grund ist die Orientierung an der Markierung (s.o.). Allerdings wurde eine solche Verkleinerung der Positionswerte nicht an Strecke (23) mit breiten Radverkehrsstreifen und Sicherheitstrennstreifen derselben Breite beobachtet. Dies zeigt, dass nach der Markierung von Sicherheitstrennstreifen an **schmalen** Radverkehrsstreifen der Sicherheitsabstand zu den Parkständen in einem gewissen Maß verschmälert sowie verschlechtert wurde, d.h. **der Sicherheitstrennstreifen „zog" einen Teil der Radfahrenden eher zu den Parkständen**.

Außerdem ist der Positionsverteilung der Strecke (22) ersichtlich, dass die minimale Position der Radfahrenden zwischen der Markierung der Sicherheitstrennstreifen und der Parkstände im interaktionsbezogenen Zustand lag. Das war allerdings nur bei den Fahrradfahrenden und bei den gerade nicht besetzten Parkständen an Strecke (22) zu beobachten. Allerdings wurde dieses Verhalten an Strecke (24) sowohl im interaktionsbezogen, als auch im interaktionsfreien Zustand bemerkt, wobei nur Einzelfälle registriert wurden (Abbildung 7.12 links). Dies wurde vorwiegend bei den Fahrrad- und E-Tretrollerfahrenden ausgewertet. An Strecke (23) mit breiten Radverkehrsstreifen und 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen erfasst wurde dieses Verhalten nicht festgestellt. Die Nutzung von Sicherheitstrennstreifen ist überwiegend durch die Angst vor dem Kfz-Verkehr an schmalen Radverkehrsstreifen zu begründen.

Die Positionswahl der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden am Radweg war gänzlich anders als an Radverkehrsstreifen und eng mit der Lage der Radwege verknüpft.

Gegenüber der Strecke (13) verkleinerten sich die durchschnittlichen Abstände der Fahrräder und E-Lastenräder deutlicher an der Strecke (25). In der Positionsverteilung nähern sich die 50%-Positionswerte der (E-)Lastenräder der Bordsteinkante. Dabei befand sich die 50%-Position aller Fahrzeugtypen fast in der Mitte des Radwegs. Auffällig ist der 25%-Positionswert der Fahrräder, da er kleiner als der Wert der Pedelecs und E-Lastenräder war (Abbildung 7.14). Die in der Nähe von der Bordsteinkante liegenden Verkehrsflächen wurden überwiegend von den sportlichen Radfahrenden benutzt, um ihre höhere Geschwindigkeit beizubehalten. Die Pedelec- und E-Lastenradfahrenden fuhren relativ mittig (wie in Abbildung 7.13 links dargestellt), was mit geringeren Geschwindigkeiten verbunden ist.

**Bei der Anordnung der Radwege zwischen den Parkständen und Gehwegen fuhren die Nutzenden aller Fahrzeugtypen im interaktionsfreien Zustand nahe zur Gehweggrenze** (wie in Abbildung 7.13 rechts dargestellt). Dies war unabhängig vom Vorhandensein eines Sicherheitstrennstreifens, wobei der Unterschied der durchschnittlichen Abstände und der 50%-Positionswerte aller Fahrzeugtypen an den Strecken (26) und (27) ca. 0,75 m betrug. Das ist äquivalent zur Breite der Sicherheitstrennstreifen. Aus diesem Grund unterschieden sich die Positionswahl der Fahrrad-, Pedelec- und Lastenradfahrenden im interaktionsfreien Zustand kaum und die Positionswahl der E-Tretrollerfahrenden lag nur gering näher zu den Parkständen als die der anderen Radfahrenden. Im Vergleich zur minimalen Position zur Bordsteinkante an der Strecke (8)b) ohne Poller vergrößerte sich die minimale Position zu den Parkständen aller Fahrzeuge erheblich an der Strecke (26). Die **Abstände der, zu den Parkständen zugewandten, Fahrzeugüberhänge betrugen etwa 0,50 m**. Aufgrund der Position nah zum Gehweg, wurde anhand der Positionsverteilung abgeleitet, dass die den Parkständen abgewandten Fahrzeugüberhänge an den Strecken (26) und (27) im interaktionsfreien Zustand in den Gehweg reichten.

Im interaktionsbezogenen Zustand waren, unter Berücksichtigung der Breitenunterschiede, die durchschnittlichen Abstände der Fahrräder zu den Parkständen an der Strecke (26) größer als die zur Bordsteinkante an der Strecke (8) ohne Parkstände. Im Vergleich der Positionsverteilungen an den Strecken (8)b) ohne Poller und (26) entfernten sich die minimalen Positionswerte der Fahrräder und Pedelecs eindeutiger von den Parkständen als von der Bordsteinkante. Allerdings lag der 25%-Positionswert der Fahrräder bei ca. 0,76 m. Dieser Wert entspricht dem den Parkständen zugewandten Überhang von ca. 0,46 m, was weniger als einer Breite der Türöffnung (0,80 - 1,00 m) entspricht.

Im interaktionsbezogenen Zustand bewirkte das Vorhandensein von Sicherheitstrennstreifen an der Strecke (27), im Vergleich zu Strecke (26), eine deutlichere Verdrängung der Räder oder E-Tretroller hin zu den Parkständen, da an dieser Strecke eine größere Distanz zu den Parkständen vorhanden

war. Außerdem zeigten die Fahrräder, Pedelecs und E-Tretroller ähnliche durchschnittliche Abstände und 50%-Positionswerte, aber die Lastenradfahrenden positionierten sich deutlich näher zu den Parkständen. Dass Lastenradfahrende beim Überholen von zu Fuß Gehenden eher zu den Grünflächen und weiter weg vom Fußverkehr fuhren, wurde auch an den Strecken (10) und (12) beobachtet. Dank des Sicherheitstrennstreifens befanden sich die Lastenradfahrenden in diesem Fall noch weiter entfernt von den Parkständen.

Anders als an Radverkehrsstreifen wurde der 0,75 m Sicherheitstrennstreifen nicht von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden benutzt, sondern ab und zu von zu Fuß Gehenden (Abbildung 7.12 rechts). Nach dem Ausstieg aus einem Auto gingen sie innerhalb des Sicherheitstrennsteifens zum Ziel.

**Abbildung 7.13: Vergleich der Positionswahl der Pedelecs mit Lieferservice an der Strecke (25) (links) und Strecke (26) (rechts) [eigene Aufnahme]**

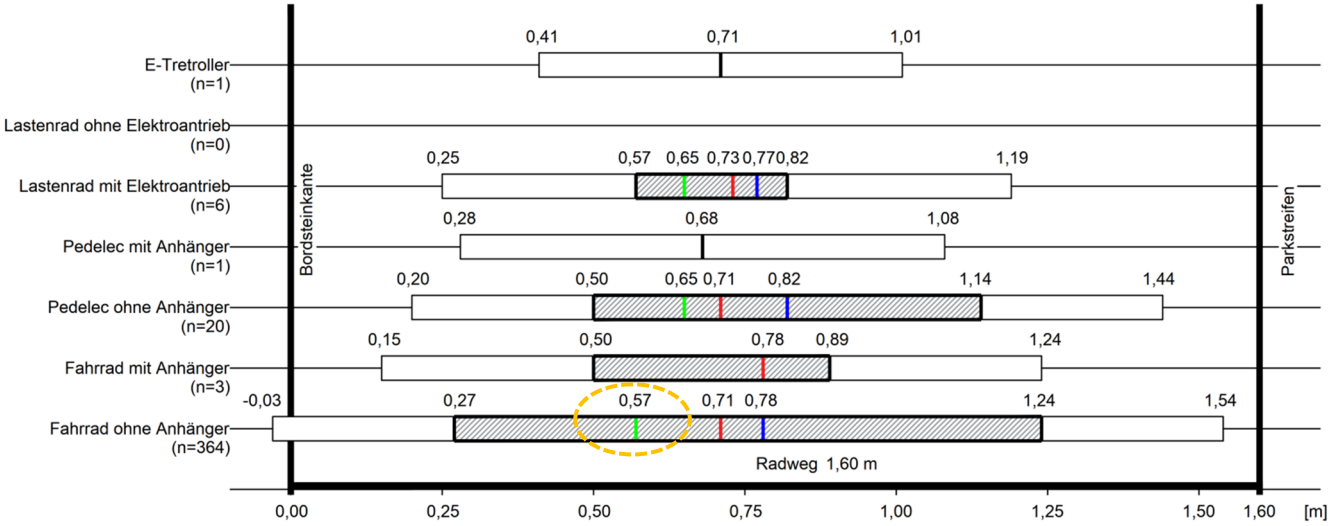



**Abbildung 7.14: Positionsverteilung an der Strecke (25) mit einem 1,60 m breiten Rad zwischen Fahrbahn und Parkstände (n: Anzahl der Nutzenden)**

## Nebeneinanderfahren und Überholen

Hinsichtlich des Nebeneinanderfahrens wurde nur an den zwei Strecken (24) und (27) eine größere Stichprobe erfasst (Tabelle A11.5). Da an den Strecken mit demselben Breitenniveau zur Strecke (24) bereits ein hoher Anteil des Nebeneinanderfahrens innerhalb von Radverkehrsanlagen ohne Versetzung vorlag, wird an dieser Strecke auch ein hoher Anteil des Nebeneinanderfahrens innerhalb von Radverkehrsanlagen ohne Versetzung dank der Sicherheitstrennstreifen an Parkständen festgestellt.

Dazu muss das Nebeneinanderfahren an der Strecke (27) im Vergleich zu der Strecke (26) kurz erörtert werden: Bei der Positionswahl einzelner Fahrender wurde bereits beschrieben, dass Rad- oder E-Tretrollernutzende an beiden Strecken weiter entfernt von den Parkständen fuhren. An der Strecke (26) ohne Sicherheitstrennstreifen wollten die Linksfahrenden des Nebeneinanderfahrens auch einen größeren Abstand zu den Parkständen halten, daher mussten die Rechtsfahrenden den Gehweg benutzen.

Mit dem Einsatz von Sicherheitstrennstreifen an Strecke (27) fuhren Linksfahrende näher an den Parkständen/ Sicherheitstrennstreifen, damit das Nebeneinanderfahren gänzlich innerhalb des Radweges ermöglicht werden konnte.

Bei der Analyse der Überholvorgänge zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden wurde der Schwerpunkt auf die Überholvorgänge gelegt, die ausschließlich innerhalb von Radverkehrsanlagen erfolgreich absolviert wurden (Tabelle A11.6). Daher lagen die Strecken (23), (24) und (27) mit breiten Radverkehrsanlagen im Fokus, weil das Überholen an den schmalen Radverkehrsanlagen generell außerhalb von Radverkehrsanlagen abgewickelt werden musste.

Im Vergleich zu der Strecke (5) mit einer Breite von 1,85 m und der Strecke (6) mit eine Breite von 2,00 m, verbesserte sich die Überholsituation an den Radverkehrsstreifen der Strecken (23) und (24). Dabei erhöhten sich die Anteile der erfolgreichen Überholungen innerhalb von Radverkehrsstreifen jeweils auf 80% und 57%. Weil sich die (überholten) Rad- und E-Tretrollernutzenden nach den Sicherheitstrennstreifen richteten, wurde den überholenden Radfahrenden mehr Fläche der Radverkehrsstreifen eingeräumt.

Im Gegensatz zu den Radverkehrsstreifen verringerte sich der Anteil der erfolgreichen Überholungen innerhalb des breiteren Radwegs an der Strecke (27) mit einer Gesamtbreite von 2,35 m (Breite des Radwegs zuzüglich des Sicherheitstrennstreifens) gegenüber der Strecke (14) mit einer geringeren Breite von 2,10 m. An der Strecke (27) fuhren die (überholten) Rad- oder E-Tretrollerfahrenden nah zur Abgrenzung zwischen Geh- und Radweg. Obwohl in diesem Fall größere Verkehrsflächen an den Parkständen frei waren, wollten viele Radfahrende diese beim Überholen auf der linken Seite nicht benutzen, weil sie nicht zu nah an den Parkständen vorbeifahren wollten. Sie überholten daher eher auf der rechten Seite. Wegen der vom Gehweg weiter entfernten Positionswahl der überholten Rad- oder E-Tretrollerfahrenden, mussten die Überholenden den Gehweg benutzen.

Bei den Überholabständen konnte wieder nachgewiesen werden, dass die Überholabstände zwischen Pedelec und Fahrrad generell größer waren als die zwischen zwei Fahrrädern. Nur an Strecke (24) waren die Überholabstände zwischen Pedelec und Fahrrad vernachlässigbar kleiner als die Überholabstände zwischen Fahrrad und Fahrrad. An den Strecken (21) und (22) mit einer Breite von 1,40 - 1,50 m war auffällig, dass die Überholabstände unter Berücksichtigung der Breite der Radverkehrsanlagen generell groß waren und die Überholabstände zwischen Pedelec und Fahrrad viel größer waren als die Überholabstände zwischen zwei Fahrrädern. Das ist darauf zurückzuführen, dass die überholten Radfahrenden ziemlich weit von den Parkständen entfernt fuhren (besonders an der Strecke (21)) und die überholenden Radfahrenden nicht mehr um die Breite des Schutzstreifens überholten, sondern eine beliebige Position der Kfz-Fahrstreifen auswählten (bspw. beobachtet an der Strecke (1)).

Interaktionsvorgänge

Bei den Interaktionsvorgängen werden zuerst die Interaktionen mit dem fließenden Längsverkehr in Abhängigkeit der Überholabstände an Radverkehrsstreifen betrachtet. Dabei wurde ausgewertet, inwieweit eine veränderte Positionswahl der Radfahrenden die Überholabstände aufgrund von Parkständen und Sicherheitstrennstreifen beeinflusste. Die Ergebnisse sind in Abbildung A12.2 in Anhang 12 zusammengefasst dargestellt.

Bei den schmalen Radverkehrsstreifen erhöhten sich an den Strecken (21) gegenüber der Strecke (2) die Anteile der kritischen Überholabstände (< 1,5 m) und besonders der Anteil der Überholabstände im Bereich von „≥ 0,5 m und < 1,0 m“ bei allen Radtypen deutlich. Dabei verdoppelte sich der Anteil der Überholabstände <1,0 m (KS II) bei den Fahrrädern. Dies wurde hauptsächlich durch eine Vergrößerung der Abstände zu den Parkständen verursacht. Der Anteil der kritischen Überholabstände war bei Fahrrädern und Pedelecs ähnlich.

Durch Sicherheitstrennstreifen verringerten sich die Anteile der kritischen Überholabstände bei den Fahr- und Lastenrädern an der Strecke (22) gegenüber den Strecken (21) und (2) (ohne Parkstände). Allerdings erhöhte sich der Anteil der kritischen Überholabstände bei den Pedelecs. Die Überholabstände bei E-Tretrollern waren im Vergleich zu den Fahrrädern nicht ideal. Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen den Überholabständen und der Positionswahl. Die durchschnittlichen Abstände im interaktionsbezogenen Zustand waren bei den Pedelecs am größten, daher verzeichneten

sie den höchsten Anteil der kritischen Überholabstände. Allerdings war auffällig, dass der Anteil der kritischen Überholabstände < 1,0 m (KS II) der Pedelecs im Vergleich zu den Strecken (2) und (21) geringer ist. Grund dafür ist die verbreiterte Markierung der Sicherheitstrennstreifen an den Radverkehrsflächen.

An den breiten Radverkehrsstreifen wurden gegenüber den schmalen Radverkehrsstreifen andere Überholabstände festgestellt. An der Strecke (23) vervierfachten sich die Anteile der kritischen Überholabstände der Fahrräder und Pedelecs. Der Trend war bei Lastenrädern noch stärker ausgeprägt. Im Unterschied zur Strecke (22) wurde an der Strecke (23) die Verschlechterung der Überholabstände nicht durch die Positionswahl verursacht. Die durchschnittlichen Abstände und Positionswerte bei der Positionsverteilung sind unter Berücksichtigung der Breite der Sicherheitstrennstreifen (die Werte der durchschnittlichen Abstände und Positionswerte abzüglich der Breite der Sicherheitstrennstreifen) nicht größer als an der Strecke (6). Ursächlich für die an Strecke (23) festgestellten Abstände sind Straßenbahnhaltestellen und die damit verbundene längere Besetzung des Gleises. Wie zuvor erwähnt, fuhren die Kfz-Führenden nah zu den Radfahrstreifen, wenn das angrenzende Gleis von der Straßenbahn belegt wurde.

Im Gegensatz zu den Strecken (6) und (23) nahm der Anteil der kritischen Überholabstände an Strecke (24) gegenüber Strecke (5) ab. Dies weißt ebenfalls daraufhin, dass der **Einsatz von Sicherheitstrennstreifen den „sicheren" Spielraum für den Radverkehr vergrößert**. Allerdings sollte nicht unerwähnt bleiben, dass der Kfz-Fahrstreifen an der Strecke (24) ziemlich breit (3,9 m) war, was die Überholabstände ebenfalls vergrößern könnte.

Bei den Interaktionen mit den zu Fuß Gehenden (Tabelle A12.5 in Anhang 12) ist ein Vergleich mit der Referenzstrecke (10) nur bedingt sinnvoll, weil die Breite der Gehwege und das Fußverkehrsaufkommen nicht gleich sind. Trotzdem zeigt Tabelle A12.5, dass sich der Anteil der kritischen Situationen und Behinderungen an der Strecke (26) ohne Sicherheitstrennstreifen im Vergleich zu Strecke (10) generell erhöhte, während der Anteil der kritischen Situationen und Behinderungen an der Strecke (27) leicht zurückging. Mit Berücksichtigung der Stichprobengröße bleiben die relativen Anteile der kritischen Situationen und Behinderungen zwischen den Fahrzeugtypen an den Strecken (10) und (27) abgesehen vom Anteil bei den Lastenrädern an der Strecke (27) fast unverändert.

Wie bei den Interaktionen mit den überholenden Kfz, verbreiterten die vorhandenen Sicherheitstrennstreifen die für den Radverkehr nutzbare Verkehrsfläche. Eine Verbesserung an Strecke (27) war aber nicht erkennbar, da die Rad- und E-Tretrollernutzenden trotz der Sicherheitstrennstreifen noch nah zum Gehweg sowie zu den zu Fuß Gehenden fuhren. Der hohe Anteil der kritischen Situationen und Interaktionen war zu 75 % auch durch die falsche Nutzung des Radweges durch zu Fuß Gehende herbeigeführt.

Außerdem war die „Behinderung" im Allgemeinen durch starke Reaktionen (z.B. Ausweichen) gekennzeichnet. Infolge fehlender Sicherheitstrennstreifen (Strecke (26)) wichen die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden erst bei der Begegnung oder beim Vorbeifahren an zu Fuß Gehenden deutlich aus, da sie nicht entlang der Parkstände fahren wollten. Im Gegensatz dazu passten die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden ihren Fahrverlauf im Prozess der Begegnung oder beim Vorbeifahren von zu Fuß Gehenden an der Strecke (27) an, wodurch ein hoher Anteil der „positiven" Reaktion an der Strecke (27) entstand. Allerdings wurde eine deutlich **instabile Fahrweise bei den Lastenzweirädern** zwischen **den Parkständen** und **zu Fuß Gehenden** erfasst, wenn sie eine ausreichende Distanz zwischen den Hindernissen bzw. den Parkständen und den anderen Verkehrsteilnehmenden einhalten wollten. Der hohe Anteil der kritischen Situationen wies eine solch instabile Fahrweise ebenfalls nach. Dieses Verhalten zeigte sich auch bei zwischen den Parkständen und stark fließendem Kfz-Verkehr Fahrenden und Lastenrädern an Radverkehrsstreifen.

Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)

Bei der Betrachtung der Beeinflussung von Parkständen wird die Beeinflussungsstufe je nach Fahrzeugtyp und Art der Beeinflussung ausgewertet. An Strecke (25) wurde nur ein Fall der Beeinflussung von Radverkehr erfasst, weswegen diese Strecke in der Analyse ausgeschlossen wurde. Die absolute Verkehrsstärke der Pedelecs, Lastenräder und E-Tretroller war an den einzelnen Strecken nicht hoch.

Ebenso gab es an allen Strecken abgesehen von Strecke (22) nur wenige Parkvorgänge. Daher war die Stichprobe der Beeinflussung von Parkständen auf Pedelecs und E-Tretroller sehr klein. Die Beeinflussung auf Lastenräder wurde nicht erfasst und deswegen in der Auswertung ausgeschlossen. In Anhang 13 werden die Ergebnisse veranschaulicht.

Abbildung A13.1 zeigt, dass die Behinderungsrate (BR) bei den Pedelecs und E-Tretrollern mit Berücksichtigung der Stichprobegröße (Anzahl der Beeinflussungen) nicht höher lag als bei den Fahrrädern. Abgesehen von den Behinderungen der E-Tretroller an der Strecke (22) wurden keine hohen Behinderungsquoten (BQ) nachgewiesen. Ebenso war die Behinderungsstufe (Anteil der Behinderungsstufe II) bei Pedelecs, E-Tretrollern und Fahrrädern gleich. Allerdings waren bei der Art der Beeinflussungen unterschiedliche Fahrzeugtypen betroffen (Abbildung A13.3).

Die Ein- und Ausparkvorgänge, oft verbunden mit den Behinderungen an den Radverkehrsstreifen, waren eine der häufigsten Beeinflussungsart. **Der Einfluss der Parkvorgänge an Radverkehrsstreifen** wurde **nicht durch die Markierung der Sicherheitstrennstreifen verringert**, weil der Platzbedarf für Einparkvorgänge größer war als die Breite der Sicherheitstrennstreifen. An der Strecke (24) wurde ein Drittel der durch Ein- und Ausparken verursachten Beeinflussungen in Behinderungsstufe I eingeordnet. Die Wahrscheinlichkeit der Behinderung durch Parkvorgänge wurde direkt von der Häufigkeit der Parkvorgänge bestimmt. Die Beeinflussungsstufe war von der Verkehrsstärke des fließenden Verkehrs abhängig. **Je höher die Verkehrsstärke des fließenden Verkehrs war, desto weniger Zeit stand für Parkvorgänge zur Verfügung und desto länger dauerten die Parkvorgänge. Folglich wurde der Fahrverlauf des Radverkehrs öfter und schwerer beeinträchtigt**. Eine breitere Gesamtverkehrsfläche für den Radverkehr an der Strecke (24) war hilfreich, da Rad- oder E-Tretrollerfahrende während eines Parkvorgangs nicht unbedingt außerhalb von Radfahrstreifen ausweichen mussten. Im Vergleich dazu wichen die Rad- und E-Tretrollerfahrenden an der Strecke (22) außerhalb von Radverkehrsanlagen aus und gerieten zwischen den einparkenden und fließenden Kfz-Verkehr an den schmalen Radverkehrsstreifen.

An den Radwegen störte nur der Fahrzeugüberhang den Fahrverlauf des Radverkehrs bei den Ein- und Ausparkvorgängen. Daher ist **eine Markierung der Sicherheitstrennstreifen zum Abbau des Einflusses von Ein- und Ausparkvorgänge am Radweg sinnvoll**. Da die Rad- oder E-Tretrollernutzenden auf Radwegen eher nah zur Trennung zwischen Geh- und Radweg fuhren, wurde kein höherer Anteil der schweren Behinderung an der Strecke (26) ohne Sicherheitstrennstreifen erfasst als an der Strecke (27) mit dem Sicherheitstrennstreifen.

Die anderen häufigen Beeinflussungsarten waren die **große Fahrzeugabmessung** und **unpräzises Parken**. Diese waren überwiegend an den Radverkehrsstreifen problematisch. Die große Fahrzeugabmessung führte zur Überschreitung von den Parkständen. Das ungenaue Parken außerhalb der vorgeschriebenen Parkstände stellte teils ein Problem dar. In der Videoerfassung wurde dies überwiegend an den Strecken (22) und (23) registriert. Es führte dazu, dass der Fahrzeugüberhang oder Außenspiegel in den Sicherheitstrennstreifen oder in den Radverkehrsstreifen ragten. Die große Fahrzeugabmessung (z.B. Fahrzeugtypen SUV), die breiter sind als Parkstände mit 2,0 m Breite, wurde grundsätzlich unabhängig von der Gestaltung der Radverkehrsanlagen an allen Strecken beobachtet. In der Videoerfassung wurde dies vor allem an der Strecke (22) ermittelt. Im Vergleich dazu waren **die Häufigkeit und das Ausmaß** des Fahrzeugüberhangs infolge **unpräzisen Parkens** in den Sicherheitstrenn- oder Radverkehrsstreifens **von der Gestaltung der Parkstände und der Häufigkeit der Parkvorgänge sowie Dauer des Parkens abhängig**. An den baulichen Parkständen (Strecke (21), (24)) wurde dies selten, bei den markierten Parkständen (Strecke (22),(23)) häufiger beobachtet. Die häufigeren Parkvorgänge waren oft mit einer kürzeren Parkdauer und engen (unangepassten) Parkständen verbunden. Das ordentliche Parken in den 2,00 m breiten markierten Parkständen setzt voraus, dass die Kfz ziemlich nah zur Bordsteinkante geparkt werden müssen. An der Strecke (22) mit häufigeren Parkvorgängen wurde beobachtet, dass die Kfz-Führenden bei kürzerer Parkdauer nicht beachteten, ob sie ihr Fahrzeug präzis eingeparkt haben. Manchmal benutzten die Kfz-Fahrenden auch die kleinen Lücken des Parkstreifens als Parkstände. Im schlimmsten Fall ragte der Fahrzeugüberhang oder Außenspiegel in den Radverkehrsstreifen (Schutzstreifen), was aber nur an der Strecke (22) registriert wurde.

Das Ragen des Fahrzeugüberhangs in den Sicherheitstrennstreifen oder Radverkehrsstreifen verursacht keine große Behinderungen, wie in Abbildung A13.2 dargestellt, da die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden ziemlich früh die Beeinträchtigungen erkennen konnten und den Fahrverlauf allmählich anpassten. Dies war bei Pedelecfahrenden besonders ausgeprägt. Infolge ihrer generell höheren Geschwindigkeit passten sie ihren Fahrverlauf sehr früh an und entfernten sich allmählich von den Parkständen (Abbildung A13.2 oben). Daher wurde ein hoher Anteil der „positiven" Reaktion bei den Pedelecs an Strecke (22) nachgewiesen. Allerdings könnte die negative Auswirkung der in den Sicherheitstrenn- bzw. Radverkehrsstreifen ragenden Fahrzeuge wegen der Auswertungsansätze unterschätzt werden. Da manche Pedelecfahrenden außerhalb der Beobachtungsstrecken bereits weiter entfernt von den Parkständen fuhren, wurde ihr Fahrverlauf ohne Anpassung oder Ausweichung als Normalverhalten betrachtet. Dabei war schwierig zu beurteilen, ob die Pedelecfahrenden infolge des ungenauen Parkens oder wegen der eigenen Positionswahl weiter von den Parkständen entfernt fuhren.

Dies erklärt auch, weswegen größere durchschnittliche Abstände bei den Pedelecfahrenden im interaktionsbezogenen Zustand an der Strecke (22) nachgewiesen wurden. Daraus resultierte an den schmalen Radverkehrsstreifen, dass die **Pedelecs öfter in kritische Überholabstände** gerieten.

Im Gegensatz zum Verhalten der Pedelecfahrenden fuhren E-Tretrollerfahrende eventuell wegen der Angst vor dem fließenden Verkehr eher nah zu Parkständen und wichen erst an der Position stärker aus, wo der Fahrzeugüberhang in den Sicherheitstrennstreifen oder Radverkehrsstreifen ragte (Abbildung A13.2 zweites und drittes Bild). Dabei wurde ein höherer Anteil der Behinderungen trotz der kleinen Stichprobe bei den E-Tretrollerfahrenden festgestellt. Weil die Lastenradfahrenden an der Strecke (22) im Zeitraum von 15 -16 Uhr für Kindertransporte erfasst wurden und in dem Zeitraum die Parkstände nicht stark besetzt waren, wurden kaum Lastenradfahrende beeinflusst.

Die Beeinflussungsart „Dooring-Unfälle" wurde in der Videoerfassung nur in geringer Anzahl erfasst. Allerdings gehörten alle „Dooring-Unfälle" an den Strecken (21) ohne Sicherheitstrennstreifen und (22) mit 0,50 m breitem Sicherheitstrennstreifen zur Behinderungsstufe I. Hierbei wurden keine schweren Behinderungen infolge der „Dooring-Unfälle" bei den Pedelec- oder E-Tretrollernutzenden beobachtet. Die Beeinflussungsart „geöffnete Tür/Personenbewegung" wird durch vor der Ankunft der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden bereits geöffnete Autotüren oder sich um das Auto bewegende Personen verursacht. Im Vergleich zu „Dooring-Unfall" ist „geöffnete Tür/ Personenbewegung" nicht durch ein plötzliches Auftreten gekennzeichnet, hat aber eventuell mehr Platzbedarf (bei Volltüröffnung). Abbildung A13.3 verdeutlicht, dass die Behinderungen infolge „geöffnete Tür/ Personenbewegung" an den Strecken ohne Sicherheitstrennstreifen (Strecke (26)) oder mit 0,5 m breiten Sicherheitstrennstreifen (Strecken (22), (23)) dominierten. Bei einem 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen (Strecke (24), (27)) wurden keine Behinderungen beobachtet.

Vergleich mit der Umfrage

In der Umfrage (Abbildung A10.24) wurde das subjektive Empfinden für die Strecken mit Parkständen neben den Radverkehrsstreifen abgefragt. Das Resultat zeigt, dass das subjektive Empfinden generell mit dem Einsatz von Sicherheitstrennstreifen und nach der Verbreiterung der Sicherheitstrennstreifen verbessert wurde. Das subjektive Empfinden wurde grundsätzlich durch eine Verbesserung der Überholabstände durch Kfz und Beeinflussung durch Parkstände in der Videoerfassung bestätigt. Eine höhere Behinderungsrate an der Strecke (24) mit 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen wurde eher aufgrund einer kleinen Stichprobegröße verursacht. An der Strecke wurde allerdings auch eine niedrigere Behinderungsquote nachgewiesen. Außerdem fielen alle durch geöffnete Tür oder „Dooring-Unfälle" verursachten Beeinflussungen bei „Normalverhalten" (ohne Behinderung) an.

Angesichts der Fahrzeugnutzenden wurde im Vergleich zu Fahrrandfahrenden ein deutlich niedrigeres Sicherheitsempfinden bei Pedelec-, Lastenrad- und E-Tretrollerfahrenden am 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen erfasst. Ein höheres Sicherheitsempfinden wurde bei den E-Tretrollerfahrenden an einem 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen erfasst. In der Videoerfassung wurde an der Strecke (22) mit einem 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen nachgewiesen, dass die Pedelecfahrenden einen höheren Anteil der kritischen Überholabständen hatte und öfter von den in den Radverkehrsstreifen ragenden Kfz beeinflusst wurden als die Nutzenden anderer Fahrzeuge. Bei den E-Tretrollerfahrenden

wurde die höchste Behinderungsrate und -quote an dieser Strecke erfasst. Das heißt, dass die Ergebnisse der Umfrage mit den Ergebnissen der Videoerfassung an der Strecke (22) kompatibel sind. Das niedrigste Sicherheitsempfinden der Lastenradfahrenden an einem 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen und das höchste Sicherheitsempfinden der E-Tretrollernutzenden an einem 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen konnten in der Videoerfassung nicht verifiziert werden.

#### 7.2.3.2 Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn

Verkehrsflächenwahl (Akzeptanz)

Die drei Strecken (28) bis (30) zeigten mit einem Anteil der regelgerechten Verkehrsflächennutzung von mindestens 97 % generell eine hohe Akzeptanz unabhängig der Fahrzeugart (Tabelle 7.12). An den Einrichtungsradwegen mit 1,60 m Breite und Radfahrstreifen mit 1,85 m Breite wurde eine hohe Akzeptanz (Tabelle 7.1) festgestellt. Die hohe Akzeptanz resultiert daraus, dass die Sicherheitstrennstreifen als „Zusatzangebot“ zur Erhöhung der Fahrsicherheit und -komfort dienen. Wegen der hohen Akzeptanz entfällt die Analyse der Gründe für die Nichtannahme der vorgeschrieben Verkehrsflächen.

**Tabelle 7.12: Verkehrsflächenwahl an den Radverkehrsanlagen mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn**

| Strecke | | | Fahrzeug-art | Radverkehrs-anlage | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der regelgerechten Verkehrsflächennutzung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Führung | Nr. | Breite | | | | | | |
| Einrichtungsradweg | (28) | i 1,60 m<br>ii 0,50 m | Fahrrad | 199 (1) | 4 | 2 | 205 | **97%** |
| | | | Pedelec | 22 | 0 | 0 | 22 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 4 | 0 | 0 | 4 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 9 | 0 | 0 | 9 | **100%** |
| | (29) | i 1,60 m<br>ii 0,70 m | Fahrrad | 528 (17) | 0 | 3 | 531 | **99%** |
| | | | Pedelec | 31 (1) | 0 | 0 | 31 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 6 | 0 | 0 | 6 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 31 (1) | 0 | 0 | 31 | **100%** |
| Radfahrstreifen | (30) | i 1,85 m<br>ii 1,20 m | Fahrrad | 78 | 0 | 0 | 78 | **100%** |
| | | | Pedelec | 18 | 0 | 0 | 18 | **100%** |
| | | | Lastenrad | 5 | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| | | | E-Tretroller | 5 | 0 | 0 | 5 | **100%** |

**① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinander 1**
i Breite der Radverkehrsanlagen; ii Breite der Sicherheitstrennstreifen („0“ bedeutet kein Sicherheitstrennstreifen)

Geschwindigkeit

An den 1,60 m und 2,00 m breiten Radwegen und 1,85 m breiten Radfahrstreifen wurde eine höhere durchschnittliche Geschwindigkeit festgestellt. Der Einsatz von Sicherheitstrennstreifen sowie die Vergrößerung der Verkehrsflächen spielte weniger eine Rolle für die Geschwindigkeit (Tabelle 7.13). Die Geschwindigkeit an den Strecken mit den Sicherheitstrennstreifen lag je nach Fahrzeugtyp höher oder niedriger als die Geschwindigkeit an den Strecken ohne den Sicherheitstrennstreifen. Beispielsweise war die Geschwindigkeit der Pedelecs (ohne Anhänger) an der Strecke (29) höher als an den Strecken (13) und (14), während die Geschwindigkeit der (E-)Lastenräder an der Strecke (29) niedriger lag.

Positionswahl (alleinig) an den Radverkehrsanlagen

Im Vergleich zur Strecke (8) **stimmten die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante aller Fahrzeugtypen im interaktionsfreien Zustand** an den Strecken (28) und (29) mit den Sicherheitstrennstreifen wie an der Strecke (14) **überein**, obwohl die durchschnittlichen Abstände der E-Tretroller etwas größer waren. Dabei lagen die durchschnittlichen Abstände fast bei der Mitte des Radwegs. Die übereinstimmenden durchschnittlichen Abstände aller Fahrzeuge wurden auch im interaktionsbezogenen Zustand registriert (Tabelle 7.14).

**Tabelle 7.13: Durchschnittliche Geschwindigkeit an den Strecken mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | | E-Tret-roller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Füh-rung | Nr. | Breite | ohn Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | E-Zweiräder<br>E-dreiräder | ohne El. | |
| Einrichtungsradweg | (13) | i 1,60 m<br>ii 0 m | 19,78 (n=231) | 14,48 (n=1) | 23,03 (n=33) | 17,94 (n=1) | 23,44 (n=4) | 23,44 (n=4)<br>- | - | - |
| | (14) | i 2,10 m<br>ii 0 m | 21,35 (n=342) | 17,15 (n=3) | 23,04 (n=39) | 22,23 (n=3) | 24,10 (n=10) | 24,10 (n=10)<br>- | - | 19,14 (n=1) |
| | (28) | i 1,60 m<br>ii 0,50 m | 20,51 (n=198) | 15,83 (n=1) | 22,62 (n=22) | - | 23,72 (n=4) | 23,72 (n=4)<br>- | - | 19,76 (n=9) |
| | (29) | i 1,60 m<br>ii 0,70 m | 20,27 (n=524) | 16,89 (n=4) | 23,52 (n=31) | - | 21,29 (n=6) | 21,29 (n=6)<br>- | - | 19,38 (n=31) |
| Radfahr-streifen | (5) | i 1,85 m<br>ii 0 m | 20,41 (n=372) | 16,67 (n=3) | 23,06 (n=73) | 20,10 (n=1) | 24,18 (n=14) | 24,62 (n=13)<br>18,34 (n=1) | - | 19,96 (n=1) |
| | (30) | i 1,85 m<br>ii 1,25 m | 19,88 (n=78) | - | 24,68 (n=18) | - | 23,25 (n=5) | 23,85 (n=4)<br>20,86 (n=1) | - | 19,28 (n=5) |

i Breite der Radverkehrsanlagen; ii Breite der Sicherheitstrennstreifen („0“ bedeutet kein Sicherheitstrennstreifen)

**Tabelle 7.14: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante (Parkstände) bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandter Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radwegen mit Parkständen [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tret-roller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Breite | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (8) | i 1,48 m (Referenz) | ① | 0,95 (0,63) (n=317) | 1,04 (0,66) (n=2) | 0,93 (0,63) (n=30) | - | 1,02 (0,67) (n=3) | - | 1,01 (0,71) (n=2) |
| | | ② | 0,70 (0,40) (n=38) | - | 0,72 (0,42) (n=7) | - | - | - | - |
| (14) | i 2,10 m (Referenz) | ① | 1,44 (1,14) (n=267) | 1,35 (0,96) (n=3) | 1,44 (1,14) (n=29) | 1,57 (1,24) (n=2) | 1,42 (1,11) (n=9) | - | 1,48 (1,18) (n=1) |
| | | ② | 1,19 (0,89) (n=83) | 1,36 (0,96) (n=1) | 1,23 (1,13) (n=15) | 1,51 (1,13) (n=1) | 1,03 (0,76) (n=2) | - | - |
| (28) | i 1,60 m ii 0,50 m | ① | 1,37 (1,07) (n=165) | 1,46 (1,13) (n=1) | 1,34 (1,04) (n=19) | - | 1,34 (1,01) (n=4) | - | 1,41 (1,11) (n=9) |
| | | ② | 1,22 (0,92) (n=32) | - | 1,23 (0,93) (n=3) | - | 1,25 (0,90) (n=1) | - | - |
| (29) | i 1,60 m ii 0,70 m | ① | 1,53 (1,23) (n=437) | 1,57 (1,20) (n=3) | 1,53 (1,23) (n=25) | - | 1,52 (1,19) (n=5) | - | 1,57 (1,27) (n=31) |
| | | ② | 1,49 (1,19) (n=82) | 1,57 (1,24) (n=1) | 1,41 (1,11) (n=7) | - | 1,39 (1,04) (n=1) | - | 1,53 (1,23) (n=1) |
| (5) | i 2,10 m (Referenz) | ① | 0,92 (0,62) (n=176) | 0,77 (0,38) (n=2) | 1,00 (0,70) (n=34) | - | 1,18 (0,86) (n=6) | - | 0,61 (0,31) (n=1) |
| | | ② | 0,79 (0,49) (n=59) | 0,95 (0,55) (n=1) | 0,90 (0,60) (n=36) | - | 0,99 (0,65) (n=8) | - | - |
| (30) | i 1,85 m ii 1,25 m | ① | 0,92 (0,62) (n=37) | - | 0,96 (0,66) (n=11) | - | 0,96 (0,62) (n=4) | - | 0,63 (0,33) (n=2) |
| | | ② | 0,66 (0,36) (n=40) | - | 0,93 (0,63) (n=6) | - | 0,88 (0,54) (n=1) | - | 0,53 (0,23) (n=3) |

①: interaktionsfrei; ②: interaktionsbezogen
i Breite der Radverkehrsanlagen; ii Breite der Sicherheitstrennstreifen („0“ bedeutet kein Sicherheitstrennstreifen)

Am Radfahrstreifen mit Sicherheitstrennstreifen (Strecke (30)) wurden auch die übereinstimmenden durchschnittlichen Abstände bei den Radfahrenden im interaktionsfreien Zustand erfasst. Aber im interaktionsbezogenen Zustand nahmen die durchschnittlichen Abstände der Pedelecs und E-Lastenräder leicht ab, während sich die durchschnittlichen Abstände der Fahrräder deutlich verringerten. Die Verringerung der Abstände bei den Fahrrädern an der Strecke (30) mit Sicherheitstrennstreifen war stärker als an der Strecke (5) ohne Sicherheitstrennstreifen. Dies könnte zum Teil durch den höheren Schwerverkehrsanteil an der Strecke (30) verursacht worden sein. Die durchschnittlichen Abstände der E-Tretroller lagen noch niedriger als die an Strecke (3) erfassten Räder. Allerdings war die Differenz

der durchschnittlichen Abstände zwischen Rädern und E-Tretrollern hierbei wegen der breiteren Verkehrsflächen noch größer.

Bei der Betrachtung der Positionsverteilung wurde der Fokus auf die minimalen und maximalen Positionswerte gelegt (Abbildung 7.15). Erwartungsgemäß wurden die minimalen Positionswerte aller Fahrzeuge an den Strecken (28) und (29) mit dem Einsatz von Sicherheitstrennstreifen im Vergleich zu den Strecken (8) und (14) vergrößert. Dies war besonders bei **Fahrradfahrenden und im interaktionsbezogenen Zustand ausgeprägt**, weil die Fahrradfahrenden an den schmalen Strecken (z.B. Strecke (8)) ohne Sicherheitsstreifen beim Vorbeifahren an den zu Fuß Gehenden zu nah zur Bordsteinkante fuhren. Erstaunlicherweise waren die maximalen Positionswerte an der Strecke (28) aller Fahrzeuge auch kleiner als an der Strecke (14). Dies wurde auch bei der Betrachtung der relativen maximalen Positionswerte an der Strecke (29) beobachtet. Das heißt, dass **am Radweg im Breitenniveau von 1,60 m (Mindestmaß) die Rad- und E-Tretrollernutzenden mit dem Einsatz von Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn eher mittig fuhren**.

Durch den Einsatz von Sicherheitstrennstreifen am Radfahrstreifen wurden die minimalen und maximalen Positionswerte kaum beeinflusst. Die sonstige Veränderung der Positionswahl in der Positionsverteilung wurde durch die durchschnittlichen Abstände widergespiegelt. Daher wird der weitere Vergleich der Positionsverteilung nicht mehr dargelegt.

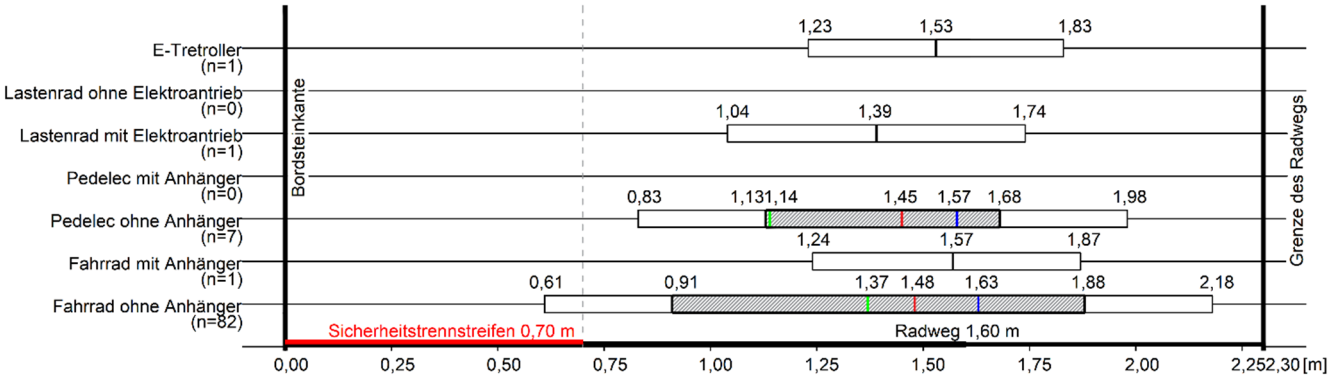



**Abbildung 7.15: Positionsverteilung an der Strecke (29) mit einem 1,60 m breiten Radweg mit 0,70 m breitem Sicherheitstrennstreifen (interaktionsbezogener Zustand) (n: Anzahl der Fahrzeuge)**

## Nebeneinanderfahren und Überholvorgänge

Bei der Betrachtung des Nebeneinanderfahrens wurde der Fokus auf die Strecke (29) gelegt, weil am Radfahrstreifen mit einer Breite von 1,85 m ohne Sicherheitstrennstreifen ein hoher Anteil des Nebeneinanderfahrens innerhalb von Radverkehrsanlagen ohne Versatz vorlag. Dank der Sicherheitstrennstreifen wurde eine gesamte Verkehrsfläche mit einer Breite von 2,30 m angeboten und ein Nebeneinanderfahren innerhalb von Radverkehrsanlagen problemlos ermöglicht (Tabelle A11.7 in Anhang 11).

Für die Betrachtung der Überholvorgänge zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden wird der Fokus auf den Radweg gelegt, da die Sicherheitstrennstreifen im Bedarfsfall bzw. beim (linkseitigen) Überholen mitbenutzt werden dürfen (Tabelle A11.8). Die Betrachtung erfolgt vor allem an der Strecke (29), weil an Strecke (28) nur ein Überholvorgang erfasst wurde. Im Vergleich zu den Überholvorgängen an der Strecke (14) erhöhte sich der Anteil, der innerhalb vom Radweg (einschließlich der Sicherheitstrennstreifen) erfolgreichen Überholvorgänge eindeutig. Dabei wurde nur ein Fall des Überholens außerhalb vom Radweg sowie des Überholens auf der rechten Seite an der Strecke (29) beobachtet und das Überholen auf der rechten Seite wurde durch die Nutzung des Radwegs des entgegenkommenden Radfahrenden verursacht. Deswegen war der Überholabstand E-Tretroller - Fahrrad in dem Fall ziemlich groß. Einerseits war die gesamte benutzbare Verkehrsfläche an der Strecke (29) um 2,30 m breiter als an der Strecke (14), andererseits konnten die überholenden Rad- oder E-Tretrollernutzenden wegen der Verringerung des Absturzrisikos infolge der Sicherheitstrennstreifen den Radweg in der Gesamtbreite ausnutzten. Allerdings ist an dieser Stelle anzumerken, dass alle an der Strecke (29) erfassten Überholvorgänge nur zwischen Fahrradfahrenden erfolgten.

Der Anteil, der innerhalb von reinen 1,85 m breiten Radfahrstreifen (Strecke (30)) erfolgreichen Überholvorgänge (33%), war äquivalent zum Anteil an der Strecke (5) mit 1,85 m Breite (37%). Dank des breiten Sicherheitstrennstreifens konnten (fast) alle Überholvorgänge erwartungsgemäß innerhalb der Gesamtradverkehrsflächen geschafft werden. Daher war eine Betrachtung der Überholvorgänge für den Radfahrstreifen mit dem Sicherheitstrennstreifen weniger von Bedeutung.

Interaktionsvorgänge

Für die Auswirkung der Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn an den Radfahrstreifen wurden die Interaktionsvorgänge sowie Überholabstände durch den Kfz-Verkehr im Längsverkehr ausgewertet (Abbildung A12.3 oben). Aufgrund des ziemlich breiten Sicherheitstrennstreifens wurden nur 4 % der Überholabstände bei den Fahrrädern als kritische Überholabstände eingestuft. Hierbei bestand keine höhere Rate oder Quote der kritischen Situationen. An der Strecke (30) mit Sicherheitstrennstreifen geschahen alle Überholvorgänge mit kritischen Abständen nur bei den überholenden Radfahrenden.

Aus dem Grund wurden anschließend die Überholabstände nur bei den überholenden oder links fahrenden Rad- und E-Tretrollernutzenden des Nebeneinanderfahrens miteinbezogen (Abbildung A12.3 (unten)). Die Strecke (6) mit 2,00 m Breite wurde ebenfalls berücksichtigt. Abbildung A12.3 stellt positiv dar, dass an Strecke (30) gegenüber den Strecken (5) und (6) ohne Sicherheitstrennstreifen keine kritischen Situationen der Stufe II auftraten. Alle Überholabstände an der Strecke (30) mussten als kritische Situationen bewertet werden. Wegen der kleinen Stichprobengröße an Strecke (30) war schwierig zu beurteilen, ob sich die Kfz-Führenden an der Markierung der Sicherheitstrennstreifen orientierten, wenn die Überholvorgänge innerhalb von Sicherheitstrennstreifen bewältigt wurden. Dies konnte zu kleineren Überholabständen führen.

Bei Interaktionsvorgängen mit dem Fußverkehr wurde keine vergleichbare Strecke gefunden (Tabelle A12.6 in Anhang 12). An der Strecke (28) bestand gegenüber der Strecke (14) ein ähnlich hohes Fußverkehrsaufkommen, aber ein breiterer Gehweg (allmählich verbreitender Gehweg). Die Strecke (29) hat einen breiten Gehweg und ein starkes Fußverkehrsaufkommen. Die Interaktionsvorgänge sind nicht die Hauptkriterien dieser Forschung zur Bewertung von Radwegen mit Sicherheitstreifen zur Fahrbahn. An der Strecke (28) wurde gegenüber Strecke (14) eine unwesentlich höhere Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen ermittelt. Eine ähnliche Größe der Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen wurde an Strecke (29) festgestellt. Die leicht erhöhte Beeinträchtigung des Fußverkehrs an beiden Strecken wurde teilweise durch ein höheres Fußverkehrsaufkommen verursacht. Unter der Berücksichtigung des Fußverkehrsaufkommens wurde erkannt, dass die Rad- und E-Tretrollerfahrenden selten von den zu Fuß Gehenden beeinflusst wurden. Dies war mit der Positionswahl verbunden, da die Rad- und E-Tretrollerfahrenden relativ mittig am Radweg fuhren. Außerdem verzeichneten die Pedelecfahrenden keine höhere Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen gegenüber den Fahrradfahrenden

Zum Schluss wird der Blick auf die Interaktionen mit entgegenkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden mit regelwidriger Benutzung des Radwegs oder Sicherheitstrennstreifens als Sonderauswertung an der Strecke (29) gerichtet (Abbildung A12.10). An den Radwegen ohne Sicherheitstrennstreifen benutzten die entgegenkommenden Rad- und E-Tretrollernutzenden auch den Radweg. Allerdings wichen sie auf den Gehweg aus, wenn die anderen Nutzenden in der vorgeschriebenen Richtung entgegenkamen. Aber an der Strecke (29) wichen die entgegenkommenden Nutzenden zu der zur Bordsteinkante oder Sicherheitstrennstreifen nahen Seite. Dies hatte zur Folge, dass die in der vorgeschriebenen Richtung fahrenden Nutzenden öfter von Gegenverkehr gestört wurden. Dies wurde nicht an der Strecke (28) mit dem 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen erfasst. Der **Störungsgrad** wurde von der **Geschwindigkeit** und **Positionswahl** sowie dem **Fahrzeugtyp** der entgegenkommenden Nutzenden beeinflusst. Daher richtet sich die Auswertung der Interaktionen sowie Beeinträchtigungen nach den Fahrzeugtypen der entgegenkommenden Nutzenden. Die entgegenkommenden Rennradfahrenden hatten eine hohe Geschwindigkeit und wichen deutlich nah zur Bordsteinkante aus. Dabei war die Beeinträchtigung nicht stark. Dagegen hatten die Pedelec- oder E-Tretrollerfahrenden eine höhere Geschwindigkeit, wichen aber nur leicht aus. Durch die resultierende Irritation wurden die Nutzenden in der regelgerechten Richtung stärker gestört. In Abbildung A12.10 ist ersichtlich, dass die entgegen-

kommenden E-Tretrollerfahrenden einen Trend zur stärkeren Störung für die Nutzenden in der vorgeschriebenen Richtung hatten, wobei dies wegen der geringen Stichprobengröße nicht bestätigt werden konnte.

Vergleich mit der Umfrage

In der Umfrage zeigte sich ein höheres subjektives Sicherheitsempfinden beim Einsatz von Sicherheitstrennstreifen am Radweg zur Fahrbahn (Abbildung A10.25). In der Videoerfassung zeigte sich dies hauptsächlich durch die Positionswahl der einzelnen Radfahrenden (besonders Fahrradfahrenden) im interaktionsbezogenen Zustand, weil sie beim Vorbeifahren an zu Fuß Gehenden nicht zu nah zur Bordsteinkante fahren mussten. Ebenso war der Sicherheitstrennstreifen für den überholenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden vorteilhaft, wenn die Strecke (29) mit 0,70 m breitem Sicherheitstrennstreifen einbezogen wird. Eine eindeutige Verbesserung des Sicherheitsempfindens der E-Tretroller in der Umfrage wird auch mit der Positionswahl begründet. Am schmalen Radweg wurde eine zum Bordstein entfernte Positionswahl der E-Tretroller erfasst, allerdings wurde eine mit den Nutzenden anderer Fahrzeugtypen vergleichbare Positionswahl am Radweg mit Sicherheitstrennstreifen festgestellt.

### 7.2.4 Längsneigung

**Verkehrsflächenwahl (Akzeptanz)**

Zuerst wird die Akzeptanz der Verkehrsflächenwahl an den Strecken mit Längsneigung ermittelt. Tabelle 7.15 zeigt, dass der Anteil der regelgerechten Verkehrsflächennutzung gegenüber den Strecken (31) und (32) nur an der Strecke (33) mit einem starken Gefälle von 6,2 - 6,5 % deutlich niedriger ist. Trotz der geringeren Stichprobe fuhr ein merkbar hoher Anteil der Fahrenden mit schnellen Fahrzeugen (Pedelecs und Lastenrädern) regelwidrig auf der Fahrbahn.

Außerdem zeigt sich bei den E-Tretrollerfahrenden eine niedrigere Akzeptanz an der Strecke (33) mit einer Steigung von 6,2% - 6,5% als bei den Fahrenden anderer Fahrzeuge. Dabei wurde bergauf ein höherer Anteil der ordnungswidrigen Gehwegnutzung bei den E-Tretrollerfahrenden registriert.

**Tabelle 7.15: Verkehrsflächenwahl an den Strecken mit Längsneigung**

| Strecke | | Fahrzeug | Radweg (①) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der regelgerechten Verkehrsflächennutzung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (31) | 3% bergauf | Fahrrad | 575 (42) | 3 | 25 | 603 | **95%** |
| | | Pedelec | 45 (6) | 0 | 1 | 46 | **98%** |
| | | Lastenrad | 23 (1) | 0 | 0 | 23 | **100%** |
| | | E-Tretroller | 29 (2) | 0 | 0 | 29 | **100%** |
| | -3% bergab | Fahrrad | 583 (10) | 1 | 5 | 589 | **96%** |
| | | Pedelec | 58 (2) | 0 | 1 | 59 | **98%** |
| | | Lastenrad | 10 | 0 | 0 | 10 | **100%** |
| | | E-Tretroller | 28 (2) | 0 | 0 | 28 | **100%** |
| (32) | 4,2% bergauf | Fahrrad | 190 | 8 | 7 | 205 | **97%** |
| | | Pedelec | 26 | 1 | 0 | 27 | **100%** |
| | | Lastenrad | 10 | 0 | 1 | 11 | **91%** |
| | | E-Tretroller | | | | | |
| | -4,2% bergab | Fahrrad | 311 | 5 | 4 | 320 | **99%** |
| | | Pedelec | 38 | 5 | 0 | 43 | **100%** |
| | | Lastenrad | 21 | 1 | 0 | 22 | **100%** |
| | | E-Tretroller | 3 | 0 | 1 | 4 | **75%** |
| (33) | 6,2-6,5% bergauf | Fahrrad | 166 (9) | 1 | 10 | 177 | **94%** |
| | | Pedelec | 23 | 1 | 0 | 24 | **96%** |
| | | Lastenrad | 3 | 0 | 0 | 3 | **100%** |
| | | E-Tretroller | 34 (5) | 0 | 5 | 39 | **87%** |
| | -6,2-6,5% bergab | Fahrrad | 53 | 14 | 0 | 67 | **79%** |
| | | Pedelec | 9 | 4 | 0 | 13 | **69%** |
| | | Lastenrad | 1 | 2 | 0 | 3 | **33%** |
| | | E-Tretroller | 7 | 2 | 0 | 9 | **78%** |

**davon: ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1**

Bei der Begründung der (kurzfristigen) Nichtannahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen werden die Strecken (31) und (33) mit größerer Stichprobe auf den nicht vorgeschriebenen Verkehrsflächen einbezogen. Die Strecken (31) und (33) beschreiben Brücken und Rampen, weswegen hierbei keine „Blockierung von Radverkehrsanlagen“ sowie „Ziel und Abfahrt“ als Gründe erfasst wurden.

An den Strecken bergauf stellten erwartungsgemäß die Gründe „langsames Fahren (zum Teil Schieben)“ (25% an Strecke (31) und 41% an Strecke (33)) und „starke seitliche Schwankung“ (12% an Strecke (31) und 7% an Strecke (33)) einen großen Anteil der Nichtannahme der Radwege dar. Der Anteil vergrößerte sich mit der Verstärkung der Steigung. Diese Gründe konzentrierten sich auf die Fahrradfahrenden an den beiden Strecken und auf die E-Tretrollerfahrenden an der steileren Strecke (33).

Der Anteil der „Überholvorgänge“ bei den Fahrradfahrenden reduzierte sich eindeutig mit der Erhöhung der Längsneigung (31% bei 3% auf 7% bei 6,2 - 6,5%) und bezieht sich bei den E-Tretrollerfahrenden vor allem auf die Strecke (33). Daraus resultiert die paradoxe Situation, dass bei den E-Tretrollerfahrenden die Gründe „langsames Fahren“ und „Überholen“ gleichzeitig für die steile Strecke (33) genannt wurden. Das wird damit begründet, dass die Geschwindigkeit der E-Tretroller wegen mangelnder Pedalmöglichkeit stark von fahrzeugtechnischen Merkmalen abhängt und je nach Typ und Hersteller bzw. Betreiber variiert. Für die Pedelecs war „Überholen“ wie an den ebenen Strecken die Hauptursache für die regelwidrige Flächennutzung. Der restliche nicht vernachlässigbare Anteil war „Nebeneinanderfahren“. Wie vorab bereits beschrieben, ist 1,50 m Breite eine Untergrenze für das Nebeneinanderfahren. Mit einer Längsneigung und damit eventuell verbundener seitlicher Schwankung wurde das Nebeneinanderfahren erschwert.

Angesichts der Strecken bergab war ein direkter Vergleich zwischen den Strecken (31) und (33) schwierig, weil an der Strecke (33) kein Gehweg vorhanden ist und dementsprechend bei Nichtannahme der Radwege die Fahrbahn genutzt wurde. An der Strecke (31) machten „Überholen“ und „Nebeneinanderfahren“ einen großen Anteil aus. Aber bei den Fahrradfahrenden vergrößert sich der Anteil der Begründung „Überholen“ (25% an Strecke (31) bergab) gegenüber den ebenen Strecken (39% an Strecke (10)) nicht. Das weist zum Teil nach, dass an den Strecken mit Längsneigung bis zu 3% der Überholbedarf der Fahrräder nicht verstärkt wurde.

Erstaunlicherweise wurde „langsames Fahren“ bei den Fahrrädern und Pedelecs an Strecke (31) bergab als Grund identifiziert, welches durch kontinuierliches Bremsen begründet wird. Dies wurde bei älteren Fahrrad- oder Pedelecnutzenden bemerkt. Allerdings wurde das Verhalten nicht an der Strecke (33) erfasst. Das weist daraufhin, dass das „langsame Fahren“ vorwiegend mit dem starken Rad- und Fußverkehrsaufkommen zusammenhängt.

An der Strecke (33) bergab wurde erwartungsgemäß ein großer Anteil des „schnellen Fahrens“ als Grund erfasst, aber nicht bei den E-Tretrollerfahrenden registriert. Wegen der technischen Beschränkung blieb die Geschwindigkeit der E-Tretroller auch bergab bei ca. 20 km/h. Ein weiterer großer Anteil entfällt auf „Vermeidung von Fußverkehr“ an der Strecke (33) (19%). Wegen des fehlenden Gehwegs wurde der Radweg auch vom Fußverkehr regelwidrig mitbenutzt, weshalb die Rad- oder E-Tretrollernutzenden auf die Fahrbahn auswichen.

### Geschwindigkeit

Die durchschnittliche Geschwindigkeit an den Strecken mit unterschiedlicher Längsneigung wird mit der Strecke ohne Längsneigung als Referenz verglichen (Tabelle 7.16). An der Strecke (32) ist eine duale Führungsform in beiden Richtungen vorgesehen, daher wird die Geschwindigkeit am Radweg und auf der Fahrbahn betrachtet. An der Strecke (33) wird der Radverkehr auf dem benutzungspflichtigen Radweg geführt. Allerdings wurde eine schlechte Akzeptanz der Radwegführung an der Gefällestrecke festgestellt (siehe oben). Deswegen wird auch die Geschwindigkeit auf der Fahrbahn bergab einbezogen.

An den **Steigungsstrecken** zeigte sich bei den **Pedelecnutzenden** (ohne Anhänger) erwartungsgemäß die **geringste Geschwindigkeitsreduzierung.** An der Referenzstrecke ohne Längsneigung betrug die Geschwindigkeit durchschnittlich 21,43 km/h, wobei sich an der Strecke (33) mit starker Längsneigung die Geschwindigkeit um ca. 3 km/h auf 18,55 km/h minderte. An der Strecke (33) betrug der

Geschwindigkeitsunterschied zwischen Pedelec und Fahrrad fast 5 km/h. Bei Lastenradfahrenden mit zusätzlichem Elektroantrieb zeigte sich eine leicht stärkere Geschwindigkeitsreduzierung von 3,9 km/h. Es ist auffällig, dass die Geschwindigkeit der E-Lastenräder an der Strecke (32) mit einer Steigung von 4,2% höher lag als an der Strecke (31) mit einer Steigung von 3%. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Geschwindigkeit der E-Lastenräder an Steigungsstrecken stark von dem Anteil der E-Lastendreiräder und dem Kindertransport der E-Lastenzweiräder abhängt. Tabelle 7.17 zeigt die Geschwindigkeit der E-Lastenzweiräder mit denselben obengenannten „Bedingungen“. Die Geschwindigkeit der E-Lastenzweiräder an der Strecke (32) lag vernachlässigbar höher als an der Strecke (31). Außerdem spielt die Überholmöglichkeit eine Rolle, da an der Strecke (31) mit 3% Steigung das Rad- und Fußverkehrsaufkommen hoch und das Überholen mit den Lastenrädern mit größeren Abmessungen schwierig war.

Im Gegensatz zu Pedelecs und E-Lastenrädern verzeichneten die E-Tretroller die deutlichste Geschwindigkeitsreduzierung um 5,21 km/h wie Fahrräder (ohne Anhänger). Wegen des reinen Elektroantriebs der E-Tretroller war die Geschwindigkeit sowie Befahrbarkeit an einer steilen Steigungsstrecke durch die Leistungsfähigkeit bestimmt. In der Beobachtung wurde erfasst, dass einige E-Tretrollerfahrende mit dem Fuß auf den Boden traten, um die E-Tretroller zu beschleunigen.

An den **Gefällestrecken** waren die E-Tretroller von geringer Bedeutung. Wegen der technischen Einstellung ist die Geschwindigkeit der E-Tretroller auf 20 km/h geregelt. Im Vergleich zu der Geschwindigkeit an der Strecke ohne Längsneigung zeigten Fahrräder (ohne Anhänger) und Pedelecs (ohne Anhänger) am Radweg beim 6,2 - 6,5% Gefälle eine Geschwindigkeitserhöhung um ca. 6 km/h. Am Radweg mit 6,2 - 6,5% Gefälle wurde nur ein E-Lastenrad gezählt, daher ist ein durchschnittlicher Geschwindigkeitsvergleich nicht möglich. Anzumerken ist, dass die **Geschwindigkeit der Pedelecs und E-Lastenräder auf der Fahrbahn deutlich höher lag als am Radweg** (in Gelb markiert). Das bedeutet, dass die Pedelecs und E-Lastenräder auf der Fahrbahn (mit breiteren Verkehrsflächen) einfacher höhere Geschwindigkeiten erreichen. Es ist zu berücksichtigen, dass die Fahrbahn öfter von schneller Fahrenden benutzt wird. Die E-Lastenräder tendierten zu höheren Geschwindigkeiten auf der Fahrbahn als die Pedelecs, was auf das schwere Gewicht der Lastenräder und jüngere Lastenradfahrende zurückzuführen ist.

**Tabelle 7.16: Durchschnittliche Geschwindigkeit an den Strecken mit Längsneigung [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | | E-Tret-roller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Längsneigung | ohn Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | E-Zweiräder<br>E-dreiräder | ohne El. | |
| (11) | 0% | 18,99 (n=406) | 19,59 (n=2) | 21,43 (n=32) | - | 20,76 (n=13) | 21,13 (n=11)<br>18,74 (n=2)<br>- | - | 20,02 (n=5) |
| (31) | 3% bergauf | 16,27 (n=575) | 11,76 (n=1) | 20,79 (n=44) | 13,43 (n=1) | 17,78 (n=22) | 19,34 (n=11)<br>16,23 (n=11) | 16,11 (n=1) | 17,61 (n=29) |
| | 3% bergab | 21,14 (n=582) | 19,60 (n=1) | 24,00 (n=58) | - | 21,04 (n=10) | 21,57 (n=9)<br>16,28 (n=1) | - | 19,45 (n=28) |
| (32) | 4,2% bergauf - Radweg | 14,83 (n=189) | 14,26 (n=1) | 19,56 (n=25) | 16,28 (n=1) | 20,46 (n=10) | 20,46 (n=10)<br>- | - | - |
| | 4,2% berg-auf - Fahrbahn | 24,49 (n=8) | - | 29,44 (n=1) | - | - | -<br>- | - | - |
| | -4,2% bergab - Radweg | 24,35 (n=113) | 20,88 (n=3) | 26,24 (n=20) | 20,48 (n=1) | 24,97 (n=10) | 26,74 (n=7)<br>15,15 (n=1) | - | 21,27 (n=3) |
| | -4,2% bergab - Fahrbahn | 22,66 (n=1) | - | 30,28 (n=2) | - | 31,38 (n=1) | 31,38 (n=1)<br>- | - | - |
| (33) | 6,2-6,5% bergauf | 13,78 (n=165) | 9,23 (n=1) | 18,55 (n=22) | 18,28 (n=1) | 16,86 (n=3) | 16,86 (n=3)<br>- | - | 14,81 (n=34) |
| | -6,2-6,5% bergab - Radweg | 25,09 (n=53) | - | 27,30 (n=9) | - | 17,94 (n=1) | 17,94 (n=1)<br>- | - | 21,29 (n=7) |
| | -6,2-6,5% bergab - Fahrbahn | 26,49 (n=13) | 24,56 (n=1) | 29,88 (n=4) | - | 30,46 (n=2) | 30,46 (n=2)<br>- | - | 21,30 (n=2) |

**Tabelle 7.17: Durchschnittliche Geschwindigkeit der E-Lastenzweiräder in Anhängigkeit von der Aufladung [km/h] (n: Anzahl der Fahrzeuge)**

| E-Lastenzweiräder | (31) +3.0% | (32) +4.2% | (33) +6.2-6.5% |
|---|---|---|---|
| ohne Ladung | **20,26 (n=2)** | **20,61 (n=4)** | - |
| mit Kindertransport | 18,20 (n=5) | 17,86 (n=2) | 16,86 (n=3) |

Allerdings ist anzumerken, dass die Messstrecken dieser Arbeit abschnittsweise Brücken oder Rampen umfassten. Deswegen war die Anfangsgeschwindigkeit der Fahrzeuge, besonders von Fahrrädern, an der Gefällestrecken nicht groß und die Streckenlänge relativ kurz. An einer längeren Strecke mit geringerem Gefälle könnten höhere Geschwindigkeiten erreicht werden.

## Seitliche Schwankung

Bei der Betrachtung der seitlichen Schwankung an den Steigungsstrecken am Radweg (Abbildung 7.16) zeigte sich bei **Pedelecs und E-Tretrollern die geringste Schwankung**. Bei einer Steigung von 6% hatten mehr als 80% der Pedelec- oder E-Tretrollerfahrenden eine Schwankung geringer als 0,30 m. Bei den älteren Pedelecfahrenden wurde eine labile Fahrweise deutlich bemerkt. Bei den Lastenrädern traten zu einem großen Teil Schwankungen von mehr als 0,30 m auf. Das ist mit der leicht instabilen Fahrweise der Lastenräder, besonders Lastenzweiräder, verbunden. Allerdings ist dieser Anteil bei den Lastenrädern mit Zunahme der Steigung nicht so deutlich gestiegen und es traten keine Schwankungen von mehr als 0,60 m auf. Ohne Unterstützung durch einen Elektroantrieb hatten die Fahrräder deutliche seitliche Schwankungen. Bis zu einer 4% Steigung hatten 10% der Fahrräder eine Schwankung von mehr als 0,60 m, während an einer 6% Steigung mehr als 30% der Fahrräder eine Schwankung von mehr als 0,60 m zeigten.

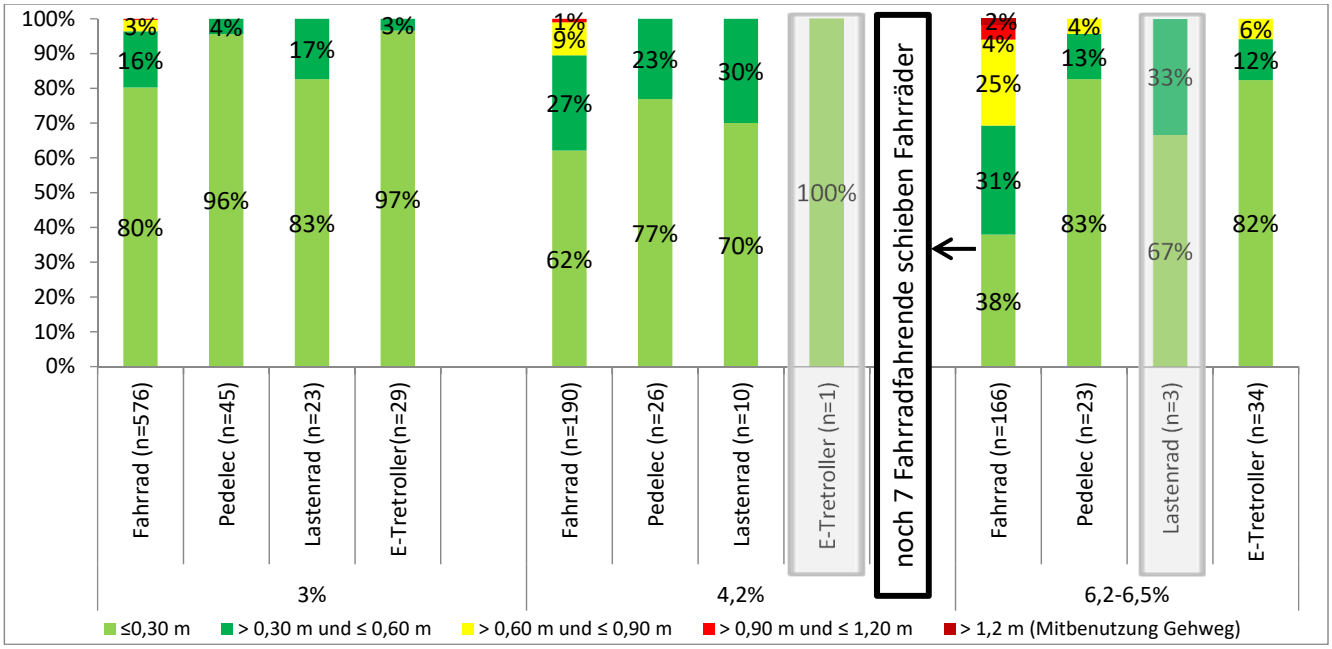



**Abbildung 7.16: Seitliche Schwankung der Strecken bergauf (n: Anzahl der Nutzenden)**

## Positionswahl (alleinig) an Radverkehrsanlagen

Der nächste Betrachtungspunkt liegt in der Positionswahl der einzelnen Nutzenden. Ein Vergleich ist mit den Strecken ähnlicher Gestaltung möglich. An den Strecken (31) und (33) liegen die Radwege unmittelbar zur Fahrbahn und mit einer Markierung als Trennung zum Gehweg. Daher werden die Strecken (31) und (33) mit der Strecke (8) verglichen. An der Strecke (32) liegt der Radweg zwischen Fahrbahn und Grünfläche, wo der Radweg so gestaltet ist wie an der Strecke (9).

Werden die Strecken bergauf betrachtet, wurde im Allgemeinen eine **Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände** zur Bordsteinkante um 0,05 - 0,20 m festgestellt (Tabelle 7.18). Beim interaktionsbezogenen Zustand war die Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände stärker als beim interaktionsfreien Zustand, das bedeutet, dass **Rad- und E-Tretrollernutzende eher näher an zu Fuß Gehenden fuhren**. Bezüglich der seitlichen Schwankung war erstaunlich, dass die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante im interaktionsfreien Zustand an der Strecke (31) mit geringer Steigung (3%) größer waren als an der Strecke (33) mit steiler Steigung (6,2-6,5%). Dies könnte auf höheres Kfz- und Radverkehrsaufkommen zurückgeführt werden. An der Strecke (31) war das Kfz-Verkehrsaufkommen höher als an der Strecke (33), daher entfernten sich die Rad- und E-Tretrollerfahrenden weiter von der Bordsteinkante trotz der Führung am Radweg. Außerdem bestand eine große Radverkehrsstärke an der Strecke (31). Wie bei der Strecke (20) fuhr die Mehrheit der Rad- und E-Tretrollerfahrenden relativ weit rechts (weiter von der Bordsteinkante entfernt), um ein Überholen auf der linken Seite zu ermöglichen, obwohl ein Überholen innerhalb von Radverkehrsanlagen an einem 1,50 m breiten Radweg schwierig war. Dies wurde durch die Positionsverteilung (Abbildung 7.17) nachgewiesen. Einige Nutzende (unabhängig vom Fahrzeugtyp) fuhren im interaktionsfreien Zustand entlang der Markierung. Aber im interaktionsbezogenen Zustand entfernten sich die Nutzenden generell weiter von der Bordsteinkante an der Strecke (33) mit 6,2-6,5% Steigung als an der Strecke (31) mit 3% Steigung, weil mehr Spielraum zur Bordsteinkante für mögliche seitliche Schwankung der instabilen Fahrweise und weniger Distanz zum Fußgängerverkehr an der Strecke (33) beibehalten wurde. Zu berücksichtigen ist, dass ein breiterer Gehweg mit weniger Fußverkehrsaufkommen an der Strecke (33) vorhanden war als an der Strecke (31). Zusammengefasst wurde eine **Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände um ca. 0,80 m** (bezogen auf die Fahrzeugmittelachse) benötigt.

Im interaktionsfreien Zustand wurde an den Strecken (31) und (33) eine **Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände bei Pedelecs** (ohne Anhänger) am **stärksten** festgestellt. Aber im interaktionsbezogenen Zustand fuhren Pedelecfahrende am nächsten zur Bordsteinkante im Vergleich zu den Nutzenden anderer Fahrzeugtypen. Der 25%-Positionswert der Pedelecs war deutlich kleiner als der Wert der anderen Fahrzeugtypen (Strecke (31) und (33) bergauf im interaktionsbezogenen Zustand). Das war zum großen Teil mit der Geschwindigkeit verbunden, da die Pedelecfahrenden infolge der höchsten Geschwindigkeit aller Fahrzeugnutzenden an den Steigungsstrecken die größten Fahrflächen benötigten. Beim Vorbeifahren am Fußgängerverkehr mussten die Pedelecnutzenden mehr Distanz zu den zu Fuß Gehenden halten. Die Pedelecfahrenden an der Strecke (32) mit 4% Steigung entfernten sich nicht besonders stark von der Bordsteinkante, weil sie genügend Abstand zu Grünflächen lassen mussten.

Bei den (E-)Lastenrädern fuhren die Nutzenden im interaktionsfreien Zustand an der Referenzstrecke ohne Längsneigung bereits weiter von der Bordsteinkante entfernt, daher wurde eine Vergrößerung der Abstände statistisch nicht bemerkt. Die Typen der Lastenräder spielten eine große Rolle in der Positionswahl. An den Strecken (9) und (31) bergauf fuhren viele Velotaxis mit ziemlich breiter Fahrzeugabmessung (1,00 m). Daher wurde eine stärkere Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände an der Strecke (32) im Vergleich zu der Strecke (9) nachgewiesen, während eine geringere Vergrößerung an Strecke (31) im Vergleich zu der Strecke (8) erfasst wurde.

Analog zu den Lastenrädern zeigten die E-Tretroller wegen der großen Werte der durchschnittlichen Abstände an der Referenzstrecke keine besonders starke Vergrößerung der Abstände im interaktionsfreien Zustand. Dadurch hatten die **E-Tretroller** die **größten (absoluten) durchschnittlichen Abstände** an den Steigungsstrecken. Konkret bedeutet das, dass die E-Tretroller eine deutliche Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände an der Strecke (31) hatten, aber eine geringere Vergrößerung an Strecke (33) wie die Fahrräder. Dies könnte teilweise wieder mit der Geschwindigkeit verbunden sein. An der Strecke (31) mit 3% Steigung brauchten die Nutzenden der E-Tretroller sowie Fahrräder wegen der gegenüber der Strecke (33) höheren Geschwindigkeit mehr Verkehrsflächen.

Im interaktionsbezogenen Zustand verzeichneten die Nutzenden der Lastenräder und E-Tretroller generell ähnliche Werte der durchschnittlichen Abstände (bezogen auf den Fahrzeugüberhang) wie die Fahrradfahrenden. Nur bei der Positionsverteilung (Strecke (33) bergauf im interaktionsbezogenen Zustand) wurden bei den E-Tretrollern noch größere 50%-Positionswerte registriert, wobei kein größerer 75%-Positionswert bei E-Tretrollern erfasst wurde.

An den Strecken bergab wurden uneinheitliche Ergebnisse festgestellt. Im interaktionsfreien und im interaktionsbezogenen Zustand wurde an der Strecke (31) eine deutliche Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante erfasst und die Vergrößerung bergab war etwas geringer als bergauf. Daraus wird abgeleitet, dass eine starke Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände an der Strecke (31) eher von dem hohen Kfz- und Radverkehrsaufkommen ausgelöst wurde. An der Strecke (32) wurde kaum eine Änderung der Abstände zur Bordsteinkante gegenüber der Strecke (9) registriert und eine vernachlässigbare Verkleinerung der Abstände wurde durch die geringe Verschmälerung des Radwegs verursacht. Abgesehen von Lastenrädern, wurde eine geringe Verkleinerung der durchschnittlichen Abstände trotz der Verbreiterung des Radwegs an der Strecke (33) festgestellt.

**Tabelle 7.18: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bezogen auf Mittelachse (bezogen auf den von der Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | Status | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | E-Tret-roller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Führung (Längsneigung) | | ohne Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | ohne El. | |
| (8) | Radweg (0%) | ① | 0,95 (0,63) (n=317) | 1,04 (0,66) (n=2) | 0,93 (0,63) (n=30) | - | 1,02 (0,65) (n=7) | - | 1,04 (0,74) (n=1) |
| | | ② | 0,62 (0,32) (n=82) | 0,68 (0,38) (n=2) | 0,69 (0,39) (n=12) | - | - | - | - |
| (9) | Radweg (0%) | ① | 0,73 (0,43) (n=702) | 0,73 (0,43) (n=1) | 0,73 (0,43) (n=44) | - | 0,76 (0,38) (n=14) | - | 0,77 (0,47) (n=27) |
| (31) | 3% berg-auf | ① | 1,05 (0,75) (n=364) | 1,33 (0,93) (n=1) | 1,13 (0,83) (n=28) | 1,14 (0,84) (n=1) | 1,09 (0,71) (n=9) | 0,94 (0,62) (n=1) | 1,13 (0,83) (n=13) |
| | | ② | 0,88 (0,58) (n=221) | - | 0,81 (0,51) (n=20) | 0,68 (0,27) (n=1) | 0,92 (0,48) (n=15) | - | 0,87 (0.57) (n=13) |
| | - 3% bergab | ① | 1,04 (0,74) (n=396) | 1,14 (0,79) (n=1) | 1,02 (0,72) (n=42) | - | 1,08 (0,82) (n=10) | - | 1,12 (0,82) (n=14) |
| | | ② | 0,82 (0,52) (n=186) | - | 0,79 (0,49) (n=19) | - | 0,79 (0,44) (n=1) | - | 0,83 (0,53) (n=13) |
| (32) | 4,2% berg-auf | ① | 0,86 (0,56) (n=179) | 1,09 (0,69) (n=1) | 0,82 (0,52) (n=25) | 0,90 (0,58) (n=1) | 0,87 (0,55) (n=10) | - | - |
| | - 4,2% bergab | ① | 0,70 (0,40) (n=305) | 0,71 (0,36) (n=5) | 0,70 (0,40) (n=33) | 0,68 (0,38) (n=4) | 0,74 (0,44) (n=21) | - | 0,67 (0,37) (n=3) |
| (33) | 6,2-6,5 % bergauf | ① | 0,99 (0,69) (n=119) | 0,90 (0,50) (n=1) | 1,04 (0,74) (n=19) | - | 1,10 (0,75) (n=3) | - | 1,07 (0,77) (n=22) |
| | | ② | 0,85 (0,55) (n=49) | - | 0,77 (0,47) (n=9) | 0,81 (0,59) (n=1) | 0,82 (0,59) (n=1) | - | 0,87 (0,57) (n=7) |
| | - 6,2-6,5 % bergab | ① | 0,93 (0,63) (n=51) | - | 0,89 (0,59) (n=9) | - | 1,14 (0,89) (n=1) | - | 1,01 (0,71) (n=7) |
| Status ①: interaktionsfrei; ② interaktionsbezogen | | | | | | | | | |

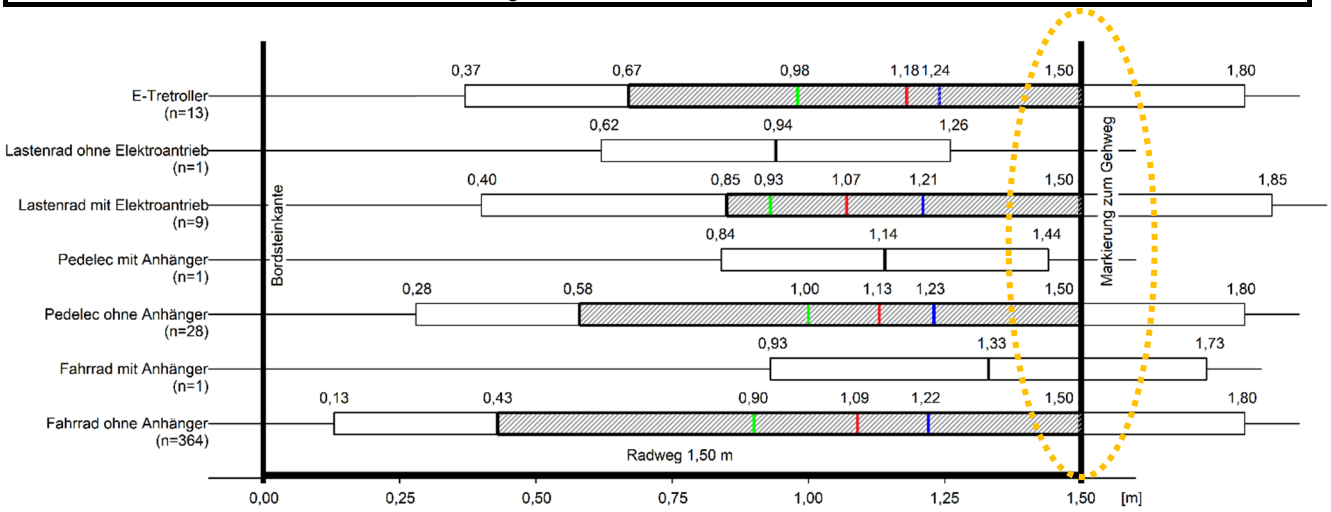



**Abbildung 7.17: Positionsverteilung an der Strecke (31) mit der Längsneigung 3% im interaktionsfreien Zustand (n: Anzahl der Nutzenden)**

Im Weiteren wurde bemerkt, dass sich die (absoluten) Werte der durchschnittlichen Abstände zwischen verschiedenen Fahrzeugtypen an der Strecke (33) deutlich voneinander unterschieden, obwohl die Verkleinerung der durchschnittlichen Abstände bei Fahrrädern, Pedelecs und E-Tretrollern identisch war gegenüber der Referenzstrecke. Gegenüber z.B. den Strecken (14) und (29) war dieser große Unterschied der Werte von durchschnittlichen Abständen an den breiten Radwegen nicht erkennbar. Hierbei war nicht sicher, ob das Brückengeländer Einfluss auf die Position (unter Berücksichtigung der Geschwindigkeit) hatte. An der Strecke (33) bestand kein Gehweg und das Geländer lag direkt neben dem Radweg. Daher könnte es sein, dass Fahrräder und Pedelecs infolge deutlicher hoher Geschwindigkeit auch ausreichendend Abstand zum Geländer halten mussten.

Zusammengefasst wurde eine **Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände an den Gefällestrecken generell nicht nachgewiesen.**

## Nebeneinanderfahren und Überholen

Für die Betrachtung des Nebeneinanderfahrens war ein Vergleich mit der Strecke (11) mit Pollern möglich, da an der Strecke (32) der Radweg zwischen der Fahrbahn und Grünflächen lag (Tabelle A11.9).

Beim Vergleich der Strecke (31) mit der Strecke (8) und der Strecke (32) mit der Strecke (11) verringerte sich der Anteil des Nebeneinanderfahrens innerhalb der Radverkehrsanlage an der Strecke mit 3% - 4% Steigung leicht. Dagegen ist der Anteil an der steileren Strecke (33) deutlich niedriger, wobei alle Fälle von Nebeneinanderfahren außerhalb von Radverkehrsanlagen geschahen.

Das Nebeneinanderfahren wurde nur an einer Gefällestrecke mit 3,0% erfasst. Hierbei lag der Anteil des Nebeneinanderfahrens innerhalb von Radverkehrsanlagen an der Strecke (31) sogar höher als an der ebenen Referenzstrecke (8). Dadurch lässt sich schlussfolgern, dass das Nebeneinanderfahren an den Strecken mit der geringen Längsneigung nicht erschwert wurde. Allerdings wurde die **breitere Radverkehrsanlage an der steilen Strecke** benötigt.

Anschließend werden die Überholvorgänge betrachtet. Wegen der Gestaltung der Strecke (32) war das Überholen kaum möglich (Tabelle A11.10). An Strecke (33) bergab wurden wegen schwachem Radverkehrsaufkommens keine Überholvorgänge erfasst. Daher kam die Strecke (31) und Strecke (33) bergauf in Betracht. Tabelle A11.10 zeigt, dass die **Anzahl des Überholbedarfs** an der Strecke (31) **bergauf nicht zunahm** gegenüber der Strecke (10). Dabei wird eine lineare Beziehung zwischen der Anzahl des Überholbedarfs und der Anzahl der Fahrzeuge angenommen. Dagegen wurde eine deutliche Verringerung des Überholbedarfs an der Strecke (31) bergab festgestellt.

Angesichts der Überholabstände wurde eine Vergrößerung der Überholabstände bei den Überholvorgängen an den Steigungsstrecken gegenüber der Strecke (10) erfasst. Dabei wurden die Überholabstände um 0,05 m zwischen Fahrrädern (ohne Anhänger) und um 0,15 m zwischen Pedelec (ohne Anhänger) - Fahrrad (ohne Anhänger) an der Strecke (31) vergrößert (in Gelb markiert). Eine stärkere Vergrößerung der Überholabstände Pedelec - Fahrrad war zum großen Teil auf den größeren Geschwindigkeitsunterschied zwischen Pedelec und Fahrrad an der Steigungsstrecke zurückzuführen. An der Strecke (33) wurde eine stärkere Vergrößerung der Überholabstände zwischen Fahrrädern von 0,17 m erfasst. Zugleich wurden große Überholabstände zwischen E-Tretroller und Fahrrad gemessen. Wegen der kleinen Stichprobegröße war der quantitative Vergleich der Strecke (33) mit den anderen Strecken schwierig. Trotzdem wurde ein Trend zur **Vergrößerung der Überholabstände mit Zunahme der Steigung** festgestellt. Gegensätzlich wurde eine Verkleinerung der Überholabstände an Gefällestrecken im Allgemeinen erfasst. Dabei betrug die Differenz der Überholabstände etwa 0,20 - 0,25 m zwischen den Strecken (31) bergauf und bergab.

## Interaktionsvorgänge

Bei der Betrachtung der Interaktionsvorgänge an den Strecken mit Längsneigung liegt der Fokus vor allem darauf, ob sich die Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen aufgrund der Modifikation der Geschwindigkeit oder Positionswahl änderten.

Tabelle A12.7 verdeutlicht, dass die **Steigungsstrecken** im Allgemeinen eine **niedrigere Rate** der kritischen Situationen und Behinderungen gegenüber der ebenen Referenzstrecke verzeichneten und die **Gefällestrecken** eine **höhere Rate**. Dementsprechend wurde eine niedrigere Quote der kritischen Situationen und Behinderungen an der Steigungsstrecke (33) und eine höhere Quote an der Gefällestrecke (31) festgestellt. Allerdings ist die Quote an der Steigungsstrecke (31) höher als an der Referenzstrecke. Dies ist **eng mit der Geschwindigkeit und Positionswahl** der Fahrzeuge **verbunden**.

An der Strecke (31) bergauf fuhren die Fahrradnutzenden näher zum Gehweg als an der Referenzstrecke (8). Trotzdem wurde gegenüber der Strecke (8) eine niedrigere Rate der kritischen Situationen und Behinderungen mit dem Fahrrad nachgewiesen, weil die Geschwindigkeit der Fahrräder an der Strecke (31) bergauf niedriger war. Im Vergleich dazu vergrößerte sich die Rate der kritischen Situationen und Behinderungen mit dem Pedelec, Lastenrad und E-Tretroller an der Strecke (31) bergauf. Einerseits fuhren die Lastenrad- und besonders die Pedelec-, und E-Tretrollernutzenden näher zum Gehweg als die Fahrradfahrenden und als auf der Strecke (8). Andererseits verringerte sich die Geschwindigkeit der Pedelec- und Lastenradfahrenden (besonders Lastenzweiräder) weniger als die der Fahrradfahrenden.

Mit Verstärkung der Längsneigung an der Strecke (33) bergauf sank die Geschwindigkeit bei allen Fahrzeugtypen und dementsprechend die Rate der kritischen Situationen und Behinderungen. Hierbei wurde eine noch höhere Rate bei den Pedelecs als bei den Fahrrädern nachgewiesen, allerdings nicht bei den E-Tretrollern, weil die Geschwindigkeit der E-Tretroller an der Strecke (33) bergauf gleich zu der Geschwindigkeit der Fahrräder war.

An der Gefällestrecke (31) erwies sich ebenso eine höhere Rate der kritischen Situationen und Behinderungen bei den Pedelecs und E-Tretrollern als bei den Fahrrädern. Dies ist auf die höhere Geschwindigkeit der Pedelecs und der zum Gehweg näheren Positionswahl der E-Tretroller zurückzuführen.

**Vergleich mit der Umfrage**

Die Geschwindigkeit an den Steigungsstrecken in der Videoerfassung spiegelte die Ergebnisse der Umfrage gut wider. In der Umfrage (Abbildung A10.27) hielten ca. 10% der Fahrrad-, Lastenrad und E-Tretrollernutzenden eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung oder Absteigen an der 3% Steigungsstrecke für sinnvoll, während dieser Anteil bei den Pedelecfahrenden nur 4% betrug. Die Auswertung der Geschwindigkeit in der Videoerfassung zeigte, dass die Pedelecfahrenden die geringste Geschwindigkeitsreduzierung hatten und weiterhin mit hoher Geschwindigkeit an der Strecke (31) mit der 3% Steigung fuhren. An der 6% Steigungsstrecke zeigten hohe Anteile der Fahrrad- und E-Tretrollernutzenden eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung und ein Absteigen in der Umfrage. Hierbei schätzten 22% der E-Tretrollerfahrenden ein Absteigerisiko ein. Dagegen hielt der geringste Anteil der Pedelecfahrenden eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung oder Absteigen für unnötig. Dieser Anteil bei den Lastenradfahrenden stand in der Mitte zwischen Pedelecfahrenden und Fahrrad- oder E-Tretrollerfahrenden. In der Videoerfassung reichte die Geschwindigkeit der Pedelecs, Lasten- und Fahrräder oder E-Tretroller von hoch bis niedrig an Strecke (33) mit 6,2%-6,5% Steigung. Wegen fehlender Pedalmöglichkeit, wurde das Problem der Befahrbarkeit sowie ein Risiko für das Absteigen der E-Tretroller an solch steilen Strecken auch in der Videoerfassung nachgewiesen.

### 7.2.5 Kurvenbereich

**Verkehrsflächenwahl (Akzeptanz)**

Eine Auswertung der Verkehrsflächenwahl ist nur für die Strecke mit Verschwenkung sinnvoll. Für das Rechtsabbiegen am Knotenpunkt wird die Routenwahl, welche in Abbildung 4.6 dargestellt ist, betrachtet. Route 1 mit kleinem Kurvenradius wird als Annahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen angesehen. Tabelle 7.19 zeigt, dass der Radweg mit der Verschwenkung unabhängig von dem Fahrzeugtyp gut akzeptiert wurde, während der Anteil der Nutzung der vorgeschriebenen Routen beim Rechtsabbiegen im rechten Winkel im Allgemeinen viel niedriger lag. Dabei lagen die Anteile der Annahme von den vorgeschriebenen Routen bei den Pedelecs und Lastenrädern ein bisschen niedriger als bei den Fahrrädern.

## Geschwindigkeit

Schwerpunktmäßig wird die durchschnittliche Geschwindigkeit der Fahrzeuge, besonders der Lastenräder betrachtet. Die Geschwindigkeit an der Strecke (34) mit der Verschwenkung lag generell um ca. 4 - 5 km/h höher als beim Rechtsabbiegen im rechten Winkel (Tabelle 7.20).

An der Strecke (34) mit der Verschwenkung ist zu bemerken, dass die Geschwindigkeit der E-Lastenräder ca. 2 km/h kleiner war als die Geschwindigkeit der Fahrräder (ohne Anhänger). Im Vergleich zum Verhältnis der Geschwindigkeiten zwischen Fahrrädern und E-Lastenrädern (E-Lastenzweiräder) an den anderen Strecken mit demselben Breitenniveau war eine starke Geschwindigkeitsreduzierung bei den E-Lastenrädern festzustellen. Die durchschnittliche Geschwindigkeit der E-Lastenräder lag trotzdem noch bei 20 km/h. Daraus folgt, dass die **Befahrbarkeit mit dem Lastenrad** bei der **Verschwenkung** der Radverkehrsanlagen **gut** war. Dazu ist anzumerken, dass hierbei nur E-Lastenzweiräder erfasst wurden. Ob die Geschwindigkeit sowie Befahrbarkeit der E-Lastendreiräder auch ohne Einschränkung waren, kann an dieser Stelle nicht festgestellt werden.

Unter Berücksichtigung des Verhältnisses der Geschwindigkeit zwischen Fahrrädern (ohne Anhänger) und Pedelecs (ohne Anhänger) wurde eine Geschwindigkeitsdifferenz geringer als 1 km/h ermittelt. Die Geschwindigkeit der E-Tretroller blieb bei ca. 20 km/h. Folglich wurde die Geschwindigkeit der Zweiräder kaum von der Verschwenkung beeinflusst.

Im Gegensatz dazu wurde eine **deutliche Geschwindigkeitsreduzierung** unabhängig vom Fahrzeugtyp **beim Rechtsabbiegen im rechten Winkel** ermittelt. Dabei wurde bei den E-Tretrollern die niedrigste Geschwindigkeit von 14,8 km/h mit der stärksten Geschwindigkeitsreduzierung um ca. 6,5 km/h gegenüber der Verschwenkungsstrecke festgestellt. Eine ähnlich starke Geschwindigkeitsreduzierung um ca. 5,5 km/h wurde bei den Pedelecs erfasst. Dabei lag die Geschwindigkeit der Pedelecs niedriger als die der Fahrräder. Infolge allgemeiner Geschwindigkeitsreduzierung aller Fahrzeugtypen lag die Geschwindigkeit der E-Lastenräder hierbei nicht deutlich niedriger als bei den anderen Fahrzeugtypen. Die Geschwindigkeit der E-Lastendreiräder lag leicht niedriger als die der E-Lastenzweiräder.

**Tabelle 7.19: Verkehrsflächen-/ Routenwahl beim Kurvenbereich**

| Strecke | | Fahrzeugart | Radweg | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der regelgerechten Verkehrsflächennutzung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (34) | Verschwenkung | Fahrrad | 499 | 12 | 8 | **519** | 96% |
| | | Pedelec | 64 | 2 | 0 | **66** | 97% |
| | | Lastenrad | 15 | 0 | 0 | **15** | 100% |
| | | E-Tretroller | 9 | 0 | 0 | **9** | 100% |
| **Knotenpunktzufahrt** | | **Fahrzeugart** | **Route 1** | **Route 2** | **Route 3** | **Summe** | **Anteil der regelgerechten Routenwahl (Route 1)** |
| (35) | Rechtsabbiegen | Fahrrad | 320 | 84 | 9 | **413** | 77% |
| | | Pedelec | 19 | 5 | 3 | **27** | 70% |
| | | Lastenrad | 4 | 2 | 0 | **6** | 67% |
| | | E-Tretroller | 16 | 5 | 0 | **21** | 76% |

**Tabelle 7.20: durchschnittliche Geschwindigkeit im Kurvenbereich [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke/ Knotenpunktzufahrt | | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | | E-Tretroller |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Nr. | Charakter | ohn Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | E-Zweiräder<br>E-dreiräder | ohne El. | |
| (34) | Verschwenkung | 22,22 (n=495) | 18,72 (n=4) | 23,05 (n=63) | 17,05 (n=1) | 20,38 (n=15) | 20,38 (n=15)<br>- | - | 21,50 (n=9) |
| (35)[19] | Rechtsabbiegen | 17,79 (n=339) | 17,55 (n=2) | 17,46 (n=19) | - | 16,59 (n=6) | 17,29 (n=4)<br>15,20 (n=2) | - | 14,80 (n=16) |

[19] In der Geschwindigkeitsanalyse wurden nur die rechts abbiegenden Nutzenden betrachtet, die in der Freigabezeit ankamen und nicht von den in der gleichen Phase bedingt verträglich freigegebenen zu Fuß Gehenden beeinflusst wurden. Dadurch ist eine rein infrastrukturelle Beeinflussung zu analysieren.

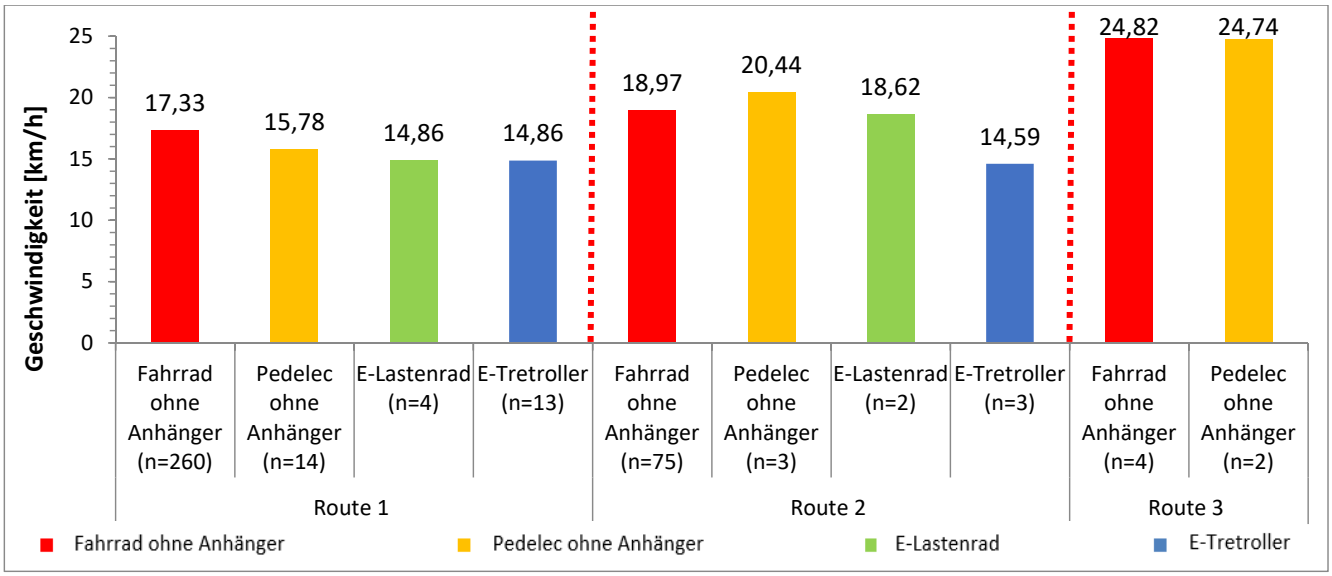



**Abbildung 7.18: Geschwindigkeit in Abhängigkeit von der Route (n: Anzahl der Nutzenden)**

Beim Rechtsabbiegen im rechten Winkel wird die Geschwindigkeit der verschiedenen Routen separat betrachtet (Abbildung 7.18). Bei der vorgeschriebenen Route 1 war die Befahrbarkeit mit den neuen Fahrzeugtypen deutlich eingeschränkt. Die Geschwindigkeiten der Pedelecs, E-Lastenräder und E-Tretroller lagen 1,5 - 2,5 km/h niedriger als die der Fahrräder. Im Vergleich zur Geschwindigkeit bei der Verschwenkung zeigte sich bei den Pedelecs eine Geschwindigkeitsreduzierung um 7,3 km/h bei Route 1. Dies wurde teilweise auch durch die größere Trägheit infolge des schweren Fahrzeugs an stärkerem Gefälle (3% bei Knotenpunktzufahrt (35)) verursacht. Mit der Vergrößerung der Kurvenradien (Route 2 und 3) wurde eine höhere Geschwindigkeit erreicht. Dies war besonders bei Pedelecs und E-Lastenrädern ausgeprägt, während sich die Geschwindigkeit bei E-Tretrollern kaum veränderte. Bei Route 3 mit der Mitbenutzung der Fahrbahn (Kurvenradius: ca. 10 m) konnten die Fahrräder und Pedelecs fast eine Geschwindigkeit von 25 km/h erzielen, was in der Bemessung der Radverkehrsanlagen zugrunde gelegt wird.

## Positionswahl (alleinig) an Radverkehrsanlagen

Wie in Kapitel 3 erwähnt, besteht ein enger Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit und der Fahrlinie sowie Schleppkurve am Kurvenbereich. Daher wurde der Unterschied der Positionswahl der verschiedenen Fahrzeugtypen, die wieder durch durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante (bezogen auf die Mittelachse der Fahrzeuge) gekennzeichnet wurde, in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei der Verschwenkung betrachtet. Nach der Geschwindigkeitsspanne der E-Lastenräder wurden die durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante in drei Geschwindigkeitsgruppen, nämlich 17 - 20 km/h, 20 - 23 km/h und 23 - 26 km/h, unterteilt (Tabelle 7.21).

Es ist deutlich zu erkennen, dass sich die Position der Fahrräder und Pedelecs (jeweils ohne Anhänger) mit Zunahme der Geschwindigkeit kaum oder leicht veränderte, während sich die **Position der E-Lastenräder bei einer Geschwindigkeitserhöhung um 3 km/h und 6 km/h jeweils um 0,30 m und 0,50 m zur Bordsteinkante näherte**. Unter Berücksichtigung der breiteren Fahrzeugabmessung benötigen die Lastenräder noch mehr Platz.

Bei den E-Tretrollern besteht eine große Schwankung der durchschnittlichen Abstände je nach den Geschwindigkeitsgruppen. Es ist mit kleiner Stichprobegröße schwierig, die Abhängigkeit zwischen der Geschwindigkeit und Positionswahl weiter zu analysieren.

## Vergleich mit der Umfrage

Die Strecke (34) mit Verschwenkung und das Rechtsabbiegen im rechten Winkel (Knotenpunktzufahrt (35)) stellen die Szenarien 1 und 4 in der Umfrage (Abbildung A10.28) dar. Im Allgemeinen stimmen

die Ergebnisse der Videoerfassung gut mit den Ergebnissen der Umfrage überein. Für die Verschwenkung der Radverkehrsanlagen äußerte fast die Hälfte der Befragten eine geringe Geschwindigkeitsreduzierung und die meisten Nutzenden (88% der Befragten) schätzten keine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung oder kein Absturzrisiko ein. Dagegen empfanden mehr als 85% der befragten Nutzenden eine starke Geschwindigkeitsreduzierung oder sogar ein Absturzrisiko beim Rechtsabbiegen mit dem Spitzwinkel. Für E-Tretrollernutzende könnte das Fahrverhalten in der Videoerfassung die Umfrage exakt widerspiegeln. In der Umfrage hielten nur 4% der E-Tretrollernutzenden (Fahrradfahrenden: 8%) eine Verschwenkung für problematisch (nämlich „deutliche Geschwindigkeitsreduzierung“ und „Absturzrisiko“). Beim Rechtsabbiegen erhöhte sich dieser Anteil auf 87% (Fahrradfahrende 86%). Angesichts der stärkeren Beeinflussung mit einem Lastenrad an der Verschwenkungsstrecke in der Videoerfassung wurde auch in der Umfrage bestätigt, dass ein geringfügig höherer Anteil der Lastenradfahrenden eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung und ein Absturzrisiko im Vergleich zu den Fahrradfahrenden empfand. Die leichte Abweichung zwischen der Umfrage und der Videoerfassung bestand darin, dass der Anteil für eine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung bei den Pedelecfahrenden an der Verschwenkungsstrecke in der Umfrage deutlich höher lag als bei den Fahrradfahrenden. Solch ein eindeutige Unterschied wurde nicht in der Videoerfassung beobachtet.

**Tabelle 7.21: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse der Fahrzeuge an der Verschwenkungsstrecke in Abhängigkeit der Geschwindigkeit [m] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Geschwindigkeitsgruppe | Fahrzeugtypen | durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante |
|---|---|---|
| 17-20 km/h | Fahrrad ohne Anhänger (n=102) | 1,12 |
| | Pedelec ohne Anhänger (n=12) | 1,09 |
| | E-Lastenrad (n=6) | 1,12 |
| | E-Tretroller (n=2) | 0,98 |
| 20-23 km/h | Fahrrad ohne Anhänger (n=152) | 1,11 |
| | Pedelec ohne Anhänger (n=14) | 1,13 |
| | E-Lastenrad (n=6) | 0,99 |
| | E-Tretroller (n=6) | 1,11 |
| 23-26 km/h | Fahrrad ohne Anhänger (n=127) | 1,11 |
| | Pedelec ohne Anhänger (n=17) | 1,15 |
| | E-Lastenrad (n=2) | 0,62 |
| | E-Tretroller (n=1) | 0,61 |

### 7.2.6 Aufstellbereiche

#### Allgemeines Aufstellverhalten

Im ersten Untersuchungsschwerpunkt wurde das allgemeine Aufstellverhalten der Radfahrenden oder E-Tretrollernutzenden ermittelt. Die Ergebnisse des Aufstellverhaltens werden in Anhang 14 dargestellt. Abbildung A14.1 zeigt, dass die E-Tretrollernutzenden einen höheren Anteil der Nichtannahme von aufgeweiteten Radaufstellstreifen aufwiesen. Dabei lag auch ein hoher Anteil der Gehweg- oder Fußgängerfurtnutzung bei E-Tretrollerfahrenden vor, weil die Fußgängerfurtnutzung mit einer früheren Weiterfahrt infolge des Freigabezeitvorsprungs verbunden war. An der Knotenpunktzufahrt (36) (Einmündung) konnte bei der Gehwegnutzung sogar ohne Halt weitergefahren werden.

Allerdings ist erstaunlich, dass die Knotenpunktzufahrt (37) mit einer schwachen Radverkehrsbelastung einen deutlichen höheren Anteil der Nichtannahme von aufgeweiteten Radaufstellstreifen aufzeigte im Vergleich zu der Knotenpunktzufahrt (36) mit einer sehr hohen Radverkehrsbelastung („Summe“ in Abbildung A14.1). Das ist darauf zurückzuführen, dass sich der in der Sperrzeit **zuerst ankommende Rad- oder E-Tretrollerfahrende** oft **außerhalb von aufgeweiteten Radaufstellstreifen aufstellt**. Gerade an der Knotenpunktzufahrt (37) war ein großer Anteil von Radfahrenden bei der schwachen Radverkehrsbelastung unter den „ersten“ ankommenden Radfahrenden. Zugleich hatte die Knotenpunktzufahrt (37) eine leichte Steigung, weshalb die Rad- oder E-Tretrollernutzenden vor dem Kfz losfahren wollen. Deswegen wurde ein hoher Anteil der Nichtannahme von aufgeweiteten Radaufstellstreifen an der Knotenpunktzufahrt (37) ermittelt.

Abbildung A14.2 stellt das allgemeine Aufstellverhalten ohne in der Sperrzeit zuerst ankommende Radfahrende oder E-Tretrollernutzende dar. Es ist zu erwähnen, dass generell an allen Knotenpunktzufahrten ein hoher Anteil der Annahme von aufgeweiteten Radaufstellstreifen festgelegt wurde, obwohl der Anteil der Annahme von aufgeweiteten von Radaufstellstreifen an der Knotenpunktzufahrt (37) noch verhältnismäßig gering war. Hierbei wurde wiederholt festgestellt, dass die E-Tretrollernden eine schlechte Annahme der aufgeweiteten Radaufstellstreifen verzeichneten. Außerdem wurde ein höherer Anteil der Nichtannahme der aufgeweiteten Radaufstellstreifen bei den Pedelecfahrenden an der Knotenpunktzufahrt (39) erfasst.

**Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen**

Im Weiteren wird die Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen durch geradeaus und rechts abbiegende Rad- oder E-Tretrollerfahrende betrachtet. Abbildung A14.4 in Anhang 14 zeigt eine Relation zwischen Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Querrichtung und die Rückstaulänge auf den zuführenden Radverkehrsstreifen auf. Es wurde dargelegt, dass nur bei seltener Sperrzeit die aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Querrichtung voll belastet wurden. Dadurch wurde ergänzend nachgewiesen, dass die Kapazität der aufgeweiteten Radaufstellstreifen bisher generell noch problemlos war. Die quantitativen Ergebnisse waren mit der Beobachtung (qualitative Auswertung) konform, dass die **Kapazität für das Aufstellen** im Allgemeinen noch **ausreichend ist**. Das ging von der Tatsache aus, dass das gleiche Aufstellen zweier Lastenräder (im Wirtschaftsverkehr) nicht beobachtet wurde.

Es war auffällig, dass der Rückstau unter vielen Umständen länger als 5 m, sogar länger als 10 m war, wobei die aufgeweiteten Radaufstellstreifen nur bis zu 2 m belegt wurden (rote Rechteckmarkierung in Abbildung A14.4). Abbildung A14.5 veranschaulicht die Situation, dass der Rückstau am zuführenden Schutzstreifen ziemlich lang war, aber der aufgeweitete Radaufstellstreifen fast ungenutzt blieb. Das bedeutet, dass die aufgeweiteten Radaufstellstreifen oft **nicht ausgenutzt** wurden. Aus diesem Grund wird untersucht, **inwieweit und unter welchen Bedingungen die aufgeweiteten Radaufstellstreifen ausgenutzt werden könnten**.

**Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden**

In der Beobachtung wurde generell ermittelt, dass die Rad- und E-Tretrollerfahrenden deutlich erkennbar nur auf die aufgeweiteten Radaufstellstreifen fahren wollten, wenn die zuführenden Radaufstellstreifen durch z.B. ruhenden Verkehr blockiert wurden. Besonders von Bedeutung ist das Verhalten der zweiten bis vierten nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden, da sie die Zugänglichkeit zu den aufgeweiteten Radaufstellstreifen an schmalen zuführenden Radverkehrsstreifen verhindern könnten. Deswegen wird das Aufstellverhalten der später ankommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden schwerpunktmäßig erfasst.

Abbildung A14.3 demonstriert, dass sich an den Knotenpunktzufahrten (38) und (39) die höheren Anteile der Rad- und E-Tretrollerfahrenden eher voran aufstellten. Dies stand mit der Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Einklang, dass an den Knotenpunktzufahrten (38) und (39) ein hoher Belegungsgrad von aufgeweiteten Radaufstellstreifen vorlag.

An der Knotenpunktzufahrt (39) schloss der aufgeweitete Radaufstellstreifen an einem **breiten Radaufstellstreifen** (2,00 m - 2,50 m) an. An solch einem breiten Radaufstellstreifen verteilten sich Radfahrenden bereits an dem zuführenden Radfahrstreifen. Ohne Positionsveränderung und bei einer großzügigen Eckausrundungen stellten sich die Radfahrenden oft weiter von der Bordsteinkante und gleichmäßig an dem aufgeweiteten Radaufstellstreifen auf.

An der Knotenpunktzufahrt (38) bestand ein **langer Aufstellbereich**. Damit wollten sich mehr Rad- und E-Tretrollerfahrende voran auf den aufgeweiteten Radaufstellstreifen aufstellen. Dies könnte daran liegen, dass an längeren aufgeweiteten Radaufstellstreifen die nachkommenden Fahrenden ohne deutliche Verschwenkung (mit leichtem Ausweichen) die aufgeweiteten Radaufstellstreifen vorne reibungslos erreichen konnten. Außerdem bestand ein ausreichender Abstand zwischen Kfz und bereits aufgestellten Rädern und E-Tretrollern an längeren aufgeweiteten Radaufstellstreifen, damit die nachkommenden Rad- oder E-Tretrollernutzenenden einfacher durchfahren und sich vorne aufstellen konnten.

Neben den infrastrukturellen Einflüssen zeigt Abbildung A14.3 auch einen Trend für das vorrangige Aufstellen an aufgeweiteten Radaufstellstreifen bei den E-Tretrollernutzenden gegenüber den Nutzenden anderer Fahrzeuge. Dagegen verzeichneten die Lastenradfahrende trotz kleiner Stichprobe einen hohen Anteil des Aufstellens an zuführenden Radverkehrsstreifen. Allerdings ist es bei solch einem Trend der E-Tretroller schwierig, wie in Abbildung A14.3 abzulesen, da die Rahmenbedingungen z.B. die Anzahl der bereits an dem aufgeweiteten Radaufstellstreifen aufgestellten Fahrzeugen, unbekannt waren. Deswegen wird eine vertiefende Auswertung durchgeführt (Tabelle A14.1), ob ein vorrangiges Aufstellen bei den E-Tretrollernutzenden durch eine „subjektive" Entscheidung oder erleichterte „objektive" Bedingung (z.B. leerer zuführender Radverkehrsstreifen) ausgelöst wurde.

Beim Verhalten des Voran-Aufstellens zeigten die E-Tretrollerfahrenden einen deutlich höheren Anteil bei der Bedingung „zwischen aufgestellten Fahrzeugen kanalisieren" als die Fahrradfahrenden. Natürlich verzichteten die meisten Nutzenden bei der Bedingung „sehr schwierig voran aufstellen" darauf, sich vorne aufzustellen. Hierbei bestand kaum ein Unterschied zwischen Fahrrad- und E-Tretrollernutzenden. Im Vergleich dazu legten die Fahrradfahrenden einen eindeutig höheren Anteil bei der Bedingung „reibungslos voran aufstellen" hierbei dar. Das bedeutet, dass rund ein Drittel der Fahrradfahrenden (35%) das Aufstellen auf den zuführenden Radverkehrsstreifen trotz der freien aufgeweiteten Radaufstellstreifen auswählte. Dagegen zeigten die E-Tretrollerfahrenden den niedrigsten derartigen Anteil zwischen den Nutzenden aller Fahrzeugtypen. Dadurch lässt sich ableiten, dass sich **die E-Tretrollerfahrenden lieber voran aufstellten**. Einerseits braucht das Betreiben der E-Tretroller keine Pedalbewegung und daher wurde eine Kanalisierung zwischen den aufgestellten Fahrzeugen vereinfacht. Andererseits konnten die E-Tretrollerfahrenden infolge des Gasgriffs eher schnell anfahren, was durch das vorrangige Aufstellen und den höheren Anteil der Nichtannahme der aufgeweiteten Radaufstellstreifen nachgewiesen wurde.

Darüber hinaus sind die Lastenräder im Wirtschaftsverkehr (Velotaxi in den Fällen) bezüglich der Erreichbarkeit der aufgeweiteten Radaufstellstreifen kurz zu diskutieren, obwohl keine zwei Lastenräder zugleich auftauchten wie zuvor besprochen. Wie in Abbildung 7.19 illustriert, besetzt das Velotaxi die schmalen Schutzstreifen (hierbei Breite 1,25 - 1,50 m) fast vollständig. Falls Kfz vorhanden waren, bestand kaum die Möglichkeit für nachkommende Rad- und E-Tretrollerfahrende, den aufgeweiteten Radaufstellstreifen zu erreichen (Abbildung 7.19 links). Umgekehrt bot sich eine ähnliche Situation. Wenn sich ein Radfahrender bereits an dem aufgeweiteten Radaufstellstreifen aufstellte, konnte das Velotaxi nicht auch vorne positioniert werden (Abbildung 7.19 rechts).

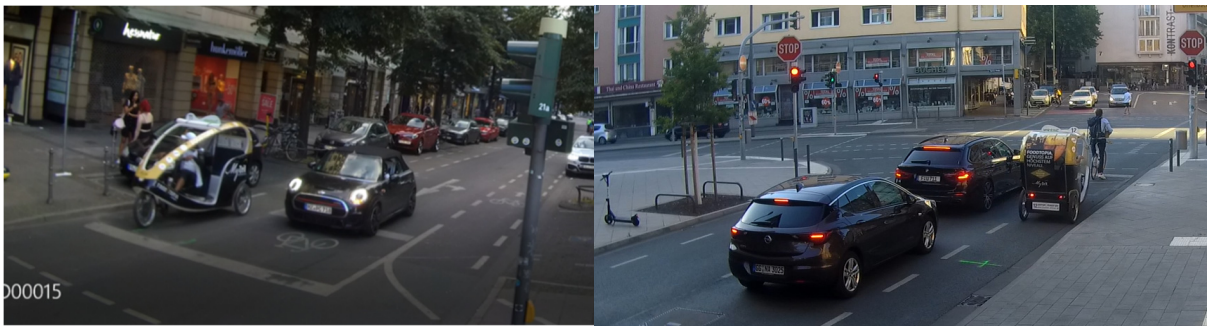



**Abbildung 7.19: Blockieren der zuführenden schmalen Radverkehrsstreifen durch Velotaxis [eigene Aufnahme]**

## Zugänglichkeit zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen

Zum Schluss wird noch die Zugänglichkeit der aufgeweiteten Radaufstellstreifen thematisiert. In Anhang 14.4 werden die Ergebnisse der Zugänglichkeit zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen graphisch gezeigt. Die Zugänglichkeit wurde durch Beeinflussungen sowie Behinderungen durch ruhenden als auch fließenden Verkehr verursacht. Tabelle A14.2 verdeutlicht, dass die Knotenpunktzufahrt (36) die höchste Behinderungsquote (21,9) und einen hohen Anteil der Behingerungsstufe B II (16%) hatte. Darauffolgend erwies die Knotenpunktzufahrt (38) auch eine höhere Behinderungsquote (6,6%). Die beiden Knotenpunktzufahrten wurden mit den Parkständen in der Nähe von aufgeweiteten Radaufstellstreifen gekennzeichnet. Tabelle A14.3 und Abbildung A14.6 verdeutlicht, dass die Behinderungen

durch den **ruhenden Verkehr** sowie die **Ein- und Ausparkvorgänge des Kfz-Verkehrs** am häufigsten verursacht wurden. Zur vertiefenden Analyse der Behinderungen und ihrer Ursachen wird der Fokus auf die Knotenpunktzufahrt (36) mit dem größten Problem und ausreichender Stichprobe gelegt.

Anders als an den freien Strecken, war der Verkehrsfluss an der Knotenpunktzufahrt viel dichter, besonders an einer solchen Knotenpunktzufahrt mit langer Sperrzeit. Falls der Radverkehrsstreifen durch ein- oder ausparkende Kfz blockiert wurde, hatten Rad- oder E-Tretrollerfahrende nicht genügend Platz auszuweichen, da der Fahrstreifen in der Sperrzeit durch wartende Kfz besetzt wurde. Dies ist durch eine höhere Behinderungsquote und einen höheren Anteil der Behinderungsstufe B II im Vergleich zu der Strecke (22) nachzuweisen. **Je näher der Abstand zum Knotenpunkt war, umso gravierende Behinderungen wurden erfasst**. Fast alle Behinderungen der Behinderungsstufe B II passierten in der Nähe von aufgeweiteten Radaufstellstreifen. Dabei mussten die Rad- und E-Tretrollerfahrenden absteigen sowie abwarten (Abbildung A14.7) oder zwischen den Fahrzeugen mit den Füßen auf dem Boden „kanalisieren“. Alternativ benutzten sie die anderen Verkehrsflächen (z.B. Gehweg, Fahrstreifen im Gegenverkehr). Das war für Lastenradfahrende besonders schwierig infolge der großen Fahrzeugabmessung und Instabilität (Abbildung A14.9).

Umgekehrt konnten die ein- und ausparkenden Kfz nur die Zeitlücke zwischen Abfließen und Ankunft des fließenden Kfz-Verkehrs für die Parkvorgänge nutzen. Leider war diese Zeitlücke wegen langer Sperrzeit und hohen Kfz- und Radverkehrsaufkommens sehr kurz. Manchmal konnten nicht alle Kfz in einer Grünzeit abfließen. Deswegen dauerten die Parkvorgänge mehrere Umlaufzeiten an. Die ankommenden Kfz und Räder oder E-Tretroller verhinderten und erschwerten die Parkvorgänge, zugleich behinderten die Parkvorgänge die Erreichbarkeit der aufgeweiteten Radaufstellstreifen. Dadurch wurde ein negativer Zyklus abgebildet.

Im Weiteren wirkten sich die unpräzise parkenden Kfz zusammen mit dem wartenden fließenden Verkehr auf die Erreichbarkeit der aufgeweiteten Radaufstellstreifen aus. Die fließenden Kfz nutzten teilweise den Radverkehrsstreifen, um die Radfahrenden in der Gegenrichtung oder Parkvorgänge auf der linken Straßenseite zu vermeiden. Danach warten sie in der nachfolgenden Sperrzeit direkt auf dem Radverkehrsstreifen. Wenn die parkenden Kfz in dem Fall zu weit in den Radverkehrsstreifen überragten, wurde die Erreichbarkeit zu den aufgeweiteten Radaufstellstreifen eindeutig verschlechtert (Abbildung A14.8)

Neben den vorliegenden Problemen sind die Behinderungen zwischen Rad- und E-Tretrollerfahrenden mit geringen Anteilen gekennzeichnet. Solche Behinderungen waren überwiegend mit der fehlenden Überholmöglichkeit verbunden. An den Strecken fuhren die Kfz oft in einem Pulk vorbei, dabei konnten die an den schmalen Radverkehrsstreifen fahrenden Rad- oder E-Tretrollernutzenden den Kfz-Fahrstreifen zum Überholen (regelwidrig) benutzen. Allerdings wurde der Fahrstreifen in der Nähe vom Knotenpunkt oft durch wartende Kfz besetzt, was das Überholen besonders erschwerte. In der Videoerfassung wurde eine langsam fahrende Lastenradnutzende mit instabiler Fahrweise hinter einem älteren Fahrradfahrenden zwischen den Parkständen und wartenden Kfz erfasst. Aufgrund fehlender Überholmöglichkeit konnte die Lastenradnutzende nur absteigen, da das Lastenrad infolge der geringen Geschwindigkeit und vorhandenen Hindernissen (Parken) instabiler wurde.

Aus der vorangegangenen Analyse folgt, dass die Lastenradfahrenden größere Probleme mit der Erreichbarkeit der aufgeweiteten Radaufstellstreifen an solch verengten Verkehrsflächen mit hohem Verkehrsaufkommen hatten. Daher verzeichneten die Lastenradfahrenden trotz der kleinen Stichprobe eine höheren Anteil der Behinderungsstufe B II (gelb inTabelle A14.2).

Neben der vorliegenden infrastrukturellen Merkmale und Verhalten der Rad- oder E-Tretrollernutzenden, muss unter anderem das Verhalten der Kfz-Fahrenden besprochen werden, das die Ausnutzung der aufgeweiteten Radaufstellstreifen beeinflusste. Ob Kfz-Führende die aufgeweiteten Radaufstellstreifen freihalten, ist einer der entscheidenden Faktoren für die Nutzung der aufgeweiteten Radaufstellstreifen durch Rad- oder E-Tretrollernutzende. In Angenendt et al. (2005) wurde das Aufstellverhalten der Kfz-Führenden untersucht und bereits festgelegt, dass das längere Maß und eine Einfärbung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen den Respekt auf aufgeweiteten Radaufstellstreifen von Kfz-Fahrenden erhöhen konnten. Diese Aussage wird hier nicht weiter erläutert. Bei der Videoerfassung wurde zusätzlich beobachtet, dass die Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen durch Kfz mit dem **verzögerten Abfließen** in den Knotenpunkt verbunden ist. Am Ende der Freigabezeit oder am

Anfang der Gelbzeit fuhren die Kfz langsam durch den aufgeweiteten Radaufstellstreifen und an diesem Zeitpunkt kam gerade „ROT“. Dabei hielten die Kfz direkt auf dem aufgeweiteten Radaufstellstreifen. An den kürzeren und schmalen aufgeweiteten Radaufstellstreifen wurden mehr als die Hälfte der Aufstellbereiche durch Kfz belegt.

## 7.3 Führung an Strecken

### 7.3.1 Führung mit Fußverkehr

**Geschwindigkeit**

Zu Beginn wird die durchschnittliche Geschwindigkeit der Pedelecs ausgewertet, da die höhere Geschwindigkeit für die gemeinsame Führung mit dem Fußverkehr seit längerem kritisiert wird.

Die Durchschnittsgeschwindigkeit am Gehweg war stark vom Fußverkehrsaufkommen abhängig. An der Strecke (42) mit hohem Fußverkehrsaufkommen wurde eine deutlich niedrigere Geschwindigkeit gemessen, während an der Strecke (44) mit niedrigem Fußverkehrsaufkommen eine hohe Geschwindigkeit erfasst wurde. Bemerkenswert war, dass es keine Geschwindigkeitsüberschreitung an der Strecke (44) trotz großer Gehwegbreite und geringem Fußverkehrsaufkommen gab. Allerdings ist zu erwähnen, dass die Strecke (44) an andere Strecken mit abweichender Gehwegbreite und Fußverkehrsaufkommen (z.B. Strecke (43)) angeschlossen ist. Die Befahrbarkeit der angrenzenden Strecken konnte den Einfluss auf die Geschwindigkeit an der Strecke (44) minimieren.

Zudem ist in Tabelle 7.22 aufgefallen, dass die Geschwindigkeit der Pedelecs am Gehweg bei der Führungsform Gehweg „Radfahrer frei“ deutlich höher lag als die Geschwindigkeit der Fahrräder, weil viele schnell fahrende Fahrradnutzende in dem Fall die Fahrbahn nutzten. Solch eine Verkehrsflächenwahl übte Einfluss auf Störungen bei den Interaktionsvorgängen am Gehweg. Zugleich wurde auch eine höhere Geschwindigkeit bei E-Lastenzweirädern erfasst. Die höhere Geschwindigkeit und die größere Fahrzeugabmessung könnten zu Fuß Gehenden abdrängen. Im Zuge der Auswertung wurde festgestellt, dass die Schrittgeschwindigkeit an Gehwegen „Radfahrer frei“ weder bei den Fahrradfahrenden noch bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden eingehalten wurde.

**Tabelle 7.22: durchschnittliche Geschwindigkeit bei gemeinsamer Führung mit Fußverkehr [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Strecke | | | Fahrrad | | Pedelec | | Lastenrad | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Führung | Nr. | Breite [m] | ohn Ahn. | mit Ahn. | ohne Ahn. | mit Ahn. | mit El. | E-Zweiräder<br>E-dreiräder | ohne El. |
| Gehweg „Radfahrer frei“ | (40) | 2,10 (2,60) (Gehweg) | 17,50 (n=132) | - | 21,67 (n=27) | - | 23,35 (n=3) | 23,35 (n=3)<br>- | - |
| | | - (Fahrbahn) | 23,08 (n=33) | 16,01 (n=1) | 26,50 (n=8) | - | 25,80 (n=4) | 27,01 (n=3)<br>19,29 (n=1) | - |
| | (41) | 2,50 (3,10) (Gehweg) | 17,85 (n=224) | 15,46 (n=1) | 20,53 (n=32) | - | 20,56 (n=4) | 20,56 (n=4)<br>- | - |
| | | - (Fahrbahn) | 21,26 (n=30) | - | 25,62 (n=2) | - | 22,19 (n=1) | 22,19 (n=1)<br>- | - |
| Gemeinsamer Geh- und Radweg | (42) | 2,80 | 15,42 (n=194) | - | 19,41 (n=15) | 16,28 (n=1) | 17,24 (n=5) | 20,16 (n=3)<br>12,86 (n=2) | 13,29 (n=3) |
| | (43) | 4,00 | 18,06 (n=304) | 15,86 (n=2) | 20,26 (n=30) | - | 20,68 (n=12) | 23,06 (n=7)<br>17,34 (n=5) | 14,34 (n=3) |
| | (44) | 5,50 | 19,09 (n=260) | 12,11 (n=1) | 22,16 (n=12) | 20,62 (n=4) | 16,57 (n=4) | -<br>16,57 (n=4) | 12,91 (n=4) |

**Interaktionsvorgänge**

Anschließend werden die Behinderungen und kritischen Situationen bei Interaktionsvorgängen betrachtet (Tabelle A12.8 in Anhang 12). Die absolute Anzahl der Interaktionen zwischen zu Fuß Gehenden und Lastenrädern ist ziemlich klein. Daraus folgt eine große Abweichung der quantitativen Auswertung. Aus dem Grund ist die Beobachtung des Fahrverhaltens zu integrieren.

Tabelle A12.8 verdeutlicht, dass **erhöhte Konfliktpotenziale durch Pedelecs** überwiegend **an den schmalen Gehwegen** (Strecken (40), (42)) erkannt wurden. Die beiden Strecken charakterisieren sich durch eine ziemlich hohe Rate ((KS+B)R) und Quote ((KS+B)Q) der Behinderungen und kritischen Situationen (in Rot markiert in Tabelle A12.8).

Es ist zu verdeutlichen, dass an der Strecke (40) der Anteil der KS I mit 71% bei den Pedelecs besonders hoch lag (in Tabelle A12.8 grün markiert) gegenüber den Fahrrädern. Das bedeutet, dass sich bei einer Gehwegbreite von weniger als 2,50 m die höhere Geschwindigkeit der Pedelecs eindeutig auf die Anzahl der kritischen Situationen auswirkte. Hierbei spielt die Führungsform wie vorab erwähnt eine wichtige Rolle, dass viele schnell fahrende Fahrradnutzende in dem Fall nicht den Gehweg befuhren. Zudem wurde keine „positive Reaktion“ bei den Pedelecs beobachtet (bei Fahrrädern: 8%). Ergänzend wurde dadurch nachgewiesen, dass an der Strecke (41) ein Stopp der Pedalbewegung bei Pedelecs, das zur „positiven Reaktion“ gehört, für die Vermeidung der kritischen Situation nicht ausreichend war.

An der Strecke (42) mit einer größeren Gehwegbreite verringerte sich der Anteil der KS I drastisch auf 17%. Hierbei wurde ein höherer Anteil der KS II gezeigt als an der Strecke (40). Die KS II wurde durch vermehrte zu Fuß Gehende verursacht und die Anteile der KS II bei den Fahrrädern und Pedelecs waren ähnlich. Aus dem Grund ergibt sich, dass die negative Auswirkung der Pedelecs durch eine erhöhte Geschwindigkeit begründet war, die überwiegend an den schmalen Gehwegen auftrat. Dies ist zum Teil mit der chinesischen Studie konform, dass die Gehwegbreite für die Konflikte zwischen Rad- und Fußverkehr maßgebend ist (Chen und Xie Z.Q. 2009).

Im Weiteren wurde ein hoher Anteil der B II bei den Pedelecs an den Strecken (40) und (42) festgestellt. Dies wurde hauptsächlich durch eine ausgeprägte Reaktion oder eine längere Reaktionszeit der zu Fuß Gehenden beim schnellen Herankommen der Pedelecs deutlich. Wie in Abbildung 7.20 dargestellt, reagierten die zu Fuß Gehenden stark auf den unerwarteten Pedelecfahrenden und sie stoppten das Gehen, um das schnelle Pedelec vorbeifahren zu lassen. An der Strecke (40) löste ein Vorbeifahren oder eine Begegnung von zwei zu Fuß Gehenden bereits die kritischen Situationen und Behinderungen aus. Besonders riskant war das Vorbeifahren, da die zu Fuß Gehenden im Gegensatz zu einer Begegnung nicht genau wussten, woher die Pedelecfahrenden kamen und wohin sie ausweichen konnten.

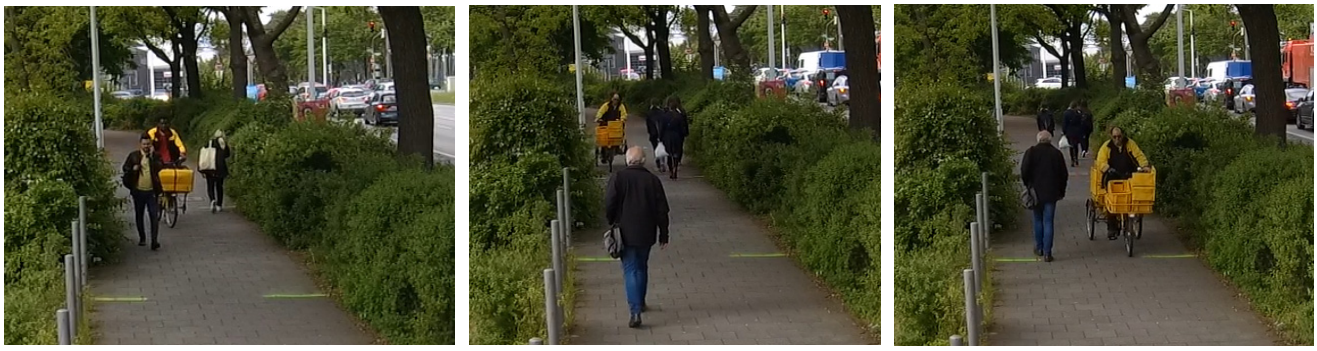
Im Gegensatz dazu war die negative Auswirkung durch Pedelecs an der Strecke (43) mit breitem Gehweg aber auch hohem Fußverkehrsaufkommen nicht deutlich ausgeprägt. Hierbei zeigte sich eine ähnliche Rate bei den Pedelecs (26%) wie auch bei den Fahrrädern (24%) trotz einer relativ höheren Quote bei den Pedelecs (13,3, Fahrrad: 7,5). Am breiten Gehweg wurde eine erkennbare Ausweichmöglichkeit erfasst, die am schmalen Gehweg kaum bestand. Diesem Umstand unterliegt ein hoher Anteil der positiven Reaktion bei den Pedelecfahrenden gegenüber der Strecke (40). Dies wird dadurch deutlich, dass ein Stopp der Pedalbewegung mit der Ausweichmöglichkeit zur Vermeidung der Konflikte ausreichte.

Für die Lastenräder schien bereits bei der Interaktion mit einem einzelnen zu Fuß Gehenden bei einer Gehwegbreite $\leq$ 2,50 m (Strecken (40), (41)) eine Schwierigkeit aufzutreten. Auffällig war auch, dass ein durchgehendes Fahren mit Lastenrädern (besonders Lastendreirädern) zwischen zwei separat (versetzt) laufenden zu Fuß Gehenden an einem Gehweg schmaler als 3,00 m als schwierig angesehen wurde. Dies wurde hauptsächlich an der Strecke (42) beobachtet. Am auffälligsten ist, wie in Abbildung 7.21 (b), (c) präsentiert, dass der Lastenradnutzende zuerst auf die einer Seite und anschließend auf die anderer Seite auswich. Infolge der spezifischen Fahrzeugkonfiguration waren solche schlangenartigen Bewegungen mit dem Lastenrad besonders schwer. Ergänzend wurde nachgewiesen, dass die Behinderungen bei Lastenrädern auch mit einer deutlichen Verringerung der Geschwindigkeit der E-Lastendreiräder stattfindet (in Tabelle 7.22 gelb). Allerdings wurden die Lastenräder, in dem Fall Postbikes, an dieser Strecke generell vor 17 Uhr erfasst, wo das Fußverkehrsaufkommen noch nicht stark war. Falls die Lastenräder in der Spitzenstunde mit hohem Fußverkehrsaufkommen gemeinsam auftreten, wäre die Situation noch kritischer.

Am Ende ist auch die Strecke (41) mit dem schwächsten/niedrigsten Fußverkehrsaufkommen zu besprechen. Aufgrund einer geringen (absoluten) Anzahl der Pedelecfahrenden und zu Fuß Gehenden geschahen nur 4 Interaktionsvorgänge zwischen Pedelecfahrenden und einzelnen zu Fuß Gehenden. Deswegen wurden keine Behinderungen oder kritischen Situationen bei Pedelecfahrenden erfasst. An dieser Strecke wurde die Bedingung zur Anordnung der gemeinsamen Führung mit Fußverkehr in dem

Zeitraum 16:00-17:00 Uhr zum Teil erfüllt, dass die gesamte Anzahl der zu Fuß Gehenden und Radfahrenden unter 100 Nutzenden lag. Dabei wurden oft die Interaktionsvorgänge sowie Behinderungen zwischen den Fahrradfahrenden und zwei oder drei zu Fuß Gehenden beobachtet, da die zu Fuß Gehenden zeitlich nicht gleichmäßig verteilt waren und sie meistens zu zweit oder dritt zusammen kamen. Dies sollte bei der Bemessung der Gehwegbreite bezüglich der gemeinsamen Führung berücksichtigt werden.

**Abbildung 7.20: Konflikt zwischen Pedelecfahrenden und zu Fuß Gehenden an einem 2,10 m breiten Gehweg [eigene Aufnahme]**



(a) (b) (c)

**Abbildung 7.21: Konflikte zwischen Lastenradfahrenden (Postbike) und zu Fuß Gehenden an einem 2,80 m breiten Gehweg [eigene Aufnahme]**

**Vergleich mit der Umfrage**

In der Umfrage (Abbildung A10.29) lag ein hoher Anteil des Sicherheitsempfindens bei den Nutzenden aller Fahrzeugtypen an dem schmalen Gehweg mit weniger Fußverkehrsaufkommen. Inwieweit die Ergebnisse der Videoerfassung zu den Aussagen der Umfrage passten, kam auf die Betrachtungsstrecken an. Wenn die schmale Strecke (41) mit ziemlich wenig Fußverkehrsaufkommen und die breite Strecke (43) betrachtet werden, stimmten die Ergebnisse der Umfrage und der Videoerfassung perfekt überein. Wenn allerdings die schmale Strecke (40) mit relativ geringem Fußverkehrsaufkommen mit der Strecke (43) verglichen wurde, wurden eine deutlich höhere Rate und Quote der kritischen Situationen und Behinderungen an der schmalen Strecke (40) nachgewiesen. In der Umfrage wurde keine klare Definition über „breit/ schmal“ oder „mehr/ weniger“ gegeben. Dass die im Vergleich zum Fahrrad erhöhten Risiken mit dem Pedelec am schmalen Gehweg in der Videoerfassung analysiert wurden, ist aus der Umfrage nicht auszuwerten, weil die Nutzenden aller Fahrzeugtypen denselben Trend der Veränderung des subjektiven Sicherheitsempfindens abbildeten.

### 7.3.2 Duale Führungsform

**Verkehrsflächenwahl**

Zur Auswertung der dualen Führungsform wird in erster Linie die Verkehrsflächenwahl ermittelt. Insgesamt nutzten 20% der Pedelecfahrenden und 17% der Lastenradfahrenden die Fahrbahnführung, während bei den Fahrradfahrenden 15% die Fahrbahn befuhren (Abbildung 7.22).

| Summe | Fahrbahn (Mischverkehr/ Schutzstreifen) | Seitenraum (Radweg/ Gehweg „Radfahrer frei“) |
|---|---|---|
| Fahrrad (n=3106) | 15% | 85% |
| Pedelec (n=362) | 20% | 80% |
| Lastenrad (n=86) | 17% | 83% |
| E-Tretroller (n=53) | 30% | 70% |

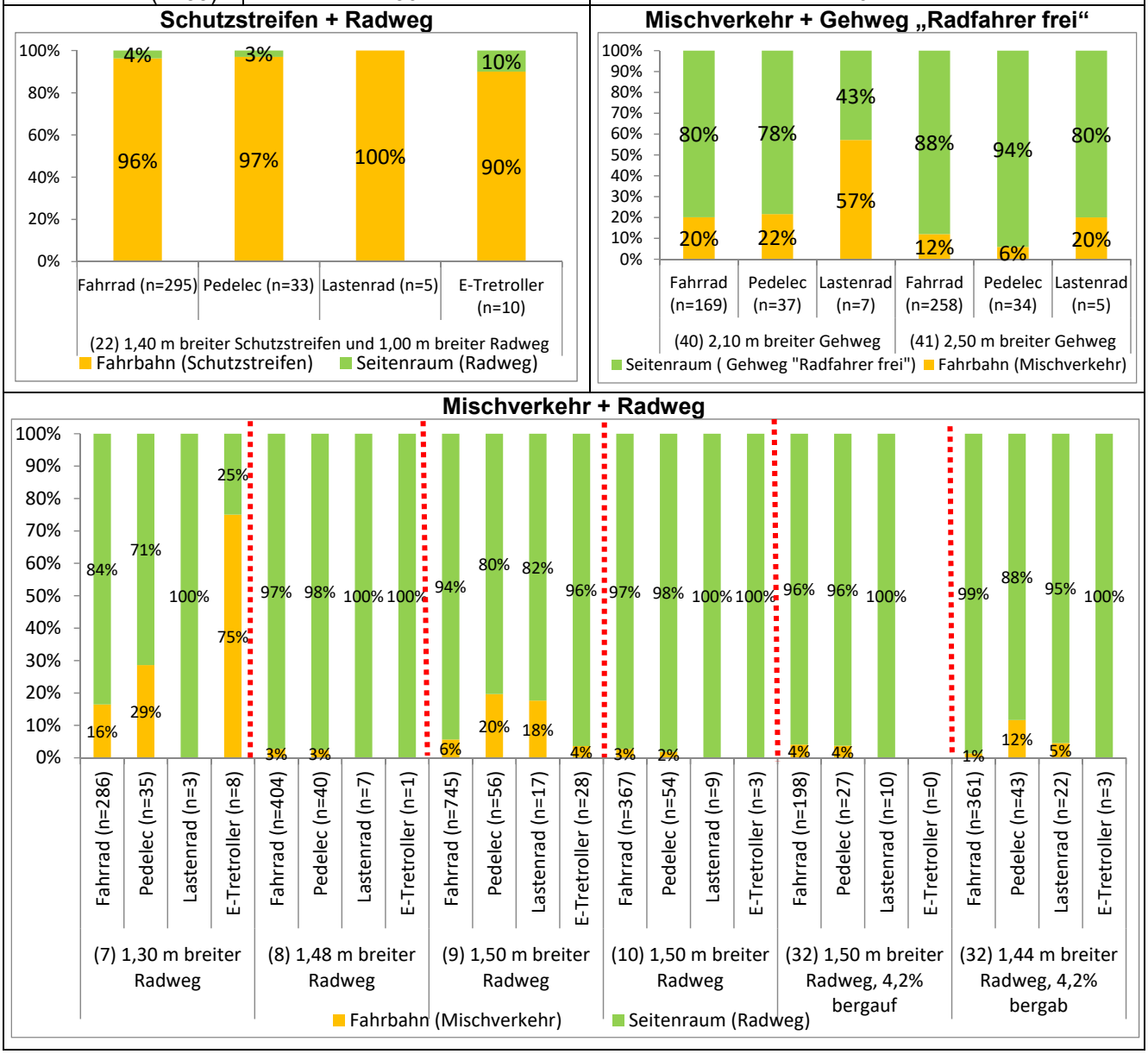



**Abbildung 7.22: Zusammenführung der Verkehrsflächenwahl bei dualen Führungsformen (n: Anzahl der Nutzenden)**

An den Radwegen mit der vorangehenden Führungsform auf der Fahrbahn (Strecken (9), (22) und (32) bergab) stellten die Pedelec- und Lastenradnutzenden den eindeutig höheren Anteil der Fahrbahnnutzenden. Dies ist auf die Vermeidung der Verschwenkung infolge höherer Geschwindigkeiten und auf die spezifische Fahrzeugkonfiguration zurückzuführen. Diese Tendenz ließ sich besonders bei den Lastenradfahrenden feststellen. An den Radwegen mit der vorausgehenden Führung im Seitenraum (Strecken (8) - (10) und (32) bergauf) fuhren kaum Lastenradfahrende auf der Fahrbahn.

An den Radwegen mit der vorausgehenden Führungsform im Seitenraum gab es kaum einen Unterschied zwischen den Anteilen mit Pedelecs und mit Fahrrädern auf der Fahrbahn an Strecken mit höherer Kfz-Verkehrsstärke (Strecken (8), (10)) im Vergleich zu einer niedrigeren Kfz-Verkehrsstärke ((Strecke (7)), da die sportlichen Fahrradfahrenden oft unabhängig von der Verkehrsbedingung (regelwidrig) die Fahrbahn nutzten. Angesichts der Auswirkung der vorangehenden Führungsform könnte die

Markierung an dem Punkt des Führungsformwechsels eine Rolle spielen. Der Radweg der Strecke (8) ohne Benutzungspflicht wurde durch die Radverkehrsfurt am Knotenpunkt an einen Radweg mit Benutzungspflicht angeschlossen wie in Abbildung 7.23 dargestellt. Die Radverkehrsfurt orientiert sich unmittelbar an dem Radweg der Strecke (8). Solch eine Markierung weist darauf hin, dass die Radfahrenden den Radweg benutzen sollen.

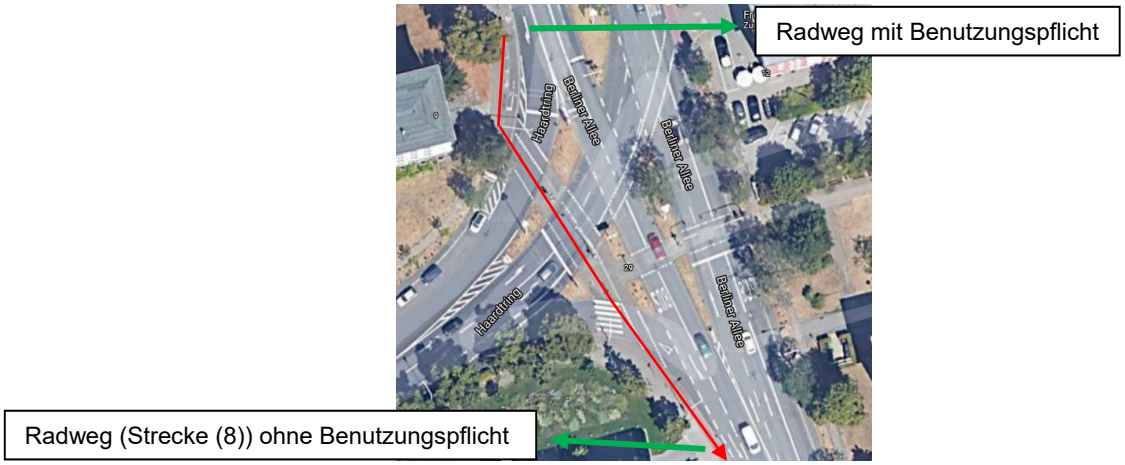



**Abbildung 7.23: Markierung am Führungsformwechsel richtet sich nach dem Radweg ohne Benutzungspflicht**

Angesichts der Auswirkungen der Radwegbreite auf die Verkehrsflächenwahl ist die Ableitung einer Aussage schwierig, weil z.B. Pedelecs einen höheren Anteil der Fahrbahnnutzung an den Strecken (7), (9) und (32) mit verschiedenen Breitenniveaus aufwiesen.

Bei der Regelung Gehweg „Radfahrer frei“ wurden nur Radfahrende erfasst. An den beiden Strecken wurden unterschiedliche Ergebnisse bei Pedelecfahrenden beobachtet. An der Strecke (40) mit einer höheren Kfz-Verkehrsstärke und der vorausgehenden Führungsform im Seitenraum lag ein höherer Anteil der Fahrbahnnutzung bei den Pedelecs (21%) im Vergleich zu den Fahrrädern (19%). Bei einer niedrigeren Kfz-Verkehrsstärke an der Strecke (41) und der vorhergehenden Führungsform auf der Fahrbahn wurde ein geringer Anteil mit Pedelecs (6%) gegenüber den Fahrrädern (11%) festgestellt. Dies zeigt, dass das Fußverkehrsaufkommen einen mäßigen Einfluss auf Verkehrsflächenwahl der Pedelecfahrenden hatte. Bei Lastenradfahrenden entwickelte sich ein anderes Bild für die Verkehrsflächenwahl an Gehwegen mit „Radfahrer frei“ als an Radwegen. Trotz geringer Stichproben tendierten **die Lastenradfahrenden** an **Gehwegen „Radfahrer frei“, auf die Fahrbahn auszuweichen**. Diese Tatsache stimmt mit der subjektiven Wahrnehmung in der Befragung von Wolfermann (2019b) überein, dass die Lastenradfahrenden die Konflikte mit zu Fußgehenden vermeiden möchten.

Die Betrachtung aller Strecken zeigt, dass die Strecke (10) mit drei Kfz-Fahrstreifen pro Fahrtrichtung den niedrigsten Anteil der Fahrbahnnutzung unter den ebenen Strecken aufweist. Die Anzahl der Fahrstreifen gibt generell einen ersten Hinweis des Kfz-Verkehrsaufkommens. Die Strecke mit drei Kfz-Fahrstreifen vermittelt ein hohes Kfz-Verkehrsaufkommen und bedingt so einen geringeren Anteil der Fahrbahnnutzung. Nur an der Strecke (8) mit einem Kfz-Fahrstreifen lag ein ähnlich niedriger Anteil der Fahrbahnnutzung wie an der Strecke (10) vor. Wie vorab erwähnt, wird dies vor allem durch die auf den Radweg gerichtete Markierung beeinflusst.

Grundsätzlich wurde **ein Trend für die Bevorzugung der Fahrbahnführung der Pedelecfahrenden gegenüber den Fahrradfahrenden bestätigt**. Die Tendenz war **nicht so deutlich** bzw. je nach verkehrlichen und infrastrukturellen Merkmalen waren die Unterschiede des Anteils der Fahrbahnführung mit dem Pedelec und Fahrrad deutlicher, da die sportlich Fahrradfahrenden nach wie vor die Fahrbahnführung bevorzugen. Bei den **Lastenradfahrenden** wurde generell **keine Bevorzugung der Fahrbahn** festgestellt, wie in der Studie von Schärfer et al. (2020), da der Radweg für die Lastenradfahrenden attraktiv ist (Wolfermann 2019a). Allerdings wurde ein **Vorzug der Fahrbahnführung statt Gehweg „Radfahrer frei“** mit dem **Lastenrad** nachgewiesen.

## Interaktionsvorgänge

Zudem werden die Interaktionsvorgänge (Überholabstand durch Kfz-Verkehr) im Mischverkehr auswertet (Tabelle A12.1). Insgesamt bestand eine geringe Anzahl der Interaktionsvorgänge zwischen Kfz und Pedelecs oder Lastenrädern. Daher werden die Interaktionsvorgänge ohne die Unterscheidung von Fahrzeugtypen dargestellt. An den Strecken (7) und (8) mit nur **einem Fahrstreifen pro Fahrtrichtung** zeigte sich eine deutlich höhere Rate (KSR) und Quote (KSQ) der kritischen Situationen, da die überholenden Kfz an den Strecken mit mehreren Fahrstreifen den angrenzenden Fahrstreifen benutzten. Es ist auffällig, dass dort ein hoher Anteil der KS II (kritische Überholabstand < 1,0 m) auftrat, anders als an den Strecken mit Radverkehrsanlagen (Strecken (1)-(6)). Das ist darauf zurückzuführen, dass bei der Fahrbahnführung viele (konservative) Kfz-Führende auf das Überholen verzichteten und hinter den Rad- und E-Tretrollerfahrenden fuhren. Dahingegen überholten die provokativ Kfz-Führenden die Rad- und E-Tretrollerfahrenden mit einem ziemlich engen Überholabstand. Darüber hinaus verzeichnete die Strecke (41) eine höhere Rate der kritischen Situationen. Dies wird durch ein **höheres Kfz**-Verkehrsaufkommen beim **Rechtsabbiegen** verursacht. Hierbei konkurrierten die rechtsabbiegenden Kfz mit den Rad- und E-Tretrollerfahrenden, was enge Überholabstände verursachte (Abbildung 7.24).

An der Strecke (9) kam es beinahe zu einem Unfall mit dem Pedelec im Längsverkehr. Im Stau fuhr das Kfz langsam los, dementsprechend startete der folgende ältere Pedelecfahrende auch. Plötzlich bremste das Kfz infolge des Staus wieder. Dabei bremste der Pedelecfahrende zu spät ab und fuhr fast auf das Kfz auf. Aus dem einzelnen Fall ist schwierig zu beurteilen, ob Pedelecfahrende, besonders ältere Fahrende, das Bremsen des Pedelecs falsch eingeschätzt haben.

**Abbildung 7.24: rechtsabbiegendes Kfz überholt den Fahrradfahrenden mit einem sehr engen Abstand an der Strecke (41) [eigene Aufnahme]**

## Vergleich mit der Umfrage

Die Verkehrsflächenwahl der dualen Führungsform ist in der Videoerfassung zum großen Teil mit dem Ergebnis der Umfrage (Abbildung A10.30) konform.

In der Umfrage wurde ein höherer Anteil der Fahrbahnführung bei den Pedelecnutzenden registriert als bei den Fahrradnutzenden. Natürlich wurde der Unterschied an manchen Strecken eindeutig nachgewiesen, an manchen Strecken allerdings nicht. In der Videoerfassung wurde generell eine Bevorzugung der Fahrbahnnutzung der Pedelecfahrenden erfasst und je nach baulichen und verkehrlichen Merkmalen war der Trend deutlicher oder weniger deutlich ausgeprägt.

Bei den Lastenradfahrenden wurde eine deutliche Bevorzugung der Fahrbahnführung im Gegensatz zum Gehweg „Radfahrer frei“ sowohl in der Umfrage als auch in der Videoerfassung festgestellt. Die Bevorzugung der Fahrbahnführung beim Radweg ohne Benutzungspflicht wurde weder in der Umfrage noch in der Videoerfassung registriert.

Für E-Tretroller bestand keine duale Führungsform. In der Umfrage wurde allerdings ein sehr geringer Anteil mit Bevorzugung der Fahrbahnführung erfasst, der in der Umfrage viel niedriger war als in der Videoerfassung an Strecke (7), aber äquivalent zur Strecke (9). Natürlich wird in der Umfrage bei den E-Tretrollerfahrenden vor allem die Führung im Seitenraum bevorzugt. Diese Tatsache wurde mit dem Thema „Breite von Radverkehrsanlagen“ in der Videoerfassung bestätigt.

## 7.4 Führung an Knotenpunkten

### 7.4.1 Zwischenzeit (Einfahrzeit)

Für die Überprüfung der Zwischenzeit wird das Pedelec fokussiert. Außerdem wurde durch die vorherigen Untersuchungen festgestellt, dass die Geschwindigkeit von E-Lastenrädern ziemlich hoch ist, besonders an den Gefällestrecken. Deswegen werden E-Lastenräder bei der Analyse miteinbezogen. Die Strecke (32), die zum Knotenpunkt führt, weist ein Einfahrverhalten am Gefälle auf, was vergleichbar mit der Knotenpunktzufahrt (36) ist.

Die Geschwindigkeit $V_{15}$ von Fahrrädern mit 6,33 m/s an der Knotenpunktzufahrt ohne bemerkbare Längsneigung ist mit der $V_{15}$ von Fahrrädern mit 6,18 m/s in der alten Untersuchung von Gleue (1974) identisch. Die $V_{15}$ von Pedelecs oder Lastenrädern unabhängig von der Längsneigung lag um ca. 0,7 m/s höher als die $V_{15}$ von Fahrrädern (Tabelle 7.23).

Für die Auswertung der höheren Einfahrgeschwindigkeit durch Pedelecs und Lastenräder spielt der Anteil der beiden Verkehrsmittel eine wichtige Rolle, da die Zwischenzeit selbst eine Wahrscheinlichkeit darstellt. Mit einem Anteil von ca. 20% ist die $V_{15}$ aller Fahrzeuge um 0,1 - 0,2 m/s gestiegen gegenüber der $V_{15}$ der Fahrräder. Das bedeutet, dass die Erhöhung der Einfahrgeschwindigkeit für die Zwischenzeitenberechnung in dem Fall nicht benötigt wird.

**Tabelle 7.23: Die $V_{15}$ je nach Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Fahrzeuge)**

| Knotenpunktzufahrten | Fahrzeugtypen | $V_{15}$ [km/h] (m/s) | Anteil von Pedelecs und E-Lastenrädern |
|---|---|---|---|
| (36) keine bemerkbare Längsneigung | Fahrrad ohne Anhänger (n=116) | 22,79 (6,33) | 18% |
| | Pedelec ohne Anhänger (n=22) | 25,46 (7,07) | |
| | **Summe[1] (n=144)** | **23,54 (6,54)** | |
| (32) Gefälle 4,2% | Fahrrad ohne Anhänger (n=114) | 28,10 (7,81) | 22% |
| | Pedelec ohne Anhänger (n=22) | 30,42 (8,45) | |
| | E-Lastenrad (n=11) | 30,83 (8,56) | |
| | **Summe[1] (n=153)** | **28,45 (7,90)** | |

[1] „Summe“ beinhaltet alle Fahrzeuge, die Radverkehrsanlagen benutzen dürfen

### 7.4.2 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretroller)

**Berücksichtigung der Vorfahrt**

Zur Analyse der Konflikte zwischen den geradausfahrenden Rad- oder E-Tretrollernutzenden und rechts abbiegenden Kfz-Führenden wird zunächst betrachtet, ob und inwieweit die Vorfahrt von den rechts abbiegenden Kfz-Fahrenden gewährt wird. Im Text zeigt sich die Zusammenführung der Ergebnisse aller Knotenpunktzufahrten. In Anhang 12.3 sind die Ergebnisse einzelner Knotenpunktzufahrten zu vergleichen.

Insgesamt lagen die Anteile der Missachtung der Vorfahrt durch Kfz-Fahrende bei den Pedelec- (42%) und Lastenradfahrenden (44%) genauso hoch wie bei den Fahrradfahrenden (44%) (Tabelle 7.24). Dagegen lag der Anteil (61%) der **Missachtung der Vorfahrt bei den E-Tretrollerfahrenden deutlich höher**. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Geschwindigkeit der E-Tretroller wegen der fehlenden Pedalmöglichkeit von den Kfz-Fahrenden nicht richtig eingeschätzt wurde.

Wird die Vorfahrtsregelung an den einzelnen Knotenpunktzufahrten betrachtet (Abbildung A12.6 in Anhang 13), kristallisiert sich an den Knotenpunktzufahrten (47) und (48) mit ziemlich langem Verflechtungsbereich heraus, dass es selten zum Gewähren der Vorfahrt kommt. Nur bei der Hälfte der Rad- oder E-Tretrollernutzenden wurde die Vorfahrt gewährt. Bei einem langen Verflechtungsbereich hatten die Kfz-Führenden ausreichende Wegelängen, um das Kfz zu beschleunigen und vor den Rad- oder E-Tretrollerfahrenden rechts abzubiegen oder den Fahrstreifen zu wechseln.

Besonders folgenschwer wird in Abbildung 7.25 dargestellt, dass die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden zwischen zwei Fahrzeuge gerieten. In dem Fall gewährte das Kfz 1 das Durchfahren des Radfahrenden 1. Danach wechselte das Kfz 1 den Fahrstreifen vor der Ankunft des Radfahrenden 2. Zugleich ergriff

das Kfz 2 die Chance, hinter dem Radfahrenden 2 den Fahrstreifen zu wechseln. Dabei musste das Kfz 1 infolge des vorher langsam fahrenden Radnutzenden 1 noch bremsen und blockierte den Radfahrstreifen. Das Bremsen von Kfz 1 könnte auch durch den Rückstau auf dem Rechtsabbiegefahrstreifen ausgelöst werden. Die Blockierung des Radfahrstreifens verhinderte das Durchfahren des Radfahrenden 2. Manchmal wartet das Kfz 1 auf das Vorbeifahren des Kfz 2, wobei in diesem Fall der Radfahrstreifen länger blockiert wurde. Bei einem hohen Kfz- und Radverkehrsaufkommen entstand daraus eine ungeordnete Verkehrssituation.

Außerdem kommt es an der Knotenpunktzufahrt (49) zu einem eindeutig höheren Anteil der Missachtung der Vorfahrt bei Pedelecs und Lastenrädern als bei Fahrrädern. Das ist eng mit der Geometrie der Knotenpunktgestaltung verknüpft und wird in der Beeinträchtigung der Interaktionsvorgänge ausführlicher erläutert.

**Tabelle 7.24: Gewähren der Vorfahrt**

| | Interaktionsvorgänge | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
|---|---|---|---|
| Summe | Fahrrad (n=970) | 56% | 44% |
| | Pedelec (n=97) | 58% | 42% |
| | Lastenrad (n=25) | 56% | 44% |
| | E-Tretroller (n=41) | 39% | 61% |

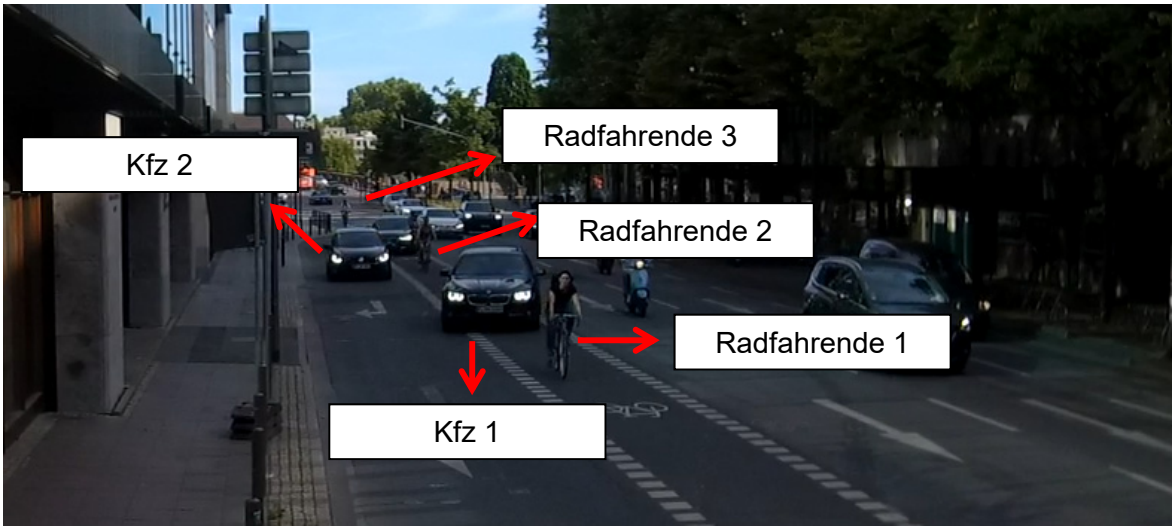



**Abbildung 7.25: Radfahrende geraten zwischen zwei Fahrzeuge in langen Verflechtungsbereichen [eigene Aufnahme]**

## PET-Wert

Anschließend wird der PET-Wert je nach der Achtung der Vorfahrt besprochen. Tabelle 7.25 weist darauf hin, dass beim Gewähren der Vorfahrt der Anteil von PET≤1,5 s viel höher als beim Nicht-Gewähren der Vorfahrt lag. Das folgte daraus, dass die Kfz, die auf das Durchfahren der Rad- oder E-Tretrollernutzenden warteten, nach dem Vorbeifahren stark beschleunigten. Natürlich war der kleinere PET-Wert beim Gewähren der Vorfahrt generell nicht risikoreich, weil das Normalverhalten dabei kaum beeinträchtigt wurde.

Der PET-Wert wird hauptsächlich bei der Missachtung der Vorfahrt interessant. Insgesamt weisen die Pedelec- und Lastenradfahrenden keinen Unterschied der Anteile vom PET-Wert≤1,5 s (starke Konflikte) zu den Fahrradfahrenden auf. Allerdings verzeichneten die Pedelecfahrenden (61%) einen höheren Anteil von PET-Werten „> 1,5 und ≤ 3,0 s“ als die Fahrradfahrenden (46%). Den E-Tretrollerfahrenden wurde öfter die Vorfahrt nicht gewährt, jedoch konnte kein höherer Anteil von PET≤1,5 s festgestellt werden.

Angesichts der Merkmale der Knotenpunktgestaltung (Abbildung A12.7 in Anhang 12) zeigen die Knotenpunktzufahrten (48) und (49), an denen der Anteil der Missachtung der Vorfahrt beträchtlich war, keinen hohen Anteil mit kleinem PET-Wert (≤1,5 s). Im Vergleich dazu legten die Knotenpunktzufahrten

(46) und (49) grundsätzlich höhere Anteile von PET≤1,5 s dar. An den Knotenpunktzufahrten (46), (49) und (50) trafen die Kfz-Führenden die Entscheidung, auf die Vorfahrt direkt neben dem Konfliktpunkt zu achten und dabei entstand eine sehr kleine Zeitspanne (PET-Wert) zwischen verlassendem Kfz und ankommenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden. Aber an der Knotenpunktzufahrt (50) gibt es eine, neben der Radverkehrsfurt liegende, lange Fußgängerfurt. Dabei mussten die Kfz-Fahrenden auf die Vorfahrt des Fußverkehrs achten und fuhren nach der Überquerung des Fußverkehrs los. Deswegen wurde der geringere Anteil von PET≤1,5 s erfasst. Dabei ist auffällig, dass an den Knotenpunktzufahrten (46) und (49) die Anteile von PET≤1,5 s bei Fahrradfahrenden höher ist als bei Pedelecfahrenden.

Aus der Achtung der Vorfahrt und dem PET-Wert ergibt sich, dass **eine Geschwindigkeitsunterschätzung von Kfz-Führenden bei den Pedelecs für Rechtsabbiege-Unfälle generell nicht verifiziert werden kann**. Allerdings wurde bei der Videoerfassung beobachtet, dass das Vorfahrtsrecht bei älteren Pedelecfahrenden öfter durch die Kfz nicht beachtet wurde. Aus dem Grund wurde eine Achtung der Vorfahrt und PET-Stufe bei den Fahrrad- und Pedelecfahrenden bei augenscheinlich älteren Personen als 65 Jahren als Exkurs ausgewertet. Tabelle 7.26 verdeutlicht trotz der kleinen Stichprobengröße, dass der Anteil der Missachtung der Vorfahrt bei älteren Pedelecfahrenden eindeutig höher und der Anteil des PET-Wert≤1,5 s bei den alten Pedelecfahrenden ebenso leicht höher lagen als bei den Fahrradfahrenden. Aus der Analyse folgt die Aussage, dass die Unterschätzung der Geschwindigkeit vor allem **bei alten Pedelecnutzenden** vorkam. Jüngere Pedelecfahrende erlangten die Aufmerksamkeit besser durch starkes Pedalieren und die dadurch entstandene Geschwindigkeit. Im Vergleich dazu hatten die alten Pedelecfahrenden eine niedrige Pedalfrequenz, dank der Elektrounterstützung allerdings keine (besonders) niedrigere Geschwindigkeit. Deswegen wurde die Vorfahrt den Pedelecfahrenden im höheren Alter öfter verwehrt oder erlangte eine kleine PET-Stufe gegenüber den älteren Fahrradfahrenden.

**Tabelle 7.25: Stufe der PET-Werte (n:Anzahl der Interaktionen)**

| Summe | Vorfahrt gewährt | | | | Vorfahrt nicht gewährt | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Interaktion / PET-Stufe | ≤ 1,5 s | > 1,5 und ≤ 3,0 s | > 3,0 und ≤ 5,0 s | Interaktion / PET-Stufe | ≤1,5 s | > 1,5 und ≤ 3,0 s | >3,0 und ≤ 5,0 s |
| | Fahrrad (n=462) | 48% | 37% | 14% | Fahrrad (n=359) | 13% | 46% | 42% |
| | Pedelec (n=47) | 32% | 45% | 23% | Pedelec (n=36) | 14% | 61% | 25% |
| | Lastenrad (n=12) | 50% | 33% | 17% | Lastenrad (n=8) | 13% | 50% | 38% |
| | E-Tretroller (n=16) | 50% | 19% | 31% | E-Tretroller (n=23) | 9% | 43% | 48% |

**Tabelle 7.26: Achtung der Vorfahrt und PET-Stufe bei den Nutzenden augenscheinlich älter als 65 Jahren (n: Anzahl der Interaktionen mit dem bestimmten Fahrzeug)**

| Achtung der Vorfahrt | | | PET-Stufe bei Missachtung der Vorfahrt | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt | | ≤ 1,5 s | > 1,5 und ≤ 3,0 s | >3,0 und ≤ 5,0 s |
| Fahrrad (n=35) | 43% | 57% | Fahrrad (n=16) | 13% | 44% | 44% |
| Pedelec (n=10) | 20% | 80% | Pedelec (n=9) | 22% | 44% | 33% |

## Interaktionsvorgänge

Neben den quantitativen PET-Werten müssen ebenso die qualitativen Behinderungen bei den Interaktionsvorgängen erläutert werden (Tabelle 7.27 und Abbildung A12.8 in Anhang 12). Anders als bei der Auswertung der PET-Werte, wurde die Behinderung auch beim Gewähren der Vorfahrt durch Kfz in der Videoerfassung beobachtet. Tabelle 7.27 zeigt, dass die Pedelec- und Lastenfahrenden generell eine höhere Rate und Quote der Behinderungen verzeichnen als die Fahrradfahrenden.

Von allen Knotenpunktzufahrten erzielte die Knotenpunktzufahrt (50) die höchste Behinderungsrate (23%), eine höhere Behinderungsquote (3,9) und am wichtigsten den größten prozentualen Anteil der Behinderungsstufe B II (8%) (Abbildung A12.8). An der Knotenpunktzufahrt (50) liegt der Radweg sowie die Radverkehrsfurt unmittelbar neben der Fahrbahn. Die Kfz-Führenden setzten zum Abbiegen an und gewährten erst dann den Rad- und E-Tretrollerfahrenden die Vorfahrt an der Radverkehrsfurt oder den zu Fuß Gehenden an der neben der Radverkehrsfurt liegenden Fußgängerfurt. Dabei wurde der Radweg sowie die Radverkehrsfurt bereits von dem Kfz besetzt und der Platz für die Radfahrenden und E-Tretrollerfahrenden eingeschränkt. Wegen des schmalen Radwegs oder der schmalen Radverkehrsfurt,

des dichten Verkehrsflusses auf der Fahrbahn und schneller Geschwindigkeit der Radfahrenden (leicht bergab), war ein Ausweichen zur Vermeidung der Beeinträchtigung schwierig. Daher kam es zu einem hohen Anteil an absteigenden Radfahrenden (Beeinträchtigungsstufe II). Hierbei gab es kaum ein Unterschied der Behinderungsrate und -quote zwischen Fahrrädern und Pedelecs.

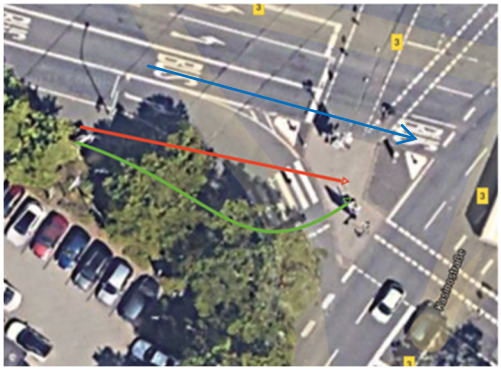


**Abbildung 7.26: Fahrlinie an der Knotenpunktzufahrt (50) [eigene Aufnahme]**

**Abbildung 7.27: Radfahrender reagierte stark auf das Kfz, das die Vorfahrt am schmalen Radfahrstreifen gewährte [eigene Aufnahme]**

**Tabelle 7.27: Behinderungen zwischen geradausfahrenden Rad- und E-Tretrollernutzenden und rechts abbiegenden Kfz-Führenden (n: Anzahl der Interaktionen)**

| | Fahrzeug / Beeinträchtigung | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt nicht gewährt | | | Insgesamt | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Normalverhalten | B1 | B2 | Normalverhalten | B1 | B2 | BR | BQ |
| Summe | Fahrrad (n=994) | 54% | 3% | 0% | 38% | 4% | 1% | **8%** | **3,3** |
| | Pedelec (n=103) | 52% | 6% | 1% | 32% | 8% | 1% | **16%** | **6,4** |
| | Lastenrad (n=24) | 50% | 4% | 4% | 29% | 13% | 0% | **21%** | **8,4** |
| | E-Tretroller (n=38) | 34% | 0% | 0% | 63% | 3% | 0% | **3%** | **1,3** |

Die Knotenpunktzufahrt (49) repräsentierte eine höhere Behinderungsrate (20%), die höchste Behinderungsquote (14,2) und einen höheren Anteil der Behinderungsstufe B II. Die zu untersuchende Knotenpunktzufahrt und -ausfahrt sind Teil der Bundesstraße B3 und daher liegt eine große Kfz-Verkehrsstärke der rechtsabbiegenden Verkehrsströme vor. Wegen der verschwenkten Radverkehrsfurt reagierten die Kfz-Fahrenden auf einen Interaktionsvorgang erst bei Ankunft der Rad- oder E-Tretrollernutzenden kurz vor dem Bord (grüne Linie in Abbildung 7.26). Außerdem hatten die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden Schwierigkeiten zu beurteilen, ob die auf der Rechtsabbiegefahrbahn wartenden Kfz-Führenden (im Stau) ihre Ankunft bemerkt haben. Zusammen mit der Verschwenkung des Weges bremsten die Pedelec- und Lastenradfahrenden stark. Einerseits bemerkten die Kfz-Führenden das starke Bremsen der Pedelec- und Lastenradfahrenden, andererseits wurden die Kfz-Führenden bei der langen Wartezeit (im Stau) ungeduldig. Daher missachteten sie öfter die Vorfahrt der Pedelec- und Lastenradfahrenden. Zudem nahmen die Pedelec- und Lastenradfahrenden die Route der roten Linie in Abbildung 7.26, um eine Verschwenkung zu vermeiden. Diese Fahrweise überraschte Kfz-Fahrende und verursachte ein starkes Bremsen der Kfz-Fahrenden. Dies wurde seltener bei den Fahrradfahrenden beobachtet.

Die Knotenpunktzufahrt (49) mit der Führungsform des gemeinsamen Geh- und Radwegs endet auf einer Strecke mit einem Führungsformwechsel als Schutzstreifen. Daher entschieden sich schnelle Fahrradfahrende und manche Pedelecfahrende für die blaue Route in Abbildung 7.26, um zwei Verschwenkungen (Verschwenkung beim Führungsformwechsel und am Knotenpunkt) zu vermeiden. Deswegen wurde das starke Bremsen im obenliegenden Fall seltener bei sportlich Fahrradfahrenden erfasst. Generell wurde eine solche Verschwenkung von den schnellfahrenden Nutzenden unzureichend akzeptiert.

Außerdem wiesen die Knotenpunktzufahrten (45) und (50) einen höheren Anteil der Behinderungen bei Achtung der Vorfahrt auf. Bei der Knotenpunktzufahrt (45) wurde der Radverkehr auf einem schmalen Radfahrstreifen (1 m breit + 0,25 m breite Markierung jede Seite) geführt. Selbst wenn die Vorfahrt gewährt wurde, kam es zu einer noch stärkeren Reaktion oder stärkerem Ausweichen der Radfahrenden (Abbildung 7.27). Hierbei zeigten die Pedelecfahrenden aufgrund schnellerer Geschwindigkeiten

stärkere Reaktionen oder ausgeprägtes Ausweichen und einen höheren Anteil der Behinderungsstufe B I beim Gewähren der Vorfahrt (15%) als bei Fahrradfahrenden (6%). Die Gründe für den hohen Anteil der Behinderungen beim Gewähren der Vorfahrt an der Knotenpunktzufahrt (50) wurden bereits genannt.

Als Exkurs werden zum Schluss die Interaktionsvorgänge mit Kfz im Längsverkehr diskutiert, die sich durch Überholabstände an Radfahrstreifen an den Knotenpunktzufahrten ergeben (Abbildung A12.4 und Abbildung A12.5 in Anhang 12). In der StVO wurde ein 1,50 m Überholabstand innerorts vorgeschrieben. Es ist allerdings nicht ersichtlich, ob die Regelung auch für ein Überholen auf der rechten Seite an einer Knotenpunktzufahrt beziehungsweise bei einer Knotenpunktzufahrt mit langem Radfahrstreifen (Verflechtungsbereich) gilt. Der originale Betrachtungspunkt stammt aus der Literaturrecherche, dass die Rad- und E-Tretrollerfahrenden (besonders die Lastenradfahrenden) infolge der zweiseitig überholenden Kfz breitere Radfahrstreifen an der Knotenpunktzufahrt benötigen als an der Strecke. Leider wurde nur eine geringe Menge von Überholvorgängen mit den Lastenrädern registriert, da in der Freigabezeit eine geringe Anzahl der Überholvorgänge zwischen Lastenrädern und Kfz stattfand. In der Sperrzeit bremsen die Kfz allmählich ab, weswegen enge Überholabstände vorkommen können. Aus dem Grund ist die Auswertung der Überholvorgänge in der Sperrzeit nicht sinnvoll. Trotzdem lohnt es sich, die Kernergebnisse mithilfe der zusammengeführten Betrachtung aller Rad- und E-Tretrollernutzenden an den Knotenpunktzufahrten (45), (47) und (48) auszuwerten und zu erläutern.

Abbildung A12.4 verdeutlicht, dass sich die Anteile der kritischen Situationen der Stufe I und II an den Knotenpunktzufahrten deutlich steigerten gegenüber den Strecken (4) und (6) (Abbildung A12.1) mit demselben Breitenniveau. Während sich die Rad- und E-Tretrollernutzenden auf der Strecke sehr nahe zur rechten Seite (Bordsteinkante) orientierten, fuhren sie an den Knotenpunktzufahrten eher mittig. Hierbei spielt die Bemessung der Breite von Radfahrstreifen in Deutschland eine wichtige Rolle. Die Breite von Radfahrstreifen beinhaltet eine 0,25 m breite Markierung und betrifft ebenso den Radfahrstreifen an den Knotenpunktzufahrten. Das bedeutet, dass die reine Verkehrsfläche an den Knotenpunktzufahrten (47) und (49) nur 1,60 m breit ist.

Bei der Betrachtung aller Knotenpunktzufahrten gab es logischerweise den größten Anteil der kritischen Überholabstände und einen besonders hohen Anteil von kritischen Situationen der Stufe II an der Knotenpunktzufahrt mit einem 1,50 m breiten Radfahrstreifen. Die Knotenpunktzufahrten (47) und (48) mit breiten Radfahrstreifen zeigten ähnlich hohe Anteile von kritischen Situationen der Stufe II. Allerdings wies die Knotenpunktzufahrt (48) einen deutlich höheren Anteil an kritischen Situationen der Stufe I auf. Das ist auf die Dreiecksinsel zurückzuführen, die in Kombination mit einer Lichtsignalanlage an der Knotenpunktzufahrt (48) vorzufinden ist. An dieser Stelle werden die rechtsabbiegenden Kfz mit den geradeausfahrenden Kfz versetzt freigegeben, was einen entsprechenden Rückstau auf dem Rechtsabbiegestreifen verursacht. In dem Fall fuhren die Rad- und E-Tretrollernutzenden seitlich entlang der wartenden Kfz und mit geringem Abstand zum links fließenden Verkehr. Im Allgemeinen lassen sich kritische Situationen der Stufe I als nicht so gravierend einstufen wie die der Stufe II.

Zudem wurden die Überholabstände je nach Überholvorgang auf der linken oder rechten Seite an der Knotenpunktzufahrt (47) ausgewertet. Abbildung A12.5 veranschaulicht, dass fast alle kritischen Situationen der Stufe II beim Überholen auf der rechten Seite geschahen. Das heißt, dass die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden generell eher nah zur rechten Markierung fuhren. Dabei steht zur Diskussion, wie groß die Geschwindigkeit der rechtsabbiegenden Kfz war. Da in der Untersuchung keine Geschwindigkeit der Kfz gemessen wurde, war es schwierig zu beurteilen, wie die Überholabstände mit der Geschwindigkeit verträglich sind. Im Prinzip ist die Geschwindigkeit der rechtsabbiegenden Kfz niedriger als die der geradeausfahrenden Kfz. Allerdings ist eine hohe Geschwindigkeit der rechtsabbiegenden Kfz bei einem solch langen Radfahrstreifen mit der Beschleunigungsmöglichkeit nach dem Fahrstreifenwechsel zu erwarten.

Im Folgenden werden zweiseitige Überholvorgänge besprochen. Dieses Vorkommnis (13 Fälle) wurde nur an der Knotenpunktzufahrt (47) erfasst und fast 70% von den 13 Überholvorgängen wurden als kritische Situationen eingestuft. Ungefähr 40% solcher Überholvorgänge wurden als kritische Situation der Stufe II eingeordnet. Im Vergleich dazu waren zweiseitige Überholvorgänge an der Knotenpunktzufahrt (45) mit dem schmalen und kurzen Radfahrstreifen nicht kritisch, weil die Rad- und E-Tretrol-

lerfahrenden in einem kurzen Verflechtungsbereich nur einmal überholt werden konnten. An der Knotenpunktzufahrt (48) existiert ebenfalls ein langer Radfahrstreifen, der aber kaum für das Überholen auf der rechten Seite genutzt wurde, da in der Sperrzeit vor allem Kfz auf der Straße vorzufinden waren.

**Vergleich mit der Umfrage**

Die Knotenpunktzufahrten (46), (47) und (49) stellen die Szenarien in der Umfrage (Abbildung A10.31) dar. Die Ergebnisse in der Videoerfassung stimmten in gewissem Maß mit den Ergebnissen in der Umfrage überein. In der Umfrage wurde im Allgemeinen ein hoher Anteil des Empfindens mit „(sehr) gefährlich“ beim langen Radfahrstreifen in Mittellage und ein äquivalent niedriger Anteil beim Vorhandensein einer Dreiecksinsel und an abgesetzten Radwegen nachgewiesen. In der Videoerfassung wurde der höchste Anteil der Missachtung der Vorfahrt an der Knotenpunktzufahrt (47) mit dem langen Radfahrstreifen, eine hohe Behinderungsrate und die höchste Behinderungsquote an der Knotenpunktzufahrt (46) mit Dreiecksinsel registriert. In der Videoerfassung wurde allerdings keine Besonderheit bei den Behinderungen sowie Missachtungen der Vorfahrt an den abgesetzten Radwegen ((Strecke (49)) feststellt, während ein relativ hoher Anteil des subjektiven Sicherheitsempfindens mit „(sehr) gefährlich“ in der Umfrage erfasst wurde.

Hinsichtlich der Fahrzeugnutzenden wurde ein hoher Anteil des negativen Sicherheitsempfindens der Lastenrad- und E-Tretrollernutzenden beim Radfahrstreifen in Mittellage und ein besonders niedriger Anteil des schlechten Sicherheitsempfindens der E-Tretrollernutzenden an abgesetzten Radwegen dargestellt. In der Videoerfassung wurde nur ein hoher Anteil an Missachtung der Vorfahrt bei den E-Tretrollerfahrenden am langen Radfahrstreifen in Mittellage (Knotenpunktzufahrt (47)) erfasst, was den hohen Anteil des schlechten Sicherheitsempfindens widerspiegeln könnte. Die anderen Aussagen der Umfrage bei E-Tretrollern oder Lastenrädern könnten zum Teil wegen der kleinen Stichprobe an manchen Knotenpunktzufahrten nicht in der Videoerfassung bestätigt werden.

### 7.4.3 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

**Routenwahl**

Zur Betrachtung der Führung des linksabbiegenden Radverkehrs wird zuerst die Routenauswahl beim Linksabbiegen ausgewertet. Dabei werden die Knotenpunktzufahrten in zwei Gruppen, den Zufahrten mit oder ohne aufgeweiteten Radaufstellstreifen, eingeteilt. In Anhang 15 wird die Routenwahl an einzelnen Knotenpunktzufahrten dargestellt.

Insgesamt lag der Anteil des direkten Linksabbiegens bei Pedelecfahrenden um 7% höher als der Anteil bei den Fahrradfahrenden (Tabelle 7.28). Dieser Trend wurde fast an allen Knotenpunktzufahrten beobachtet. Die kleinste prozentuale Differenz wurde an der Knotenpunktzufahrt (39) registriert, wobei der Anteil des direkten Linksabbiegens bei Pedelecfahrenden dem der Fahrradfahrenden entspricht (Abbildung A15.2). Der größte prozentuale Unterschied mit 28% wurde an der Knotenpunktzufahrt (53) beobachtet (Abbildung A15.1). Generell wurde eine größere Abweichung beim direkten Linksabbiegen zwischen Pedelec- und Fahrradfahrenden bei schwacher bis mittelstarker Belastung des geradeausfahrenden Kfz-Verkehrs ermittelt. Dabei wird die **Hypothese bestätigt, dass Pedelecfahrende aufgrund ihrer höheren Geschwindigkeit das direkte Linksabbiegen bevorzugen**.

Bei E-Tretrollerfahrenden wurden der niedrigste Anteil des direkten Linksabbiegens erfasst gegenüber den Nutzenden anderer Fahrzeugtypen. An einigen Knotenpunktzufahrten z.B. (54) bogen keine E-Tretrollerfahrenden direkt ab. Trotzdem wurde ein Fünftel der E-Tretrollerfahrenden (21%) beim direkten Linksabbiegen festgestellt. Das wurde an den Knotenpunktzufahrten (52) und (53) (überwiegend an (52)) beobachtet. Die beiden Knotenpunkte liegen nah zu benachbarten Knotenpunkten, sodass die E-Tretrollerfahrenden am vorangegangen Knotenpunkt beurteilen konnten, wie hoch das Kfz-Verkehrsaufkommen und ob eine ausreichende Zeitlücke für das Einordnen vorhanden war. Außerdem kamen die Kfz wegen der Signalsteuerung (z.B. Grüne Welle) im Straßennetz im Pulk an und so ergab sich eine ausreichend große Zeitlücke zwischen zwei Fahrzeugpulken, wo die E-Tretrollerfahrenden die Radverkehrsanlagen verlassen konnten.

**Tabelle 7.28: Zusammenführung der Routenauswahl beim Linksabbiegen je nach Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Fahrzeuge aller Knotenpunktzufahrt | Direktes Linksabbiegen | | Nicht direktes Linksabbiegen | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Direktes Linksabbiegen | Direktes Linksabbiegen mit Nutzung von ARAS | Indirektes Linksabbiegen | Nutzung der Fußgängerfurt quer zur Knotenpunktzufahrt | Nutzung der Fußgängerfurt parallel zur Knotenpunktzufahrt |
| Fahrrad (n=715) | 66% | 1% | 15% | 17% | 1% |
| Pedelec (n=80) | 74% | 1% | 10% | 14% | 1% |
| Lastenrad (n=26) | 81% | 0% | 8% | 8% | 4% |
| E-Tretroller (n=43) | 21% | 0% | 47% | 23% | 9% |

**Tabelle 7.29: Routenwahl der Lastenradfahrenden in Abhängigkeit von dem Kindertransport (n: Anzahl der Nutzenden)**

| | Direktes Linksabbiegen | Nicht direktes Linksabbiegen |
|---|---|---|
| Lastenrad mit Kindern (n=15) | 73% | 27% |
| Lastenrad ohne Kinder (n=11) | 91% | 9% |

Erstaunlicherweise ist festzustellen, dass ein ziemlich hoher Anteil von Lastenradnutzenden (81%) direkt links abbog. Allerdings ist die Aussage der Statistik infolge der ungleichen Verteilung der Anzahl der Lastenräder an den verschiedenen Knotenpunktzufahrten nicht prägnant. An der Knotenpunktzufahrt (54) mit weniger direkten linksabbiegenden Radfahrenden konnte nur ein Lastenradfahrender erfasst werden, während elf links abbiegende Lastenradfahrende an der Knotenpunktzufahrt (51) mit mehreren direkt links abbiegenden Radfahrenden registriert wurden. Trotzdem tendierten Lastenradfahrende zum direkten Linksabbiegen. Außerdem war die **Routenwahl bei Lastenradfahrenden von dem Kindertransport** abhängig (Tabelle 7.29). In diesem Fall entschieden sich im Vergleich 27 % der Fahrenden für indirektes Linksabbiegen.

Es war auffällig, dass der aufgeweitete Radaufstellstreifen an der Knotenpunktzufahrt (39) kaum für das direkte Linksabbiegen benutzt wurde, während die Knotenpunktzufahrt (38) eine höhere Akzeptanz aufwies (Abbildung A15.2). Dies könnte an der **frühzeitigen und breiteren Aufweitung** der Knotenpunktzufahrt (39) liegen. Eine zu breite Aufweitung führte dazu, dass die Rad- oder E-Tretrollernutzenden vom Fahrbahnrand zum Wartebereich vor dem Linksabbiegestreifen mehr als 10 m fahren mussten. Dagegen ist vor der Aufweitung nur ein Wechsel der Fahrspur notwendig. Eine zu frühzeitige Aufweitung bedingt eine lange Fahrdauer vom Aufweitungsbereich bis zum Knotenpunkt. Dabei könnte sich ein Signalwechsel einstellen, weil die Nutzung des aufgeweiteten Radaufstellstreifens für das direkte Linksabbiegen nur bei der Ankunft während der Sperrzeit möglich ist.

## Einordnungsvorgänge

Anschließend wird ein Auge auf die Entfernung der Einordnungsvorgänge bis zu den Knotenpunkten geworfen. Dabei werden Knotenpunktzufahrten je nach der Entfernung zwischen zwei benachbarten Knotenpunkten getrennt betrachtet (Tabelle 7.30 sowie Abbildung A15.3 und Abbildung A15.4 in Anhang 15). Für die Einordnungsvorgänge größer 100 m ist wegen der fehlenden Sichtweite der Videoerfassung nicht zu beurteilen, ob die Radfahrenden wirklich die Radverkehrsanlagen verließen oder sie die geregelten Radverkehrsanlagen überhaupt nicht benutzten.

Ohne Berücksichtigung der Einordnungsvorgänge an den vorangehenden Knotenpunkten oder Knotenpunktzufahrten wiesen **mehr Pedelec- und Lastenradfahrende eine weitere Entfernungen zu Knotenpunktzufahrten** („80-100 m“ und „>100 m“) **gegenüber Fahrradfahrenden** auf (Tabelle 7.30). Dieser Differenzierung wurde an fast allen Knotenpunktzufahrten mit einer deutlichen Verteilung zwischen den Entfernungsklassen ermittelt. An der Knotenpunktzufahrt (52) verzeichneten die Lastenradfahrenden einen geringen Anteil bei der Entfernungsklasse 80-100 m im Vergleich zu Fahrradfahrenden, allerdings wurden keine Entfernungsklassen „≤20 m“ und „20-40 m“ bei Lastenradfahrenden registriert (Abbildung A15.4). Die Fahrradfahrenden, die Angst vor dem Einordnen hatten und kurzfristig direkt links abbiegen wollten, trafen die Entscheidung erst kurz vor dem Knotenpunkt. Dort bremsten sie sogar bis zum Stillstand ab, um zu beurteilten, ob ein Einordnungsvorgang sicher war (z.B. bei der Sperrzeit für geradeaus Kfz-Fahrende). Aus dem Grund bestand ein höherer Anteil an Einordnungsvorgängen mit geringer Entfernung bei Fahrradfahrenden.

**Tabelle 7.30: Entfernung für Einordnungsvorgänge je nach den Entfernung zu benachbarten Knotenpunkten (n: Anzahl der Nutzenden)**

| **Entfernung zum benachbarten Knotenpunkt größer als 100 m** | ≤ 20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | > 100 m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad (n=163) | 33% | 21% | 19% | 6% | 14% | 6% |
| Pedelec (n=24) | 25% | 8% | 17% | 13% | 29% | 8% |
| Lastenrad (n=12) | 25% | 17% | 8% | 0% | 25% | 25% |
| E-Tretroller (n=0) | | | | | | |

| **Entfernung zum benachbarten Knotenpunkt kleiner als 100 m** | ≤20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | am vorherigen Knotenpunkt | am Aufstellbereich des vorherigen Knotenpunkts | an der Zufahrt des vorherigen Knotenpunkts |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad (n=299) | 1% | 1% | 16% | 22% | 26% | 18% | 4% | 13% |
| Pedelec (n=31) | 0% | 0% | 10% | 26% | 39% | 10% | 6% | 10% |
| Lastenrad (n=9) | 0% | 0% | 0% | 22% | 33% | 22% | 11% | 11% |
| E-Tretroller (n=10) | 0% | 0% | 30% | 0% | 10% | 60% | 0% | 0% |

Bei der Betrachtung von Abbildung A15.3, ist es auffällig, dass an der Knotenpunktzufahrt (39) alle Radfahrenden in dieselbe Entfernungsklasse einordnet werden und an der Knotenpunktzufahrt (51) ein großer Anteil von Radfahrenden der Entfernungsklasse ≤ 20 m zugeordnet werden. Diese Gegebenheit ist **mit der Aufweitung und Verschwenkung an der Knotenpunktzufahrt verbunden**. Wie vorab erwähnt, wird die Knotenpunktzufahrt (39) ca. 90 m vor dem Knotenpunkt von einem Fahrstreifen zu drei Fahrstreifen des Kfz-Verkehrs aufgeweitet. Das Einordnen dort ist einfacher und sicherer als in der Nähe von Knotenpunkten mit mehreren Fahrstreifen. Ähnlich ist die Verschwenkung ca. 20 m vor dem Knotenpunkt (51) ausgebildet, dort konnten die Radfahrenden ohne Verschwenkung auf die Kfz-Fahrstreifen weiterfahren.

Wenn zwei benachbarte Knotenpunkte nah beieinander lagen, schafften die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden an den Knotenpunktzufahrten oder Aufstellbereichen der vorigen Knotenpunkte oder an den vorherigen Knotenpunktzufahrten die Einordnungsvorgänge. Der Anteil des Einordnens in solch einer Weise hatte eine deutliche Schwankung je nach Knotenpunktzufahrt und Nutzenden der Fahrzeuge.

Es ist schwierig eine einheitliche Aussage zu treffen. Werden nur die Fahrradfahrenden (große Stichprobe) betrachtet, ergab sich bei den mit dem vorigen Knotenpunkt zusammenhängenden Einordnungsvorgängen ein Anteil von 35% - 45%.

Im Weiteren wird das Verhalten der Einordnungsvorgänge ausgewertet (Abbildung A15.5). Die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden, die an den vorherigen Knotenpunktzufahrten oder mehr als 100 m vorher, sich zum Knotenpunkt eingeordnet haben, sind nicht auszuwerten.

Von dem Verhalten bewertbarer Rad- oder E-Tretrollerfahrenden ordneten sich alle E-Tretrollerfahrenden nur nach dem Schulterblick („Umsehen“) ein, was mit den bereits betriebenen Forschungen übereinstimmt. Hierbei entsteht das größte Risiko beim direkten Linksabbiegen von E-Tretrollerfahrenden, da die Kfz-Fahrenden den Einordnungsvorgang der E-Tretroller nicht rechtzeitig realisieren können. Mit der Berücksichtigung der Routenwahl beim Linksabbiegen wird die **Hypothese festgelegt,** dass **die E-Tretrollerfahrenden wegen der Instabilität Schwierigkeiten beim Handzeigen haben und eher weniger direkt links abbiegen**.

Außerdem wurde auch ein leicht höherer Anteil von „nur Umsehen“ bei Lastenradfahrenden bemerkt gegenüber den Fahrrad- und Pedelecfahrenden. Das ist auf die Instabilität der Fahrzeugsteuerung zurückzuführen. Natürlich ist die Stabilität der Lastenräder mit der Fahrzeugkonfiguration besser für Handzeichen geeignet.

Die Fahrrad- und Pedelecfahrenden verzeichnen ein ähnliches Bild beim Verhalten der Einordnungsvorgänge. Dabei wichen 2% der Fahrradfahrenden und 4% der Pedelecfahrenden ohne Handzeichen oder Umsehen direkt von den Radverkehrsstreifen ab. Dies wurde hauptsächlich an den Knotenpunktzufahrten mit schwächerer Kfz-Belastung, z.B. (51), (52) erfasst.

Zuletzt wird die Zeitlücke bei den Einordnungsvorgängen betrachtet (Abbildung A15.6). Weil die Radfahrenden oft nach dem Vorbeifahren der Kfz erst auswichen, hat eine getrennte Auswertung der Zeitlücken an jeder Knotenpunktzufahrt infolge einer kleinen Stichprobe kaum einen statistischen Sinn. Nur

eine zusammengeführte Betrachtung der Zeitlücken aller Knotenpunktzufahrten kommt infrage. Dabei werden nur Fahrräder und Pedelecs wegen der Stichprobengröße betrachtet.

Abbildung A15.6 zeigt, dass **Pedelecs** generell um einen 3% - 4% **höheren Anteil im Bereich der kleineren Zeitlücke** („≤1 s“ und „1-2 s“) vorauslagen gegenüber Fahrrädern. Die kleinste Zeitlücke („≤1 s“) wurde überwiegend bei sportlich Fahrradfahrenden und jüngeren Pedelecfahrenden mit Zeitdruck (z.B. Essenslieferdienst) beobachtet.

**Vergleich mit der Umfrage**

Beim Vergleich mit der Umfrage (Abbildung A10.32) ergab sich eine Abweichung. Während die Pedelecfahrenden eine Bevorzugung des direkten Linksabbiegens in der Videoerfassung gegenüber den Fahrradfahrenden aufweisen, sind die Anteile in der Umfrage für die Wahl des direkten Linksabbiegens bei den Pedelecfahrenden niedriger als bei den Fahrradfahrenden. Allerdings wurde keine Visualisierung der Straßenraumgestaltung in der Umfrage dargestellt. Dies konnte sich auf die Wahl der Befragten auswirken. Dagegen wurde die Konformität bei den E-Tretrollerfahrenden in der Umfrage und Videoerfassung feststellt, dass die E-Tretroller generell das indirekte Linksabbiegen präferierten.

## 7.5 Sonstige Diskussion

Basierend auf dem themenbezogenen Resultat der Untersuchung sind noch zwei Punkte zu aufzugreifen. Die Punkte beziehen sich vor allem auf die Pedelecfahrenden und schnellen Fahrradfahrenden.

- In ADFC (2018) basierend auf der Studie von Forester (2012) in USA wurden vier Typen von Radfahrenden definiert, nämlich „auf keinen Fall“, „interessiert, aber besorgt“, „begeistert und überzeugt“ und „stark und furchtlos“. Die Gruppe „interessiert, aber besorgt“ bevorzugt die stressarmen Strecken und besonders sichere Radverkehrsanlagen. Die Gruppe „begeistert und überzeugt“ hat weniger Angst beim Fahrradfahren und befährt gerne eine gut ausgebaute Radverkehrsanlage, vorausgesetzt es ist eine vorhanden. Die Gruppe „stark und furchtlos“ hat keine Angst beim Fahrradfahren und braucht grundsätzlich keine separate Radverkehrsanlage. Die sportlich Fahrradfahrenden gehören eher zu der Gruppe „stark und furchtlos“. Als geübte Radfahrende können sie mit den komplexen Verkehrssituationen gut zurechtkommen. Bei der Videoerfassung ist zu erkennen, dass am Radweg die sportlich Fahrradfahrenden nah zur Bordsteinkante die anderen Radfahrenden mit kleinem Überholabstand überholten oder sie bei dem Gehweg „Radfahrer frei“ öfter die Fahrbahn benutzten. Im Vergleich dazu gehört ein Teil der Pedelecfahrenden eher zu den Gruppen „interessiert, aber besorgt“ oder „begeistert und überzeugt“. Sie fuhren manchmal z.B. **mit hoher Geschwindigkeit ohne Nachzudenken**. Zum Beispiel brauchten sie mehr Verkehrsflächen für den Überholvorgang oder befuhren den Gehweg „Radfahrer frei“ mit hoher Geschwindigkeit.

- Aufgrund der erhöhten Geschwindigkeit von Pedelecs wurde die Bemessung von Radverkehrsanlagen oft kritisiert. Allerdings wurde in den Literaturen von Alrutz et al. (September 2015) und Alrutz (2016) berichtet, dass die Geschwindigkeit der Pedelecs im Rahmen der sportlich Fahrradfahrenden lag. In der Untersuchung wurde feststellt, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit der Pedelecs mit der Zunahme von jüngeren Nutzenden deutlich höher wurde gegenüber Literaturberichten mit älteren Nutzenden. Dementsprechend erhöhte sich die Durchschnittsgeschwindigkeit der Fahrradfahrenden in der Spitzenstunde wegen den jüngeren Nutzenden. Je nach den Merkmalen der Radverkehrsanlage lag die durchschnittliche Geschwindigkeit der Pedelecs noch unter 25 km/h (ohne Gefälle). Auffällig ist, dass die höchste Geschwindigkeit der Pedelecfahrenden vereinzelt, mit der Geschwindigkeit der sportlich Fahrradfahrenden vergleichbar oder sogar überschritten wird (Tabelle 7.31). Dies wurde vor allem bei den **jüngeren Pedelecfahrenden** (unter 41 Jahren), **sportlichen Pedelecs** (z.B. E-Mountainbike) an den **breiten** Strecken oder **Steigung**sstrecken erfasst. Einerseits ist der Anteil der Pedelecfahrenden, deren Geschwindigkeit besonders hoch ist, ziemlich klein. Andererseits richtet sich die Bemessung der Radverkehrsanlagen überwiegend auf den „Durchschnittsfall“. Allerdings ist bei den Fällen, z.B. gemeinsame Führung mit dem Fußverkehr die Höchstgeschwindigkeit zu berücksichtigen.

**Tabelle 7.31: maximale Geschwindigkeit der Fahrrad- und Pedelecfahrenden an den ausgewählten Strecken [km/h]**

| Strecken | Fahrrad | Pedelec |
|---|---|---|
| (19) 1,95 m breiter geschützter Radfahrstreifen | 35,09 | 40,01 |
| (31) 1,50 m breiter Radweg, 3% bergauf | 29,34 | 35,71 |
| (32) 1,50 m breiter Radweg, 4,2% bergauf (duale Führungsform) | 36,85 (Fahrbahn)<br>23,94 (Radweg) | 29,44 (Fahrbahn)<br>31,91 (Radweg) |
| (39) 4,00 m breiter gemeinsamer Geh-/ Radweg | 34,32 | 36,51 |

## 7.6 Fazit

Der Einfluss der Breite von Radverkehrsanlagen auf die durchschnittliche Geschwindigkeit ist überwiegend am Radweg und bei der Nutzung von (E-)Lastenrädern von Bedeutung, was eng mit dem Absturzrisiko, der fehlenden Überholmöglichkeit je nach der Radweggestaltung und Rad- und Fußverkehrsstärke am Radweg zusammenhängte. Die daraus resultierende Geschwindigkeitsreduzierung an schmalen Radverkehrsanlagen widerspricht der Entwicklung des Radverkehrs bezüglich der Verbreitung elektrounterstützter Fahrzeuge. Außerdem wurde ein erhöhter Platzbedarf bei den Pedelecs und Lastenrädern festgelegt. Dies wurde zum einen durch die Positionswahl der einzelnen Pedelec- oder Lastenradfahrenden oder durch Überholabstände zwischen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden erfasst. Die von der Bordsteinkante entfernte Position der Pedelecs und Lastenräder an Radverkehrsstreifen führte häufiger zu kritischen Überholabständen durch Kfz-Verkehr. Besonders bei den Lastenrädern lag der Fahrzeugüberhang an oder außerhalb von der Markierung an schmalen Radverkehrsanlagen. Im Vergleich zu den Überholabständen Fahrrad - Fahrrad vergrößerten sich die Überholabstände Pedelec - Fahrrad um ca. 0,10 m und Lastenrad - Fahrrad um ca. 0,15 m. An einer 2,25 m breiten Radverkehrsanlage zuzüglich 0,15 m breiter Rinne konnten die Überholvorgänge mit dem Lastenrad im Privatverkehr prinzipiell innerhalb von Radverkehrsanlagen abgewickelt werden. Allerdings ist die „effektive“ Breite der Radverkehrsanlagen bei der Bemessung zu berücksichtigen. Dies gilt vor allem für die Grünfläche am Radweg, weil die Lastenradfahrenden einen gewissen Abstand zur Grünfläche sowie ähnlichen „Hindernissen“ hielten.

Als Trennung zwischen Geh- und Radweg hatten die Poller und ein 0,30 m breiter Pflasterbelag eine positive Auswirkung bezüglich der Störung des Fußverkehrs. Mit dem Einsatz von Pollern und breiteren Gehwegen wurden die Rad- und E-Tretrollerfahrenden kaum von den zu Fuß Gehenden beeinflusst, was durch die Positionswahl bei Interaktionsvorgängen identifiziert wurde. Allerdings hatten die Strecken mit Poller, die entlang der ganzen Strecke aufgestellt wurden, eine niedrigere Akzeptanz. Der Fahrspielraum von den Lastenrädern wurde an den schmalen Radverkehrsanlagen mit Pollern stärker eingeschränkt gegenüber den Nutzenden anderer Fahrzeugtypen. Der Einsatz der weißen Linie (weiße Markierung) oder des Farbunterschieds erzielten keinen besonderen Unterschied in der Positionswahl der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden im interaktionsfreien Zustand und den Interaktionsvorgängen mit den zu Fuß Gehenden. Allerdings war der Einsatz der weißen Linie noch ein wenig sicherer als nur der Farbunterschied. Doch es bleiben beide Markierungen risikobehaftet, da an den schmalen Radwegen die Fahrradnutzenden zu nah zur Bordsteinkante beim Auftauchen der zu Fuß Gehenden fuhren. Dagegen fuhren die Pedelecnutzenden im Regelfall noch etwas weiter entfernt von der Bordsteinkante. Deswegen erlebten sie mehr Behinderungen oder kritische Situationen an den schmalen Radwegen mit dem Fußverkehr. Zudem wurde durch die Strecken mit 0,15 m breiter weißer Linie und 0,30 m breitem Pflasterbelag festgestellt, dass der 0,30 m breite Begrenzungsstreifen ausreichend sein sollte.

Die Parkstände neben den Radverkehrsstreifen wirkten sich vor allem auf die Positionswahl der (einzelnen) Rad- und E-Tretrollernutzenden aus, wobei sie bei fehlenden Sicherheitstrennstreifen weiter entfernt von den Parkständen fuhren. Dies liegt bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden deutlich im Trend. Mit dem Einsatz der Sicherheitstrennstreifen orientierten sich die Rad- und E-Tretrollernutzenden entlang der Markierung der Sicherheitstrennstreifen. Problematisch war ein 0,50 m breiter Sicherheitstrennstreifen zwischen den schmalen Radverkehrsanlagen und markierten Parkständen. An der Strecke mit vielen Parkvorgängen ragten z.B. die Außenspiegel der Kfz oft in den Sicherheitstrennstreifen sowie Radverkehrsstreifen. Dabei wurden die Pedelecnutzenden deutlich beeinflusst und fuhren eher näher zum fließenden Kfz-Verkehr. Dies führte zu einem erhöhten Anteil der kritischen Überholab-

stände bei den Pedelecfahrenden. Die Parkstände neben dem Radweg nahmen Einfluss auf die Geschwindigkeit und Positionswahl der Rad- und E-Tretrollernutzenden je nach Vorhandensein von Sicherheitstrennstreifen. Die Geschwindigkeit von den Pedelec- und Lastenradfahrenden wurde infolge fehlender Ausweichmöglichkeit stark eingeschränkt, sobald ein Radweg ohne Sicherheitstrennstreifen zwischen der Fahrbahn und den Parkständen lag. Mit dem Einsatz eines Sicherheitstrennstreifens erhöhte sich die Geschwindigkeit beider Fahrzeugtypen wieder. Dagegen fuhren die Rad- und E-Tretrollernutzenden unabhängig von dem Vorhandensein von Sicherheitstrennstreifen eher nah zum Gehweg. Zudem war die Instabilität der zweirädrigen Lastenräder zwischen Parkständen und fließendem Kfz oder Fußverkehr (zwischen zweiseitigen Hindernissen) nicht zu vernachlässigen.

Der Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn diente als „Zusatzangebot“ und begünstigt die Sicherheit und den Komfort des Radverkehrs. Daher hatten der Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn eine geringe Auswirkung auf die einzelnen Rad- oder E-Tretrollerfahrenden. Das einzig Auffällige war die Differenz der durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante von allen Fahrzeugtypen beim interaktionsfreien Zustand, die kleiner geworden ist. Der Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn vergrößert die Verkehrsflächen der Überholvorgänge. Mit einem 0,70 m breitem Sicherheitstrennstreifen konnten fast alle Überholvorgänge innerhalb der Gesamtverkehrsflächen des Radwegs und Sicherheitstrennstreifens abgewickelt werden (hierbei wurde kein Überholen mit Lastenrädern erfasst).

Angesichts der Längsneigung wirkte sich die Steigung deutlicher auf die Fahrräder und E-Tretroller aus. Die Befahrbarkeit der E-Tretroller an der steilen Strecke (6.2%-6,5%) wurde nur bedingt (stark) eingeschränkt, weil die Geschwindigkeit der E-Tretroller infolge fehlender Pedalmöglichkeit nur von den fahrzeugtechnischen Merkmalen bestimmt ist und es dementsprechend eine große Variation der Geschwindigkeit je nach den Typ und Marke der E-Tretroller vorlag. Die Auswirkung der Steigung auf die Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen kommt durch erhöhte durchschnittliche Abstände der Pedelecs und Überholabstände Pedelec - Fahrrad zustande. Dabei wurde eine Vergrößerung der Überholabstände von 0,15 m im Vergleich zu den ebenen Strecken festgestellt. An den Gefällestrecken wurde eine deutlich höhere Geschwindigkeit bei den Pedelecs und Lastenrädern gemessen, während die Geschwindigkeit der E-Tretroller für die Bemessung keine Rolle spielte. Dabei schien es, dass die höhere Geschwindigkeit bei Lastenrädern infolge der schweren Fahrzeuge und jüngeren Fahrenden zustande kam. Dies setzte allerdings voraus, dass ausreichend Verkehrsflächen vorhanden waren. Deswegen hatten die schmalen Radwege sowie die Führung im Seitenraum an den starken Gefällstrecken eine schlechtere Akzeptanz.

Hinsichtlich der Kurvenbereiche hatte die Verschwenkung mit einem stupfen Winkel geringen Einfluss auf die Geschwindigkeit sowie Befahrbarkeit mit dem Rad und E-Tretroller (einschließlich Lastenräder). Allerdings wurden reduzierte durchschnittliche Abstände von 0,50 m bei den Lastenrädern wegen der Schleppkurve mit zunehmender Geschwindigkeit von 17 - 26 km/h erfasst. Die reduzierten durchschnittlichen Abstände von 0,50 m bei den Lastenrädern wurden als Auswirkung der Kurvenbereiche auf die Breite von Radverkehrsanlagen betrachtet. Im Vergleich dazu wurde die Befahrbarkeit beim Rechtsabbiegen mit einem rechteckigen Winkel stark beeinträchtigt. Dabei wurde das Ausholen bei den sportlich Fahrrad- und Pedelecfahrenden infolge der hohen Geschwindigkeit beobachtet. Je nach Route und damit zunehmenden Kurvenradien erhöhte sich die durchschnittliche Geschwindigkeit der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden. Bei einem Radius von ca. 10 m wurde eine für die Bemessung standartmäßige Geschwindigkeit von 25 km/h gemessen.

In Bezug auf die Aufstellmöglichkeit an aufgeweiteten Radaufstellstreifen blieb die Kapazität ausreichend, weil keine, in derselben Umlaufzeit ankommenden, zwei Lastenräder im Wirtschaftsverkehr erfasst wurden. Allerdings wurde festgestellt, dass das Lastenrad im Wirtschaftsverkehr (Velotaxi mit 1,00 m Breite in der Videoerfassung) die Zugänglichkeit der aufgeweiteten Radaufstellstreifen blockieren konnte, falls die aufgeweiteten Radaufstellstreifen nicht ausreichend lang oder die zuführenden Radverkehrsstreifen zu schmal waren. In der Untersuchung wurde eine nicht vollständige Auslastung anstatt einer Überlastung der aufgeweiteten Radaufstellstreifen registriert. Nur an einem 5,00 m langen aufgeweiteten Radaufstellstreifen wurde ein hoher Wille für das vornedran Aufstellen erfasst. Eine ähnliche Situation wurde bei den E-Tretrollerfahrenden feststellt. Neben der Kapazität der aufgeweiteten Radaufstellstreifen wurde die schlechte Erreichbarkeit an der Strecke mit häufigen Parkvorgängen be-

obachtet. Dabei sind die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden zwischen den während der Sperrzeit wartenden, den fließenden und den ruhenden Verkehr geraten. Somit wurden die Lastenräder infolge breiterer Fahrzeugabmessung stärker beeinflusst.

Bei der dualen Führungsform nutzten anteilig mehr Pedelecfahrende die Fahrbahn als die Fahrradfahrenden, jedoch ist der Unterschied nicht so deutlich, weil die sportlich Fahrradfahrenden auch eher die Fahrbahn benutzten. Die Bevorzugung der Fahrbahn der Lastenradfahrenden wurde bei der Führung Gehweg „Radfahrer frei“ beobachtet, während sie an der Radwegführung auch eine hohe Affinität zum Radweg hatten. Die duale Führungsform gilt rechtlich nicht für die E-Tretrollerfahrenden, allerdings benutzten sie auch die Fahrbahn je nach der Kfz-Verkehrsstärke. Als infrastrukturelle Merkmale übte sich die Führungsform der vorherigen Strecke auf die Verkehrsflächenwahl sowie die Markierung von Schutzstreifen aus, weil die Pedelec- und Lastenradfahrenden die Verschwenkung beim Führungsformwechsel vermeiden wollten.

Für das Thema gemeinsame Führung mit dem Fußverkehr gilt ein schmaler Gehweg hinsichtlich der Verbreitung der Pedelecs sowie Lastenräder als problematisch, weil das erhöhte Risiko, verursacht durch Pedelecs infolge höherer Geschwindigkeit, überwiegend am schmalen Gehweg geprägt wird. Außerdem spielte hier die Führungsform auch eine Rolle, weil bei der dualen Führungsform viele sportlich Fahrradfahrenden die Fahrbahn und wiederum manche schnellen Pedelecnutzenden auch den Gehweg nutzten. Zudem hatten die Nutzenden der Lastenräder, besonders dreirädrigen Lastenräder, die Schwierigkeit, zwischen zwei (versetzten) zu Fuß Gehenden zu passieren, wenn eine Gehwegbreite schmaler als 3,00 m Breite betrug.

Hinsichtlich der Zwischenzeit sowie Einfahrzeit wurde die Einfahrgeschwindigkeit durch die Verbreitung von Pedelecs sowie Lastenräder nur um 0,2 m/s erhöht. Dies setzt einen Anteil der Pedelecs und Lastenräder von ca. 20% voraus, weshalb grundsätzlich kein Bedarf für den Einsatz der höheren Einfahrgeschwindigkeit an den alltäglichen Radverkehrsanlagen (ERA-Standard) besteht. Ob die höhere Einfahrgeschwindigkeit im Netz der Raddirektverbindung benötigt wird, besteht noch Forschungsbedarf.

Für die Führung des geradeaus fahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers) mit rechtsabbiegenden Kfz konnte eine Unterschätzung der Geschwindigkeit der Pedelecs generell nicht verifiziert werden, wobei der Anteil der Missachtung der Vorfahrt durch die Kfz und der Anteil der kleinen PET-Werte bei den Interaktionen mit dem Pedelec nicht höher waren als die mit dem Fahrrad. Allerdings erlebten ältere Pedelecfahrende (augenscheinlich >65 Jahre) deutlich öfter, dass ihnen die Vorfahrt genommen wird und hatten in der Auswertung leicht höhere Anteile der kleinen (gefährlichen) PET-Werte gegenüber den älteren Fahrradfahrenden. Außerdem hatten die E-Tretroller einen höheren Anteil der Nichtachtung der Vorfahrt durch Kfz, aber keinen größeren Anteil der kleinen PET-Werte. Zudem verzeichneten die Pedelec- und Lastenradfahrenden eine höhere Behinderungsrate und -quote. Als Infrastruktur wurden hierbei die langen und schmalen Radfahrstreifen in Mittellage kritisiert. Wenige Kfz-Fahrende ließen den Rad- und E-Tretrollerfahrenden an langen Radfahrstreifen in Mittellage die Vorfahrt und an schmalen Radfahrstreifen in Mittellage wird die Vorfahrt trotzdem gewährt, jedoch nur nachdem eine starke Reaktion der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden erfolgte. Ebenso wurde eine Behinderung bei der Achtung auf die Vorfahrt durch Kfz am unmittelbar neben der Fahrbahn liegenden Radweg beobachtet. Für die Pedelec- und Lastenradfahrenden wurde eine Zusammenführung der Geh- und Radwege mit einer Dreiecksinsel kritisiert, da sie infolge der Verschwenkung deutlich bremsen mussten und die Vorfahrt durch Kfz-Führende öfter genommen wurde.

Die Bevorzugung des direkten Linksabbiegens wurde bei den Pedelecfahrenden festgestellt. Dieser Trend wurde auch bei den Lastenradfahrenden bemerkt, was allerdings abhängig vom Kindertransport ist. Dagegen wurde ein hoher Anteil des indirekten Linksabbiegens bei den E-Tretrollerfahrenden bestätigt. Im Vergleich zu den Fahrradfahrenden wurde ein zu dem Knotenpunkt langer Einordnungsvorgang und kleinere Zeitlücken bei den Pedelecfahrenden erfasst. Die besonders kleine Zeitlücke (≤ 1 s) wurde vor allem bei den Pedelecfahrenden mit Zeitdruck z.B. Lieferservice und bei den sportlich Fahrradfahrenden z.B. Rennradfahrenden beobachtet. Der Abstand des Einordnungsvorgangs zum Knotenpunkt ist ebenfalls mit der Gestaltung der Radverkehrsanlagen verbunden, da die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden oft bei der Verschwenkung von den Radverkehrsanlagen auswichen. Außerdem nutzten die Rad- und E-Tretrollerfahrenden die Aufstellmöglichkeit oder den Grünbeginn an den vorherigen Knotenpunkten, um direkt links abzubiegen.

# 8 Diskussion und Empfehlungen

## 8.1 Allgemeines

Beruhend auf der Videoerfassung unter Berücksichtigung der Unfallauswertung und Umfrage, werden in diesem Kapitel Empfehlungen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen gegeben.

Die Forschung bezieht sich auf die Radverkehrsanlagen in der Qualität von ERA-Standards und Radvorrangrouten wie vorab in Kapitel 1 erwähnt. Ein hohes Radverkehrsaufkommen wurde z.B. bereits an der Strecke (20) oder der Knotenpunktzufahrt (36) erfasst, dabei könnten aber andere Anforderungen an die Radverkehrsanlagen gestellt werden. Daher werden die Empfehlungen für manche Themen je nach der Entwurfsqualität separat gegeben.

Dementsprechend sind die Fahrzeugtypen zu unterteilen. Je nach Geschwindigkeit können die Fahrzeuge in schnelle und langsame Räder (auch E-Tretroller) gruppiert werden. Davon sind besonders die Lastendreiräder im Wirtschaftsverkehr betroffen. Der Lastenradtyp Schwertransporter wurde in der Videoerfassung vereinzelt registriert. Der Lastenradtyp Velotaxi betrug einen gewissen Anteil der Gesamtlastenräder (7%). Allerdings konzentrierten sie sich überwiegend in der Nähe der Stadtmitte für touristische Zwecke in Frankfurt am Main. Die Schwertransporter benötigen in der Breite deutlich mehr Verkehrsflächen als die Lastenzweiräder. Obwohl die Radverkehrsanlagen für die Zukunft bemessen werden, müssen die knappen Verkehrsflächen in der Praxis berücksichtigt werden (, da eine überbreite Radverkehrsanlage mit dem geringen Radverkehrsaufkommen nicht gut akzeptiert wird und auch nicht praktisch ist). Eine Weiterentwicklung der Lasten(drei)räder für die Stadtlogistik ist noch nicht absehbar. Daher werden die Lastendreiräder im Wirtschaftsverkehr je nach Einsatzbereichen oder Qualitätsstufe bedingt betrachtet.

Je nach Geschwindigkeit und Fahrzeugabmessung, werden die Lastenräder bezüglich der Bemessung von Radverkehrsanlagen überwiegend in drei repräsentative Gruppen unterteilt:

Lastenzweirad (z.B. Long John Urban Arrow): Höchstgeschwindigkeit (25 km/h für die Bemessung) mit einer Breite bis zu ca. 0,70 m;

Lastendreirad im Privatverkehr (einschließlich Postdreibike, z.B. Babboe Curve): niedrigste Geschwindigkeit (17 - 20 km/h für die Bemessung) mit einer Breite bis zu ca. 0,90 m;

Lastendreirad im Wirtschaftsverkehr (Velotaxi und z.B. Schwertransporter): mittlere Geschwindigkeit (20 - 23 km/h für die Bemessung) mit einer Breite bis zu ca. 1,2 m. Die 1,20 m Breite stellt bisher die breiteste Lastenradabmessung dar.

In Anhang 16 werden die Bemessungen von Radverkehrsanlagen als Empfehlungen skizziert und die Lösungsansätze (aus dem Ausland) graphisch veranschaulicht.

## 8.2 Entwurfselemente

### 8.2.1 Breite von Radverkehrsanlagen

**Mindestbreite des Einrichtungsverkehrs**

In Hinblick auf die Breite von Radverkehrsanlagen wird zuerst die Mindestbreite des Einrichtungsverkehrs betrachtet, die teilweise zur Anordnung der Benutzungspflicht gemäß VwV-StVO dient. Die Mindestbreite bezieht sich auf die Radverkehrsanlagen nach ERA-Standard. Die Bemessung der Mindestbreite steht in Anlehnung an heutige Regelwerke und Gesetze (Abbildung 3.2 und Abbildung 3.3) und richtet sich **nach dem Verkehrsraum eines Fahrzeuges**. Weil die Mindestbreite unmittelbar mit der Befahrbarkeit und Verkehrssicherheit verbunden ist, muss die Fahrzeugabmessung des Lastenradtyp Schwertransporter mit einer Breite von 1,20 m berücksichtigt werden. Mit der Übernahme des Bewegungsraums für das Lastendreirad in Bild 2 der H RSV bildet sich ein Verkehrsraum des Schwertransporters von 1,45 m Breite ab. Darauf basierend wird ein 0,25 m breiter Sicherheitsraum zu jeder Seite addiert. Daraus ergibt sich **ein 1,95 m breiter Lichtraum,** der die **Grundlage der Bemessung des Mindestmaßes** bildet (Abbildung A16.1 a)). Die 1,95 m Breite stellt sicher, dass die Lastenräder an den (schmalen) Radverkehrsstreifen **im interaktionsbezogenen Zustand** noch einen **0,50 m breiten**

**Abstand** (bezogen auf minimale Position des zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhangs) **zur Bordsteinkante** halten können (Abbildung A16.1 b)), was an den Strecken (1) - (6) in der Videoerfassung nachgewiesen wurde. Nach der Markierungstechnik sowie Rundung der Bemessung, erfolgen die Mindestbreiten von 2,20 m und 2,00 m jeweils für den Radfahrstreifen und den Einrichtungsradweg. Diese Breiten beinhalten eine geringe Reserve für die Bemessung der Breite von Radfahrstreifen und Einrichtungsradwegen gegenüber 1,95 m Breite. An der Strecke (6) mit 2,00 m breitem Radfahrstreifen (zzgl. 0,15 m breiter Rinne) wurde festgelegt, dass die kritischen Überholabstände durch Kfz-Verkehr nur unter den spezifischen Fällen (wie z.B. die Ankunft von Straßenbahnen) auftreten. Das heißt, dass ein Radfahrstreifen mit 2,20 m Breite sichere Überholvorgänge durch Kfz-Verkehr von einzelnen Fahrrädern, Pedelecs, E-Tretrollern sowie schmalen Lastenrädern reibungslos gewährleisten kann.

Außerdem wurde an den Strecken (9) und (18) registriert, dass der Fahrzeugüberhang der Lastenräder einen Sicherheitsabstand von ca. 0,20 - 0,25 m zu den „Hindernissen“ (z.B. baulicher Trennung, Grünflächen) hielten. Deswegen ist ein **0,25 m breiter Sicherheitsraum zur baulichen Trennung für die Bemessung von geschützten Radfahrstreifen** basierend auf einer Breite von Radfahrstreifen zusätzlich einzukalkulieren. Der 0,25 m breite Sicherheitsraum zur baulichen Trennung gilt nicht nur für die Mindestbreite, sondern auch für die Regelbreite im Standard der ERA und Radvorrangrouten.

Weil das Mindestmaß die niedrigste Anforderung für einen sicheren Verlauf des Radverkehrs anbietet, wird die Breite der Rinne bezüglich mangelnder Verkehrsflächen im Sicherheitsraum berücksichtigt.

Die Mindestbreite von Radfahrstreifen, Radwegen (einschl. Zweirichtungsradwege) und geschützten Radfahrstreifen steht in Anlehnung der StVO, weshalb die **Mindestbreite ohne Sicherheitstrennstreifen für die Anordnung der Benutzungspflicht** bemessen werden könnte. Trotzdem wird aus fachlicher Sicht empfohlen, dass der Sicherheitstrennstreifen am Radweg zur Fahrbahn und zur Grünfläche zusätzlich markiert wird, um ein Absturzrisiko zu verringern und einen sicheren Ablauf zu gewährleisten.

Zudem sollte die Diskussion, ob die **Mindestbreite von 1,50 m für den Einrichtungsverkehr gemäß VwV-StVO fortgeschrieben** wird, angestoßen werden, da ein hoher Anteil der kritischen Überholabstände und die deutliche Reduzierung der Geschwindigkeit an schmalen Radverkehrsanlagen erfasst wurden. Diese Erscheinung wurde anhand der Videoerfassung bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden deutlich. Aus dem Grund sollte die **Mindestbreite von 1,50 m zugunsten der Verkehrssicherheit und des Fahrkomforts auf 1,95 m vergrößert werden**.

**Regelbreite des Einrichtungsverkehrs**

Die Bemessung der Regelbreite des Einrichtungsradverkehrs beruht auf dem Verkehrsraum von zwei Rad- oder E-Tretrollerfahrenden unabhängig der Qualitätsstandards. In der Videoerfassung wurde eine Vergrößerung der Überholabstände Pedelec - Fahrrad von ca. 0,10 m gegenüber Fahrrad – Fahrrad gemessen. Zudem lagen die durchschnittlichen Abstände der Pedelecs ungefähr 0,15 - 0,20 m höher als die der Fahrräder (je nach dem Interaktionszustand und der Breitenangaben von Radverkehrsanlagen). Aus diesem Grund sollte ein 1,00 m breiter Verkehrsraum generell durch **einen 1,10 m breiten Verkehrsraum** (wegen Pedelecs) infolge der höheren Geschwindigkeit und breiteren Sicherheitsreserve ersetzt werden. Die Verbreiterung des Verkehrsraums nützt auch den schnell Fahrradfahrenden. Daraus ergibt sich ein **2,20 m breiter Verkehrsraum**, der **das Grundgerüst für die Bemessung der Regelbreite** von Einrichtungsradverkehrsanlagen (Abbildung A16.1 c)) bildet. Der Schwerpunkt der Bemessung hängt davon ab, welche Lastenräder in die Bemessung einbezogen werden sollten.

Bisher wird der Überholvorgang bei der Bemessung von Schutzstreifen ausgeschlossen. Durch den Boom des Radverkehrs ist es empfehlenswert, den Überholvorgang bedingt zu berücksichtigen. **Eine Bemessung des Regelmaßes von Schutzstreifen geht von einem Überholvorgang der Pedelecs aus und beträgt daher 2,20 m Breite**. Weil der Schutzstreifen erst im Fall von unzureichenden Verkehrsflächen einsetzt werden kann, wird ein Überholvorgang mit einem Lastenrad generell nicht einbezogen. Anders als der Bestand wird die Breite der Rinne in Tabelle 8.1 nicht in die Breite des Schutzstreifens einbezogen, d.h. ein Lastenrad, das ein wenig breiter als das Fahrrad ist, könnte den Über-

holvorgang noch innerhalb von Schutzstreifen vollziehen. In der Umfrage hatte ein breiterer Schutzstreifen ein geringeres Sicherheitsgefühl gegenüber den schmaleren Radfahrstreifen. Der Schutzstreifen darf gemäß der StVO auch von Kfz benutzt werden. Aus dem Grund ist anzustreben, den **Schutzstreifen an den Hauptbelastungsstrecken mit einem hohem Radverkehrsaufkommen (besonders Lastenradaufkommen) sowie im Netz von Radvorrangrouten zu vermeiden**. Falls der Schutzstreifen im Netz mit der Qualität von Radvorrangrouten nicht vermeidbar ist, sollte dieser nur für kurze Strecken eingesetzt werden.

Die Bemessung der Regelbreite der Radfahrstreifen, Einrichtungsradwegen sowie geschützten Radfahrstreifen nach ERA-Standard ergibt sich aus einem **Überholvorgang zwischen Lastenzweirad - Fahrrad/Pedelec**. Mit Berücksichtigung der Breite von Lastenzweirädern bis zu ca. 0,70 m (1,20 m breiter Verkehrsraum) wird eine Regelbreite von 2,55 m für den Radfahrstreifen (einschl. 0,25 m breiter Markierung) (Abbildung A16.1 d)) bzw. 2,30 m für den Radweg je nach der Markierungstechnik empfohlen. Die gegenüber Fahrrad - Fahrrad vergrößerten Überholabstände Lastenrad - Fahrrad um 0,15 m wird in dem vergrößerten Verkehrsraum auf 1,10 m bereits berücksichtigt. Die empfohlene Regelbreite gilt auch für den Überholvorgang mit dem Lastendreirad im Privatverkehr bis zu ca. 0,90 m und das Postdreirad bis zu ca. 0,80 m. Die Verschmälerung des Sicherheitsraums solcher Fahrzeuge ist darin begründet, dass die Lastendreiräder dieser Art den schmalen Verkehrsraum infolge der höheren Stabilität und geringeren Geschwindigkeit gegenüber Pedelecs und Lastenzweirädern brauchen. Daraus verringert sich auch der Überholbedarf zwischen Lastendreirädern und Fahrrädern/ Pedelecs. Die Bemessung setzt ebenso voraus, dass die Breite der Rinne an (geschützten) Radfahrstreifen und die Breite der Sicherheitstrennstreifen an den Einrichtungsradwegen zusätzlich berücksichtigt werden. Besonders hervorzuheben ist, dass die **Rinne** von den Nutzenden (besonders Pedelec- und Lastenradfahrenden) mühsam zu befahren ist, allerdings **ihre Breite in dem Sicherheitsraum berücksichtigt** werden könnte. Die Bemessungsempfehlung könnte auch durch Videoerfassung an der Strecke (20) gestützt werden, an der die Überholvorgänge zwischen Lastenrädern im Privatverkehr und Fahrrädern an einem 2,25 m breiten geschützten Radfahrstreifen zzgl. 0,15 m breiter Rinne und 0,15 m breitem Sicherheitsraum zu Pollern gut abgewickelt wurden.

Bei der Bemessung der Radvorrangrouten sind die dienstlichen Fahrzeuge wie das Lastendreirad im Wirtschaftsverkehr (im Besonderen Velotaxis und Schwertransporter) nicht zu vernachlässigen, da die Radvorrangrouten als Hauptnetz zur Förderung der nachhaltigen Stadtlogistik angesehen werden sollten. Aus dem Grund erfolgt **die Bemessung der Regelbreite aus Überholvorgang Lastendreirad (Schwertransporter) - Fahrrad/ Pedelec**. Basierend auf der Regelbreite nach ERA-Standard wird die Fahrzeugabmessung auf 1,20 m vergrößert und dementsprechend der Bewegungsraum auf 0,25 m verkleinert beruhend auf Bild 2 H RSV. Dadurch wird die Regelbreite in der Qualität der Radvorrangrouten abgebildet (Abbildung A16.1 e)). Solche Regelbreiten ermöglichen auch den Überholvorgang Lastenrad - Lastenrad (bis zu 1,00 m), welcher bereits in den H RSV berücksichtigt wird.

**Breite des Zweirichtungsverkehrs**

Die Bemessungslogik des Zweirichtungsradwegs unterscheidet sich leicht von der Bemessungslogik des Einrichtungsradwegs, weil eine eindeutige Einschränkung der Befahrbarkeit am Zweirichtungsradweg bei schmaleren Breiten als das Mindestmaß an der Strecke (15) beobachtet wurde, besonders wenn der Radweg zwischen Fahrbahn und Grünfläche liegt. Hierbei ist auch zu berücksichtigen, dass die Pedelecs einen höheren Anteil der Unfälle mit anderen Rädern an Zweirichtungsradwegen hatten als die Fahrräder. Der Überholvorgang im Einrichtungsverkehr könnte bis zum nächsten Knotenpunkt verzögert werden, allerdings ist die Begegnung schwer vermeidbar. Daher ist eine Begegnung mit dem Lastenrad bei der Bemessung der Mindestbreite bereits einzubeziehen. Die Mindestbreite nach ERA-Standard setzt den Verkehrsraum von zwei Lastenzweirädern (1,20 m breiter Verkehrsraum) und den in Abbildung 3.2 dargestellten Sicherheitsraum um 0,50 m voraus. Dabei wird von einer **2,90 m Breite für das Mindestmaß** ausgegangen (Abbildung A16.1 g)). Hierbei wird der Begegnungsfall Lastendreirad (Schwertransport) - Lastenzweirad in der Bemessung grundsätzlich ausgeschlossen, da die Wahrscheinlichkeit dieser Begegnung wegen der geringen Anzahl der Lastenräder sehr klein ausfällt. Falls eine solche Begegnung passieren würde, könnten die Fahrzeuge mit geringerem Sicherheitsraum langsamer aneinander vorbeifahren.

Für die Bemessung der Regelbreite des Zweirichtungsradwegs ist ein **dreistreifiger Verkehrsraum** maßgebend. In der Umfrage wies ein Zweirichtungsradweg mit 2,50 m Breite ein ungenügendes Sicherheitsgefühl auf. Die Unfallanalyse zeigte auch ein höheres Unfallrisiko am Zweirichtungsradwegen mit den Pedelecs. An der Strecke (17) mit einer Breite von 3,00 m wurde beobachtet, dass diese Breite für eine Begegnung von Nebeneinanderfahrenden sowie Überholenden zu gering war. Es ist zu berücksichtigen, dass keine Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn und zur Grünfläche vorhanden waren. Die geringe Breite wurde bei der Begegnung von überholenden Nutzenden eindeutig erkennbar, weil die Überholenden mehr Verkehrsflächen brauchten gegenüber den Nebeneinanderfahrenden. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass der Verkehrsraum aller Nutzenden auf 1,10 m vergrößert wird. Daraus ergibt sich ein **3,30 m breiter Zweirichtungsradweg nach ERA-Standard** (Abbildung A16.1 h)). Für die Regelbreite der Radvorrangrouten ist eine Begegnung mit einem Lastenzweirad mit einem Verkehrsraum von 1,20 m basierend auf der Regelbreite nach ERA-Standard zu berücksichtigen. Daraus bildet sich ein **3,40 m breiter Zweirichtungsradweg in den Radvorrangrouten (**Abbildung A16.1 i)). Die Regelbreite nach ERA-Standard und von Radvorrangrouten ermöglicht auch eine Begegnung zwischen einem Lastendreirad (Schwertransport) und einem Lastenrad (bis zu einer Breite von 1,00 m).

Die vorliegende Breite von Radverkehrsanlagen wird in Tabelle 8.1 zusammengefasst. In dieser Tabelle fehlt die Mindestbreite von Radvorrangrouten, die noch von der Regelbreite des ERA-Standards übernommen werden.

**Tabelle 8.1: Empfehlung für die Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen [m]**

| Qualität / Führungsform | ERA-Standard | | Radvorrangrouten |
|---|---|---|---|
| | Mindestbreite | Regelbreite | Regelbreite |
| Schutzstreifen | 1,95 (inkl. Rinne) | 2,20 (zzgl. Rinne) | 2,20 (zzgl. Rinne)[2)] |
| Radfahrstreifen[1)] | 2,20 (inkl. Rinne) | 2,55 (zzgl. Rinne) | 2,80 (zzgl. Rinne) |
| Einrichtungsradweg[3)] | 2,00 | 2,30 | 2,60 |
| Zweirichtungsradweg[3)] | 2,90 | 3,30 | 3,40 |
| geschützter Radfahrstreifen[4)] | 2,20 (inkl. Rinne) + 0,25 | 2,55 (zzgl. Rinne) + 0,25 | 2,80 (zzgl. Rinne) + 0,25 |

1) einschließlich 0,25 m breiter Markierung;
2) nur für die kurze Strecke geeignet;
3) zuzüglich Sicherheitstrennstreifen (abgesehen von der Bemessung der Mindestbreite);
4) Die Breite der geschützten Radfahrstreifen basiert auf der Breite der Radfahrstreifen zzgl. 0,25 m Sicherheitsraums zur baulichen Trennung;

## Weitere Diskussionspunkte

Natürlich spielt die Breite des Kfz-Fahrstreifens eine Rolle für die Überholabstände bei der Führung an Radverkehrsstreifen. Das bedeutet, dass die Gesamtverkehrsflächen (Breite Radfahrstreifen und Kfz-Fahrstreifen) die Überholabstände beeinflussen. In der Untersuchung wurde die Auswirkung der Breite des Kfz-Fahrstreifens auf die Überholabstände nicht vertiefend untersucht. Dabei wurden an allen Strecken mit Radverkehrsstreifen die Kfz-Fahrstreifen breiter als 2,75 m ausgewählt. Gemäß ERA 2010 wird bei der Führung auf dem Schutzstreifen ein Mindestmaß des Kfz-Fahrstreifens von 2,25 m vorgeschrieben. An der Strecke (1) besteht ein 1,25 m breiter Schutzstreifen und ein 2,75 m breiter Kfz-Streifen, an der Strecke (2) ein 1,50 m breiter Schutzstreifen und ein 3,00 m breiter Kfz-Streifen. An den beiden Strecken wurden generell hohe Anteile der kritischen Überholabstände erfasst. Das heißt, dass ein 1,95 m breiter Schutzstreifen mit einem 2,25 m breiten Kfz-Fahrstreifen auch zu einem hohen Anteil der kritschen Situationen führen könnte, da sich die Breite der Gesamtverkehrsflächen nicht oder nur leicht vergrößert. Aus dem Grund wird eine **Mindestbreite von 2,75 m für Kfz-Fahrstreifen bei der Führung des Radverkehrs am Schutzstreifen** mit der Verbreiterung des Mindestmaßes für den Schutzstreifen vorgeschlagen.

Zudem ist der Einsatz von geschützten Radfahrstreifen zu erläutern. In den letzten Jahren wurden die schmalen Radfahrstreifen nachträglich in schmale geschützten Radfahrstreifen umgestaltet (z.B. Strecke (18), 1,40 m Breite, Düsseldorfer Straße, Frankfurt am Main), um die subjektive Sicherheit zu erhöhen. In der Umfrage und Videoerfassung wurden kontroverse Aussagen dazu getätigt. Einerseits wurde ein erhöhtes Sicherheitsempfinden für schmale geschützte Radfahrstreifen in der Umfrage ermittelt im Vergleich zu den schmalen Radfahrstreifen. Andererseits wurde eine niedrigere Akzeptanz, besonders bei Pedelecfahrenden, in der Videoerfassung beobachtet. Daher passt der schmale

geschützte Radfahrstreifen zu einer **Zwischenlösung** vor dem Umbau, aber langfristig wird ein solch schmaler geschützter Radfahrstreifen nicht empfohlen. Neben dem schmalen geschützten Radfahrstreifen ist auch das regelwidrige Parken am breiten geschützten Radfahrstreifen zu erwähnen. **Um das „protected park lane“ zu vermeiden, können mobile Poller am Anfang und Ende des geschützten Radfahrstreifens eingerichtet werden**. Im Bedarfsfall können die Poller eingestellt werden (Abbildung A16.2). Die Abstände zwischen den Pollern müssen gewährleisten, dass die Lastenräder reibungslos durchfahren können.

Zuletzt wird der Zusammenhang zwischen der Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen und des Radverkehrsaufkommens bezüglich der Überholvorgänge zwischen Radfahrenden und E-Tretrollernutzenden besprochen. Da die Radverkehrsanlagen innerorts oft durch Knotenpunkte mit Lichtsignalanlage unterbrochen und der Radverkehr in der Sperrzeit „gesammelt“ werden, ist davon auszugehen, dass an den nächsten Strecken vermehrt Überholvorgänge stattfinden. An der Strecke (20) wurde eine hohe Anzahl der Überholvorgänge erfasst. Dabei wurden sogar die Überholvorgänge zwischen drei Nutzenden beobachtet, für die das Überholen bei einer Breite von 2,25 m (zzgl. 0,15 m breiter Rinne und 0,15 m zum Poller) schwierig war. Das weist darauf hin, dass die Radverkehrsanlage mit dem Verkehrsraum für zwei Nutzende nicht ausreichend ist. In vier Stunden (einschließlich der Spitzenstunde) wurden mehr als 800 Radfahrende erfasst. Das heißt, dass die Anzahl der Rad- und E-Tretrollerfahrenden an einem Tag an der Grenze zwischen den Radvorrangrouten und Radschnellverbindungen lag. Die Nachfrage des Radverkehrs fordert die Breite der Qualitätsstandards von Radschnellverbindung aufgrund der Überholvorgänge. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass innerorts die Breite der Radverkehrsanlagen von einem niedrigeren Qualitätsstandard auf die Breite der Radverkehrsanlagen mit einem höheren Qualitätsstandard verbreitert wird, wenn die Anzahl der Nutzenden leicht unter der Grenze oder ungefähr die Grenze für die Bemessung im höheren Qualitätsstandard erreicht.

### 8.2.2 Trennung zwischen Geh- und Radweg

Angesichts des Themas der Trennung zwischen Geh- und Radweg geht es zuerst um die Frage, welche Trennungsformen zum Einsatz kommen sollten. Laut den Bewertungskriterien der Positionswahl einzelner Rad- und E-Tretrollerfahrenden und Interaktionen mit dem Fußverkehr ist von einer **farblichen Differenzierung oder der weißen Linie** generell **abzuraten**. Dies ist damit zu begründen, dass zum einen die Positionswahl (vor allem bei Fahrradfahrenden) zu nahe zur Bordsteinkante lag, zum anderen, weil ein erhöhter Anteil der kritischen Situationen oder Behinderungen (überwiegend bei Pedelecfahrenden) beim Vorbeifahren am Fußverkehr registriert wurde. Besonders ist es für die Gelegenheitsnutzenden schwierig, den Radweg ohne farblichen Kontrast zu erkennen.

Für den Einsatz von Pollern kommt eine kontroverse Aussage bei der Videoerfassung auf. Einerseits verringerte der Einsatz von Pollern die Beeinträchtigung des Fußverkehrs deutlich. Andererseits wurde eine niedrigere Akzeptanz an den Strecken mit Pollern nachgewiesen. Zu den Gründen für die Nichtannahme der vorgeschriebenen Verkehrsflächen zählten zum großen Teil „Überholen“ und „schnelles Fahren“. Aus der Analyse könnten **Poller** als Trennung in dem Fall eingesetzt werden, wenn **der Radweg in Regelmaß (Überholmöglichkeit vorhanden) bemessen** wird und zugleich der **Gehweg mit mittelstarker bis starker Belastung schmaler als das Mindestmaß** (2,30 m breit) ist.

Weil der 0,30 m breite Begrenzungsstreifen als ausreichend angesehen wird, bezieht sich die zweite Frage darauf, in welchem Fall der Begrenzungsstreifen dringend eingesetzt werden sollte. In Hinblick auf die Positionswahl der Rad- und E-Tretrollerfahrenden und Interaktionen mit dem Fußverkehr wird vorgeschlagen, dass der Begrenzungsstreifen an

- **den Strecken mit Parkständen;**
- **den Strecken mit Steigung;**
- **den Strecken mit hohem Radverkehrsaufkommen**

in der Priorität zum Einsatz kommen sollte.

An den Radwegen mit Parkständen fuhren die Rad- und E-Tretrollernutzenden nahe zum Gehweg. Diese Positionswahl wurde auch an der Strecke (27) mit 0,75 m breitem Sicherheitstrennstreifen beobachtet. Dabei hatten die Lastenradfahrenden mehr Probleme mit dem Fußverkehr unter Berücksichtigung der instabilen Fahrweise, wenn die zu Fuß Gehenden zu nahe am Radweg waren. Obwohl es nicht klar ist, ob sich die Positionswahl der Rad- und E-Tretrollerfahrenden an einer Strecke mit z.B. 1,00 m breitem Sicherheitstrennstreifen zu Parkständen ändern würde, ist der Begrenzungsstreifen generell an den Strecken mit Parkständen empfehlenswert.

An den Strecken mit Steigung fuhren die Nutzenden näher am Gehweg als an den ebenen Strecken. Dies wird durch die Verbreiterung der Radwege ausgeglichen. Allerdings fuhren die langsameren Nutzenden oft ziemlich nahe zum Gehweg als auch an der Grenze zwischen Geh- und Radweg. Um eine gegenseitige Behinderung zu reduzieren, ist der Begrenzungsstreifen umgehend einzusetzen.

An Strecken mit hohem Radverkehrsaufkommen (Strecke (20) und (31)) wurde festgestellt, dass die langsam fahrenden Rad- und E-Tretrollernutzenden „automatisch“ nahe zur rechten Grenze der Radverkehrsflächen fuhren. Daher ist ein Begrenzungsstreifen in dem Fall zu realisieren. Angesichts der Anzahl, bei der der Begrenzungsstreifen eingesetzt werden sollte, kann sich die Grenze in dieser Ausarbeitung nur nach dem Verkehrsaufkommen an den Strecken (20) und (31) orientieren. Hier wurden 600 - 800 Räder/4h gezählt, welche die Obergrenze der Radvorrangrouten sowie Untergrenze der Radschnellverbindung darstellen.

### 8.2.3 Breite von Sicherheitstrennstreifen

Eine Bemessung von Sicherheitstrennstreifen ist generell auch für die Radverkehrsanlagen nach ERA-Standard und Raddirektverbindung, getrennt zu betrachten.

**Sicherheitstrennstreifen zum Längsparken**

Anfangs kommt die Breite der Sicherheitsstreifen nach ERA-Standards infrage. Der **0,25 - 0,50 m breite, nicht markierte Sicherheitsraum am Schutzstreifen** gemäß ERA 2010 ist **nicht zu empfehlen**. Die Strecke (21) mit 1,50 m breitem Schutzstreifen könnte auch als 1,25 m breiter Schutzstreifen mit einem 0,25 m breiten Sicherheitsraum betrachtet werden. Dabei wurde bei der Positionswahl beobachtet, dass sich die Rad- und E-Tretrollerfahrenden weiter von den Parkständen entfernten. Dabei fuhr ein Teil der Rad- und E-Tretrollerfahrenden nahe der Kfz-Fahrstreifen zugewandten Markierung. Dies war bei Pedelec- und Lastenradfahrenden deutlicher ausgeprägt. Somit wurde ein hoher Anteil der kritischen Überholabstände nachgewiesen. Das heißt, dass sich die Rad- und E-Tretrollerfahrenden im Fall nicht einfach orientieren konnten. Die Empfehlung für die **Abschaffung eines nicht markierten Sicherheitsraums** gilt daher nicht nur für den Sicherheitstrennstreifen zu den Parkständen, sondern für **alle Fälle mit Sicherheitstrennstreifen**. Die minimalen Positionen wurden ca. 0,50 m von den Parkständen (bezogen auf die Fahrzeugmittelachse) unabhängig vom Interaktionszustand an der Strecke (21) ohne Sicherheitstrennstreifen gemessen. Dies weist darauf hin, dass die von den Parkständen 0,50 m entfernten Verkehrsflächen nicht befahren wurden und **eine Vergrößerung der Verkehrsflächen um weniger als 0,50 m (Sicherheitsraum/ Sicherheitstrennstreifen schmaler als 0,50 m) nicht ausreichend** war.

Im Weiteren ist von einem **Sicherheitsstreifen mit einer Breite von 0,50 m an Radverkehrsstreifen auch abzuraten**, besonders an schmalen Radverkehrsstreifen und an den Strecken mit häufigen Parkvorgängen. Auf der einen Seite wurde bei einem 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen mit einem 2,00 m breiten Parkstand beobachtet, dass die unpräzise parkenden Kfz oder deren Außenspiegel aufgrund einer größeren Fahrzeugabmessung sowie geöffnete Autotüren in den Radverkehrsstreifen ragten. Dies führt dazu, dass die schnellfahrenden Nutzenden (z.B. Pedelecfahrenden) weiter von den Parkständen entfernt fuhren und öfter mit kritischen Abständen an den schmalen Radverkehrsstreifen überholt wurden. Auf der anderen Seite orientierten sich die Rad- und E-Tretrollerfahrenden an den Sicherheitstrennstreifen und ein Teil der Nutzenden fuhr an den schmalen Radverkehrsstreifen fast auf der Markierung der Sicherheitstrennstreifen. Die volle Türöffnung benötigt allerdings eine Breite von ca. 0,80 m. Gerade deshalb stellt sich die Frage, ob der 0,50 m Sicherheitstrennstreifen die Rad- und E-

Tretrollerfahrenden näher zu den Parkständen „zieht“ als keine Sicherheitstrennstreifen. Falls „Dooring-Unfälle“ geschehen, wäre dies dem 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen geschuldet, da sich die Rad- und E-Tretrollerfahrenden ingenieurmäßig an der Markierung orientierten. Aus dem Grund wird **ein 0,75 m breiter Sicherheitstrennstreifen an den Radverkehrsstreifen empfohlen**, weil bei einem 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen nur Behinderungen durch Ein- und Ausparkvorgänge (Strecke (24)) beobachtet wurden, welche nicht durch eine Markierung der Sicherheitstrennstreifen verbessert wurden. Dies wurde auch in der Umfrage bestätigt, dass ca. vier Fünftel der Befragten einen 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen für sicher halten.

**An den Radwegen wird ein 0,75 m breiter Sicherheitstrennstreifen** gemäß ERA 2010 beibehalten. An der Strecke (27) wurden kaum Behinderungen durch Parkende erfasst und bei den Interaktionen mit den zu Fuß Gehenden lag ein insgesamt höherer Anteil der kritischen Situationen und Behinderungen vor als an den Strecken ohne Parkstände. Der höhere Anteil der kritischen Situationen und Behinderungen bei den Lastenradfahrenden hing eher mit den zu Fuß Gehenden und dem zu haltenden Abstand zusammen, weshalb eine Verbesserung mit der Bemessung von Begrenzungsstreifen verbunden (siehe § 8.2.2) ist. Eine Ausnahme gibt es beim **Radweg zwischen Fahrbahn und Parkständen**. In dem Fall fehlt eindeutig die Möglichkeit auszuweichen und daher ist ein **Sicherheitstrennstreifen von 1,00 m Breite zu empfehlen**.

An den Radverkehrsanlagen nach dem Qualitätsstandard der Radvorrangrouten, werden zügigere Verkehrsabläufe des Radverkehrs und dementsprechend eine höhere Geschwindigkeit erwartet. Dabei sollte die Reserve bezüglich der 0,80 m Breite der Türöffnung berücksichtigt werden. Aus dem Grund wird ein **Sicherheitstrennstreifen mit 1,00 m Breite für die Radverkehrsanlagen des Qualitätsstandards der Radvorrangrouten** vorgeschlagen. Dies könnte auch am Radweg nützlich sein, da sich die Positionswahl der Rad- und E-Tretrollerfahrenden von dem Gehweg entfernen würde. Allerdings ist ein **Sicherheitstrennstreifen breiter als 1,00 m zu vermeiden**. In der Videoerfassung wurde ab und zu die Nutzung der Sicherheitstrennstreifen von Rad- und E-Tretrollerfahrenden an den Radverkehrsstreifen und von zu Fuß Gehenden an den Radwegen registriert. Deswegen könnte ein Sicherheitstrennstreifen breiter als 1,00 m zur missbräuchlichen Fehlnutzung führen.

**Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn**

In Hinblick auf die Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn scheint ein 0,75 m breiter Sicherheitstrennstreifen beim Einrichtungsradweg gemäß ERA und H RSV problematisch zu sein. An der Strecke (29) mit 1,60 m breitem Radweg und 0,70 m breitem Sicherheitstrennstreifen wurde eine große Menge von entgegenkommendem Rad- und E-Tretrollernutzenden erfasst. An der Strecke (29) war ein ähnlicher Radweg auf der anderen Straßenseite vorhanden. Die Überquerung der Straße war aufgrund der Straßenbreite und Grünfläche in der Mitte schwierig, allerdings lag die Strecke zwischen benachbarten Knotenpunkten mit ca. 200 m Entfernung. Das heißt, dass die Bedingung zur Überquerung noch akzeptabel ist. Aus der Analyse lässt sich die Aussage treffen, dass ein breiterer Sicherheitstrennstreifen eher die linksfahrenden Nutzenden betreffen könnte. Daher ist nur ein **0,50 m breiter Sicherheitstrennstreifen für den Einrichtungsradweg nach ERA-Standard** empfohlen. Hiermit ist die Verlagerung der Einbauten zu berücksichtigen. In der Umfrage wurde auch ein eindeutig verbessertes Sicherheitsempfinden beim 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen nachgewiesen. Für den Einrichtungsradweg in **den Radvorrangrouten** wird doch **ein 0,75 m breiter Sicherheitstrennstreifen gemäß H RSV** aufgrund höher erwarteter Fahrgeschwindigkeit und höherem Radverkehrsaufkommen beibehalten. Für den Sicherheitstrennstreifen zwischen Zweirichtungsradweg und Fahrbahn ist das obengenannte Problem beim Einrichtungsradweg kein Thema, da die linksfahrenden Nutzenden sowieso den Radweg befahren. Dabei könnten die Werte in den ERA und H RSV für die zukünftigen Bemessung übernommen werden.

Angesichts des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn war nur eine Strecke betroffen. In der Umfrage lag kein höheres Sicherheitsempfinden für die Strecke mit dem Sicherheitstrennstreifen vor als für die Strecke ohne Sicherheitstrennstreifen mit derselben Breite. Im Tagesspiegel (2021) wurde das subjektive Sicherheitsgefühl bei verschiedenen Arten der Trennung zwischen Kfz-Fahrstreifen und Radverkehrsanlagen in Berlin abgefragt. Für die Sperrfläche, die an der Strecke (30) als Sicherheitstrennstreifen eingesetzt wird, lag ein deutlich niedrigeres Sicherheitsempfinden (71,5%

„sicher“ und „eher sicher“) vor, als für die bauliche Trennung (ca. 91%) und ein ähnliches Sicherheitsempfinden für die Doppellinie (72,4%). Leider wurde keine Breite für den Sicherheitstrennstreifen angegeben. Anhand der Videoerfassung wurde ermittelt, dass keine kritischen Überholabstände bei einzeln Nutzenden auftraten. Allerdings tauchte ein ähnlicher Anteil der kritischen Überholabstände bei überholenden Nutzenden auf wie an den Strecken ohne Sicherheitstrennstreifen mit demselben Breitenniveau. An der Strecke (30) wurde eine 1,25 m breite Sperrfläche als Sicherheitstrennstreifen markiert, während gemäß H RSV eine 0,50 m breite Doppellinie als Sicherheitstrennstreifen vorgeschrieben wird. Daraus entsteht die Überlegung, ob ein breiterer Radfahrstreifen zuzüglich eines schmaleren Sicherheitstrennstreifen sinnvoller wäre bezüglich der Überholabstände von Rad- und E-Tretrollerfahrenden als ein schmalerer Radfahrstreifen zuzüglich eines breiteren Sicherheitstrennstreifens. Außerdem wurden eindeutig unterschiedliche Positionswahlen bei Fahrradfahrenden im interaktionsfreien und interaktionsbezogenen Zustand an der Strecke (30) erfasst. Das weist darauf hin, dass die subjektive Sicherheit der Fahrradfahrenden nicht durch die Markierung der Sicherheitstrennstreifen verbessert wird. Dazu stellt sich im Zusammenhang der vorliegenden Umfrage in Berlin die Frage, ob der Einsatz der baulichen Trennung (sogar an einem schmaleren Sicherheitstrennstreifen) die subjektive Sicherheit verbessern könnte. Für solche Themen besteht noch Forschungsbedarf, weshalb an dieser Stelle keine Empfehlung gegeben wird.

## Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Grünflächen

Neben dem Sicherheitstrennstreifen gemäß ERA 2010, sollte zwischen dem Radweg und der Grünflächen ein Sicherheitstrennstreifen eingesetzt werden. In der Videoerfassung an den Strecken (9) und (32) wurde ein 0,20 - 0,25 m großer Abstand zwischen Fahrzeugüberhang der Lastenräder und der angrenzenden Grünfläche gemessen. Dieser Wert ähnelt dem zwischen Fahrzeugüberhang und baulicher Trennung an den geschützten Radfahrstreifen (Strecke (18)). Deswegen wird ein **Sicherheitstrennstreifen von 0,25 m Breite zwischen Radweg und Grünfläche empfohlen**. Diese Breite setzt voraus, dass die **Grünpflege regemäßig durchgeführt** wird und grundsätzlich kein Bewuchs in den Radweg ragt. Bei dem Fall, dargestellt in Abbildung 8.1, muss ein breiterer Sicherheitstrennstreifen (0,50 m) angedacht werden.

**Tabelle 8.2: Empfehlungen für Breite von Sicherheitstrennstreifen [m]**

| Art der Sicherheitstrennstreifen | Führungsform | ERA-Standard | Radvorrangrouten[1)] |
|---|---|---|---|
| zum Längsparken | Radverkehrsstreifen | 0,75 | 1,00 |
| | Radweg | 0,75 (1,00)[2)] | 1,00 |
| zur Fahrbahn | Einrichtungsradweg | 0,50 | 0,75 |
| | Zweirichtungsradweg | 0,75 | 1,00 |
| | Radfahrstreifen | *Forschungsbedarf* | |
| zur Grünfläche | Radweg | 0,25 (0,50 bei unzureichender Grünpflege) | |

1) Mindestbreite bei Radvorrangrouten wird von der Breite des ERA-Standards übernommen.
2) Beim Radweg zwischen Fahrbahn und Längsparkständen wird ein 1,00 m breiter Sicherheitstrennstreifen empfohlen.

**Abbildung 8.1: Pflanzen ragen in den Radweg [eigene Aufnahme]**

Analog zu den Empfehlungen für die Breite von Radverkehrsanlagen, kann die Mindestbreite von Sicherheitstrennstreifen bei Radvorrangrouten von der Breite nach ERA-Standard übernommen werden. Die Empfehlungen für die Breite von Sicherheitstrennstreifen werden in Tabelle 8.2 zusammengestellt.

### 8.2.4 Längsneigung

Bezüglich der Bemessung von Radverkehrsanlagen wird die Auswirkung der Längsneigung auf die Breite von Radverkehrsanlagen - **Zusatzbreite** - genannt. Die Zusatzbreite wird überwiegend von der seitlichen Schwankung (bergauf), der von der Bordsteinkante entfernten Positionswahl und den vergrößerten Überholabständen (zwischen Pedelec - Fahrrad) infolge größeren Geschwindigkeitsunterschieds festgelegt. An den Steigungsstrecken wurde generell eine Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände von ca. 0,10 m und eine Vergrößerung der Überholabstände von 0,15 m gegenüber den ebenen Strecken erfasst, wenn die Auswirkung des hohen Radverkehrsaufkommens von der Positionswahl abgezogen wurde. Der Grad seitlicher Schwankung ist unmittelbar von der Steigung abhängig. Bis zu 3% Steigung hatte nur 1/5 der Nutzenden eine Schwankung größer als 0,30 m, bis zu 4,2% Steigung hatten schon fast 2/5 der Nutzenden eine Schwankung größer als 0,30 m. Ab 6% Steigung zeigten ca. 60% der Nutzenden eine seitliche Schwankung größer als 0,30 m und ca. 30% größer als 0,60 m. Dies weist darauf hin, dass für eine Steigung bis zu 3% die vergrößerten Überholabstände für die Zusatzbreiten maßgebend sind. Daraus ergibt sich eine empfehlenswerte Zusatzbreite von ca. 0,15 m. Ab ca. 4% ist die seitliche Schwankung für die Zusatzbreite maßgebend. Im Vergleich dazu, ist die Zusatzbreite bei einer Steigung von weniger als 3% generell nicht notwendig. Die Übersicht der empfohlenen Werte für die Zusatzbreite wird in Abhängigkeit von der Steigung in Tabelle 8.3 dargestellt.

**Tabelle 8.3: Übersicht der Empfehlungen für die Zusatzbreite in Abhängigkeit von der Steigung**

| **Steigung** | 3% | 4% | 6% |
|---|---|---|---|
| **Zusatzbreite [m]** | 0,15 | 0,30 | 0,50 |
| Die Zusatzbreite bei der Steigung dazwischen ist zu interpolieren | | | |

An den Gefällestrecken wurde eine Vergrößerung der durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante bei der Positionswahl erfasst, beispielsweise an der Strecke (31) von ca. 0,10 - 0,15 m. Allerdings wurde eine solche Vergrößerung zum großen Teil durch das starke Radverkehrsaufkommen verursacht. Aus der Untersuchung folgt, dass eine Verbreiterung von Radverkehrsanlagen an den Gefällestrecken generell nicht unbedingt nötig wird. Falls die Verkehrsflächen ausreichend sind, ist eine Verbreiterung um **bis zu 0,20 m** zu empfehlen.

Neben der Auswirkung auf die Breite, wird eine Führungsform kurz erläutert: In der Unfallanalyse wurde ein höherer Anteil der Unfälle mit dem Pedelec im Seitenraum bergab erfasst im Vergleich zu den Unfällen mit dem Fahrrad. In der Videoerfassung wurde eine schlechtere Akzeptanz der vorgeschriebenen Verkehrsflächen an der Strecke (33) bergab ausgewertet. Dies wurde insbesondere bei schnellfahrenden Rädern (Pedelecs, E-Lastenrädern) deutlich. Aus der Analyse wird die Empfehlung gemäß ERA 2010 widergespiegelt, dass **an den starken Gefällestrecken (> 5%) auf die Führung einer separaten Radverkehrsanlage verzichtet** werden kann. Der Straßenraum ist dahingehend zu prüfen, ob eine Markierung von Radfahrstreifen oder Schutzstreifen möglich ist, da der Unfallanalyse zufolge eine Fahrbahnführung im Mischverkehr bergab auch risikobehaftet ist. Um die schutzbedürftigen Nutzenden zu sichern, ist zu überlegen, ob eine duale Führungsform (z.B. Radweg ohne Benutzungspflicht + Schutzstreifen) geeignet ist.

Anschließend ist eine **weiche und höhengleiche Trennung** zwischen Geh- und Radweg an den **Steigungsstrecken** passend, weil dabei eine (befahrbare) zusätzliche Verkehrsfläche bei starker seitlicher Schwankung vorhanden ist und eine Nutzung des Gehwegs beim zwischenzeitlichen Schieben einfacher ist. Als weiche und höhengleiche Trennung gilt auch der von den ERA 2010 empfohlener Begrenzungsstreifen.

Abgesehen von den Empfehlungen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen ist eine Empfehlung für die **Hersteller der E-Tretroller zu geben**. An der Stecke (33) bergauf wurde festgestellt, dass die

Geschwindigkeit der E-Tretroller je nach Hersteller große Unterschiede aufwiesen und die Geschwindigkeit sowie die Befahrbarkeit von dem Fahrzeugzustand abhängig war. Dabei sollten die Hersteller überprüfen, dass an einer Strecke von bis zu 6% Steigung keine deutliche Geschwindigkeitsreduzierung besteht, da erst eine Steigung größer als 6% als Sonderfall betrachtet wird und von den Radvorrangrouten gemäß H RSV ausgeschlossen ist. Auch sind die eingesetzten Fahrzeuge von Sharing-Services regelmäßig zu überprüfen, z.B. ob die Leistungsfähigkeit nach längerer Nutzung noch für die starken Steigungsstrecken ausreichend ist.

Für die Bemessung der Steigung selbst wird in der Arbeit grundsätzlich keine Aussage getroffen, weil es in der Arbeit um die Auswirkung der Steigung an straßenbegleitenden Radverkehrsanlagen an den Hauptverkehrsstraßen geht und eine separate Bemessung wie z.B. selbstständig geführte Radwege schwierig ist. Nur für die Steigung der Brückenrampen gibt es die Möglichkeit, eine eigene Rampe für den Radverkehr zu bemessen. Ansonsten ist an Hauptverkehrsstraßen mit einer sehr steilen Steigung z.B. ein Fahrradlift einzusetzen.

### 8.2.5 Kurvenbereich

Für die Kurvenbereiche an den Hauptverkehrsstraßen wurden nur zwei Situationen, nämlich die Verschwenkung und das Rechtsabbiegen mit rechten Winkeln, untersucht.

Für die Verschwenkung wurde nur eine geringe Einschränkung der Befahrbarkeit je nach Fahrzeugtyp festgestellt. Allerdings wurde eine Verringerung der durchschnittlichen Abstände zur Bordsteinkante infolge der Schleppkurve bei Lastenrädern mit zunehmender Geschwindigkeit nachgewiesen. Deswegen wird eine Auswirkung auf die Positionswahl an den Strecken mit Verschwenkung mit einer Verbreiterung von Radverkehrsanlagen abgeglichen. Für eine Geschwindigkeit von ca. 25 km/h wird eine generelle **Zusatzbreite für die Verschwenkungsstrecke um 0,50 m** empfohlen.

Für das Rechtsabbiegen mit rechtem Winkel hing die Geschwindigkeit mit dem Radius der Fahrkurve zusammen. Für Abbiegevorgänge mit einem ca. 10 m Radius (Route 3 in Abbildung 4.6)), konnten Pedelecfahrende und Fahrradfahrende eine durchschnittliche Geschwindigkeit von ca. 25 km/h (eventuell mit dem Ausholen auf der Fahrbahn) erreichen. Bei der Route 2 wurde mit einem ca. 6,5 m Radius gerechnet und dort konnten Pedelecfahrende eine durchschnittliche Geschwindigkeit von 20 km/h erreichen, die Fahrrad- und Lastenradfahrenden 18 km/h. Das heißt, dass bei einem 10 m Radius - gemäß ERA 2010 - beim Rechtsabbiegen mit rechten Winkeln die erwartete Fahrgeschwindigkeit von 25 km/h der Pedelecs und Fahrräder generell unproblematisch ist. An der Route 3 wurden keine Lastenradfahrende erfasst. Mit einem Spielraum zwischen dem Radius an der Route 2 und 10 m Radius sollten Lastenräder eine Geschwindigkeit über 20 km/h schaffen. Deswegen wird ein **10 m Radius** gemäß ERA 2010 für **das Rechtsabbiegen mit rechtem Winkel** beibehalten.

Allerdings stellt sich in der Praxis die Frage, wie der 10 m Radius gewährleistet werden kann. In Abbildung A16.3 werden drei Fälle skizziert, wobei die Abbildungen a), b) und c) jeweils die Routen (3), (2) und (1) an der Knotenpunktzufahrt (35) in der Videoerfassung darstellen. Von Abbildung A16.3 a), b) bis c) verringern sich die Radien der Fahrkurve von 10 m auf 7 m bis 5 m zur Anpassung der Lage von Radverkehrsanlagen an der Knotenpunktausfahrt und der Bordsteinabsenkungen (blaue Linie in Abbildung A16.3). Die Abbildung A16.3 a) illustriert ein Rechtsabbiegen vom Radfahrstreifen zum Radfahrstreifen wie das Ausholen auf der Fahrbahn in der Videoerfassung. Hierbei wird der Mindestradius grundsätzlich erfüllt, weil der Radius des Bordsteins sich an der Fahrkurve des Kfz orientiert. Die Abbildung A16.3 b) skizziert ein Rechtsabbiegen vom Radfahrstreifen zum nicht oder leicht abgesetzten Radweg wie an der Route 2, wo die Verkehrsflächen für Linksfahrende am Zweirichtungsradweg (zur Bordsteinkante zugewandte Verkehrsflächen) benutzt wurden. Die Abbildung A16.3 c) stellt ein Rechtsabbiegen vom Radfahrstreifen zum abgesetzten Radweg dar und spiegelt die Route 1 wider, wo die vorgeschriebenen Verkehrsflächen (von der Bordsteinkante abgewandte Verkehrsflächen) benutzt werden. An der grünen Linie ist zu erkennen, dass eine **Bordsteinabsenkung kurz nach der Haltlinie der Radfahrstreifen** benötigt wird, um eine großzügige Fahrweise der Rad- und E-Tretrollernutzenden sicherzustellen. Alternativ könnten die **rechtsabbiegenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden frühzeitig von den geradausfahrenden Strömen getrennt werden und durch „selbstständig ge-**

**führte“ Routen mit dem großzügigen Radius** zum Radweg an der Knotenpunktausfahrt geführt werden (Abbildung A16.3 d)). Dabei könnte auf den Halt der Rechtsabbiegenden je nach Situation der Verkehrssicherheit verzichtet werden. Der Lösungsansatz wird in der Praxis in den Niederlanden umgesetzt und ist auch im Nottinghamshire Regelwerk in Großbritannien enthalten. Solch ein „**Bypass des Radverkehrs**“ ist auch mit der niederländischen Kreuzung (geschütztem Knotenpunkt) verbunden (Abbildung A16.4).

Für die Führung des rechtsabbiegenden Radverkehrs ist die Verkehrssicherheit des Fußverkehrs nicht zu vernachlässigen. In Abbildung A16.3 b) ist besonders darauf zu achten, dass am Anfang der Freigabezeit schnell abfahrende rechtsabbiegende Rad- und E-Tretrollernutzende die bedingt verträglichen Fußverkehrsströme nicht beeinträchtigen. Dabei muss deutlich gekennzeichnet werden, dass der Wartebereich des Fußverkehrs zu beleuchten ist und die Vorfahrt des Fußverkehrs gewährt wird. Der Fall in Abbildung A16.3 c) und d) umgeht dieses Problem, da die zu Fuß Gehenden hinter dem Radweg starten.

### 8.2.6 Aufstellbereich

In der Videoerfassung wurde festgestellt, dass der aufgeweitete Radaufstellstreifen nicht komplett ausgenutzt wurde. Daher wird der Fokus auf die **Erhöhung der Nutzungsmöglichkeit** gelegt. Damit aufgeweitete Radaufstellstreifen ausgenutzt werden können, besteht der Leitgedanke für die Bemessung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen darin, dass **entweder die aufgeweiteten Radaufstellstreifen ausreichend lang** (Abbildung A16.5 c) - e)) oder die zuführenden **Radaufstellstreifen genügend breit für das Überholen** (Abbildung A16.5 b)) sind, weil eine hohe Nutzungsquote an den lange aufgeweiteten Radaufstellsteifen und breiteren zuführenden Radaufstellstreifen in der Videoerfassung vorlag. Dies gewährleistet auch, dass die nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden an den vorab angekommenen Radfahrenden vorbeifahren können. Die Bemessung der aufgeweiteten Radaufstellstreifen nach **ERA-Standard** geht davon aus, dass ein **Fahrrad (oder Pedelec, E-Tretroller) beim einem anhaltenden Lastenrad im Wirtschaftsverkehr** (z.B. Schwertransporter mit einer Länge von ca. 3 m) reibungslos an aufgeweiteten Radaufstellstreifen voran fahren und sich dort aufstellen kann (Abbildung A16.5 c)). Für den Qualitätsstandard der **Radvorrangrouten** ist zu berücksichtigen, dass ein **Lastenzweirad im Privatverkehr** (z.B. Long John) **an einem anhaltenden Lastenrad Schwertransporter** vorbeifahren und sich vorne dran aufstellen könnte (Abbildung A16.5 d)). Dies stellt sicher, dass die Lastenräder im Wirtschaftsverkehr nicht die Zugänglichkeit zu den aufgeweiteten Radaufstellstreifen blockieren oder umgekehrt (Abbildung 7.19).

Angesichts der Länge der aufgeweiteten Radaufstellstreifen wurde ein 5,00 m langer aufgeweiteter Radaufstellstreifen bezüglich der Nutzungsquote gut akzeptiert. Unter Berücksichtigung zweier konventioneller Fahrräder bis zu einer Länge von ca. 4 m wurde ca. 1 m Reserve in der Bemessung benötigt, weil die vorher ankommenden sowie anhaltenden Fahrzeuge sich nicht unbedingt direkt an der Haltlinie aufstellen. Zudem gewährleistet die Reserve, dass die nachkommenden Fahrzeuge nicht zu nah zum Kfz und haltenden Rädern /E-Tretrollern voranfahren können. Aus der Analyse geht hervor, dass **ein Regelmaß der aufgeweiteten Radaufstellstreifen nach ERA-Standard 6 m lang** ist im Hinblick auf eine Lastenradlänge im Wirtschaftsverkehr (ca. 3 m) und eines Fahrrads (ca. 2 m) von 5 m zuzüglich 1 m Reserve. Mit einer Länge des Lastenrads im Privatverkehr von ca. 2,5 m ist **ein Regelmaß der aufgeweiteten Radaufstellstreifen nach Raddirektverbindung-Standard von 6,5 m Länge** zu empfehlen. Die oben genannten Regelmaße gewährleisten auch, dass z.B. in den Radvorrangrouten ein Nutzender, der sich vornedran aufstellen möchte, an dem aufgestellten Lastenzweirad Long John und Lastendreirad Schwertransporter noch vorbeifahren könnte (Abbildung A16.5 e)). Das kommt E-Tretrollerfahrenden zugute, da sie eindeutig den Wille für ein voran Aufstellen in der Videoerfassung zeigten.

Aus diesem Grund ist **ein Mindestmaß von 5 m** Länge für den aufgeweiteten Radaufstellstreifen zu empfehlen, wenn **die zuführenden Radaufstellstreifen für das Vorbeifahren ausgelegt sind**. Das Vorbeifahren orientiert sich an der Regelbreite der Radfahrstreifen in Radvorrangrouten, weil ein Überholen mit dem Lastenradtyp der Schwertransporter zu berücksichtigen ist. Natürlich wird ein schmalerer

Verkehrsraum für das Vorbeifahren bei geringerer Geschwindigkeit benötigt. Dabei wird eine Mindestlänge von 5 m empfohlen, wenn nur **der Radverkehrsstreifen breiter als 2,50 m** (zzgl. der 0,25 m breiten Markierung) ist. Die Breite von 2,50 m spiegelt auch die Ergebnisse in der Videoerfassung wider, dass an der Knotenpunktzufahrt (39) eine höhere Nutzungsquote der aufgeweiteten Radaufstellstreifen in der Querrichtung registriert wurde.

Für die Bemessung von zuführenden Radverkehrsstreifen sollte eine Mindestbreite von 1,95 m (Schutzstreifen) - 2,20 m (Radfahrstreifen) in Anlehnung an das Breitenmaß an Strecken stehen, da ein sicheres Überholen durch Kfz gewährleistet werden sollte. Falls Parkstände vorhanden sind, sind auch die Sicherheitstrennstreifen von 0,75 - 1,00 m je nach Qualitätsstandard der Radverkehrsanlagen wie in Tabelle 8.2 einzusetzen.

Abgesehen von der Bemessungsempfehlung ist zu betonen, dass die **Parkstände in der Nähe von aufgeweiteten Radaufstellstreifen entfallen** müssen. In der Videoerfassung zählten die Parkstände zu den größten Beeinträchtigungen für die Zugänglichkeit und die Nutzenden selbst, besonders Lastenradfahrende, die wegen des dichten Verkehrs kaum eine Ausweichmöglichkeit hatten. Die Frage, wie weit entfernt von einem Knotenpunkt die Parkständen beseitigt werden müssen, hängt mit der **Rückstaulänge** zusammen, da die Rad- und E-Tretrollerfahrenden zwischen die im Stau wartenden/parkenden Kfz geraten können. Falls eine Verkehrszählung möglich ist, sollten die Parkstände so weit entfallen, dass die Staulänge in 85% der Fälle nicht überschritten wird („85%-Staulänge“). Der Punkt der „85%-Staulänge“ ist ebenso als Markierungsbeginn der Radverkehrsstreifen zu wählen, wenn die zuführenden Radverkehrsstreifen nicht über die ganze Strecke markiert werden und ein Wechsel der Führungsform vom Mischverkehr benötigt wird.

Zudem sind noch zwei begleitende Maßnahmen zur Erhöhung der Ausnutzung der aufgeweiteten Radaufstellstreifen hervorzuheben. Da sich oft die danach ankommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden an den zuführenden Radverkehrsstreifen aufstellen, wird **ein Verkehrszeichen „STOP HERE ON RED“** (deutsch: „Halt hier bei Rot“) empfohlen (Abbildung A16.6), um auf ein Aufstellen in den aufgeweiteten Radaufstellstreifen hinzuweisen. Außerdem spielt das Kfz-Aufstellverhalten eine wichtige Rolle für die Nutzung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen. In der Videoerfassung wurde beobachtet, dass die Kfz in der Übergangszeit langsam auf den Knotenpunkt zufuhren und bei ROT direkt an den aufgeweiteten Radaufstellstreifen anhielten. Daher wird die **Doppelhaltlinie mit der Beschriftung „HERE WAIT“** (deutsch: „Hier warten“) an den Knotenpunkten mit verzögertem Verkehrsfluss empfohlen (Abbildung A16.7), um einerseits frühzeitig die Entscheidung der Kfz-Führenden zum Anhalten oder Weiterfahren zu treffen und andererseits die Aufmerksamkeit für das Freihalten der aufgeweiteten Radaufstellstreifen zu erhöhen.

Zum Schluss ist noch hervorzuheben, dass aufgeweitete Radaufstellstreifen oft im Nebennetz oder an Erschließungsstraßen mit längerer Sperrzeit eingesetzt werden. Aufgrund der Raumstruktur könnte die Strecke stark von Radverkehr belastet werden. Zur Förderung des Radverkehrs ist die Umgestaltung zur **Fahrradstraße** gemäß StVO, ERA 2010 sowie H RSV zu überprüfen. An der Knotenpunktzufahrt (36) wurden mehr als 1000 Räder oder E-Tretroller innerhalb von vier Stunden registriert. Für diesen Fall sollte der Vorrang des Radverkehrs noch stärker gefördert werden.

## 8.3 Führung an Strecken

### 8.3.1 Führung mit Fußverkehr

Angesichts der gemeinsamen Führung mit dem Fußverkehr geht es vor allem um die Gehwegbreite. In der Videoerfassung wurden für den Zweirichtungsverkehr, der an manchen Strecken betrieben wurde, nur die Interaktionen zwischen Rad- oder E-Tretrollernutzenden und zu Fuß Gehenden ausgewertet, um vereinfacht einen direkten Vergleich zwischen den Strecken ziehen zu können. Außerdem sind diese Interaktionsfälle maßgebend gegenüber Rad- und Rad/ E-Tretrollerfahrenden (Yu et al. 2012). Deswegen werden die Breitenangaben nach dem Einrichtungsverkehr bemessen.

In den H RSV werden die Breiten von 2,50 m und 3,00 m jeweils als Mindest- und Regelbreite empfohlen. Die beiden Werte werden auch in Bild 15 ERA 2010 in Abhängigkeit von der Anzahl der Gehwegnutzenden dargestellt. Eine Gehwegbreite zwischen 2,50 m und 3,00 m ist nur für eine geringe Anzahl

der Nutzenden verträglich, weil dabei die Wahrscheinlichkeit der Begegnung (mit zwei zu Fuß Gehenden) gering ist. Anders gesagt, ist für die Bemessung der Regelbreite (ab 3,00 m gemäß H RSV) zukünftig die Begegnung zwischen einem Radfahrenden und zwei zu Fuß Gehenden einzurechnen. Die Bemessung der Regelbreite basiert auf der Beobachtung an Strecke (42), dass die Lastendreiräder (bis zu einer Breite von 1,00 m) z.B. Postdreirad, Babboe Curve Schwierigkeiten hatten, zu Fuß Gehenden auszuweichen. Solch ein Fall ist bei der Bemessung der Regelbreite zu berücksichtigen. Abbildung A16.8 b) skizziert die Zusammensetzung der Gehwegbreite unter Berücksichtigung des oben genannten Falles. Die Breite der Lastenräder basiert auf der Abmessung des Lastenradtyp Babbeo Curve mit einer 0,90 m Breite. Mit einer Annahme von 20 km/h wird ein Sicherheitsabstand von 0,50 m zwischen der Fahrzeugaußenkante und der Fußgängeraußenkante gemäß Abbildung A5.2 in Anhang 5 gesetzt. Da die Lastendreiräder im Privatverkehr sowie ein Postdreirad generell eine niedrigere Geschwindigkeit haben, reicht ein Sicherheitsabstand von 0,50 m bei der Geschwindigkeit von bis zu 20 km/h aus. Die Bemessungsbreite der zu Fuß Gehenden sowie die Breite des Sicherheitsraums zur Wand, sind aus Bild 4 der Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen (EFA) zu entnehmen. Daraus ergibt sich eine **Regelbreite des Gehwegs von 3,90 m**. Die Regelbreite gewährleistet auch, dass ein Pedelec oder Lastenzweirad (bis zu ca. 0,70 m) mit größerem Sicherheitsabstand von 0,60 m infolge höherer Geschwindigkeit (25 km/h) zwischen zwei zu Fuß Gehenden durchfahren könnte. Dies wurde auch durch die Videoerfassung an der Strecke (43) nachgewiesen, an der die Pedelecs keine erhöhten kritischen Situationen sowie Behinderungen mit zu Fuß Gehenden am breiteren Gehweg (z.B. 4, 00 m) gegenüber Fahrrädern zeigten. Ebenso stellt solch eine Breite sicher, dass sich ein Lastenrad im Wirtschaftsverkehr (bis zu 1,20 m) reibungslos mit einem zu Fuß Gehenden begegnen kann. Bei der Bemessung der Regelbreite wird die „Kanalisierung“ des 1,20 m breiten Lastenrads zwischen zwei zu Fuß Gehenden nicht einbezogen, da die Wahrscheinlichkeit für solch eine Begegnung gering ist. Außerdem haben mehrspurige Lastenräder keine Benutzungspflicht und im Bedarfsfall könnten die Nutzenden der Lastenräder mit „Überbreite“ auf die Fahrbahn ausweichen.

Im Vergleich zu der Bemessung der Regelbreite, muss **das Lastenrad der Schwertransporter** (bis zu 1,20 m) **für die Bemessung der Mindestbreite berücksichtigt** werden, da die Lastenräder im Wirtschaftsverkehr aufgrund des Lieferservices öfter auf den Gehweg ausweichen müssen (siehe auch § 8.3.2). Es ist nicht erwünscht, dass aufgrund der Verkehrswende die Förderung der Stadtlogistik durch Lastenräder mit einer Beeinträchtigung der Belange von Fußverkehr am Gehweg entsteht. Es ist zu gewährleisten, dass sich die Nutzenden der Schwertransporter sicher mit einem zu Fuß Gehenden begegnen können. Die Werte der zusammengesetzten Bemessung ähneln den Werten der Bemessung der Regelbreite (Abbildung A16.8 a)). Mit Berücksichtigung des Sicherheitsraums (≥ 2,50 m) erfolgt gerundet **eine Mindestbreite von 3,00 m**. Diese Breite stimmt mit den Ergebnissen der Videoerfassung überein, da die Begegnung zwischen einem Pedelecfahrenden und einem zu Fuß Gehenden weniger kritische Situationen und Behinderungen an einem 2,80 m breiten Gehweg verursacht als an den schmaleren Gehwegen.

Eine Empfehlung für die Gehwegbreite mit Zweirichtungsverkehr kann durch die Untersuchung nicht gegeben werden. Wenn die Differenz der Breite zwischen Ein- und Zweirichtungsverkehr gemäß H RSV übernommen wird, gelten die empfohlenen Werte in Tabelle 8.4.

**Tabelle 8.4: Empfehlung für die (nutzbare) Breite der Gehwege freigegeben für den Radverkehr [m]**

| | Mindestbreite | Regelbreite |
|---|---|---|
| Gehweg mit Einrichtungsradverkehr[1)] | 3,00 | 3,90 |
| Gehweg mit Zweirichtungsradverkehr[1)] | 3,50 | 4,90 |
| Breite zur Anordnung der Benutzungspflicht[2)] | 3,20 | |
| 1) zuzüglich der Sicherheitstrennstreifen nach Tabelle 8.2;<br>2) Die Breite zwischen Wand und Bordsteinkante einschließlich Sicherheitsraum | | |

Die obengenannten Breiten stellen die „nutzbare“ Breite dar. Es ist auffällig, dass bei einem so geringen Spielraum am Gehweg die Mindestbreite besteht. Für den sicheren Ablauf sind aus fachlicher Sicht die Sicherheitsstreifen zur Fahrbahn und zu den Grünflächen gemäß ERA 2010 mit den in Tabelle 8.2 darzustellenden Breiten zusätzlich zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich eine Gesamtfläche von

3,50 m (3,00 m zzgl. 0,50 m breiter Sicherheitstrennstreifen) bis zu 5,90 m (4,90 m zzgl. 1,00 m breiter Sicherheitstrennstreifen). Analog zur Bemessung der Breiten der anderen Radverkehrsanlagen ist eine Breite sowie der Lichtraum für die Anordnung des gemeinsamen Geh- und Radwegs (VZ 240) zu beachten. Der Lichtraum umfasst die „reinen" Verkehrsflächen, den Sicherheitsraum zur Wand und den Sicherheitsraum zur Fahrbahn. Bei einem Sicherheitsraum von 0,50 m zur Fahrbahn gemäß Abbildung 3.10, wird eine **Mindestbreite für die Anordnung des gemeinsamen Geh- und Radwegs von 3,20 m empfohlen**.

Im Weiteren sollte die **Bemessung der Gehwegbreite an der Mindestbreite von 3,20 m unabhängig von der Freigabe für den Radverkehr orientiert sein**, weil die Benutzung von Gehwegen durch solch einen Schwertransport generell möglich sein muss. Zudem sollte sich die **Breite beim Gehweg „Radfahrer frei"** auch nach der **Breite von 3,20 m richten**, da sich die Nutzenden am Gehweg „Radfahrer frei" nicht anders verhalten als am gemeinsamen Geh- und Radweg. An der Strecke (40) wurde festgestellt, dass die Pedelecs einen deutlich höheren Anteil der kritischen Situationen und Behinderungen am schmalen Gehweg „Radfahrer frei" hatten als die Fahrräder. Mit dem Einsatz von Schwertransportern könnte die Situation noch ungünstiger werden. Falls der Gehweg schmaler als 3,20 m ist und z.B. ein hohes Aufkommen der schutzbedürftigen Nutzenden für den Radverkehr freigegeben werden müsste, würde das **Verkehrszeichen „Langsam Fahren"** oder sogar **„Lastenradverbot"** im Bedarfsfall angeordnet werden (Abbildung A16.9 und Abbildung A16.10).

Allerdings ist hervorzuheben, dass der Gehweg möglicherweise breiter als das Mindestmaß zu bemessen ist. An der Strecke (41) wurde beobachtet, dass sich zwei zu Fuß Gehende begegneten, obwohl die Anzahl der Gehwegnutzenden zwischenzeitlich unterhalb der Einsatzgrenze gemäß ERA 2010 lag, da die zu Fuß Gehenden oft zu zweit oder sogar in Gruppen auftauchten. Natürlich sind die Verkehrsflächen bei einer Begegnung von zwei zu Fuß Gehenden (z.B. Freunde) kleiner als die Verkehrsflächen zwischen zwei einzelnen zu Fuß Gehenden.

Gemäß ERA 2010 ist die Bemessung der Gehwegbreite von der Anzahl der Gehwegnutzenden abhängig. Bei der Berücksichtigung neuer Fahrzeuge mit einer höheren Geschwindigkeit sowie einer größeren Fahrzeugabmessung, sind die Linien (grün und blau) gegenüber dem Bestand (rote Linie) nach rechts verschoben (Abbildung A16.11). Die Zeichnung der grünen und blauen Linie in Abbildung A16.11 basiert auf der Anzahl der Nutzenden in Abhängigkeit der Mindestbreite (2,50 m) und Regelbreite (3,00 m). Das heißt, dass mit derselben Anzahl der Gehwegnutzenden ein breiterer Gehweg benötigt wird. Allerdings wurde der Zusammenhang zwischen der Anzahl der Gehwegnutzenden und der Verträglichkeit der Gehwegnutzung nicht vertiefend untersucht, weil Strecken mit höherem Fuß- und Radverkehrsaufkommen ausgewählt wurden. Daher beschreibt die Kurve einen Trend der Entwicklung der Nutzungsgrenze, allerdings ohne quantitative Aussage.

### 8.3.2 Duale Führungsform

**Regelung der Benutzungspflicht**

Die Empfehlung beim Thema der dualen Führungsform bezieht sich zuerst auf die Regelung der Benutzungspflicht.

Zunächst werden die zulässigen Verkehrsflächen für die E-Tretroller besprochen. Rechtlich dürfen die E-Tretroller innerorts nur den baulichen Radweg unabhängig von der Benutzungspflicht befahren. An den Strecken (7) und (9), besonders an Strecke (7) mit schwächerem Kfz-Verkehrsaufkommen, benutzt ein (großer) Teil der E-Tretrollerfahrenden die Fahrbahn trotz Radweg ohne Benutzungspflicht. Dabei wurden keine kritischen Situationen oder Behinderungen spezifisch mit den E-Tretrollern erfasst. Angesichts der Geschwindigkeit fuhren die E-Tretroller immer um die 20 km/h. Auch wurde an der Strecke (7) die Geschwindigkeit der Fahrradfahrenden kleiner als 20 km/h auf der Fahrbahn gemessen. Dabei besteht keine Rechtfertigung, dass die E-Tretrollerfahrenden von dem Mischverkehr der Fahrbahnnutzung bei der dualen Führungsform ausgeschlossen werden. Aus dem Grund wird **die Freigabe der Fahrbahnnutzung für E-Tretroller beim nicht benutzungspflichtigen Radweg** vorgeschlagen. Dabei wird die Verwirrung durch die kombinierte Führungsform „Schutzstreifen + Radweg ohne Benutzungspflicht" „automatisch" klargestellt. Nach dem Bericht Polizei Nordrhein-Westfalen Münster (2021)

dürfen die E-Tretroller den Schutzstreifen benutzen, allerdings gehört der Schutzstreifen nicht zum „Radweg“ nach StVO, besonders wenn ein Radweg ohne Benutzungspflicht vorhanden ist.

Neben E-Tretrollern betrifft die Benutzungspflicht auch das Lastendreirad. Gemäß StVO besteht generell keine Benutzungspflicht für mehrspurige Fahrräder. Das heißt, dass die Lastendreiräder frei von der Benutzungspflicht sind und die Nutzenden der Lastendreiräder bei schmalen Radwegen die Fahrbahn verwenden können. In Kapitel 7.2.1 wird erwähnt, dass die Postdreiräder den Gehweg regelwidrig benutzten. Deswegen wird die Überlegung angeregt, ob eine **allgemeine Freigabe der Gehwegnutzung für die Lastendreiräder** bezüglich der Stadtlogistik durch Lastenräder erteilt wird und eine **generelle duale Führungsform für die Lastendreiräder** gegeben wird. Dies setzt voraus, dass ein Mindestmaß der Gehwegbreite von 3,20 m erreicht wird. In der Praxis können die Gehwege die Mindestbreite bisher nicht erreichen, daher wird die **Empfehlung** der Freigabe des Gehwegs **vorbehalten**. Dazu ist noch zu definieren, welcher rechtliche Rahmen für die Lastenzweiräder passend wäre, da kein spezifisches Verkehrszeichen für den Unterschied zwischen Lastenzweirad und -dreirad vorhanden ist und die Food-Lieferung z.B. auch durch Lastenzweiräder (z.B. Long John) ermöglicht werden kann.

**Erhöhung der Attraktivität der Fahrbahnnutzung**

Anschließend geht es darum, inwieweit der Anteil der Fahrbahnnutzung erhöht werden muss, um die sichere Führung entweder auf der Fahrbahn oder im Seitenraum gewährleisten zu können. Die Fahrbahnführung für Pedelecs und Lastenräder gewinnt an Bedeutung, da an schmalen Rad- oder Gehwegen die Pedelecs und Lastenräder ein größeres Konfliktpotenzial mit dem Fußverkehr hatten. In der Umfrage wurde auch eine Bevorzugung der Fahrbahnnutzung bei den Lastenradfahrenden statt der Gehwegführung bestätigt. Deswegen werden Pedelecs, Lastenräder sowie schnellfahrende Fahrräder aufgefordert, die Fahrbahn zu nutzen.

Zunächst wird empfohlen, dass ein **Verkehrszeichen für den Radweg ohne Benutzungspflicht** eingeführt wird (wie in Österreich und den Niederlanden (Abbildung A4.4). Das Verkehrszeichen **weist keine eindeutige Benutzungspflicht zu** und **verbessert die Erkennbarkeit** der Radwege für die ortsfremden Radfahrenden und zu Fuß Gehenden. Da die Radwege ohne Benutzungspflicht aufgrund ihrer ungenügenden Gestaltung (z.B. schmale Bemessung ohne starken Kontrast oder „weiche“ Trennung zum Gehweg) oft nicht erkannt werden (Abbildung 8.2), könnte die falsche Nutzung der Radwege durch den Fußverkehr vermieden und eine sichere Führung des Radverkehrs sichergestellt werden.

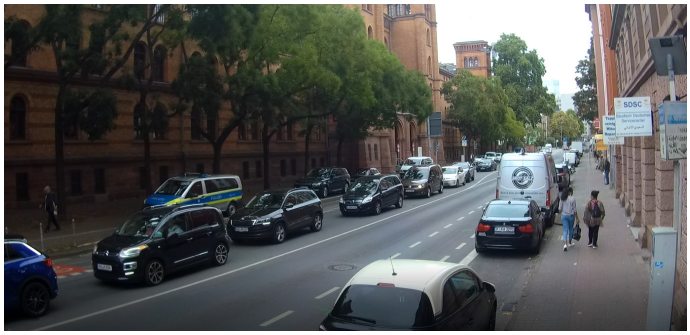


**Abbildung 8.2: schlechte Erkennbarkeit des Radwegs ohne Benutzungspflicht mit falscher Nutzung vom Fußverkehr [eigene Aufnahme]**

Als nächster Schritt kommt das **Piktogramm** in Frage. Bislang hat das Piktogramm weniger Einfluss auf die Verkehrsflächenwahl der Rad- und E-Tretrollernutzenden. Trotzdem könnte das Piktogramm den (ortsunkundigen) Besuchern verdeutlichen, dass sie die Fahrbahn befahren dürfen. Da Besucher aus dem Ausland sowie Touristen oft Fahrräder ausleihen, allerdings die Regelung der Benutzungspflicht nicht so gut kennen, verdeutlicht das Piktogramm die Führung. Außerdem könnte das Piktogramm den Kfz-Führenden klar darlegen, dass der Radverkehr auch auf der Fahrbahn geführt wird. Dies kommt der Verkehrssicherheit des Radverkehrs zugute. Dazu stellt sich (gerade) die Diskussion, ob sich die Lage des Piktogramms auf das Fahrverhalten als auch auf das Überholverhalten der Kfz-Fahrenden auswirkt.

Anschließend wird die **Markierung beim Führungsformwechsel** besprochen. In der Untersuchung wurde aufgezeigt, dass die Führungsform der vorangehenden Strecke die Verkehrsflächenwahl der nächsten Strecke beeinflusst. Die auf den Radweg gerichtete Markierung an Strecke (8) (Abbildung 7.23) vervielfältigt die Nutzung des Radwegs gegenüber anderen Strecken. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass die **Markierung die Möglichkeit der Fahrbahnnutzung verdeutlicht**. Wie in Abbildung A16.12 und Abbildung A16.13 dargestellt, werden die Piktogramme auf den beiden Verkehrsflächen markiert und die Radverkehrsfurten am Knotenpunkt auf die beiden Verkehrsflächen gerichtet.

**Einsatzbereiche für die Fahrbahnführung**

Als letzter Punkt werden die Verkehrssicherheit der Fahrbahnführung sowie die Einsatzbereiche für die „duale Führungsform“ diskutiert. Aus der Videoerfassung ergibt sich, dass die **Fahrbahnführung an den Straßen mit zwei Kfz-Fahrstreifen pro Fahrtrichtung** gut akzeptiert und sicher abgewickelt wird. Bei zwei Kfz-Fahrstreifen konnten die Kfz den anderen Fahrstreifen nutzen, um enge (kritische) Überholabstände zu vermeiden. Zugleich zeigten die zwei Kfz-Fahrstreifen ein generell geringeres Kfz-Verkehrsaufkommen auf als drei Kfz-Fahrstreifen, weshalb mehr Rad- und E-Tretrollernutzende diese Fahrbahnführung gegenüber den Straßen mit drei Kfz-Fahrstreifen auswählten. Im Vergleich dazu besteht eine kontroverse Aussage für die Fahrbahnführung an den Straßen mit nur einem Kfz-Fahrstreifen pro Fahrtrichtung. Einerseits verzeichnet die Straße mit einem Kfz-Fahrstreifen ein geringes Kfz-Verkehrsaufkommen und damit eine gute Akzeptanz der Fahrbahnführung für den Radverkehr. Allerdings wurden die kritischen Überholabstände der Stufe II öfter durch aggressive Fahrweisen der Kfz-Führenden in der Videoerfassung registriert. Dazu könnte die Markierung oder die Lage der Piktogramme das Überholverhalten der Kfz-Fahrenden beeinflussen. Ansonsten ist das Hinweiszeichen als Verdeutlichung von 1,50 m Überholabständen einzurichten (Abbildung A16.14 links). Falls die kritischen Überholabstände oft an der Strecke z.B. infolge der starken Belastung des entgegenkommenden Verkehrs auftreten, könnte das Verkehrszeichen Überholverbot-Zweirad (VZ 277.1) nach der StVO-Novelle eingeführt werden (Abbildung A16.14 rechts). Des Weiteren ist der Einsatz der **Führung im Mischverkehr** auf der Fahrbahn zu **vermeiden**, falls sich die Strecken zwischen **zwei nahe beieinander liegenden Knotenpunkten befindet und starke rechtsabbiegende Ströme am nächsten Knotenpunkt** vorliegen, weil an der Strecke (41) die rechtsabbiegenden Kfz beim Fahrstreifenwechsel in Konkurrenz mit den geradeausfahrenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden treten.

## 8.4 Führung an Knotenpunkten

### 8.4.1 Zwischenzeit (Einfahrzeit)

An den erfassten Knotenpunktzufahrten lag der Gesamtradverkehr bei 20% der Pedelecs und Lastenrädern einschließlich E-Tretroller deutlich höher ist als die 11% vom Gesamtradverkehr an allen Strecken und Knotenpunkten wie in § 7.1 erwähnt. Bei diesen 20% erhöhte sich die $V_{15}$-Geschwindigkeit um nur 0,1 – 0,2 m/s gegenüber der $V_{15}$ bei Fahrräder nach Gleue (1974). Das bedeutet, dass **eine Erhöhung der Einfahrgeschwindigkeit an den Radverkehrsanlagen nach ERA-Standard bisher nicht beansprucht wird**, da die Zwischenzeit selbst eine Wahrscheinlichkeit darstellt.

Allerdings könnte ein höherer Anteil der Pedelecs und Lastenräder an Radverkehrsanlagen nach dem Qualitätsstandard der Radvorrangrouten oder Radschnellverbindung erwartet werden. Solche Radverkehrsanlagen mit höherer Qualität sowie breiterem Maß können auch die Geschwindigkeit der Fahrräder erhöhen. In diesem Fall bleibt noch zu überprüfen, ob eine höhere Einfahrgeschwindigkeit bei den Radvorrangrouten und Radschnellverbindung benötigt wird, besonders dann, wenn der Radverkehr ebenso in die Grünen Wellen integriert ist.

### 8.4.2 Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

Die Empfehlung für die Führung der geradeaus Rad- und E-Tretrollerfahrenden bezüglich der Rechtsabbiege-Unfälle, wird nach der Führungsform des Radverkehrsstreifens auf der Fahrbahn und der Führungsform im Seitenraum getrennt besprochen.

**Führung an Radverkehrsstreifen**

Die Führungsform des Radverkehrsstreifens beinhaltet in der Arbeit den Radfahrstreifen in Mittellage und eine Dreiecksinsel (mit oder ohne Lichtsignalanlage) mit einer Führung an den Radverkehrsstreifen. Für die Länge des Radverkehrssteifens wird in Anlehnung an Richter (2019) eine **Empfehlung von 40 - 59 m** für Radfahrstreifen in Mittellage gegeben. Ein zu langer Radverkehrsstreifen verursacht einen hohen Anteil an Vorfahrtsmissachtungen und erhöht die Wahrscheinlichkeit, der zugleich zweiseitigen Überholvorgänge durch Kfz, was an den Knotenpunktzufahrten (47) und (48) erfasst wurde. Außerdem wies der lange Radverkehrsstreifen ein schlechteres Sicherheitsempfinden in der Umfrage auf. Der zu kurze Radverkehrsstreifen könnte oft durch den Rückstau blockiert werden. Selbst wenn eine Dreiecksinsel ohne Lichtsignalanlage vorhanden ist, verringert der zu kurze Radverkehrsstreifen die Geduld der Kfz-Führenden in der Spitzenstunde infolge höherer Wartezeit an den Knotenpunktzufahrten. Dies führt zu einer Missachtung der Vorfahrt für den Radverkehr.

Bezüglich der Breite ist ein **schmaler Radverkehrsstreifen** z.B. 1,50 m Breite einschließlich der Markierung zu **vermeiden**. Diese problematische Breite zeigt sich schon am Straßenrand bezüglich der Überholabstände durch Kfz und verschlechtert sich weiter in Mittellage. Zudem wurde ein höherer Anteil der Behinderungen durch eine starke Reaktion von (schnellfahrenden) Rad- und E-Tretrollernutzenden festgestellt, obwohl die Vorfahrt gewährleistet wurde. Eine 2,10 m Breite (1,60 m zuzüglich 0,25 m breite Markierung jeder Seite) gemäß ERA 2010 stellt einen akzeptablen Verlauf in der Videoerfassung dar. Im Vergleich zu den Radfahrstreifen am Straßenrand, kam ein erhöhter Anteil der kritischen Situationen an Radfahrstreifen in Mittellage auf, wobei diese Überholabstände zum großen Teil der Stufe I zugeordnet wurden. Die zufällig kritischen Situationen der Stufe II wurden zum Teil durch zweiseitige Überholvorgänge ausgelöst. Eine obengenannte empfohlene Länge könnte durch die Wahrscheinlichkeit der zweiseitigen Überholvorgänge verringert werden. Daher wird **eine Breite von 2,10 m einschließlich der Markierung als Untergrenze** für den Radverkehrsstreifen (in Mittellage) an der Knotenpunktzufahrt empfohlen. Für die Empfehlung des Regelmaßes oder der Obergrenze der Breite ist es schwierig, ein Maß direkt von der Videoerfassung abzuleiten, da kein breiterer Radfahrstreifen zum Vergleich existiert und das Überholen von Lastenrädern (im Wirtschaftsverkehr) kaum registriert wurde. In Anlehnung an die Empfehlung von Richter (2019) und CROW (2016) und der Erfahrung über die Regelbreite der Radfahrstreifen von 2,00 - 2,25 m (einschließlich der Markierung) am Straßenrand ist **eine Obergrenze von 2,50 m Breite** (2,00 m zuzüglich 0,25 m breite Markierung jeder Seite) für den Radverkehrsstreifen in Mittellage an der Knotenpunkt zu empfehlen. Eine Überschreitung der Obergrenze ist zu vermeiden, da eine negative Auswertung der Unfallgeschehen und Missverständnisse sowie die falsche Mitnutzung von Radverkehrsstreifen durch Kfz-Fahrende in Richter (2019) und CROW (2016) erfasst wurden.

**Führung im Seitenraum**

In Hinblick auf die Führungsform im Seitenraum steht in erster Linie die Dreiecksinsel mit zusammengeführter Fuß- (oder Fußgängerüberweg) und Radverkehrsfurt. Solch eine Gestaltung gemäß ERA 1995 sollte **zur Dreiecksinsel mit Radfahrstreifen oder nicht/ leicht abgesenktem Radweg gemäß** ERA 2010 **umgestaltet werden**. Die Verschwenkung bei der Zusammenführung der Fuß- und Radverkehrsfurt (Abbildung 7.26) wird von den Pedelec- und Lastenradfahrenden weniger akzeptiert. Bei der Videoerfassung wurde bemerkt, dass sie manchmal ohne Verschwenkung weiter zur Dreiecksinsel fuhren. Außerdem wurde bei einer solchen Führungsform ein erhöhter Anteil der Behinderungen bei den Pedelec- und Lastenradfahrenden nachgewiesen. Manchmal mussten die Lastenradfahrenden bis zum Stillstand abbremsen.

Der nächste Betrachtungspunkt liegt in den abgesetzten und nicht abgesetzten Radverkehrsfurten. In der Videoerfassung wurde ein erhöhter Anteil der Behinderungen und der Behinderungs-Stufe II an den nicht abgesetzten Radverkehrsfurten festgestellt, gegenüber den abgesetzten Radverkehrsfurten, von denen gemäß ERA 2010 abgeraten wird. Das größte Problem an den nicht abgesetzten Radverkehrsfurten besteht darin, dass nur begrenzte Plätze für wartende Kfz vorhanden sind. Natürlich könnte der höhere Anteil der Behinderungen zum Teil durch die höhere Geschwindigkeit mit stärkerem Ausweichen infolge leichten Gefälles an der Knotenpunktzufahrt (50) verursacht werden. Allerdings fiel der größere Anteil der Unfälle mit dem Pedelec in der Unfallanalyse eher auf der Fahrbahn im Mischverkehr

und an abgesetzten Radwegen an. Die Diskussion über die abgesetzten und nicht abgesetzten Radverkehrsfurten besteht schon seit längerer Zeit. Wie im Abschnitt 3.4.2 erwähnt, ist von abgesetzten Radverkehrsfurten aufgrund schlechter Sichtverhältnisse in Deutschland abzuraten, während die abgesetzten Radverkehrsfurten im Ausland z.B. in den Niederlanden aufgrund des toten Winkels der Lkw und genügender Aufstellbereiche für wartende Kfz beliebt sind. Gemäß ERA 2010 sollte ein Sicherheitstrennstreifen von 0,75 m zwischen Radweg und Fahrbahn eingesetzt werden. Darauf basierend wird eine bis zu 0,75 m leicht abgesetzte Radverkehrsfurt infolge der Sichtverhältnisse (durch Fahrzeugspiegel) in Michel (2019) vorgeschlagen. Dazu ist unklar, ob eine Breite von 0,75 m das Aufstellen der wartenden Kfz sowie die Behinderungen verbessern würde. Für dieses Thema kommt heute die „**Niederländische Kreuzung" mit Schutzinsel** in Betracht, um einen toten Winkel der Lkw zu vermeiden und die Wartebereiche für Kfz und Räder zu gewährleisten. In Darmstadt wird das Pilotprojekt SQUADA (**S**epariertes und **S**icheres **Q**ueren für **A**lle in **Da**rmstadt) am Knotenpunkt Landgraf-Georg-Straße/ Teichhausstraße/ Pützer Straße zum Versuch der niederländischen Kreuzung in Deutschland eingeführt. Ob es zu einer positiven Auswertung bezüglich Akzeptanz, Konflikten als auch Unfallgeschehen in Deutschland kommt, ist mit dem Ablauf des Projekts abzuwarten. Für die nicht abgesetzten Radverkehrsfurten wird die Umgestaltung z.B. zur niederländischen Kreuzung in den folgenden drei Fällen überlegt:

- wenn die neben der Radverkehrsfurt liegende **Fußgängerfurt lang ist oder mit hohem Fußverkehrsaufkommen** zu rechnen ist, weil eine lange Zeit für das Blockieren der Radverkehrsfurt durch wartenden Kfz zum Gewähren der Vorfahrt des Fußverkehr vorhanden ist;
- wenn **die Radverkehrsfurt zu schmal** ist, weil eine bessere Ausweichmöglichkeit an den breiten Radverkehrsstreifen an den Strecken mit Ein- und Ausbiegen aus Grundstücksein- und Ausfahrten (Abschnitt 7.2.1) in der Videoerfassung vorhanden war. Ein negatives Beispiel ist die Knotenpunktzufahrt (50) mit schmalem(/r) Radweg und Radverkehrsfurt, denn dort verzeichnete sich ein höherer Anteil der Behinderung;
- wenn ein **hohes Radverkehrsaufkommen**, das wegen der Lichtsignalsteuerung (an den benachbarten Knotenpunkten) meistens **in der Freigabezeit ankommt**, vorhanden ist. Die in der Freigabezeit ankommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden haben die Schwierigkeit, dass die Maßnahme z.B. vorgezogene Haltlinie nur für den in der Sperrzeit wartenden Radverkehr effektiv ist und die Sicht der Kfz (besonders Lkw) beim Einlenken schlecht ist (Michel 2019). Zudem gewährten die Kfz-Führenden die Vorfahrt erst nach dem angesetzten Rechtsabbiegevorgang. Sie haben die in der Freigabezeit (besonders am Anfang der Freigabezeit) ankommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden nicht einberechnet, wie in der Videoerfassung registriert wurde. Dabei wurde die Radverkehrsfurt bereits von den Kfz (besonders Lkw) blockiert.

### 8.4.3 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

Die Empfehlung für die Führung des linksabbiegenden Radverkehrs richtet sich nach den Einordnungsvorgängen, die überwiegend in dieser Arbeit untersucht werden und bezieht sich auf den Fall, wo die linksabbiegenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden mittelstark vorhanden sind, da bei starker Nachfrage der Linksabbiegenden die Fahrradschleuse gemäß ERA 2010 eingesetzt werden sollte. Die Empfehlung begünstigt dabei die Erleichterung der Einordnungsvorgänge und Verbesserung der Sicherheit beim Einordnen. Für das leichtere Einordnen wäre es besser, wenn die E-Tretrollerfahrenden auch in das direkte Linksabbiegen integriert werden. Für die Verbesserung der Sicherheit wird z.B. die kleine Zeitlücke beim Einordnen bei Pedelec- oder sportlich Fahrradfahrenden berücksichtigt.

Die erste Empfehlung - **Fahrradweiche** - in Anlehnung an das schweizerische Regelwerk (Abbildung 3.12), dient zur Erhöhung der Aufmerksamkeit für das Einordnen. Bisher wird die Fahrradweiche vor allem mit dem Radfahrstreifen in Mittellage (zur Trennung des geradeaus und rechtsabbiegenden Radverkehrs) laut ERA 2010 eingesetzt. Im schweizerischen Regelwerk könnte auch eine Fahrradweiche für den linksabbiegenden Rad- und E-Tretrollernutzenden eingesetzt werden. Die Fahrradweiche dient wie vorab erwähnt der Aufmerksamkeit der Kfz-Führenden und gewinnt dadurch an Bedeutung, dass die (dienstlichen) Pedelecfahrenden aufgrund erhöhter Geschwindigkeiten plötzlich vom Radverkehrsstreifen ausweichen müssen. Die Fahrradweiche könnte an der Aufweitung der Knotenpunkte eingesetzt werden, da sich die direkt linksabbiegenden Nutzenden ohne (deutliche) Verschwenkung in den

(ersten) Kfz-Fahrstreifen einordnen (Abbildung A16.16). Die Fahrradweiche könnte den Einordnungspunkt zum Teil vereinheitlichen. Angesichts der Gestaltung wird die Fahrradweiche unmittelbar an den Radfahrstreifen für das Linksabbiegen (gemäß schweizerischem Regelwerk) angeschlossen. Allerdings müssen die linksabbiegenden Nutzenden manchmal zwei Kfz-Fahrstreifen überqueren. Dabei könnte eine nur kurze Fahrradweiche am Einordnungsbereich markiert werden. Begleitend könnten die Piktogramme mit einem Pfeil „Links“ zum Hinweis bis zum Linksabbiegestreifen markiert werden (Abbildung A16.15).

Die zweite Empfehlung - **aufgeweitete Radaufstellstreifen am vorherigen Knotenpunkt** - ist für **zwei nahliegende benachbarte Knotenpunkte** (bis zu ca. 150 m) geeignet, besonders wenn ein Linksabbiegestreifen an der Knotenpunktausfahrt des vorherigen Knotenpunktes vorhanden ist. An den Knotenpunktzufahrten (52) und (53) wurde erfasst, dass der Teil der linksabbiegenden Nutzenden den aufgeweiteten Radaufstellstreifen der vorherigen Knotenpunktzufahrten für das direkte Linksabbiegen am nächsten Knotenpunkt nutzt. Dies kommt dem direkten Linksabbiegen der E-Tretrollerfahrenden zugute, da kein echter Einordnungsvorgang geschieht und hierbei kein Handzeichen benötigt wird. Zusammen mit den aufgeweiteten Radaufstellstreifen könnte zugleich eine **eigene Signalgruppe sowie Signalgeber mit Freigabezeitvorsprung für den Radverkehr** eingerichtet werden. Dadurch könnte der Radverkehr den Linksabbiegestreifen (oder Radverkehrsstreifen für Linksabbiegen) des nächsten Knotenpunktes vor dem Kfz-Verkehr erreichten. Die Signalgruppe mit Freigabezeitvorsprung für den Radverkehr ist ebenfalls ohne aufgeweiteten Radaufstellstreifen bei den nahliegenden Knotenpunkten realisierbar. Dabei können die Nutzenden, besonders Berufspendler und schnellfahrende Nutzende den Freigabezeitvorsprung ausnutzen, um Einordnungsvorgänge am vorangehenden Knotenpunkt ohne Kfz zu schaffen. Dabei sollte der Freigabezeitvorsprung zur Gewährleistung des Einordnungsvorgangs etwas länger eingestellt werden. Damit könnte die Anzahl der Rotüberfahrenden minimiert werden, die die Sperrzeit oder Zwischenzeit für den Einordnungsvorgang am vorangehenden Knotenpunkt benutzen.

Die dritte Empfehlung, dass **Rad- und E-Tretrollerfahrende ohne Einordnen mit den linksabbiegenden Kfz in derselben Signalphase direkt nach links abbiegen**, stammt aus China (Abbildung A16.17). Dort wird diese Fahrweise seit langem getestet und positiv bewertet. Solch eine Fahrweise hat vier Vorteile:

- Ähnlich zu den aufgeweiteten Radaufstellstreifen am vorangehenden Knotenpunkt wird ebenso **auf einen Einordnungsvorgang verzichtet**. Hierbei ist die Entfernung zweier benachbarten Knotenpunkte irrelevant. Das ist auch für die E-Tretrollerfahrenden einfacher, die eine Hürde oder das Risiko beim Einordnungsvorgang infolge fehlender Handzeichen haben.
- Im Vergleich zu den einfacheren Einordnungsvorgängen existiert **keine Beschränkung für die Anzahl der zu überquerenden Kfz-Fahrstreifen**, weil kein Einordnen benötigt wird. Im Vergleich zu den Fahrradschleusen werden im Prinzip **keine Zusatzphasen oder eine Abstimmung zwischen Vorsignal und Hauptsignal** benötigt.
- Der Lösungsansatz ist auch **für den geschützten Radfahrstreifen geeignet** und ein frühzeitiger Abbruch des geschützten Radfahrstreifens wird nicht unbedingt benötigt.
- **Ein gemeinsamer Radverkehrsstreifen** oder **Aufstellbereich** für geradeaus und linksabbiegende Nutzende **brauchen weniger Verkehrsflächen als zwei separate Radfahrstreifen/ Aufstellbereiche** für Linksabbiegende und Geradeausfahrende aufgrund von z.B. Markierung oder Gewährleistung der Überholabstände durch Kfz.

Für die Verringerung der negativen Beeinflussung von geradeaus Rad- und E-Tretrollerfahrenden durch wartende Linksabbiegende und für die Verdeutlichung der Aufstellbereiche, könnten ein Radfahrstreifen oder ein (aufgeweiteter) Aufstellbereich für den linksabbiegen Radverkehr mit einer anderen Farbe oder mithilfe von Beschriftung exakt markiert werden (Abbildung A16.18).

Allerdings ist hervorzuheben, dass die Lösung nicht immer passend ist. Für solche Fahrweisen sind grundsätzlich drei Bedingungen zu erfüllen,

- dass **der Knotenpunkt ausreichend „groß“ ist**, damit die linksabbiegenden Rad- und E-Tretrollernutzenden keinen Konfliktpunkt mit den entgegenkommenden linksabbiegenden Kfz haben; Dazu könnte die Markierung zur Vermeidung der Konflikte nützlich sein (Abbildung A16.17 rechts).

- dass **die linksabbiegenden Kfz eine eigene Phase** haben, in der linksabbiegende Kfz nicht mit den aus derselben Knotenpunkteinfahrt kommenden geradeausfahrenden zugleich freigegeben werden dürfen;
- dass eine **eigene Signalgruppe sowie -geber für den Radverkehr** eingerichtet werden.

Da die Schwierigkeit und das Risiko der Einordnungsvorgänge vor allem an den Knotenpunkten mit gekreuzten Hauptverkehrsstraßen mit mehreren Kfz-Fahrstreifen und höherem Kfz-Verkehrsaufkommen bestehen, sind die Knotenpunkte in dem Fall oft „große“ Knotenpunkte. Dabei werden die linksabbiegenden Kfz oft in einer eigenen Signalphase geführt. Das heißt, dass die vorliegenden ersten zwei Bedingungen oft erfüllt werden. Die dritte Bedingung ist ziemlich wichtig für Deutschland. In China kommt meistens ein Festzeitprogramm zum Einsatz. Falls in der letzten Umlaufzeit die linksabbiegenden Kfz nur mit den entgegenkommenden linksabbiegenden Kfz zusammen freigegen werden, werden in der nächsten Phase diese Ströme ebenso gemeinsam freigegeben. Dabei können sich die Radfahrenden auch an dem Kfz-Signal orientieren. Allerdings werden in Deutschland hauptsächlich verkehrsabhängige Steuerungen eingesetzt, bei denen die linksabbiegenden Kfz je nach Bedarf mit den anderen Strömen in einer Phase zu kombinieren sind. Um die Konflikte mit anderen unverträglichen Strömen zu vermeiden, muss eine eigene Signalgruppe für den Radverkehr vorhanden sein.

Abgesehen von der Empfehlung für die „neuen“ Lösungsansätze, wird die Bestandslösung - Aufgeweitete Radaufstellstreifen an der Knotenpunktzufahrt zur Vereinfachung des direkten Linksabbiegens – zum Schluss besprochen. An der Knotenpunktzufahrt (39) wurde beobachtet, dass keine direkt linksabbiegenden Radfahrenden den aufgeweiteten Radaufstellstreifen benutzten. Der Grund ist, dass die Aufweitung zu weit vom Knotenpunkt entfernt und der Radaufstellstreifen zu breit (die Aufweitung zu stark) ist, wie bereits in Abschnitt 7.4.3 analysiert. Daher ist zu empfehlen, dass der Einsatz von aufgeweiteten Radaufstellstreifen für die Vereinfachung des direkten Linksabbiegenden an einer Knotenpunktzufahrt mit der **zu frühzeitigen und zu starken Aufweitung zu vermeiden ist**. Stattdessen ist die Fahrradweiche (erste Empfehlung) realisierbar, weil ein Einordnen am Beginn der Aufweitung mithilfe der Fahrradweiche nicht schwierig ist.

Neben den obenliegenden Empfehlungen für jedes Thema wird eine allgemeine Empfehlung für die Verkehrserhebung sowie Verkehrszählung für das Radverkehrsaufkommen (bereit)gestellt. Bisher geht die Bemessung der Radverkehrsanlagen überwiegend von den Anforderungen gemäß VwV-StVO und ERA 2010 und den vorhandenen Verkehrsflächen aus. Die Nachfrage des Radverkehrs sowie das Radverkehrsaufkommen spielte eine untergeordnete Rolle. Mit der Zeit erlebt der Radverkehr einen eindeutigen Boom. Das Radverkehrsaufkommen bewirkt einen deutlichen Überholbedarf und damit verbundene Bemessungen z.B. an der Breite von Radverkehrsanlagen. Nach der Veröffentlichung der H RSA wird eine Differenzierung des Qualitätsstandards je nach Radverkehrsaufkommen bereitgestellt. Dabei gewinnt die Nachfrage des Radverkehrs an Bedeutung. Zum Beispiel wurde die Strecke (20) im Jahre 2019 zu einem breiten geschützten Radfahrstreifen ausgebaut. Allerdings ist die Breite für die Abwicklung der Überholvorgänge (zwischen drei Nutzenden) noch nicht befriedigend. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Strecke (20) eine Bemessung des Qualitätsstandards der Radvorrangrouten - sogar einer Radschnellverbindung benötigt. Aus dem Grund ist hervorzuheben, dass **eine nutzungsabhängige Bemessung** in der Zukunft notwendig ist.

Zuletzt ist neben den gestalterischen Empfehlungen die Helmnutzung für Pedelecfahrende zu erläutern. In der Unfallauswertung wurde eine deutliche Minderung der Unfallschwere bei den Pedelecfahrenden mit Helmnutzung festgestellt. Außerdem zeigte sich der größte Anteil an Schwerverletzten bei den Unfällen mit Pedelecfahrenden ab 65 Jahren. Aus dem Grund ist eine **Helmpflicht** für die **Pedelecfahrenden ab 65 Jahren** dringend zu empfehlen, um die schweren Unfallfolgen bei solch anfälligen Gruppen zu vermeiden. Generell ist über eine allgemeine Helmpflicht nachzudenken, um die Unfallfolgen so gering wie möglich zu halten.

# 9 Schlussfolgerung und Forschungsbedarf

## 9.1 Schlussfolgerung

Die vorliegende Untersuchung zielt im Wesentlichen darauf ab, das **Fahrverhalten der Nutzenden von Pedelecs, Lastenrädern und E-Tretrollern** zu **erfassen** und die spezifischen **Anforderungen an Radverkehrsanlagen** durch neue Fahrzeuge **festzulegen**. Die bedeutenden Ergebnisse über das Fahrverhalten der Nutzenden neuer Fahrzeuge und ihre Auswirkungen auf die Bemessung der Radverkehrsanlagen sind im Folgenden als Kernaussagen mit ergänzenden Erläuterungen dargestellt:

**Das Lastenrad verlangt auf Grund der speziellen Fahrzeugabmessung und höheren Geschwindigkeit mehr Sicherheitsraum zu Hindernissen und ist damit für die Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen maßgebend. Das Mindestmaß der Radverkehrsanlagen hat eine Breite von 1,95 m und ein Regelmaß von mindestens 2,30 m Breite (Einrichtungsbetrieb) je nach der Führungsform und den Qualitätsstandards.**

Pedelecs benötigen mehr Spielraum zu den Hindernissen oder anderen Verkehrsteilnehmenden, denn sie sind mit einer prinzipiell höheren Geschwindigkeit auf Radverkehrsanlagen unterwegs. Dies wurde bei der von der Bordsteinkante entfernten Positionswahl, beim erhöhten Überholabstand zu den Radfahrenden in der Videoerfassung und bei häufigen Unfällen mit anderen Radfahrenden an Radwegen erfasst. Basierend auf den Eigenschaften der Pedelecs ist der Bedarf an Spielraum bei Lastenrädern wegen der spezifischen Fahrzeugabmessung höher. In der Umfrage wurde bestätigt, dass ein höherer Anteil der Lastenradfahrenden das Überholen an breiten Radverkehrsanlagen (z.B. 2,00 m breiten Radfahrstreifen) für schwieriger hält als der Anteil der Nutzenden anderer Fahrzeuge. Aus dem Grund wurde ein 1,10 m anstatt 1,00 m breiter Verkehrsraum für Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller angesetzt und sollte mit einer zusätzlichen Breite bei Lastenrädern berücksichtigt werden. Unter der Maßgabe des Sicherheitsraums zu der Bordsteinkante und den Kfz sowie der maßgebenden Fahrzeugbreite der Lastenräder von 1,20 m ergibt sich ein Mindestmaß von 1,95 m (Einrichtungsverkehr). Das Regelmaß sollte wieder den Überholbedarf gewährleisten und daher eine Breite von mindestens 2,30 m (für den Einrichtungsverkehr) basierend auf den Abmessungen von Lastenzweirädern im Privatverkehr einfordern. Je nach Führungsform und Qualitätsstandard wird ein größeres Maß beruhend auf dem oben genannten Mindestmaß und Regelmaß notwendig. Die Zusatzbreite wird ebenso z.B. an den Strecken mit Steigung als wichtig angesehen.

**Das Pedelec wird stärker vom ruhenden Verkehr negativ beeinflusst als das Fahrrad, besonders auf der Fahrbahnseite und an Radverkehrsstreifen. Ein Sicherheitstrennstreifen zwischen Radverkehrsstreifen und Parkständen sollte mindestens 0,75 m breit sein.**

In der Unfallanalyse wurde festgestellt, dass das Pedelec gegenüber dem Fahrrad eindeutig häufiger von dem „Dooring-Unfall“ (Unfalltyp 581) auf der Fahrbahnseite erfasst wurde. Trotzdessen konnte in der Videoerfassung „Dooring-Unfall“ selten verzeichnet werden. Allerdings wurde eine von den Parkständen entfernten Positionswahl im Querschnitt der Pedelecfahrenden an den Strecken ohne Sicherheitstrennstreifen und mit einem 0,50 m breitem Sicherheitstrennstreifen neben den Parkständen mit häufigeren Parkwechselvorgängen erfasst. An den Strecken mit häufigerem Parkwechselvorgang nutzten die einparkenden Kfz entweder einen unzureichenden Parkstand (zu klein) oder parkten unpräzise, oft ragte auch der Außenspiegel oder das Kfz in den Sicherheitstrennstreifen oder Radverkehrsstreifen hinein. Wegen der höheren Geschwindigkeit wurde das Durchfahren des Pedelecs an solchen Strecken oft beeinträchtigt. Dabei mussten die Pedelecfahrenden von den Parkständen einen größeren Abstand halten, um ein schnelles Durchfahren zu gewährleisten. Dies führte dazu, dass Pedelecs enger am Kfz vorbeifuhren und einen kritischen Überholabstand in Kauf nahmen. Darüber hinaus versuchten die Rad- und E-Tretrollerfahrenden sich an der Markierung der Sicherheitstrennstreifen zu orientieren. Es wurde in der Videoerfassung beobachtet, dass die Rad- und E-Tretrollerfahrenden an Strecken ohne Sicherheitstrennstreifen einen verhältnismäßig großen Abstand zu den Parkständen einhielten. Ein 0,50 m breiter Sicherheitstrennstreifen kollidiert noch mit einer „Dooring-Zone“, da eine Türöffnung einen Abstand von 0,80 - 1,00 m benötigt. Ein Unfall dort wird ingenieurmäßig nicht erwartet. In der

Umfrage hielten noch mehr als die Hälfte der Pedelecfahrenden und ca. zwei Drittel der Lastenradfahrenden einen 0,50 m breiten Sicherheitstrennstreifen subjektiv für „gefährlich“. Dieser Anteil verringerte sich auf ca. 20% bei einem 0,75 m breiten Sicherheitstrennstreifen. Am Radweg zeigte das Pedelec in der Videoerfassung gegenüber dem Fahrrad eine deutlichere Geschwindigkeitssenkung (besonders am Radweg zwischen Fahrbahn und Parkständen). Allerdings wurden keine Besonderheiten der Unfälle und kritischen Situationen bei Pedelecfahrenden registriert. Außerdem ist die negative Auswirkung der Geschwindigkeitsreduzierung der Pedelecs am Radweg durch den Einsatz von 0,75 m breitem Sicherheitstrennstreifen gemäß ERA 2010 abzugleichen.

**Die Kapazität der aufgeweiteten Radaufstellstreifen ist mit der Verbreitung der Lastenräder sowie dem Boom des Gesamtradverkehrs noch problemlos. Das Ziel der Bemessung liegt in der Erhöhung der Nutzungspotenziale von aufgeweiteten Radaufstellstreifen. Dabei ist ein Regelmaß von 6,0 m (ERA-Standard) / 6,5 m (Radvorrangrouten) Länge erforderlich.**

Da die Lastenräder im Wirtschaftsverkehr aktuell in Erscheinung treten und bisher noch eine untergeordnete Rolle spielen, kommt es nicht zum gleichzeitigen Aufstellen zweier wirtschaftlicher Lastenräder in einer Sperrzeit. Aus dem Grund ist die Kapazität der aufgeweiteten Radaufstellstreifen noch ausreichend. Allerdings wurde die Zugänglichkeit zum aufgeweiteten Radaufstellstreifen der nachkommenden Fahrzeuge oft durch vorab ankommende Fahrzeuge beeinträchtigt. Dies ist oft der Fall, wenn der aufgeweitete Radaufstellstreifen kürzer als 5 m ist und sich die (zweiten oder dritten) ankommenden Rad- oder E-Tretrollerfahrenden nicht voran aufstellen wollten. Es könnte auch der Fall auftreten, dass ein Lastenrad im Wirtschaftsverkehr auch den zuführenden Radverkehrsstreifen gänzlich blockiert und den Zugang zum Aufstellbereich verhindert. Hierbei sind die E-Tretrollerfahrenden zu berücksichtigen, weil sie sich wegen ihrer schnellen Anfahrtsgeschwindigkeit oft im vorderen Bereich aufstellen wollten. Deswegen ist bei der Bemessung der Länge der aufgeweiteten Radaufstellstreifen sicherzustellen, dass entweder die Länge ausreichend groß oder der zuführende Radverkehrsstreifen genügend breit für das Überholen ausgebaut ist. Daraus erfolgt ein Regelmaß von 6,0 m (ERA-Standard) / 6,5 m (Radvorrangrouten) Länge oder ein Mindestmaß von 5,0 m nur, wenn der zuführende Radverkehrsstreifen breiter als 2,50 m ist.

**Bei der gemeinsamen Führung mit dem Fußverkehr dominieren die Risiken zwischen Pedelecs/ Lastenrädern und zu Fuß Gehenden an einem schmalen Gehweg unter 4,00 m. Die Gehwegbreite für die gemeinsame Führung ist 3,90 m bzw. 4,90 m (zzgl. Sicherheitstrennstreifen) als Regelmaß jeweils für den Ein- und Zweirichtungsbetrieb, um die Durchfahrt der Lastenräder zwischen zwei zu Fuß Gehenden zu gewährleisten.**

Die höhere Geschwindigkeit bedeutet, es wird generell ein breiterer Seitenabstand benötigt. Daher wurden oft unangepasste Seitenabstände oder starkes Bremsen/ Ausweichen beim Vorbeifahren am Fußverkehr von Pedelecs oder Lastenrädern an schmalen Gehwegen beobachtet. An den Gehwegen, die schmaler als 2,50 m waren, fehlte sogar die Ausweichmöglichkeit. Im Weiteren hatten die Lastendreiräder Schwierigkeiten, in einer schlangenartigen Fahrweise zwischen zu Fuß Gehenden entlang zu fahren. Das Problem der schmalen Gehwege wird zukünftig noch ausgeprägter, wenn junge Nutzende der sportlichen Pedelecs mit überhöhter Geschwindigkeit den Gehweg befahren oder die Lastenräder im Wirtschaftsverkehr mit einer Breite über 1,00 m öfter den Gehweg nutzen. Eine Bemessung der Gehwegbreite stellt die ausreichend breiten Seitenabstände und genügend Ausweichmöglichkeiten sicher und gewährleistet, dass die Lastendreiräder zwischen zwei zu Fuß Gehenden durchfahren können, weil die zu Fuß Gehenden oft nicht allein unterwegs sind. Daraus ergibt sich ein Regelmaß von 3,90 m Breite für den Einrichtungsverkehr und 4,90 m Breite für den Zweirichtungsverkehr, zuzüglich des Sicherheitstrennstreifens basierend auf einer Geschwindigkeit von 20 km/h der Lastendreiräder.

**Beim Rechtsabbiege-Unfall wird die Unterschätzung der Geschwindigkeit der Pedelecs generell <u>nicht</u> verifiziert und hauptsächlich von älteren Pedelecfahrenden geprägt. Die Missachtung der Vorfahrt durch den Kfz-Verkehr wird dagegen öfter bei den E-Tretrollerfahrenden deutlich. Als**

**Infrastruktur ist der lange Radfahrstreifen in Mittellage im Allgemeinen riskant und eine Zusammenführung von Rad- und Fußgängerfurt (Fußgängerüberweg) bei Dreiecksinseln für Pedelec und Lastenrad problematisch.**

Angesichts des Rechtsabbiege-Unfalls wurde kein höherer Anteil der Unfalltypen 232/ 243 bei den Unfällen mit dem Pedelec gegenüber den Unfällen mit dem Fahrrad in der Unfallauswertung erfasst. Ebenso wurde kein erhöhter Anteil von Missachtungen der Vorfahrt durch Kfz-Führende und von kleineren Zeitlücken bei den Interaktionen in der Videoerfassung bemerkt. Nur bei den älteren Pedelecfahrenden wurde eine Unterschätzung der Geschwindigkeit durch häufigere Missachtung der Vorfahrt durch Kfz und mehrere kleinere Zeitlücken festgestellt im Vergleich zu den älteren Fahrradfahrenden. Jüngere Pedelecfahrende fallen bei den Kfz-Fahrenden mit ihrer hohen Geschwindigkeit, erzeugt durch starkes Pedalieren, auf. Dagegen wirkte die Pedalfrequenz der älteren Pedelecfahrenden viel niedriger, was sich nicht äquivalent zu der Geschwindigkeit verhält. Dagegen wurde die Vorfahrt der E-Tretrollerfahrenden wegen fehlender Pedalmöglichkeiten öfter missachtet. Als infrastrukturelles Merkmal ist der lange Radfahrstreifen in Mittelage risikobehaftet. In der Umfrage verzeichnet der Radfahrstreifen in Mittellage einen hohen Anteil an gefährlichem Empfinden. In der Videoerfassung wurde ferner festgestellt, dass an einem langen Radfahrstreifen in Mittelage die rechtsabbiegenden Kfz eine ausreichende Länge zum Beschleunigen und Überholen haben und deshalb die Missachtung der Vorfahrt dort am häufigsten auftrat. Deswegen ist die Länge der Radfahrstreifen in Mittellage auf 60 m beschränkt. Außerdem wurde die Verschwenkung bei gemeinsamer Führung von Rad- und Fußverkehrsfurt (Fußgängerüberweg) bei Dreiecksinseln von den Pedelec- und Lastenradfahrenden nicht ausreichend akzeptiert. Ihnen wurde hier öfter die Vorfahrt durch Kfz-Führende genommen als die der Fahrradfahrenden.

**Es wird ein Trend der Bevorzugung des direkten Linksabbiegens bei den Pedelecfahrenden und des indirekten Linksabbiegens bei den E-Tretrollfahrenden festgestellt. Die infrastrukturellen Maßnahmen beziehen sich auf die Verbesserung der Erkennbarkeit der Einordnungsbereiche oder Verzicht auf den Einordnungsvorgang.**

In der Videoerfassung wurde ein höherer Anteil an direktem Linksabbiegen bei Pedelecfahrenden und ein deutlich höherer Anteil an indirektem Linksabbiegen bei E-Tretrollerfahrenden bestätigt. Allerdings versuchten die E-Tretrollerfahrenden, bei z.B. zwei nahliegenden benachbarten Knotenpunkten oder einer großen Menge an linksabbiegendem Radverkehr, sich ohne Handzeichen in den Linksabbiegestreifen einzuordnen und direkt links abzubiegen. Daher zielen die Maßnahmen darauf ab, die Sicherheit der Einordnungsvorgänge der Pedelecs zu gewährleisten und direkte Linksabbiegemöglichkeiten für E-Tretrollernutzende zu schaffen. Die erste Maßnahmenbündelung erfolgt aus der Erhöhung der Aufmerksamkeit am Einordnungsbereich und der Regulierung des Einordnungsbereichs durch Kennzeichnung (Fahrradweiche). Die zweite Maßnahmenbündelung liegt in der Versetzung oder dem kompletten Verzicht auf den Einordnungsvorgang. Dies betrifft das Ermöglichen der Einordnungsvorgänge an aufgeweiteten Radaufstellstreifen vorheriger Knotenpunkte oder das Einrichten einer eigenen Signalphase für den linksabbiegenden Radverkehr (zusammen mit dem linksabbiegenden Kfz-Verkehr) mit dem Aufstellbereich am Fahrbahnrand (ohne Einordnen).

## 9.2 Forschungsbedarf

Im Zuge der Forschung bestanden noch Wissenslücken, alle Aspekte der Auswirkungen der neuen Fahrzeuge auf die Radverkehrsanlagen zu untersuchen. Zudem herrscht gerade jetzt ein Boom in der Entwicklung des Gesamtradverkehrs einschließlich neuer Fahrzeuge. Daher verändert sich die Zusammensetzung des Radverkehrs und dem damit verbundenen Bedarf der Straßenraumverteilung sehr schnell. Deswegen besteht aktuell die Schwierigkeit alle Veränderungen zeitnah aufzugreifen und zu analysieren. Basierend auf der Untersuchung in dieser Arbeit ist die Forschung in den folgenden Themenbereichen von Bedeutung:

**Das Fahrverhalten der Nutzenden der Lastenräder im Wirtschaftsverkehr und E-Tretroller sowie die Auswirkung solcher Fahrzeuge auf die Radverkehrsanlagen sind genauer zu erforschen.**

Lastenräder im Privatverkehr wurden häufig in der Untersuchung erfasst. Das Fahrverhalten der Lastenradnutzenden im Privatverkehr wurde in einem gewissen Maß erforscht. Allerdings gibt es von wirtschaftlich eingesetzten Lastenrädern nur an wenigen Streckenabschnitten oder Knotenpunkten Aufnahmen, da der Gebrauch dieser Fahrzeugart im Bereich des Wirtschaftverkehrs noch in ihren Anfängen steckt. Aber genau solche Lastenräder mit überbreiten Fahrzeugabmessungen haben stärkere Auswirkungen auf die Bemessung der Radverkehrsanlagen. Das Fahrverhalten der Nutzenden mit dem Lastenrad im Wirtschaftsverkehr und der damit verbundene Einfluss auf die Bemessung der Radverkehrsanlagen sollten in der Zukunft weiter untersucht werden.

Ebenso wurden die E-Tretroller auch überwiegend um die Altstadt der Stadt Frankfurt am Main beobachtet. Daher wurde das Fahrverhalten der E-Tretrollerfahrenden nur eingeschränkt untersucht, besonders die Risiken zwischen zu Fuß Gehenden und E-Tretrollern bei der gemeinsamen Führung. Mittlerweile verbreiten sich die E-Tretroller durch das E-Tretroller-Sharing auch z.B. in Darmstadt. Auch viele Privathaushalte schaffen sich momentan einen eigenen E-Tretroller an. Aus dem Grund sind die Auswirkungen der E-Tretroller auf die Gestaltung der Radverkehrsanlagen im nächsten Schritt nochmal fortlaufend zu untersuchen.

**Die Bemessung der Radverkehrsanlagen der Radschnellverbindung ist in Verbindung mit der Verbreitung neuer Fahrzeuge zu untersuchen.**

Seit Jahren wird die Radschnellverbindung nach niederländischen und dänischen Erfahrungen in Deutschland eingeführt und probeweise errichtet. Bisher gibt es wenige praktische Beispiele zur Untersuchung im Rhein-Main-Gebiet, obwohl die Nachfrage an Radschnellverbindung immer höher wird. Laut Regionalverband FrankfurtRheinMain (2021) werden aktuell neun Strecken um Frankfurt am Main geplant. Allerdings ist die Gestaltung der Radschnellverbindung im städtischen Bereich besonders in Großstädten und Metropolen nicht einfach, weil die vorhandenen nutzbaren Verkehrsflächen sehr knapp sind. Daher ist es wichtig, bei der Bemessung der Radschnellverbindung die Entwicklung der neuen Fahrzeuge zu berücksichtigen.

**Für die sichere Führung des Radverkehrs an Erschließungsstraßen bestehen angesichts der Entwicklung der neuen Fahrzeuge noch Forschungslücken.**

In der Arbeit wird der Schwerpunkt auf die Hauptverkehrsstraßen gelegt. Nur bei der Analyse der Kapazität der aufgeweiteten Radaufstellstreifen werden die Erschließungsstraßen teilweise aufgegriffen. Trotzdem ist eine sichere Führung des Radverkehrs an den Erschließungsstraßen und ihren Knotenpunkten nicht zu vernachlässigen. Die Begegnung zwischen Lastenrad und Kfz an schmalen Erschließungsstraßen in Kombination mit Parken wird oft kritisiert. Dies hängt mit der Anordnung sowie Gestaltung der Fahrradstraßen zusammen und gewinnt in der Verbindung mit der Radschnellverbindung von Bedeutung, weil die Radschnellverbindung an Erschließungsstraßen oft in Form von Fahrradstraßen angebunden wird. Deswegen stellt sich zukünftig die Frage, wie die Führung des Radverkehrs an Erschließungsstraßen bezüglich der neuen Fahrzeuge sichergestellt wird.

**Um die Frage nach der Führung des Radverkehrs neben dem Straßenbahngleis eindeutig beantworten zu können, bedarf es weiterer Untersuchungen.**

Die Führung des Radverkehrs neben dem Straßenbahngleis gehört zu einem Sonderfall. In der Videoerfassung wurde beobachtet, dass die Kfz beim Vorhandensein von Straßenbahnen näher zum Rad- und E-Tretrollernutzenden fuhren und damit kritische Überholabstände in Kauf nahmen. Zudem sind Bahngleise eine der Hauptursachen von Alleinunfällen mit dem Pedelec. Dabei stellt sich die Frage, wie der Verkehrsraum mit der Straßenbahn verteilt werden kann, um die Sicherheit des Radverkehrs zu gewährleisten. Dies betrifft die Fälle, in denen das Bahngleis in Mittellage neben dem Kfz-Fahrstreifen oder am Fahrbahnrand liegt.

# Abbildungsverzeichnis


Abbildung 1.1: Anzahl und Anteil der Verunglückten mit Fahrrädern und Pedelecs zwischen 2014 und 2020 in Deutschland nach Altersgruppen [eigene Darstellung nach (StBA 2015-2021)] ..... 2

Abbildung 1.2: Aufbau der Forschungsarbeit (eigene Darstellung) ..... 9

Abbildung 1.3: Verunglückte Radfahrende nach der Ortslage und Unfallschwere 2020 in Deutschland (StBA 2015-2021) ..... 10

Abbildung 1.4: Gliederung des Radverkehrsnetzes und dreistufige Standardhierarchie in Hessen (AGNH 2019) ..... 11

Abbildung 2.1: Einteilung der Elektrofahrräder in Deutschland [nach (Gressmann und Retzbach 2018)] ..... 12

Abbildung 2.2: Zusatzzeichen für die Freigabe von E-Bike 25 an Radverkehrsanlagen (Anlage 7, VwV-StVO) ..... 14

Abbildung 2.3: Anteil der Wegezwecke an Fahrrad- und Pedelecwegen [nach (Nobis 2019)] ..... 20

Abbildung 3.1: Struktur der Regelwerke und Gesetze für den Radverkehr in Deutschland [nach (ORTLEPP 2017)] ..... 25

Abbildung 3.2: Breitenmaß von Verkehrsraum und Radverkehrsanlagen [nach (FGSV 2010; Gwiasda 2006)] ..... 27

Abbildung 3.3: Unterschied der Bemessung von Radverkehrsanlagen gemäß ERA 2010 und VwV-StVO (Fleischhauer 2013) ..... 28

Abbildung 3.4: Maß der Störung in Abhängigkeit von Breitenmaßen [nach (Wiebusch-Wothge 2016)] ..... 32

Abbildung 3.5: Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn in Frankfurt [eigene Aufnahme] ..... 34

Abbildung 3.6: Sicherheitstrennstreifen zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn in den Niederlanden (links) und Vereinigten Staaten von Amerika (rechts) (CROW 2015; NACTO 2014) ..... 36

Abbildung 3.7: „ Effektiver Radfahrstreifen“ beim Parken (Torbic et al. 2014) ..... 37

Abbildung 3.8: Fahrgeschwindigkeit von Radfahrenden in Abhängigkeit vom Kurvenradius (Pfundt et al.) und Radien (in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit) in ERA 2010 (FGSV 2010) ..... 39

Abbildung 3.9: Einsatzgrenze für die gemeinsame Führung von zu Fußgehenden und Radfahrenden (FGSV 2010, 2021a) ..... 42

Abbildung 3.10: Skizze für die Bemessung vom gemeinsamen Geh- und Radweg gemäß VwV-StVO (Herbst) ..... 43

Abbildung 3.11: Ausbildung der Radfahrstreifen in Mittellage mit Fahrradweiche (RadKULTUR Baden-Württemberg 2017) ..... 47

Abbildung 3.12: Drei Varianten der Linksabbiegestreifen für Radverkehr in der Schweiz (VSS 40 252) ..... 51

Abbildung 3.13: Verkehrsräume und lichte Räume des Lastenrads (Braun 2017a) ..... 52

Abbildung 3.14: Überholungsrate bei Standardfall, Pedelecaufkommen und Steigungsstrecken (Wiebusch-Wothge 2016) ..... 52

Abbildung 4.1: Beispiel der Fragen in Limesurvey ..... 65

Abbildung 4.2: Darstellung der Messung der Netto- und Bruttoabstände in verschiedenen Situationen ..... 72

Abbildung 4.3: Skizze zur Messung von PET (Schnittpunkt in Rot gekennzeichnet) ..... 75

Abbildung 4.4: Skizze der Routen für das Linksabbiegen ..... 76

Abbildung 4.5: Skizze zur Zeitlückenmessung (ANGENENDT 1984) ..... 76

Abbildung 4.6: Skizze der rechtsabbiegen Trajektorie bei einem Rechtsabbiegen mit 10 m Radius ..... 81

Abbildung 7.1: Verteilung der Typen von Lastenräder in der Videoerfassung ..... 106

Abbildung 7.2: Velotaxi fuhr an einem 1,50 m breiten Radweg (Strecke (9)) (links) und 1,40 m breiten geschützten Radfahrstreifen (Strecke (18)) (rechts) [eigene Aufnahme] ..... 112

Abbildung 7.3: Positionsverteilung an einem 2,00 m breiten Radfahrstreifen (Strecke (6)) im interaktionsfreien Zustand (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 115

Abbildung 7.4: Beispiele für das Fahren der Lastenräder an der Markierung oder außerhalb von Radverkehrsstreifen ..... 115
Abbildung 7.5: Positionsverteilung an einem 2,50 m breiten Zweirichtungsradweg (Strecke (16)) im interaktionsfreien Zustand (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 116
Abbildung 7.6: „Parallel-Fahren“ an der Strecke (20) [eigene Aufnahme] ..... 118
Abbildung 7.7: Überholvorgang zwischen drei Fahrenden an der Strecke (6) [eigene Aufnahme] ..... 120
Abbildung 7.8: Kfz überholt ein Fahrrad beim Vorhandensein der Straßenbahn [eigene Aufnahme] ..... 122
Abbildung 7.9: Kfz überholt ein überholendes Lastenrad [eigene Aufnahe] ..... 122
Abbildung 7.10: Radfahrende zu nah zur Bordsteinkante beim Vorbeifahren an zu Fuß Gehenden an den schmalen Radwegen (1,30 m und 1,48 m) [eigene Aufnahme] ..... 128
Abbildung 7.11: Positionsverteilung an einem 1,48 m breiten Einrichtungsradweg (Strecke (8)b)) mit dem Farbunterschied als Trennung zwischen Geh- und Radweg im interaktionsfreienn Zustand (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 128
Abbildung 7.12: Der Radfahrende und zu Fuß Gehende benutzten den Sicherheitstrennstreifen [eigene Aufnahme] ..... 133
Abbildung 7.13: Vergleich der Positionswahl der Pedelecs mit Lieferservice an der Strecke (25) (links) und Strecke (26) (rechts) [eigene Aufnahme] ..... 136
Abbildung 7.14: Positionsverteilung an der Strecke (25) mit einem 1,60 m breiten Rad zwischen Fahrbahn und Parkstände (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 136
Abbildung 7.15: Positionsverteilung an der Strecke (29) mit einem 1,60 m breiten Radweg mit 0,70 m breitem Sicherheitstrennstreifen (interaktionsbezogener Zustand) (n: Anzahl der Fahrzeuge) ..... 143
Abbildung 7.16: Seitliche Schwankung der Strecken bergauf (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 148
Abbildung 7.17: Positionsverteilung an der Strecke (31) mit der Längsneigung 3% im interaktionsfreien Zustand (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 150
Abbildung 7.18: Geschwindigkeit in Abhängikeit von der Route (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 154
Abbildung 7.19: Blockieren der zuführenden schmalen Radverkehrsstreifen durch Velotaxis [eigene Aufnahme] ..... 157
Abbildung 7.20: Konflikt zwischen Pedelecfahrenden und zu Fuß Gehenden an einem 2,10 m breiten Gehweg [eigene Aufnahme] ..... 161
Abbildung 7.21: Konflikte zwischen Lastenradfahrenden (Postbike) und zu Fuß Gehenden an einem 2,80 m breiten Gehweg [eigene Aufnahme] ..... 161
Abbildung 7.22: Zusammenführung der Verkehrsflächenwahl bei dualen Führungsformen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 162
Abbildung 7.23: Markierung am Führungsformwechsel richtet sich nach dem Radweg ohne Benutzungspflicht ..... 163
Abbildung 7.24: rechtsabbiegendes Kfz überholt den Fahrradfahrenden mit einem sehr engen Abstand an der Strecke (41) [eigene Aufnahme] ..... 164
Abbildung 7.25: Radfahrende geraten zwischen zwei Fahrzeuge in langen Verflechtungsbereichen [eigene Aufnahme] ..... 166
Abbildung 7.26: Fahrlinie an der Knotenpunktzufahrt (50) [eigene Aufnahme] ..... 168
Abbildung 7.27: Radfahrender reagierte stark auf das Kfz, das die Vorfahrt am schmalen Radfahrstreifen gewährte [eigene Aufnahme] ..... 168
Abbildung 8.1: Pflanzen ragen in den Radweg [eigene Aufnahme] ..... 184
Abbildung 8.2: schlechte Erkennbarkeit des Radwegs ohne Benutzungspflicht mit falscher Nutzung vom Fußverkehr [eigene Aufnahme] ..... 191

# Tabellenverzeichnis


Tabelle 1.1: Entwicklung des Verkaufsabsatzes, Fahrrad-Bestands und der Beteiligten an Unfällen mit Personenschaden und Verunglückten von 2014 bis 2020 in Deutschland (StBA 2015-2021) (ZIV 10.03.2021) (Anteil in der Klammer) ..... 2

Tabelle 1.2: Anzahl der zwischen 2014 und 2020 in Deutschland mit Fahrrädern und Pedelecs Verunglückten je 100.000 Einwohner nach Altersgruppen [Umrechnung nach (StBA 2015-2021)][1] ..... 3

Tabelle 1.3: Zusammenfassung der Eigenschaften des Radverkehrs, ihrer verkehrlichen Wirkungen und der relevanten Gestaltungselemente von Radverkehrsanlagen ..... 6

Tabelle 2.1: Rechtliche Regelungen von Elektrofahrrädern [nach (FGSV 2018)] ..... 14

Tabelle 2.2: Soziodemografische Merkmale der Fahrrad- und Pedelec-Nutzenden (Pedelecfahrende: n=48; Fahrradfahrende: n=572; Gesamt: n=2061) [nach (UdV 2017)] ..... 19

Tabelle 2.3: Gründe für (nicht) (potentielle) Nutzung der Pedelecs ..... 21

Tabelle 3.1: Breitenmaße von Radverkehrsanlagen [nach (FGSV 2010, 2021a; VwV-StVO 26.01.2001)] ..... 27

Tabelle 3.2: Gestaltung von geschützten Radfahrstreifen in der Praxis in Deutschland [eigene Aufnahme] ..... 28

Tabelle 3.3: Breitenmaße von Sicherheitstrennstreifen [nach (FGSV 2010, 2021a)] ..... 34

Tabelle 3.4: Maximale Länge der Steigungsstrecken bei Rampen (FGSV 2010) ..... 38

Tabelle 3.5: Schwere von Radverkehrsunfällen nach Neigungsverhältnissen in Solingen [nach (Konrad et al. 2015)] ..... 38

Tabelle 3.6: Bemessungsvorgaben für Aufstellbereiche [nach (FGSV 1995;2010)] ..... 40

Tabelle 3.7: Maß der Absetzung in den Regelwerken und Literaturen ..... 47

Tabelle 3.8: Führung des links abbiegenden Radverkehrs an Knotenpunkten [nach (FGSV 2010)] ..... 50

Tabelle 4.1: Einflussfaktoren zur Auswahl der untersuchten Strecken und Knotenpunktzufahrten ..... 57

Tabelle 4.2: Zusammenstellung der Einflussfaktoren nach den Fragestellungen ..... 61

Tabelle 4.3: Zusammenfassung der betreffenden Konfliktypen ..... 62

Tabelle 4.4: Zusammenstellung der Bewertungskriterien nach Fragestellung ..... 63

Tabelle 4.5: Kriterien zur Auswahl der Breite von Radverkehrsanlagen an Strecken ..... 68

Tabelle 4.6: Kriterium zur Auswahl der Breite von Radverkehrsanlagen an Knotenpunktzufahrten ..... 68

Tabelle 4.7: Kriterien zur Auswahl der Länge von Sicherheitstrennstreifen ..... 68

Tabelle 4.8: Kriterien zur Auswahl der Kurvenradien und Richtungsänderungswinkel ..... 69

Tabelle 4.9: Kriterium zur Auswahl der Länge und Breite von aufgeweiteten Radaufstellstreifen (ARAS) ..... 69

Tabelle 4.10: Die auszuwählende Führungsform an Strecken ..... 69

Tabelle 4.11: Die auszuwählende Führungsform an Knotenpunktzufahrten ..... 69

Tabelle 4.12: Kriterien zur Auswahl der Länge von Radverkehrsanlagen an Knotenpunktzufahrten ..... 69

Tabelle 4.13: Die abzuziehende Breite je nach Fahrzeugart ..... 72

Tabelle 4.14: Zusammenfassung der zu bewertenden Interaktionen ..... 73

Tabelle 4.15: Übersicht der Aufstellverhalten, Beeinträchtigungsmöglichkeit sowie Anzahl und Typen aufgestellter Fahrzeuge an aufgeweiteten Radaufstellstreifen (ARAS) ..... 76

Tabelle 4.16: Zusammenstellung der Bewertungskriterien und Messgrößen für Videobeobachtung ..... 78

Tabelle 4.17: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Breite von Radverkehrsanlagen“ ..... 79

Tabelle 4.18: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Trennung zwischen Geh- und Radweg“ ..... 79

Tabelle 4.19: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Breite von Sicherheitstrennstreifen“ ..... 80
Tabelle 4.20: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Längsneigung“ ..... 80
Tabelle 4.21: Übersicht der ausgewählten Strecken/ Knotenpunktarme für das Thema „Kurvenbereich“ ..... 80
Tabelle 4.22: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Aufstellmöglichkeiten“ ..... 82
Tabelle 4.23: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Führung mit dem Fußverkehr“ ..... 82
Tabelle 4.24: Übersicht der ausgewählten Strecken für das Thema „Duale Führungsformen“ ..... 83
Tabelle 4.25: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Zwischenzeit (Einfahrzeit)“ ..... 83
Tabelle 4.26: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)“ ..... 84
Tabelle 4.27: Übersicht der ausgewählten Knotenpunktarme für das Thema „Führung des nach links abbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)“ ..... 84
Tabelle 5.1: Verteilung der Unfälle nach der Örtlichkeit ..... 85
Tabelle 6.1: Altersverteilung der Rückläufer ..... 92
Tabelle 6.2: Verteilung der regionalen Zugehörigkeiten und Raumtypen von Wohnorten der Rückläufer ..... 92
Tabelle 7.1: Verkehrsflächenwahl in Anhängigkeit von der Führung und Breiten von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 108
Tabelle 7.2: durchschnittliche Geschwindigkeit nach Führungsformen und Breiten der Radverkehrsanlagen [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 111
Tabelle 7.3: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radverkehrsstreifen [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 114
Tabelle 7.4: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (der zur Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Zweirichtungsradwegen [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 116
Tabelle 7.5: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bozogen auf die Fahrzeugmittelachse (der Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang in Klammern) an geschützten Radfahrstreifen [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 118
Tabelle 7.6: durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante (Grünfläche) bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandter Fahrzeugüberhang in Klammern) an Einrichtungsradwegen [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 126
Tabelle 7.7: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bezogen auf Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandter Fahrzeugüberhang in Klammern) abhängig von vorbeifahrenden Kfz an der Strecke (7) (n: Anzahl der Fahrzeuge) ..... 126
Tabelle 7.8: Verkehrsflächenwahl an den Radverkehrsanlagen mit Parkständen ..... 130
Tabelle 7.9: durchschnittliche Geschwindigkeit bei vorhandenen Parkständen je nach Breite der Sicherheits-trennstreifen [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 132
Tabelle 7.10: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante/ zu den Parkständen bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante/ den Parkstände zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radverkehrsstreifen mit Parkständen [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 133
Tabelle 7.11: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante (Parkstände) bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radwegen mit Parkständen [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 134
Tabelle 7.12: Verkehrsflächenwahl an den Radverkehrsanlagen mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn ..... 141
Tabelle 7.13: Durchschnittliche Geschwindigkeit an den Strecken mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 142

Tabelle 7.14: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante (Parkstände) bezogen auf die Fahrzeugmittelachse (zur Bordsteinkante zugewandter Fahrzeugüberhang in Klammern) an Radwegen mit Parkständen [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 142
Tabelle 7.15: Verkehrsflächenwahl an den Strecken mit Längsneigung ..... 145
Tabelle 7.16: Durchschnittliche Geschwindigkeit an den Strecken mit Längsneigung [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 147
Tabelle 7.17: Durchschnittliche Geschwindigkeit der E-Lastenzweiräder in Anhängigkeit von der Aufladung [km/h] (n: Anzahl der Fahrzeuge) ..... 148
Tabelle 7.18: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bezogen auf Mittelachse (bezogen auf den von der Bordsteinkante zugewandte Fahrzeugüberhang in Klammern) [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 150
Tabelle 7.19: Verkehrsflächen-/ Routenwahl beim Kurvenbereich ..... 153
Tabelle 7.20: durchschnittliche Geschwindigkeit im Kurvenbereich [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 153
Tabelle 7.21: durchschnittliche Abstände zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse der Fahrzeuge an der Verschwenkungsstrecke in Abhängigkeit der Geschwindigkeit [m] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 155
Tabelle 7.22: durchschnittliche Geschwindigkeit bei gemeinsamer Führung mit Fußverkehr [km/h] (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 159
Tabelle 7.23: Die $V_{15}$ je nach Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Fahrzeuge) ..... 165
Tabelle 7.24: Gewähren der Vorfahrt ..... 166
Tabelle 7.25: Stufe der PET-Werte (n:Anzahl der Interaktionen) ..... 167
Tabelle 7.26: Achtung der Vorfahrt und PET-Stufe bei den Nutzenden augenscheinlich älter als 65 Jahren (n: Anzahl der Interaktionen mit dem bestimmten Fahrzeug) ..... 167
Tabelle 7.27: Behinderungen zwischen geradausfahrenden Rad- und E-Tretrollernutzenden und rechts abbiegenden Kfz-Führenden (n: Anzahl der Interaktionen) ..... 168
Tabelle 7.28: Zusammenführung der Routenauswahl beim Linksabbiegen je nach Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 171
Tabelle 7.29: Routenwahl der Lastenradfahrenden in Abhängigkeit von dem Kindertransport (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 171
Tabelle 7.30: Entfernung für Einordnungsvorgänge je nach den Entfernung zu benachbarten Knotenpunkten (n: Anzahl der Nutzenden) ..... 172
Tabelle 7.31: maximale Geschwindigkeit der Fahrrad- und Pedelecfahrenden an den ausgewählten Strecken [km/h] ..... 174
Tabelle 8.1: Empfehlung für die Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen [m] ..... 180
Tabelle 8.2: Empfehlungen für Breite von Sicherheitstrennstreifen [m] ..... 184
Tabelle 8.3: Übersicht der Empfehlungen für die Zusatzbreite in Abhängigkeit von der Steigung ..... 185
Tabelle 8.4: Empfehlung für die (nutzbare) Breite der Gehwege freigegeben für den Radverkehr [m] ..... 189

## Abkürzungsverzeichnis

| | |
|---|---|
| ADAC | Allgemeiner Deutscher Automobil-Club |
| ADFC | Allgemeiner Deutscher Fahrrad-Club |
| AGNH | Arbeitsgemeinschaft Nahmobilität Hessen |
| Ahn. | Anhänger |
| ARAS | aufgeweiteter Radaufstellstreifen |
| B | Behinderung |
| BASt | Bundesanstalt für Straßenwesen |
| BUVKO | Bundesweiter Umwelt- und Verkehrskongress |
| ca. | circa |
| DLR | Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt |
| DTV | durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke |
| EAÖ | Empfehlungen für Anlagen des öffentlichen Personennahverkehrs |
| EAR | Empfehlungen für Anlagen des ruhenden Verkehrs |
| EFA | Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen |
| einschl. | einschließlich |
| eKFV | Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung |
| El. | Elektrounterstützung |
| E-RW | Einrichtungsradweg |
| EPAC | electrically power assisted cycles |
| ERA | Empfehlungen für Radverkehrsanlagen |
| EU | Europäische Union |
| EUSKa | Elektronische Unfalltypensteckkarte |
| FeV | Fahrerlaubnis-Verordnung |
| FGSV | Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen |
| FZV | Fahrzeug-Zulassungsverordnung |
| GDV | Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft |
| HBS | Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen |
| H BVA | Hinweise für barrierefreie Verkehrsanlagen |
| H EBRA | Hinweise zur einheitlichen Bewertung von Radverkehrsanlagen |
| HFP | Hinweise zum Fahrradparken |
| HNM | Hinweise zur Nahmobilität |
| HRaS | Hinweise zum Radverkehr außerhalb städtischer Gebiete |
| H RSV | Hinweise zu Radschnellverbindungen und Radvorrangrouten |
| HSbQ | Hinweise zu Straßenräumen mit besonderem Querungsbedarf - Anwendungsmöglichkeiten des "Shared Space"-Gedankens |
| HSRa | Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs |
| Kfz | Kraftfahrzeug |
| KP | Knotenpunkt |
| KS | kritische Situation |
| Lkw | Lastkraftwagen |
| LSA | Lichtsignalanlage |
| MAK | Merkblatt für die Anlage von Kreisverkehren |
| MiD | Mobilität in Deutschland |
| MV | Mischverkehr |
| M WBR | Merkblatt zur wegweisenden Beschilderung für den Fußgängerverkehr |
| o.A. | ohne Angabe |
| ÖPNV | öffentlicher Personennahverkehr |
| PBL | protected bike lane |
| PET | Post-Encroachment-Time |
| PflVG | Gesetz über die Pflichtversicherung für Kraftfahrzeughalter |
| RAA | Richtlinien für die Anlage von Autobahnen |
| RAL | Richtlinien für die Anlage von Landstraßen |
| RASt | Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen |

| | |
|---|---|
| RFS | Radfahrstreifen |
| RiLSA | Richtlinien für Lichtsignalanlagen – Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr |
| RiM | Radfahrstreifen in Mittellage |
| RIN | Richtlinien für integrierte Netzgestaltung |
| RMS | Richtlinien für die Markierung von Straßen |
| RSA | Richtlinien für die verkehrsrechtliche Sicherung von Arbeitsstellen an Straßen |
| RVA | Radverkehrsanlage |
| RW | Radweg |
| s.o. | siehe oben |
| SQUADA | Separiertes und Sicheres Queren für Alle in Darmstadt |
| Sst | Schutzstreifen |
| StBA | Statistische Bundesamt |
| StVG | Straßenverkehrsgesetz |
| StVO | Straßenverkehrs-Ordnung |
| StVRAusnV | Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften |
| StVZO | Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung |
| UdV | Unfallforschung der Versicherer |
| VAS | Verkehrssituationsanalyse |
| VKT | Verkehrskonflikttechnik |
| VwV-StVO | Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung |
| VZ | Verkehrszeichen |
| VzKat | Katalog der Verkehrszeichen |
| Z-RW | Zweirichtungsradweg |
| zzgl. | zuzüglich |

## Literaturverzeichnis


AASHTO-GBF-4, 2012: Guide for the Development of Bicycle Facilities.

ADAC (24.01.2020): E-Scooter: Diese Regeln gelten für Elektroroller. Online verfügbar unter https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/elektrofahrzeuge/e-scooter/.

ADAC (Hg.) (2016): Mit dem Pedelec mobil. Online verfügbar unter https://www.adac.de/-/media/pdf/vek/fachinformationen/radverkehr/mit-pedelec-mobil-adac-bro.pdf.

ADFC (2010): Seitliche Sicherheitsabstände. Fachwissen für den Fahrradalltag. Hg. v. ADFC. Online verfügbar unter https://adfc-gehrden-ronnenberg.de/wp-content/uploads/2012/04/fachwissen_seitenabstand_201006041.pdf.

ADFC (2018): So geht Verkehrswende-Infrastrukturelemente für den Radverkehr.

ADFC Hamburg (07.10.2010): Die Kunst der Knoten. Hamburg. Online verfügbar unter https://hamburg.adfc.de/verkehr/themen-a-z/kreuzungen/die-kunst-der-knoten/, zuletzt geprüft am 10.04.2020.

Adomas (2015): Norway Has World's First Bike Escalator. Hg. v. Bored Panda. Online verfügbar unter https://www.boredpanda.com/bicycle-escalator-cyclocable-trondheim-norway/?utm_source=google&utm_medium=organic&utm_campaign=organic.

AGNH (2019): Qualitätsstandards und Musterlösungen. Radnetz Hessen.

AGRD06A-17, 06.2017: Guide to Road Design Part 6 A: Paths for Walking and Cycling.

AGTM09-16, 11.2016: Guide to Traffic Management Part 9: Traffic Operations.

Allen, D.; Bygrave, S.; Harper, H. (2005): Behavior at Cycle Advanced Stop Lines Report No.

Alrutz, D. (2012): Pedelecs im Alltag Was bedeutet der Boom für die (inter-) kommunale Planung. Workshop Regionalverband FrankfurtRheinMain. Planungsgemeinschaft Verkehr PGV-Alrutz. Regionalverband FrankfurtRheinMain. Frankfurt am Main, 12.12.2012.

Alrutz, D. (2016): Auswirkungen der zunehmenden Nutzung von Pedelcs auf die Verkehrssicherheit und die Anforderungen an die Infrastruktur fuer den Radverkehr. In: *Straßenverkehrstechnik* 60 (7).

Alrutz, D.; Bohle, W.; Hacke, U.; Lohmann, G.; Friedrich, N. (2015a): Potenzielle Einflüsse von Pedelecs auf die Verkehrssicherheit. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Planungsgemeinschaft Verkehr PGV-Alrutz; Institut Wohnen und Umwelt GmbH. Hannover/ Darmstadt.

Alrutz, D.; Bohle, W.; Hacke, U.; Lohmann, G. (Semptember 2015): Potenzielle Einflüsse von Pedelecs auf die Verkehrssicherheit. Schlussbericht. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen. Planungsgemeinschaft Verkehr PGV-Alrutz. Hannover/Darmstadt.

Alrutz, D.; Stellmacher-Hein, J. (1997): Sicherheit des Radverkehrs auf Erschließungsstraßen. Unter Mitarbeit von D. Gründel, H. Müller und R. SCHMIDT. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW (Heft V 37).

Alrutz, D.; WILLHAUS, E. (2018): Sicher geradeaus! Sicherung des Radverkehrs vor abbiegenden Kraftfahrzeugen. In: *Straßenverkehrstechnik* 62 (7).

Alrutz, Dankmar; Bohle, Wolfgang; GUGEL, S.; KIEGELAND, S.; NIEMEYER, F.; SCHMIDT, R.; VOHL, R. (1999): Flächenansprüche von Fußgängern. In: *BERICHTE DER BUNDESANSTALT FUER STRASSENWESEN. UNTERREIHE VERKEHRSTECHNIK* (71).

Alrutz, Dankmar; Bohle, Wolfgang; Müller, Holger; Prahlow, Heike; Hacke, Ulrike; Lohmann, Günter (2009): Unfallrisiko und Regelakzeptanz von Fahrradfahrern.

Alrutz, Dankmar; Maier, Reinhold; Schreiber, Marcel (2015b): Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Andersen, T.; Bredal, F.; Weinreich, M.; Jensen, N.; Riisgaar-Dam, M.; Nielsen, M. (2012): Collection of cycle concepts 2012. Hg. v. Cycling Embassy of Denmark.

ANGENENDT, W. (1984): Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich. Teil 3: Knotenpunkt. Unter Mitarbeit von P. Foltzlk, B. HIDDEMANN, U. JANSEN, M. KNUHR, W. KREMP, B-J. Schaeper et al. (96).

ANGENENDT, W. (1989): Sichere Gestaltung markierter Wege für Fahrradfahrer: Band 2. In: *FORSCHUNGSBERICHTE DER BUNDESANSTALT FUER STRASSENWESEN, BEREICH UNFALLFORSCHUNG* (202).

ANGENENDT, W.; HAUSEN, C.; JANSEN, U.; JANSEN, V.; WUTSCHKA, J. (1985): Sichere Gestaltung markierter Gewge für Fahrradfahrer. Band 1.

Angenendt, Wilhelm; Bader, J.; Butz, T.; Cieslik, B.; DRAGER, W.; Friese, H. et al. (1994): Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Angenendt, Wilhelm; Blase, Arne; Klöckner, Dorothee (2005): Verbesserung der Radverkehrsführung an Knoten: Wirtschaftsverl. NW (Verkehrstechnik Heft V 124).

Angenendt, Wilhelm; FOITZIK, P.; HIDDEMANN, B.; JANSEN, U.; JANSEN, V.; KNUHR, M. et al. (1984): Führung des Radverkehrs im Innerortsbereich. Teil 3: Knotenpunkt. In: *BASt* (96).

Angenendt, Wilhelm; Wilken, Markus (1997): Gehwege mit Benutzungsmöglichkeiten für Radfahrer. In: *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* (737).

AP-G88-17, 06. 2017: Cycling Aspects of Austroads Guides.

Bai, Lu; Liu, Pan; Chen, Yuguang; Zhang, Xin; Wang, Wei (2013): Comparative analysis of the safety effects of electric bikes at signalized intersections. In: *Transportation research part D: transport and environment* 20, S. 48–54.

Balsiger, Oskar; Bähler, Christor; Auer, Barbara; Gasser, Phillippe; Geissbühler, Peter; Pfeiffer Roland; Schuster Gerhard (2005): Velos auf Trottoirs. Entscheidungshilfe für die Anwendung der Signalisation "Fussweg" mit Zusatztafel "Velo gestattet". Hg. v. SVK.

BDU (2019): Aktueller Nutzen und Potenziale von E-Scootern. Kurz-Auswertung einer BDU-Befragung. Hg. v. BDU. Online verfügbar unter https://www.bdu.de/media/353984/kurzbefragung-e-scooter.pdf.

Bicycle Dutch (29.04.2020): A huge transformation in ’s-Hertogenbosch. Online verfügbar unter https://bicycledutch.wordpress.com/2020/04/29/a-huge-transformaton-in-%CA%BCs-hertogenbosch/.

Bierbach, Maxim; Adolph, Thorsten; Frey, Alexander; Kollmus, Bernhard; Bartels, Oliver; Hoffmann, Heike; Halbach, Armin-Laszlo (2018): Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen.

BMVI (11.2020): Regionalstatistische Raumtypologie (RegioStaR). Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/regionalstatistische-raumtypologie.html, zuletzt geprüft am 28.08.2021.

BMVI (17.12.2019): Das große Fahrrad-Dossier. Nationaler Radverkehrsplan 3.0. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Dossier/Radverkehr/topthema-02.html.

Bogdanski, R. (2019): Nachhaltige Stadtlogistik. Warum das Lastenradfahrrad die Letzte Meile gewinnt. Logistik Praxis. 1. Aufl. München: HUSS-Verlag.

Bogdanski, R.; Cailliau, C. (2020): Wie das Lastenrad die Letzte Meile gewinnen kann: Potentiale und kritische Erfolgsfaktoren. In: *Journal für Mobilität und Verkehr* (5), S. 22–29.

Borgstedt, S.; Hecht, J.; Jurczok, F. (2017): Fahrrad-Monitor Deutschland 2017. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. Unter Mitarbeit von SINUS Markt- und Sozialforschung GmbH. Hg. v. BMVI. Online verfügbar unter https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/K/fahrradmonitor-2017-ergebnisse.pdf?__blob=publicationFile.

Borgstedt, S.; Jurczok, F.; Gensheimer, T. (2019): Fahrrad-Monitor Deutschland 2019. Ergebnisse einer repräsentativen Online-Befragung. Hg. v. BMVI. SINUS Markt- und Sozialforschung GmbH.

Bösel, Dirk (1997): Konflikte zwischen Fußgängern und Radfahrern. In: *Verkehrszeichen*.

Botma, Hein (1995): Method to determine level of service for bicycle paths and pedestrian-bicycle paths. In: *Transportation Research Record* (1502).

Braun, L. (2017a): Auswirkungen der steigenden Bedeutung des Lastenrades auf die Planung von Radverkehrsanlagen im urbanen Raum. Masterarbeit. TU Berlin, Berlin. Institut für Land- und Seeverkehr Straßenplanung und Straßenbetrieb.

Braun, Luise (2017b): Auswirkungen der steigenden Bedeutung des Lastenrades auf die Planung von Radverkehrsanlagen im urbanen Raum. Masterarbeit. TU Berlin.

Burdinski, M.; Fischer, T.; Gliese, S.; Lenz, E.; Macholdt, T.; Philipp, M. et al. (2012): Lastenräder-Potenziale und Technik. Verkehrswesenseminar. TU Berlin. Institut für Land- und Seeverkehr.

cargobike.jetzt (07.10.2020): Vorteile oder Verbote: Was bringt neues Cargobike-Symbol der StVO? Online verfügbar unter https://www.cargobike.jetzt/was-bringt-das-neue-cargobike-symbol-der-stvo/.

Chen, J.; Xie Z.Q. (2009): Cycle traffic conflict model on urban pedestrian-bicycle paths. In: *Journal of Jilin Univeristy (Engineering and Technology Edition))* 39 (Sup. 2), S. 121–125.

Chen, X. H. (08.28.2019): Safety evaluation and plan concern of Non-motorized traffic in chin. The 8th Sino-German Symposium on Road Traffic Safet. BMVI. Tongji University, BASt, Hochschule Darmstadt, DLR. Berlin, 08.28.2019.

Chen, X. H.; Yue, L.S.S. (2017): Overtaking Interference on Shared Bicycle Path and Its Influcence on Lane Design. In: *Journal of Tongji University (natural science)* 45 (12), 1810-1817. DOI: 10.11908/j.issn.0253-374x.2017.12.010.

Christen, R.; Merkli, C.; Schweizer, T.; Thomas, C. (2007): Fuss- und Veloverkehr auf gemeinsamen Flächen. Empfehlungen für die Eignungsbeurteilung, Einführung, Organisation und Gestaltung von gemeinsamen Flächen in innerörtlichen Situationen. Hg. v. Fussverkehr Schweiz, Pro Velo Schweiz. Zürich/Bern.

civity (Hg.) (2019): Die Nutzung. Wo und wie werden die E-Scooter genutzt? Online verfügbar unter http://scooters.civity.de/.

CROW (1994): Radverkehrsplanung von A bis Z.

CROW (1998): ASVV recommendations for traffic provisions in built-up areas: Author Ede,, The Netherlands.

CROW (2015): Evaluatie discussienotitie fiets- en kantstroken. Een praktijkonderzoek op 23 locaties. Hg. v. CROW. Online verfügbar unter https://www.fietsberaad.nl/CROWFietsberaad/media/Kennis/Bestanden/Fietsberaadpublicatie-28_Evaluatie-discussienotitie-fiets-en-kantstroken_def.pdf?ext=.pdf.

CROW (2016): Design Manual for Bicycle Traffic. Ede: CROW (28).

CROW 343, 11.2014: Handboek verkeerslichten-regelingen 2014.

Czowalla, L. (2016): Nutzungs- und Akzeptanzkriterien von Elektrofahrrädern im beruflichen Pendelverkehr. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitforschung. EBikePendeln. Hg. v. Institut für Transportation Design (ITD). Hochschule für Bildende Künste Braunschweig.

Dahmen-Zimmer, Katharina; Zimmer, Alf (1997): Situationsbezogene Sicherheitskenngrößen im Straßenverkehr: Wirtschaftsverl. NW.

DARMSTADT fährt RAD (19.01.2020): WUNDERLÖSUNG SCHUTZKREUZUNG?-Teil 2. Deutsche Vorurteile gegenüber der niederländischen Schutzinselkreuzung. Darmstadt. Online verfügbar unter https://www.darmstadtfaehrtrad.org/?p=2594.

DB11/1116-2014: Code for planning & design on urban road space.

Department for Transport (27.03.2016): Testing protected cycle lanes in Salford. Case Study. Evans, L.; Smith, D. Online verfügbar unter https://www.gov.uk/government/case-studies/protected-cycle-lanes-salford-greater-manchester.

Dörfler, Wilhelm (1965): Fahrdynamik an signalgesteuerten Kreuzungen: Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau.

Dörnenburg, K.; Leonardi, G.; Steiner, R.; Gerber, S.; Ghielmetti, M.; Frossard, J. (2016): Grundlagen für die Dimensionierung von sicheren Veloverkehrsanlagen. Hg. v. Bundesamt für Strassen. VSS.

Dr. Anja Katharina Huemer (2019): Wie beeinflusst die Infrastruktur für Radfahrer das Überholverhalten von Autofahrern. ADFC, 11.04.2019. Online verfügbar unter https://www.adfc.de/fileadmin/user_upload/Im-Alltag/Fahrradklimatest/Download/2018/Fachveranstaltung_Vortrag_A.K.Huemer_TU_Braunschweig.pdf.

Duthie, Jennifer; Brady, John F.; Mills, Alison F.; Machemehl, Randy B. (2010): Effects of on-street bicycle facility configuration on bicyclist and motorist behavior. In: *Transportation Research Record* 2190 (1), S. 37–44.

Eger, Rudolf (1985): Gemeinsame Verkehrsflächen für Fußgänger und Radfahrer: Fachbereich Wasser u. Verkehr, Techn. Hochsch.

eKFV: Verordnung über die Teilnahme von Elektrokleinstfahrzeugen am Straßenverkehr(Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung), vom 12.07.2021. Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/ekfv/BJNR075610019.html.

eLastenrad (Hg.): Abmessung verschiedener Transporträder. Online verfügbar unter https://www.e-lastenrad.de/lastenrad-anhaenger-technik.

Endt, C.; Mainka, M. (2019): Viele Unfälle und wenig Umweltnutzen. Hg. v. Süddeutsche Zeitung GmbH. Online verfügbar unter https://www.sueddeutsche.de/auto/e-scooter-viele-unfaelle-und-wenig-umweltnutzen-1.4559040.

Engler, P.; Franke, M.; Lampert, J. (2021): Subjektive Sicherheit im Radverkehr. Leitschnur für den Umgang mit aktuellen gesellschaftlichen Forderungen. In: *Straßenverkehrstechnik* 65 (1), S. 39–44.

e-Rad Hafen (05.05.2016): Wie viel wiegt ein Elektrofahrrad? Welches Gewicht haben Motoren und Akkus? Online verfügbar unter https://www.eradhafen.de/2016/05/wie-viel-wiegt-ein-elektrofahrrad-welches-gewicht-haben-motoren-und-akkus/.

Erke, H.; Gstalter, H. (1985): Verkehrskonflikttechnik. Handbuch für die Durchführung und Auswertung von Erhebungen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, 53).

EU-Verordnung 168/2013 (15.01.2013): Die Genehmigung und Marktüberwachung von zwei- oder dreirädrigen und vierrädrigen Fahrzeugen. Das Europäische Parlament und der Europäischen Rate. Online verfügbar unter https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32013R0168.

Falkenberg, Georg; Blase, A.; Bonfranchi, T.; Cosse, L.; Draeger, W.; Vortisch, P. et al. (2003): Bemessung von Radverkehrsanlagen unter verkehrstechnischen Gesichtspunkten.

FeV: Verordnung über die Zulassung von Personen zum Straßenverkehr, vom 18.03.2022. Bundesamt für Justiz (BfJ), § 6 Abs. (1) und § 10 (1). Online verfügbar unter

https://www.gesetze-im-internet.de/fev_2010/BJNR198000010.html.

FGSV (1995): Empfehlung für Radverkehrsanlagen. ERA 95. Köln: FGSV Verlag.

FGSV (2002): Empfehlungen für Fußgängerverkehrsanlagen. EFA 2002. Köln: FGSV Verlag (R2 288).

FGSV (2006): Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen. RASt 06. Köln: FGSV Verlag (R1 200).

FGSV (2010): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen. ERA 2010. Köln: FGSV-Verlag (R2 284).

FGSV (2012a): Begriffsbestimmungen, Teil: Verkehrsplanung, Straßenentwurf und Straßenbetrieb. Köln: FGSV Verlag (220).

FGSV (2012b): Empfehlungen für Verkehrserhebungen. EVE 2012. Ausg. 2012. Köln: FGSV-Verlag (FGSV, R2 125).

FGSV (2014): Arbeitspapier Einsatz und Gestaltung von Radschnellverbindungen. Köln: FGSV Verlag (W2 284/1).

FGSV (2015): Richtlinien für Lichtsignalanlagen - Lichtzeichenanlagen für den Straßenverkehr. RiLSA 2015. Köln: FGSV Verlag (R1 321).

FGSV (2021a): Hinweise zu Radschnellverbindungen und Radvorrangrouten. H RSV. Köln: FGSV Verlag (W1 284/1).

FGSV (2021b): Hinweise zur einheitlichen Bewertung von Radverkehrsanlagen. H EBRA. Köln: FGSV Verlag (W1 284/3).

FGSV (Hg.) (2018): Elektromobilität. Systembedingungen, Einsatzbedingungen und Systemintegration. Köln (FGSV 006/13). Online verfügbar unter https://www.fgsv.de/fileadmin/gremien/qa_7/Elektromobilitaet_FGSV_006_13.v.pdf.

FGSV (Sempt. 2005): Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs. HSRa. Köln: FGSV Verlag (W1 256).

FHWA-HEP-15-025, 05.2015: Separated Bike Lane Planning and Design Guide. Online verfügbar unter https://nacto.org/wp-content/uploads/2016/05/2-4_FHWA-Separated-Bike-Lane-Guide-ch-5_2014.pdf.

FHWA-HOP-08-024, 06.2008: Traffic Signal Timing Manual. Online verfügbar unter https://nacto.org/docs/usdg/signal_timing_manual_fhwa.pdf.

Fleischhauer, J. (2013): Sicherheit von Radwegen und Radwegebenutzungspflicht. ERA/StVO-Seminar. ADFC Hessen. ADFC Hessen. Frankfurt am Main, 12.10.2013. Online verfügbar unter https://www.adfc-hessen.de/public_downloads/dokumente/ADFC-ERA-RWBP_Fortbildung_Frankfurt_WWW.pdf.

Fleury, J. (2018): Die rasante Verbreitung der Elektrovelos. In: *Zeitschrif der Velokonferenz Schweiz* (01), S. 6–9.

Forester, J. (2012): Effective Cycling. 7. Aufl. Cambridge: MIT Press.

Freyer, Lola (2019): Forschungsprojekt „Duale Radlösung “Wahlfreie Führung als Mittel der Radverkehrsförderung. In: *4. BIH-Tre ◌, en 2019*, S. 37–44.

FÜRS RAD. VOR ORT (2018): Handreichung für Radverkehrsbeauftragte. Hg. v. AGFK-BW.

FZV: Verordnung über die Zulassung von Fahrzeugen zum Straßenverkehr, vom 12.07.2021. Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/fzv_2011/BJNR013900011.html.

GDV (Hg.) (2021): Verkehrssicherheit von E-Scootern. Unter Mitarbeit von T. Gehlert. Berlin (Unfallforschung kompakt, 110).

GDV Unfallforschung der Versicherer (2013): Innerörtliche Unfälle mit Fußgängern und Radfahrern. In: *Berlin und Prof. Dr. Rainer Banse Bonner Institut für Rechts-und Verkehrspsychologie Siegfriedstraße* 28, S. 53179.

Gievers, R. (2018): Ebike & Pedelec - Verhalten im Straßenverkehr: Gicom-Verlag Rainer Gievers.

Gleue, Axel W. (1974): Untersuchungen zur Berechnung von Zwischenzeiten in Lichtsignalprogrammen. Heft 166. Boon (Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik).

Graf, T. (2019): Radverkehr von A - Z. Universalwörterbuch mit allen wichtigen Begriffen der Radverkehrsförderung und -planung. 1. Auflage: Thiemo Graf Verlag.

Greibe, Poul; Buch, Thomas Skallebæk (2016): Capacity and behaviour on one-way cycle tracks of different widths. In: *Transportation research procedia* 15, S. 122–136.

Gressmann, M.; Retzbach, L. (2018): Fachwissen E-Bike. Technik der Leicht-Elektrofahrzeuge. Unter Mitarbeit von A. Barth. 3. Aufl. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel (Europa-Fachbuchreihe für Kraftfahrzeugtechnik).

Gruber, J.; Rudolph, C. (2016a): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD). In: *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Schlussbericht*.

Gruber, J.; Rudolph, C. (2016b): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD)(Schlussbericht). Unter Mitarbeit von B. Lenz, G. Liedtke, C. Spath und S. Wrighton. Hg. v. BMVI. Berlin.

Guilin News (12.04.2021): 重磅！桂林交警全城启动！电动车，电三轮，非机动车都注意了. Guilin. Online verfügbar unter https://www.163.com/dy/article/G7BH1DS60545A529.html.

Gündel, D.; Busek, S.; Vullriede, N. (2016): Duale Führung mit Schutzstreifen und Radwegen ohne Benutzungspflicht in der Elsenheimerstraße. Landeshauptstadt München Vorher-Nachher-Untersuchung. Schlussbericht. Hg. v. Landeshauptstadt München Kreisverwaltungsreferat. Planungsgemeinschaft Verkehr PGV.

Gwiasda, P. (2006): Radverkehr in der StVO. Möglichkeiten seit 1997 Änderungen in der Gegenwart Wünsche an die Zunkunft. Das Fahrrad als Verkehrsmittel der Zukunft. ADFC, 18.11.2006. Online verfügbar unter https://www.adfc-bw.de/fileadmin/dateien/Landesverband/Texte/06-11-18_Gwiasda_Referat_StVO_07.pdf.

Gwiasda, Peter (2019): Differenzierte Standards im Radverkehrsnetz–Weiterentwicklung der Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA). In: *Straßenverkehrstechnik* 63 (5).

Hagemeister, C.; Schmidt, A.; Seidet, T.; Schlag, B. (Hg.) (2005): Criteria for Cyclists' Everyday Route Choice. Unter Mitarbeit von G. Underwood. ICTTP 2004. Nottingham, 05-09. 09.2004. School of Psychology, University of Nottingham: Elsevier.

Harkey, David L.; Stewart, J. Richard (1997): Evaluation of shared-use facilities for bicycles and motor vehicles. In: *Transportation Research Record* 1578 (1), S. 111–118.

Haustein, Sonja; Møller, Mette (2016): E-bike safety: individual-level factors and incident characteristics. In: *Journal of Transport & Health* 3 (3), S. 386–394.

Heinrich, L.; Menke, F.; Schulz, W. (2016): HELFI – HErner LastenFahrrad Innovation. Klimafreundlicher Wirtschaftsverkehr in Kommunen als Beitrag zur Energiewende – A1. Lastenrad Markt- und Umfeldanalyse. Unter Mitarbeit von S. Kempf und P. Pfersich. Zepplin University, Center for Mobility Studies. Friedrichshafen.

Herbst, M.: Mindestbreite gemeinsamer Fuß- und Radwege. Hg. v. stvo2Go. Online verfügbar unter https://www.stvo2go.de/mindestbreite-gemeinsamer-fuss-radwege/, zuletzt geprüft am 01.10.2021.

Hobusch, J.; Kostorz, N.; Wilkes, G.; Kagerbauer, M. (2021): E-Scooter - Freizeitspaß oder alternatives Mobilitätsangebot. In: *Straßenverkehrstechnik* 65 (1), S. 33–38.

Holz-Rau, C.; Hölderich, P. (2016): Verkehrssicherheit und Höhenunterschiede-Unfälle in Nordrhein-Westfalen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 62 (5), S. 239–249.

Huang, XL.; Yang, LS.; Qiu, M.; Zhang, WH. (2020): Design method for left-turn traffic organization of non-motor vehicles at road intersections. In: *Auto & Safety* (6), S. 76–84.

Hunter, William W.; Stewart, J. Richard; Stutts, Jane C.; Huang, Herman H.; Pein, Wayne E.: A Comparative Analysis of Bicycle Lanes Versus Wide Curb Lanes.

Hupfer, Christoph; Böer, Hinrich; Huwer, U.; Jacob, H.; Nagel, U. (2000): Einsatzbereiche von Angebotsstreifen. In: *BERICHTE DER BUNDESANSTALT FUER STRASSENWESEN. UNTERREIHE VERKEHRSTECHNIK* (74).

IAN 195/16, 10.2016: Cycle traffic and the strategic road network. Online verfügbar unter http://programme-officers.co.uk/Preston/CoreDocuments/LCC057.pdf.

Inhoffen, L. (2019): E-Scooter: Eher Vergnügen als Mittel zum Umweltschutz. Hg. v. YouGov. Online verfügbar unter https://yougov.de/news/2019/07/09/e-scooter-eher-vergnugen-als-mittel-zum-umweltschu/.

Jellinek, R.; Hildebrandt, B.; Pfaffenbichler, P.; Lemmerer, H. (Februar, 2013): Auswirkungen der Entwicklung des Marktes für E-MERKUR-Auswirkungen der Entwicklung des Marktes für E-Fahrräder auf Risiken, Konflikte und Unfälle auf Radinfrastrukturen. Hg. v. Österreichische Energieagentur. Wien (Band 19).

Jung, F.; Siemer, B.; Schal, S.; Hoger, T. (2019): Elektro-Tretroller (E-Scooter) - rechtliche Grundlagen, Beschleunigungs-, Brems- und Fahrdynamikversuche. In: *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 57 (12), S. 412–418. Online verfügbar unter https://www.ureko.de/wp/wp-content/uploads/2019/12/VKU-2019.12-S.412-S.418.pdf, zuletzt geprüft am 03.12.2020.

Kaulen, R.; Reintjes, M.; Dudde, C. (2013): Gutachten zum Einsatz und zur Wirkung von einseitigen,alternierenden und beidseitigen Schutzstreifen auf schmalen Fahrbahnen innerorts. Unter Mitarbeit von W. Kever, S. Errico, L. Bornwasser, F. Blaschke, B. Peipert, S. Schotten et al. Hg. v. Arbeitsgemeinschaft Fahrradfreundlicher Kommunen in Baden-Württemberg e.V. Stadt- und Verkehrsplanungsbüro Kaulen (SVK). Aachen/München. Online verfügbar unter https://www.agfk-bw.de/uploads/tx_news/SVK-AGFK-BW_Gutachten-Schutzstreifen_Langfassung_20131014.pdf.

Koch, F.; Pez, P. (2013): Stadtverkehrsrevolution Pedelec. Ergebnisse eines Reisezeitexperiments in Lüneburg. In: *Raumplanung* 167 (2), 51-55.

Kolrep-Rometsch, Harald; Leitner, Rodney; Platho, Christina; Richter, Thomas; Schreiber, Annika; Schreiber, Marcel (2013): Abbiegeunfälle Pkw/Lkw und Fahrrad. In: *Forschungsbericht/Unfallforschung der Versicherer (UDV)* (21).

Konrad, Kathrin; Steinberg, Gernot; Holz-Rau, Christian; Bülow, S. P.; Langfeld, K. (2015): Leitfaden zur Radverkehrsförderung in Städten mit Höhenunterschieden.

Korda, C. (1999): Quantifizierung von Kriterien für die Bewertung der Verkehrssicherheit mit Hilfe digitalisierter Videobeobachtungen. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Fachbereich Bauingenieurwesen.

Kroeze, Peter; Schepers, Paul; Sweers, Willy: Veiligheid van fietsers op voorrangskruispunten binnen de bebouwde kom. In: Nationaal verkeerskundecongres 2010.

Kroher, T. (2020): E-Scooter-Test: Große Unterschiede bei Qualität und Reichweite. Unter Mitarbeit von M. Zimmermann und R. Kaessmann. Hg. v. ADAC. Online verfügbar unter https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/e-scooter-test/.

Landau, M. (2011): Bericht Technische Begleitforschung Nutzung von Pedelecs im Projekt Bike Business 2.0. Unter Mitarbeit von P. Ackermann, R. Gaber, F. Gerner und O. Schömann. Hg. v. Frauenhofer-IWES. Kassel.

Langer, Ralf (2016): Seitlicher Ueberholabstand von Radfahrern durch den motorisierten Verkehr-Empirische Analyse mit Hilfe von Kameradaten. In: *Verkehrsoekologische Schriftenreihe* (6).

Lawinger, T.; Bastian, T. (2013): Neue Formen der Zweiradmobilität Eine empirische Tiefenanalyse von Pedelec-Unfällen in Baden-Württemberg. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 59 (2), S. 99–106.

LBK nr 1324: Bekendtgørelse af færdselsloven, vom 21.11.2018. Færdselsstyrelsen. Online verfügbar unter https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2018/1324.

Lee, Chungwon; Shin, Hee Cheol; Kang, Seungmo; Lee, Jung-Beom (2016): Measurement of desirable minimum one-way bike lane width. In: *KSCE Journal of Civil Engineering* 20 (2), S. 881–889.

Li, Zhibin; Wang, Wei; Zhao, De; Yang, Chen (2012): Modeling bicycle passing events on physically separated roadways. In: *JOURNAL OF SOUTHEAST UNIVERSITY (Natural Science Edition))* 42 (1), S. 156–161.

Lienhop, M.; Thomas, D.; Brandies, A.; Kämper, C.; Jöhrens, J.; Helms, H. (2015): Pedelection. Verlagerungs- und Klimaeffekte durch Pedelec-Nutzung im Individualverkehr. Endbericht. Hg. v. BMU.

Lin, D. C.; Chen, X. H.; Lin, B.; Li, L. (Hg.) (2014): Phenomena and Characteristics of Moped- Passing-Bicycle on Shared Lanes. TRB 93rd Annual Meeting. Washington, D.C., Januar 12-16, 2014. Transportation Research Board (TRB).

Liu, H.; Zhang, G-P.; Wang, Y-T.; Jiang, X-G. (2019): Analysis on Factors Affecting Traffic Safety at Uncontrolled Intersection. In: *Journal of Highway and Transportation Research and Development* 36 (9), S. 110–116.

Local Transport Note 2/08, 10.2008: Cycle Infrastructure Design.

LTN 1/12, 09.2012: Shared Use Routes for Pedestrians and Cyclists. Online verfügbar unter https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/9179/shared-use-routes-for-pedestrians-and-cyclists.pdf.

LTN 2/08, 10.2008: Cycle Infrastructure Design.

Madsen, Tanja Kidholm Osmann; Lahrmann, Harry (2017): Comparison of five bicycle facility designs in signalized intersections using traffic conflict studies. In: *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour* 46, S. 438–450.

Mainadi, A. (2013): Topographie: (k)ein Hindernis für die Radverkehrsförderung. 7. Fahrradkommunalkonferenz. Deutsches Institut für Urbanistik (Fahrradakademie), Deutscher Städtetag, Deutscher Landkreistag, Deutscher Städte- und Gemeindebund. Erfurt, 25.11.2013. Online verfügbar unter https://nationaler-radverkehrsplan.de/sites/default/files/pdf/2013-11-25_7-fahrradkommunalkonferenz_ag3_mainardi.pdf.

Maiwald, T. (2010): Radverkehrsförderung in topographisch bewegten Räumen. Diplomarbeit. Technische Universität Dortmund, Dortmund. Fakultät Raumplanung. Online verfügbar unter https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/186314/1/DS0366.pdf.

MEID MV (Hg.) (2011): Auswirkungen aus der Nutzung von Pedelecs auf die Raverkehrsplanung. und die dort geltenden Stadnards unter Einbeziehung der neuen ERA 2010. ISUP. Schwerin. Online verfügbar unter https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=2ahUKEwj5jLuNpuflAhUREVAKHSC1CC0QFjAAegQIBRAC&url=http%3A%2F%2Fedoc.difu.de%2Fedoc.php%3Fid%3D318D4L62&usg=AOvVaw0Mx7ieD75unwn2A-0cFBk6, zuletzt geprüft am 13.Nov.2019.

Mensebach, Wolfgang; CORELL, K.; GORDAN, P. (2004): Strassenverkehrsplanung, Strassenverkehrstechnik; 4.

Meschik, M. (2008): Planungshandbuch Radverkehr. Wien: Springer-Verlag.

Meyer, E.; Blass, P.; Robatsch, K.; Senitschnig, N.; Soteropoulos, A. (2020): Elektromobilität auf zwei Rädern - Herausforderungen an die Infrastruktur. In: *Straßenverkehrstechnik* 64.

Michel, Janina-Charline (2019): Toter Winkel-Herleitung von Problemfeldern und Entwicklung von Maßnahmen bei Unfällen mit rechtsabbiegenden Lkw und geradeaus fahrendem Radverkehr an unfallauffälligen Knotenpunkten in Berlin. Technische Universität Berlin.

Minh, Chu Cong; Sano, Kazushi; Matsumoto, Shoji (2005): Characteristics of passing and paired riding maneuvers of motorcycle. In: *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies* 6, S. 186–197.

Moerner, J. von (1988): FORSCHUNGSDOKUMENTATION" FUEHRUNG DES RADVERKEHRS IM INNERORTSBEREICH".

NACTO (2014): Urban bikeway design guide. Washington: Island Press.

Navigant, Sach, T.; Jörling, K.; Lotz, B.; Jakob, M.; Schult, H.; Bietenholz, D. (2021): Klimaschutz in Zahlen. Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik. Hg. v. BMU. Berlin (BMU10059). Online verfügbar unter https://www.bmuv.de/fileadmin/Daten_BMU/Pools/Broschueren/klimaschutz_zahlen_2021_bf.pdf.

NetCologne (Hg.) (2019): Erschreckende Bilanz für Unfälle mit E-Scootern. Fahren unter Alkoholeinfluss. Unter Mitarbeit von R. Peters. NetCologne. Online verfügbar unter https://www.koeln.de/koeln/nachrichten/lokales/erschreckende-bilanz-fuer-unfaelle-mit-e-scootern-in-koeln_1137099.html.

Nobis, Claudia (2019): Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr. Mobilität in Deutschland - MiD. Hg. v. infas, DLR, IVT und infas 360 (im Auftrag des BMVI). Bonn, Berlin. Online verfügbar unter http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf, zuletzt geprüft am 12.11.2019.

Norm DIN 79010, 02.2020: Fahrräder - Transport- und Lastenfahrrad - Anforderungen und Prüfverfahren für ein- und mehrspurige Fahrräder.

Norm DIN EN 15194: 2017, 11.2018: Fahrräder - Elektromotorisch unterstützte Räder - EPAC.

Nottinghamshire County Council (Hg.) (2006): Cycling Design Guide 2006. Nottinghamshire. Online verfügbar unter https://nacto.org/wp-content/uploads/2011/03/Nottinghamshire-Cycling-Design-Guide-2006.pdf.

Ohm, Dirk; Fiedler, Frank; Zimmermann, Frank; Kraxenberger, Tobias; Maier, Reinhold; Hantschel, Sebastian; Otto, Michael (2010): Führung des Radverkehrs im Mischverkehr auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen.

ORTLEPP, J. (2017): Entwicklung bei der Gestaltung von Radverkehrsanlagen. In: *Straßenverkehrstechnik* 61 (5), S. 330–336.

ORTLEPP, J. (2019): Vision Zero Anspruch und Wirklichkeit. FGSV-Ausschuss 3.9. FGSV Arbeitsausschuss 3.9. Wiesbaden, 21.03.2019.

ORTLEPP, J.; BUTTERWEGGE, P. (2016): Unfalltypen-Katalog. Leitfaden zur Bestimmung des Unfalltyps. Hg. v. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin. Online verfügbar unter https://udv.de/sites/default/files/tx_udvpublications/unfalltypen-katalog_udv_web_2.pdf, zuletzt geprüft am 05.03.2021.

Otte, D.; Facius, T.; Mueller, C. (2014): Pedelecs im Unfallgeschehen und Vergleich zu konventionellen nicht motorisierten Zweiraedern. In: *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 52 (2), S. 48–60.

Panwinkler, T.; Holz-Rau, C. (2019): Unfallgeschehen von Pedelecs und konventionellen Fahrrädern im Vergleich. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 65 (336-347).

Pez, P.: Reisezeiten in Städten und ihre Implikation für die Verkehrspolitik/-planung. Leuphana Universität Lüneburg.

PflVG: Gesetz über die Pflichtversicherung für Kraftfahrzeughalter, vom 12.07.2021. Bundesamt für Justiz (BfJ), §2. Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/pflvg/BJNR102130965.html.

Pfundt, K.; Alrutz, D.; Hülsen, H.: "Empfehlungen für Planung, Entwurf und Betrieb von Radverkehrsanlagen" Erläuterungen und Begründungen. In: Radverkehr, Nr.32, S. 19–148.

Polizei Nordrhein-Westfalen Münster (2021): E-Scooter: Dos & Don’ts. Münster. Online verfügbar unter https://muenster.polizei.nrw/artikel/e-scooter-dos-donts.

RadKULTUR Baden-Württemberg (Hg.) (2017): Musterlösung für Radverkehrsanlagen in Baden-Württemberg. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://www.fahrradland-bw.de/fileadmin/user_upload_fahrradlandbw/Downloads/Musterloesungen_RadNETZ.pdf.

radpendler düren (07.2020): Update: 1,5m Abstand. Farber. E. Online verfügbar unter https://radpendler.org/update-1-5m-abstand.

rbb (Hg.) (2019): E-Scooter-Fahrer werden oft betrunken erwischt. Zwischenbilanz der Berliner Polizei. rbb. Online verfügbar unter https://www.rbb24.de/panorama/beitrag/2019/09/e-scooter-berlin-bilanz-polizei-drei-monate.html.

Regionalverband FrankfurtRheinMain (Hg.) (2021): Radschnellwege in der Region FrankfurtRheinMain. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://www.region-frankfurt.de/Unsere-Themen-Leistungen/Mobilit%C3%A4t-in-der-Region/Mit-dem-Rad/Radschnellwege/Radschnellwege-FrankfurtRheinMain-.php?object=tx,3255.3&ModID=6&FID=3255.54.1&NavID=3255.74&La=1&kuo=2.

Renard, A. (2017): Elektrovelos-Auswirkungen auf das Verkehrssystem. SVI. Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI), 11.2017.

Richard, H. (1981): Handbuch für Radverkehrsanlagen und Radverkehr. Darmstadt: Otto Elsner Verlagsgesellschaft.

Richter, T.; Beyer, O. (2019): Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführung. Unter Mitarbeit von J. ORTLEPP und M. SCHREIBER. Hg. v. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin.

Richter, Thomas (2019): Einsatzbereiche von Radfahrstreifen in Mittellage. Unter Mitarbeit von Oliver Beyer, Lisa Junghanns, Danise Kramer und Martin Mross. Hg. v. TU Berlin.

Richter, Thomas; Beyer, Oliver; Ortlepp, Jörg; Schreiber, Marcel (2019): Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführungen. In: *Straßenverkehrstechnik* 63 (12), S. 858–865.

Richter, Thomas; Ruhl, Stephan; Ortlepp, Jörg; Schreiber, Marcel (2018): Aufhebung der Benutzungspflicht von Radwegen.

Richter, Thomas; Sachs, Janina (2016): Unfälle zwischen abbiegenden Kraftfahrzeugen (Pkw und Lkw) und Rad fahrenden. In: *3.2. 8.2-Handbuch der kommunalen Verkehrsplanung*.

Riel, J. (2002): Modellierung von Störungen des Verkehrsablaufs durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand. Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern. Fachgebiet Verkehrswesen.

Risse, R.; Zuzan, W. D.; Tamme, W.; Steinbauer, J.; Kaba, A. (1991): Handbuch zur Erhebung von Verkehrskonflikten mit Anleitungen zur Beobachterschulung. Wien: Literas-Universitätsverlag (Lebensraum Verkehr, 28).

Rostami, A.; Katthe, A.; Sohrabi, A.; Jahangiri, A. (2020): Predicting Critical Bicycle-Vehicle Conflicts at Signalized Intersections. In: *Journal of Advanced Transportation* vol.2020, S. 1–16. Online verfügbar unter https://www.hindawi.com/journals/jat/2020/8816616/, zuletzt geprüft am 15.02.2021.

Runkel, M.; Mahler, A.; Kunz, C. (2016): Maßnahmen und Instrumente für die Energiewende im Verkehr. In: *Metaanalyse. Forschungsradar Energiewende. URL: https://www. unendlich-viel-energie. de/startschuss-fuer-die-energiewen de-im-verkehr-ist-ueberfaellig, abgerufen am* 20, S. 2017.

RVS 03.02.13, 01.02.2014: Merkblatt Radverkehr.

RVS 05.04.32, 28.10.1998: Verkehrslichtsignalanlagen Einsatzkriterien.

RVV 1990 (01.01/2020): Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990, vom 2020. Minister van Verkeer en Waterstaat. Online verfügbar unter https://wetten.overheid.nl/BWBR0004825/2020-01-01.

RVV 1990: Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990, vom 05.05.2022. Minister van Verkeer en Waterstaat.

Ryley, T. J. (1996): Advanced stop lines for cyclists: The role of central cycle lane approaches and signal timings, TRL report 181. In: *Transport Research Laboratory (TRL), Storbritannia*.

Saisonstart, N. (2020): E-Scooter nach dem ersten Hype. In: *Veloplan* (1/2020), S. 48–50.

Scaramuzza, G.; Clausen, N. (2010): Elektrofahrräder (E-Bikes). Hg. v. bfu. Bern (bfu-Faktenblatt Nr.4). Online verfügbar unter https://repository.difu.de/jspui/bitstream/difu/232470/1/DS1438.pdf.

Schäfer, P.; Schmidt, K. (2012): Sozialwissenschaftliche Begleitforschung zur Elektromobilität in der Modellregion Rhein-Main. In: *Straßenverkehrstechnik* 56 (424), S. 424–428.

Schärfer, P. K.; Freyer, L.; Stolte, D.; Bohl, M.; Winkler, Z. (2020): Duale Radlösung. Abschlussbericht. Hg. v. Fachgruppe Neue Mobilität. Frankfurt University of Applied Sciences. Frankfurt am Main. Online verfügbar unter https://www.frankfurt-university.de/fileadmin/standard/Hochschule/Fachbereich_1/FFin/Neue_Mobilitaet/Veroeffentlichungen/2020/Duale_Radloesungen_Abschlussbericht.pdf.

Schepers, P.; Wolt, K. K.; Fishman, E. (2018): The Safety of E-Bikes in The Netherlands. Discussion Paper. Hg. v. International Transport Forum. Paris.

Schleinitz, K. (2020): Risiko Pedelec?-Auswirkungen von Elektrofahrrädern auf die Verkehrssicherheit. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 66 (2), S. 95–98.

Schleinitz, K.; Petzolde, T.; Franke-Bartholdt, L.; Gehlert, T. (2016a): Geschwindigkeit und kritische Ereignisse bei Rad/ und Elektrofahrradfahrern verschiedener Altersgruppen. In: *Zeitschrift fuer Verkehrssicherheit* 62 (3), S. 64–68.

Schleinitz, K.; Petzolde, T.; Krems, J.; Kühn, M.; Gehlert, T. (2015): Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen. Hg. v. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin.

Schleinitz, K.; Petzoldt, T.; Krems, J.; Gehlert, T.; Kröling, S. (2016b): Helmnutzung und regelwidriges Verhalten von Pedelec- und Fahrradfahrern. Hg. v. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin.

Schleinitz, Katja; Franke-Bartholdt, Luise; Petzoldt, Tibor; Schwanitz, Stefan; Gehlert, Tina; Kühn, Matthias (2014): Pedelec-naturalistic cycling study. In: *Berlin: GDV UdV*.

Schlichtholz, R. (2020): E-Scooter - Der ultimative Ratgeber für die Mobilität der Zukunft. 2. Aufl. Berlin: epubli.

Schmitt, K-W.; Gross, J.; Muser, M.; Huwiler, K.; Cavegn, M.; Studer, S. et al. (2019): Nutzung von Elektrokleinstfahrzeugen auf öffentlichen Verkehrsflächen. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 65 (4), S. 239–245.

Schnüll, Robert; Lange, J.; Fabian, I.; Kölle, M.; Schütte, F.; Alrutz, D. et al. (1992): Sicherung von Radfahrern an städtischen Knotenpunkten. In: *FORSCHUNGSBERICHTE DER BUNDESANSTALT FUER STRASSENWESEN, BEREICH UNFALL-FORSCHUNG* (262).

Schreck, Benjamin (2016): Radverkehr-Unfallgeschehen und Stand der Forschung. In: *Zeitschrift fuer Verkehrssicherheit* 62 (2).

Schreck-von Below, B.; Reinartz, A. (2019): Radverkehr-Sicherheit, Forschung und infrastrukturelle Maßnahmen 63 (12), S. 849–857.

SCHREIBER, M.; Beyer, O. (2019): Sicherheit und Nutzbarkeit markierter Radverkehrsführung. In: *Straßenverkehrstechnik* 63 (12), S. 858–865.

Schubert, Helmut (1964): Untersuchungen über die Abwicklung des Fahrradverkehrs in Straßenkreuzungen: Der Bundesminister für Verkehr, Abt. Straßenbau.

Sikka, N.; Vila, C.; Stratton, M.; Ghassemi, M.; Pourmand, A. (2019): Sharing the sidewalk: A case of E-scooter related pedestrian injury. In: *The American journal of emergency medicine* 37 (9), 1807.e5-1807.e7. DOI: 10.1016/j.ajem.2019.06.017.

Siman-Tov, Maya; Radomislensky, Irina; Israel Trauma Group; Peleg, Kobi (2017): The casualties from electric bike and motorized scooter road accidents. In: *Traffic injury prevention* 18 (3), S. 318–323.

SN 640 060, 11/2014: Leichter Zweiradverkehr: Grundlagen.

SN 640 201, 10/1992: Geometrisches Normalprofil.

StBA (2015-2021): Verkehrsunfälle. Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2015-2021. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-zweirad-5462408187004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 13.Nov.2021.

StBA (26.03.2021): 2 155 E-Scooter-Unfälle mit Personenschaden im Jahr 2020. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2021/03/PD21_N021_462.html.

StBA (Hg.) (2021): Verkehrsunfallstatistik. Elektrokleinstfahrzeuge (E-Scooter) 2020. Wiesbaden.

Steinhart, Wilhelm (1985): Untersuchung zum Verkehrsablauf des Radverkehrs an lichtsignalgesteuerten Knotenpunkten und Methoden der signaltechnischen Absicherung. In: *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* (450).

Stephan, Rainer R.; Alrutz, Dankmar; Kalle, Ulrich; Majcherek, Joachim; Mischer, Wolfram (2010): 46. Änderung der StVO Schwerpunkt Radverkehr. In: *Straßenverkehrstechnik*, S. 26–31.

Stewart, Kathryn; McHale, Adrian (2014): Cycle lanes: their effect on driver passing distances in urban areas. In: *Transport* 29 (3), S. 307–316.

Streetsblog (29.07.2014): Study: To Keep Bicyclists Outside the Door Zone, You Need a Buffer. Online verfügbar unter https://chi.streetsblog.org/2014/07/29/study-shows-only-buffered-bike-lanes-keep-bicyclists-outside-door-zone/.

StVG: Straßenverkehrsgesetz, vom 12.07.2021. Bundesamt für Justiz (BfJ), §1 Absatz (3). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/stvg/BJNR004370909.html.

StVO: Straßenverkehrsordnung, vom 01.06.2019. Das Bundesgesetzblatt (BGBl). Online verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011336.

StVO: Straßenverkehrs-Ordnung, vom 12.07.2021. Bundesamt für Justiz (BfJ), §21 Absatz (3). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/BJNR036710013.html.

StVRAusnV: Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften (Leichtmofa-Ausnahmeverordnung), vom 18.08.1998. Bundesamt für Justiz (BfJ) (Anlage). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/stvrausnv/BJNR039400993.html.

StVZO: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung, vom 12.07.2021. Bundesamt für Justiz (BfJ). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html.

Tagesspiegel (Hg.) (2021): Solche Straßen will Berlin. Unter Mitarbeit von M. Baaske, J. Dröiger, M. Kostrzynski, H. Lehmann und Meidinger D. Online verfügbar unter https://interaktiv.tagesspiegel.de/lab/strassencheck-ergbnisse-diese-strassen-will-berlin/, zuletzt aktualisiert am 28.07.2021.

TBA, Fachgruppe Velo-& Fussverkehr (2018): Anlagen für den Veloverkehr des Kantons Bern. Hg. v. Tiefbauamt des Kantons Bern. Tiefbauamt des Kantons Bern. Bern.

Torbic, Darren J.; Bauer, Karin M.; Fees, Chris A.; Harwood, Douglas W.; van Houten, Ron; LaPlante, John; Roseberry, Nathan (2014): Recommended bicycle lane widths for various roadway characteristics.

Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security (22.07.2020): 交叉口非机动车左转交通组织设计方法及适用性. Online verfügbar unter https://baijiahao.baidu.com/s?id=1672816956060672412&wfr=spider&for=pc.

TSO 12/19, 12.2019: Traffic signs manual: Chapter 6 Traffic control.

TU Graz (2015/2016): Zusammenfassung Straßenwesen. Straßenwesen Grundlagen 1 (209.101). TU Graz. Graz, 2015/2016. Online verfügbar unter https://www.studocu.com/de-at/document/technische-universitaet-graz/strassenwesen-grundlagen-1/zusammenfassungen/zusammenfassung-strassenwesen/3564189/view.

TU München (07.10.2015): Typisch Fahrradfahrer. Studie über das taktische Verhalten von Radlern. München. Heather Twaddle. Online verfügbar unter https://www.tum.de/nc/die-tum/aktuelles/pressemitteilungen/details/32622/.

UdV (2016a): Verkehrsklima in Deutschland 2016. Unfallforschung kompakt. Unter Mitarbeit von S. Kröling und T. Gehlert. Hg. v. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Nr. 59).

UdV (2017): Verkehrssicherheit von Elektrofahrrädern. Unfallforschung Kompakt. Unter Mitarbeit von T. Gehlert. Hg. v. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Berlin (69).

UdV (Hg.) (2016b): Bedeutung einer hochwertigen Unfallerfassung. Unter Mitarbeit von P. BUTTERWEGGE und J. ORTLEPP. Berlin.

Uluk, D.; Lindner, T.; Palmowski, Y.; Garritzmann, C.; Göncz, E.; Dahne, M. et al. (2020): E-Scooter: erste Erkenntnisse über Unfallursachen und Verletzungsmuster. In: *Notfall Rettungsmed*. DOI: 10.1007/s10049-019-00678-3.

VCD Aachen-Düren (Hg.) (Semptember 2016): Radvorrangrouten für Aachen. Ein Beitrag zum Luftreinhalteplan. Unter Mitarbeit von R. Oswald und S. Neitzel. Aachen. Online verfügbar unter https://nrw.vcd.org/fileadmin/user_upload/NRW/Verbaende/Aachen-Dueren/Veroeffentlichungen/Radvorrangrouten_fuer_Aachen_4.pdf.

VDR (15.08.2019): Geschäftsreisende sollten auf E-Scooter verzichten. Pingel, V. Online verfügbar unter https://www.vdr-service.de/nc/aktuelles/einzelnews/news/geschaeftsreisende-sollten-auf-e-scooter-verzichten.

Vejdirektoratet (2017a): HÅNDBOG PROJEKTERING AF TRAFIKSIGNALER. ANLÆG OG PLANLÆGNING. Hg. v. Vejdirektoratet. Kopenhagen.

Vejdirektoratet (2017b): HÅNDBOG VEJVISNING FOR CYKLISTER. ANLÆG OG PLANLÆGNING. Hg. v. Vejdirektoratet. Kopenhagen. Online verfügbar unter https://cykelturisme.dk/wp-content/uploads/2019/01/vejvisning-for-cyklister.pdf, zuletzt geprüft am 27.04.2020.

Vejdirektoratet (2019): HÅNDBOG TVÆRPROFILER I BYER. ANLÆG OG PLANLÆGNING. Hg. v. Vejdirektoratet. Kopenhagen.

Vlakveld, W. P.; Twisk, D.; Christoph, M.; Boele, M.; Sikkema, R.; Remy, R.; Schwab, A. L. (2015): Speed choice and mental workload of elderly cyclists on e-bikes in simple and complex traffic situations: A field experiment. In: *Accident Analysis & Prevention* 74, S. 97–106. Online verfügbar unter https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0001457514003157?token=7EEE2373D483D54892D2530D20171AD0473596DA6A233506C11D273614FE19E637553777D1114553F37CBF978B071051.

VSS 40 252, 03.2019: Knoten Führung des Veloverkehrs.

VSS 40 838, 03.2019: Lichtsignalanlagen Zwischenzeit.

VwV-StVO (26.01.2001): Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung, vom 22.05.2017. Die Bundesregierung. Online verfügbar unter http://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm.

VwV-StVO: Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung, vom 08.11.2021. Die Bundesregierung. Online verfügbar unter https://www.verwaltungsvorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_26012001_S3236420014.htm.

Wall, G. T.; Davies, D. G.; Crabtree, M. (2003): Capacity implications of Advanced Stop Lines for cyclists: Transport Research Laboratory.

Wang, Xuesong; Xu, Yilun; Tremont, Paul J.; Yang, Dongyuan (2012): Moped Rider Violation Behavior and Moped Safety at Intersections in China. In: *Transportation Research Record* 2281 (1), S. 83–91. DOI: 10.3141/2281-11.

Weber, T.; Scaramuzza, G.; Schmitt, K-U (2014): Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. In: *Accident Analysis & Prevention* 73, S. 47–52.

Wiebusch-Wothge, R. (2016): Anlagen für den RAD- und FUSSVERKEHR. Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen - HBS 2015. 7. Detmolder Verkehrstag. Lehrstuhl für Verkehrswesen -Planung und Management, RUB. Technischen Hochschule Ostwestfalen-Lippe. Lemgo, 30.06.2016. Online verfügbar unter https://www.th-owl.de/files/webs/bauingenieurwesen/stephan_rainer/Detmolder_Verkehrstag/2016/Vortraege/7.DVT-2016_V-02_3_WIEBUSCH-WOTHGE_HBS-Fg_R.pdf.

Wilde, Mathias; Gather, Matthias; Neiberger, Cordula; Scheiner, Joachim (2017): Verkehr und Mobilität zwischen Alltagspraxis und Planungstheorie. In: Ökologische und soziale Perspektiven: Springer.

Wolfermann, A. (2019a): Infrastruktur für Lastenfahrräder. 4. Hessischer Nahmobilitätskongress. House of Logistics & Mobility (HOLM). AGNH. Frankfurt am Main, 10.04.2019.

Wolfermann, A. (2019b): Lastenräder als Beitrag zur Verkehrswende – Welche Infrastruktur brauchen wir dafür? Tagung „Lastenräder als Teil der Verkehrswende in Hannover und Niedersachsen. ADFC Region Hannover. Hannover, 21.10.2019.

Wolfermann, A. (2019c): Lastenräder in den ERA. FGSV AK 2.5.1. FGSV. Frankfurt am Main, 07.11.2019.

Wüllner,Adomako, G. (2020): Fast 1500 Ordnungswidrigkeiten mit E-Scootern in NRW. Verkehrssicherheit. In: *Westfälische Rundschau*, 08.01.2020. Online verfügbar unter https://www.wr.de/politik/landespolitik/fast-1500-ordnungswidrigkeiten-mit-e-scootern-in-nrw-id228088411.html.

Yu, H.; Chen, J.; Xie, Z. Q. (2012): Level of Service Model on Urban Cycle-Pedestrian Shared Road. In: *Urban Transport of China* 10 (1), 75-60.

Yu. XC (2019): Die Entwicklung des Radverkehrs in China. ADFC Hessen-Forum 2019. Hochschule Darmstadt. ADFC Hessen. Bad Homburg, 10.12.2019. Online verfügbar unter https://www.adfc-hessen.de/aktiv/hessen-forum/2019/Entwicklung-des-Radverkehrs-in-China.pdf.

Zhao, D. K.; Yang, X. F. (2017): Research on the Conflict Between Left Turn Electric Bicycle and Motor Vehicle in the Non Signal Type T-intersection. In: *Logistics Sci-Tech* (1), S. 86–89.

Zhou, BH.; Pei, JF. (2020): 自行车专用路西延段今起通车 试行自行车优先左转. In: *BJNEWS*, 31.07.2020. Online verfügbar unter https://www.bjnews.com.cn/detail/159617922815812.html.

Zhou, D.; Ma, X. L.; Jin, S.; Wang, D. H. (2015): Modeling influencing factors of vehicle passing rate in mixed bicycle traffic flow. In: *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)* 49 (9), S. 1672–1678. DOI: 10.3785/j.issn.1008-973X.2015.09.009.

ZIV (10.03.2021): Zahlen – Daten – Fakten zum deutschen Fahrrad- und E-Bike Markt 2020. Fahrradindustrie mit Rückenwind - Großes Wachstum bei Absatz und Umsatz. Berlin. Eisenberger, D. Online verfügbar unter https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PM_2018_13.03._Fahrradmarkt_und_E-Bike_Markt_2017.pdf, zuletzt geprüft am 31.01.2022.

# Anforderungen an Radverkehrsanlagen durch Elektrofahrräder und neue Kleinstfahrzeuge

## Anhänge

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Institut für Verkehrsplanung und Verkehrstechnik

Institute of Transport Planning and Traffic Engineering

Prof. Eva Kaßens-Noor, Ph.D.

D17

Darmstadt, 2022

## Inhaltsverzeichnis (Anhänge)

*Inhaltsverzeichnis (Anhänge)* ..... *Ai*

*Anhang 1 Technische Merkmale der neuen Fahrzeuge* ..... *A1*

**Anhang 1.1 Pedelec** ..... **A1**

**Anhang 1.2 Lastenrad** ..... **A3**

**Anhang 1.3 E-Tretroller** ..... **A7**

*Anhang 2 Geschwindigkeitsvergleich zwischen Fahrrädern und Pedelecs* ..... *A8*

*Anhang 3 Unfallfolge zwischen Fahrrädern und Pedelecs in den Literaturen* ..... *A9*

*Anhang 4 Bemessungen von Radverkehrsanlagen in den internationalen Regelwerken und Gesetzen* ..... *A10*

**Anhang 4.1 Entwurfselemente** ..... **A11**

**Anhang 4.2 Führung an Strecken** ..... **A15**

**Anhang 4.3 Führung an Knotenpunkten** ..... **A16**

*Anhang 5 Detailierte Beschreibung der Interaktionen* ..... *A18*

**Anhang 5.1 Grundlagen für Interaktionen** ..... **A18**

**Anhang 5.2 Auswertungskriterien für Interaktionen** ..... **A20**

**Anhang 5.3 Rate und Quote der Interaktionen** ..... **A22**

*Anhang 6 Umfrage* ..... *A23*

*Anhang 7 Darstellung der Positionsverteilung* ..... *A49*

*Anhang 8 Beschreibung der Merkmale aus der Videoanalyse durch Kinovea* ..... *A50*

*Anhang 9 Graphische Darstellung der Unfallauswertung* ..... *A52*

**Anhang 9.1 Verkehrsflächen der Unfallstelle** ..... **A52**

**Anhang 9.2 Charakteristik der Unfallstelle** ..... **A53**

**Anhang 9.3 Unfallfolge** ..... **A54**

**Anhang 9.4 Unfallbeteiligung** ..... **A56**

**Anhang 9.5 Unfalltypen** ..... **A57**

**Anhang 9.6 Unfallursachen** ..... **A60**

*Anhang 10 Graphische Darstellung der Umfrageergebnisse* ..... *A61*

**Anhang 10.1 Soziodemographische Merkmale** ..... **A61**

**Anhang 10.2 Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung** ..... **A64**

**Anhang 10.3 (Regelwidriges) Fahrverhalten** ..... **A69**

**Anhang 10.4 Wahrnehmung der Bemessung von Radverkehrsanlagen** ..... **A70**

*Anhang 11 Nebeneinanderfahren und Überholen aus der Videoerfassung* ..... *A78*

**Anhang 11.1 Auswertungen für die „Breite von Radverkehrsanlagen“** ..... **A78**

**Anhang 11.2 Auswertungen für die „Breite von Sicherheitstrennstreifen zum Längsparken“** ..... **A81**

**Anhang 11.3 Auswertungen für die „Breite von Sicherheitstrennstreifen zwischen Radverkehrsanlagen und Fahrbahn“ ..... A83**

**Anhang 11.4 Auswertungen für die „Längsneigung“ ..... A84**

***Anhang 12 Interaktionsvorgänge aus der Videoerfassung ..... A85***

**Anhang 12.1 Interaktionen mit Kfz im Längsverkehr (Überholabstände durch Kfz) ..... A85**

**Anhang 12.2 Interaktionen mit einbiegenden Kfz ..... A89**

**Anhang 12.3 Interaktionen mit abbiegenden Kfz ..... A90**

**Anhang 12.4 Interaktionen mit zu Fuß Gehenden ..... A93**

**Anhang 12.5 Interaktionen (Begegnungen) mit Rad- und E-Tretrollern ..... A95**

***Anhang 13 Beeinflussung durch den ruhenden Verkehr aus der Videoerfassung ..... A96***

***Anhang 14 Aufstellmöglichkeit an aufgeweiteten Radaufstellstreifen aus der Videoerfassung .... A98***

**Anhang 14.1 Allgemeines Aufstellverhalten ..... A98**

**Anhang 14.2 Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden ..... A99**

**Anhang 14.3 Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen ..... A100**

**Anhang 14.4 Zugänglichkeit zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen ..... A101**

***Anhang 15 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) aus der Videoerfassung . A103***

**Anhang 15.1 Routenwahl ..... A103**

**Anhang 15.2 Entfernung der Einordnungsvorgänge ..... A104**

**Anhang 15.3 Verhalten der Einordnungsvorgänge ..... A105**

**Anhang 15.4 Zeitlücke ..... A105**

***Anhang 16 Empfehlungen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen ..... A106***

**Anhang 16.1 Breite von Radverkehrsanlagen ..... A106**

**Anhang 16.2 Kurvenbereich ..... A107**

**Anhang 16.3 Aufstellbereich ..... A108**

**Anhang 16.4 Duale Führungsform ..... A111**

**Anhang 16.5 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) ..... A112**

***Anhang 17 Beschreibung der Strecken und Knotenpunkte ..... A113***

***Abbildungsverzeichnis (Anhänge) ..... A287***

***Tabellenverzeichnis (Anhänge) ..... A292***

***Literaturverzeichnis (Anhänge) ..... A294***

## Anhang 1 Technische Merkmale der neuen Fahrzeuge

In Anhang 1 werden die technischen Daten der neuen Fahrzeuge dargestellt und visualisiert. Hierbei werden verschiedenen Arten der Lastenräder mit ihren Fahrzeugabmessungen vorgestellt.

### Anhang 1.1 Pedelec

**Abbildung A1.1: Konfiguration des Motors (Jellinek et al. Februar, 2013)**

**Abbildung A1.2: Anordnung von Akkus (Jellinek et al. Februar, 2013)**

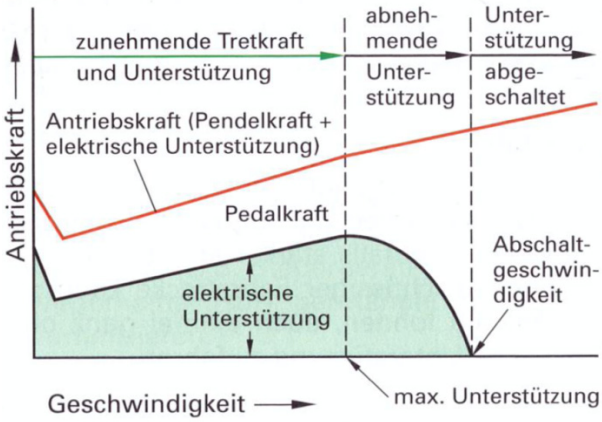



**Abbildung A1.3: Unterstützung und Abschaltgeschwindigkeit (Gressmann und Retzbach 2018)**

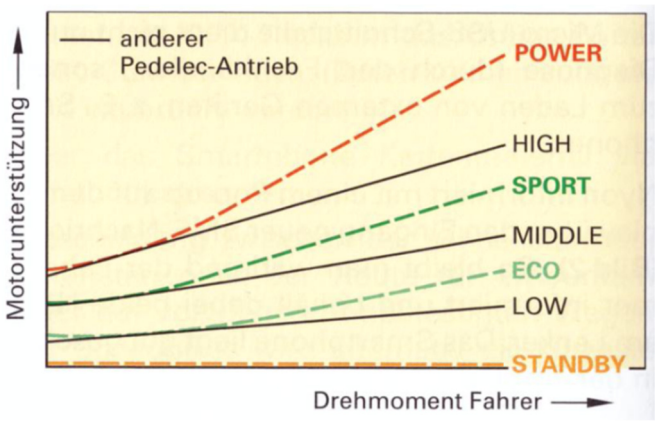



**Abbildung A1.4: Unterstützung je nach Motortyp (Gressmann und Retzbach 2018)**

| **Bautyp** | E-Citybike | E-Mountainbike |
|---|---|---|
| **Modell** | MC-14 | MONTIS 4.0i |
| **Länge** | 183 cm | 188 cm |
| **Lenkerbreite** | 58 cm | 72 cm |
| **Akkukapazität** | 11,6 Ah | 8,8 Ah |
| **Akkuleistung** | 418 Wh | 418 Wh |
| **Position Akku** | Sattelrohr | Unterrohr |
| **Reichweite Akku** | 100 km | 100 km |
| **Radgröße** | 28 Zoll | 27,5 Zoll |
| **Gewicht** | 25 kg | 27,9 kg |
| **Zulässiges Gewicht** | 130 kg | 135 kg |
| **Bild** | | |
| **Quelle** | https://www.hagebau.de/p/maxtron-e-citybike-mc-14-28-3-gang-116-ah-anP7000124146/ | https://www.hagebau.de/p/fischer-fahrraeder-e-mountainbike-montis-40i-275-9-gang-88-ah-anP7000124147/?sc=Kategorien&q=E-Mountainbikes |

**Abbildung A1.5**: **Beispiele von Pedelecs von verschiedenen Bautypen mit technischen Daten**

## Anhang 1.2 Lastenrad

| **Lastenradart** | **Long John (Tieflader)** | |
|---|---|---|
| **Lastenradmodell** | Urban Arrow Family | Urban Arrow Cargo XXL |
| **Länge** | 260 cm | 340 cm |
| **Breite** | 70 cm | 70 cm |
| **Radgröße** | Front: 20 Zoll/ Hinten: 26 Zoll | Front: 20 Zoll/ Hinten: 26 Zoll |
| **Gewicht** | 51 kg | 78 kg |
| **Zulässige Zuladung** | 275 kg (einschl. Fahrzeug) | 152 kg |
| **Ladefläche** | 74 cm x 60 cm | 167 cm x 67 cm |
| **Anzahl der Räder** | 2 | 2 |
| **Hauptnutzungs-bereich** | Privatverkehr | Wirtschaftsverkehr (Lieferservice) |
| **Akkukapazität** | 13,4 Ah | 13,4 Ah |
| **Akkuleistung** | 500 Wh | 500 Wh |
| **Reichweite** | 40 – 80 km | 40 - 50 km |
| **Bild** | | |
| **Quelle** | https://cms.urbanarrow.com/data/default/2020-05/Family%20Brochure%20Deutsch%2001-05-2020.pdf | https://www.lastenradtest.de/testraeder/urban-arrow-cargo-xxl/<br>https://www.rad3.de/produkte/544-urban-arrow-cargo |

**Abbildung A1.6: Detailübersicht eines Long John**

| **Lastenradart** | Longtail Bikes (mit Kinderbeförderung) |
|---|---|
| **Lastenradmodell** | Yuba Spicy Curry Bosch |
| **Länge** | 202 cm |
| **Breite** | 68 cm |
| **Radgröße** | Front: 26 Zoll/ Hinten: 20 Zoll |
| **Gewicht Fahrzeug** | 27 kg |
| **Zulässige Zuladung** | 136 kg |
| **Ladefläche** | Für zwei Kinder |
| **Anzahl der Räder** | 2 |
| **Hauptnutzungsbereich** | Privatverkehr |
| **Akkukapazität** | 11,0 Ah |
| **Akkuleistung** | 400 Wh |
| **Reichweite** | 41 km - 63 km |
| **Quelle** | https://www.yubaeurope.com/bikes-add-ons/curry/spicy-curry-bosch-ausverkauft<br>https://www.radfahren.de/test-technik/yuba-spicy-curry-bosch-test/ |

**Abbildung A1.7: Detailübersicht eines Longtail Bike**

| Lastenradart | Postfahrrad (Bäckerrad und Postdreirad) | |
|---|---|---|
| Lastenradmodell | Werksrad (Bäckerrad) | KORSIKA (Postdreirad) |
| Länge | 190 cm | 260 cm |
| Breite | 64 cm | 76 cm |
| Radgröße | Front: 20 Zoll/ Hinten: 26 Zoll | 20 Zoll |
| Gewicht Fahrzeug | 28 kg | 94 kg (ohne Motor) / 101 kg (mit Motor) |
| Zulässige Zuladung | Front: 40 kg<br>Heck: 20 kg | Front: 30 kg<br>Heck:100 kg |
| Ladefläche | Front: 60 cm x 40 cm<br>Heck: 40 cm x 30 cm | Front: 60 cm x 40 cm<br>Heck: 81 cm x 71 cm |
| Anzahl der Räder | 2 | 3 |
| Hauptnutzungs-bereich | Wirtschaftsverkehr (Postdienstleistung)<br>Privatverkehr | Wirtschaftsverkehr (Postdienstleistung) |
| Akkukapazität | Ohne Elektrounterstützung | 9 Ah |
| Akkuleistung | | 324 Wh |
| Reichweite | | n.a. |
| Bild | | |
| Quelle | https://www.mein-transporthelfer.de/Werksrad-Lastenrad-mit-Top-Ausstattung-Farbe-schwarz | https://draisin.de/produkte/lastentransporte/lastenrad-korsika/<br>https://www.mein-transporthelfer.de/Postdreirad-Korsika_2 |

**Abbildung A1.8: Detailübersicht eines Postfahrrads**

| Lastenradart | Trike |
|---|---|
| Lastenradmodell | Babboe Curve |
| Länge | 217 cm |
| Breite | 88,4 cm |
| Radstand | n.a. |
| Radgröße | Front: 20 Zoll/ Hinten: 26 Zoll |
| Gewicht Fahrzeug | 65 kg |
| Zulässige Zuladung | 100 kg (Ladefläche); 100 kg (Sattel) |
| Ladefläche | 82 cm x 63 cm |
| Anzahl der Räder | 3 |
| Hauptnutzungsbe-reich | Privatverkehr |
| Akkukapazität | 11,4 Ah |
| Akkuleistung | 375 Wh |
| Reichweite | 40 – 60 km |
| Quelle | https://www.babboe.de/lastenraeder/curve-elektro<br>https://www.babboe.de/kundenservice/lastenfahrrad-abmessungen |

**Abbildung A1.9: Detailübersicht eines Trike**

| | | |
|---|---|---|
| | **Lastenradart** | **Rikscha** |
| | **Lastenradmodell** | Velotaxi Bayk |
| | **Länge** | 300 cm |
| | **Breite** | 110 cm |
| | **Radstand** | n.a. |
| | **Radgröße** | 19 Zoll |
| | **Gewicht Fahrzeug** | 160 kg |
| | **Zulässige Zuladung** | 330 kg (inkl.Fahrende) |
| | **Ladefläche** | Für 2 Passagiere und ein Kind bis ca. 6 Jahre |
| | **Anzahl der Räder** | 3 |
| | **Hauptnutzungsbe-reich** | Wirtschaftsverkehr (Personen-wirtschaftsver-kehr) |
| | **Akkukapazität** | 40 Ah |
| | **Akkuleistung** | 1.000, 1.400 oder 2.000 Wh |
| | **Reichweite** | 80 km |
| | **Quelle** | https://bayk.ag/wp-content/uplo-ads/2019/12/CRUISER_flyer_de.pdf |

**Abbildung A1.10: Detailübersicht eines Rikscha**

| **Lastenradart** | **Schwertransporter** | |
|---|---|---|
| **Lastenradmodell** | evolo Z1 | Velove Armadillo |
| **Länge** | 258,3 cm | 312 cm |
| **Breite** | 111,8 cm | 86 cm |
| **Radgröße** | Front: 20 Zoll/ Hinten: 24 Zoll | 20 Zoll |
| **Gewicht Fahrzeug** | 120 kg | 67 kg ohne Container |
| **Zulässige Zuladung** | 250 kg | 350 kg (500 km mit Anhänger) |
| **Ladefläche** | 1,5 $m^3$ | 1$m^3$ (131 cm x 81 cm x 96 cm), 2 $m^3$ mit Anhänger |
| **Anzahl der Räder** | 3 | 4 |
| **Hauptnutzungs-be-reich** | Wirtschaftsverkehr (Paketdienstleistung) | Wirtschaftsverkehr (Postdienstleistung) |
| **Akkukapazität** | 11 Ah | n.a. |
| **Akkuleistung** | 500 Wh | 600 Wh |
| **Reichweite** | > 20 kg | 25 – 40 km mit einem Akku (max. 6 Akkus) |
| **Bild** | | |
| **Quelle** | http://evolo.es/uploads/descar-gas/EVOLO_2017_EN_lowres_2.pdf https://heavypedals.at/angebote/evolo-z1-8-gang-heinzmann-e-motor-fabrikneu/ | https://www.velove.se/ |

**Abbildung A1.11: Detailübersicht eines Schwertransporters**

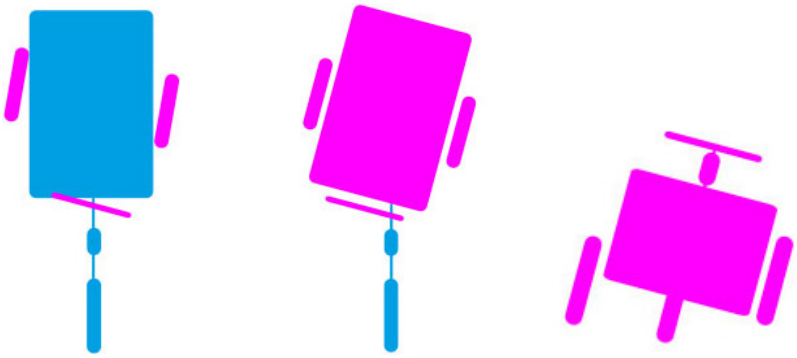
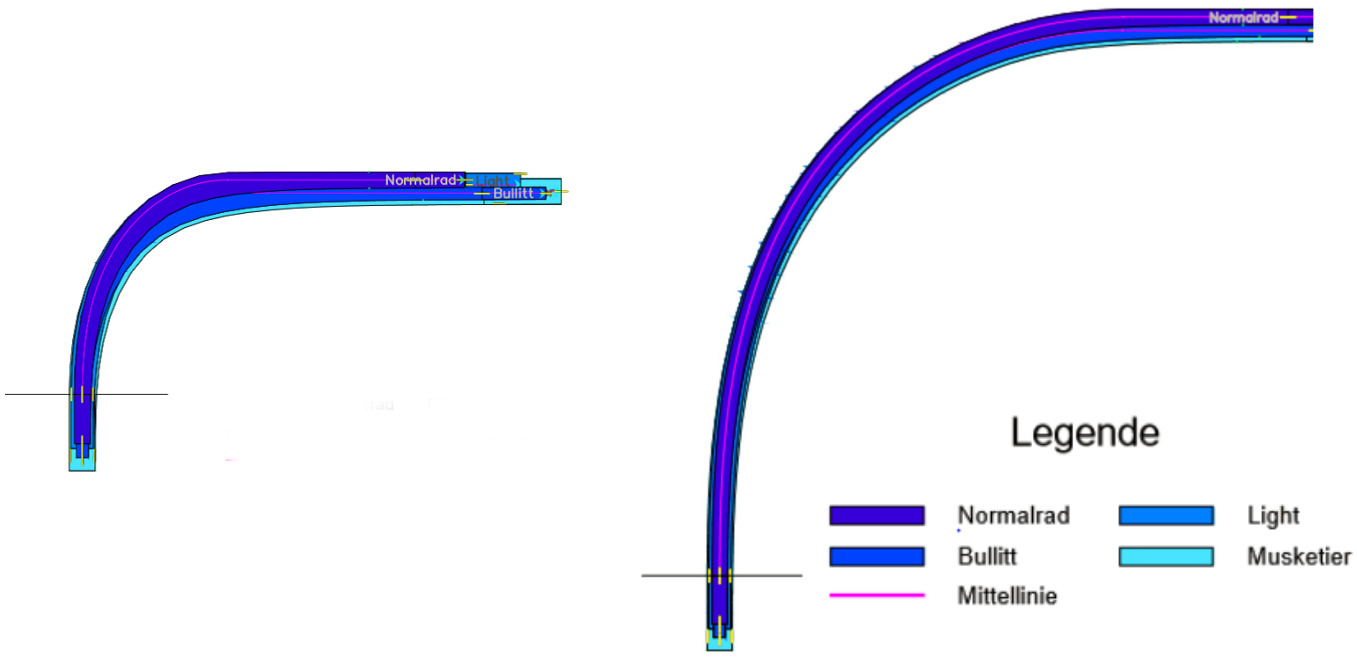


**Abbildung A1.12: Lenkungssysteme für Achsschenkellenkung (links), Drehschemellenkung (mittig) und Neigetechnik (rechts) (eLastenrad)**




| Radtypen | Breite der Hüllkurven | Radtypen | Breite der Hüllkurven |
|---|---|---|---|
| Normalrad | 0,94 m | Normalrad | 0,75 m |
| Bullitt | 1,00 m | Bullitt | 0,66 m |
| Light | 1,29 m | Light | o.A. |
| Musketier | 1,46 m | Musketier | 1,17 m |

**Abbildung A1.13: Die Hüllkurven und Fahrkurven bei 15 km/h (oben) und 25 km/h (unten) (Braun 2017a)**

## Anhang 1.3 E-Tretroller

**Tabelle A1.1: Reichweite in Abhängigkeit von der Leistung eines Elektromotors und eins Akkus [nach (Schlichtholz 2020)]**

| Leistung des Elektromotors | Geschwindigkeit | Reichweite |
|---|---|---|
| 150 Watt | 13 km/h | 5 - 10 km |
| 250 Watt | 20 - 23 km/h | 20 km |
| 350 Watt | 25 - 27 km/h | 26 km |
| 500 Watt | 30 - 35 km/h | 40 km |
| **Leistung des Akkus** | **Geschwindigkeit** | **Reichweite** |
| 36 V/ 12 Ah | 20 km/h | 25 km |
| 36 V/ 20 Ah | 20 km/h | 45 km |
| 36 V/ 30 Ah | 20 km/h | 60 km |

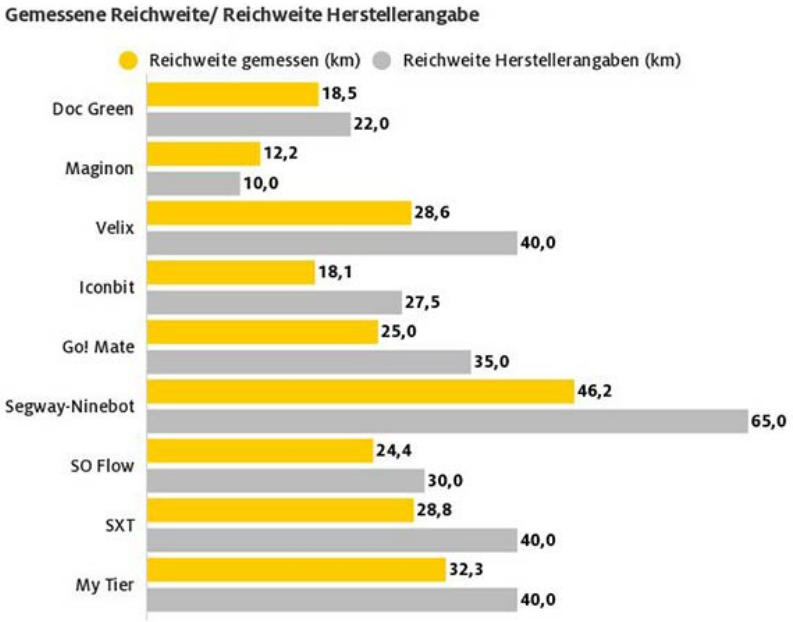



**Abbildung A1.14: Vergleich der gemessenen und angegebenen Reichweite (Kroher 2020)**

| **Bautyp** | My TIER Go e-scooter | SXT TITO | Egret Ten V4 |
|---|---|---|---|
| **Länge** | 117,5 cm | 112,5 cm | 115 cm |
| **Breite** | 50,5 cm | 58,5 cm | 54,5 cm |
| **Radgröße** | 9,5 Zoll | Fronte: 9,5 Zoll/Hinten:10 Zoll | 10 Zoll |
| **Gewicht** | 23 kg | 22 kg | 17 kg |
| **Zulässiges Gewicht** | 100 kg | 100 | 100 kg |
| **Akkukapazität** | 12,8 Ah | 7,8 Ah | 11,6 Ah |
| **Reichweite Akku** | 30 km | 25 km | 40 km |
| **Bilder** | | | |
| **Quelle** | https://mytier.app/products/my-tier-go | https://www.sxt-scoo-ters.de/Scooters/eKFV-kon-forme-Modelle/SXT-TITO-eKFV.html | https://www.luxury-gad-gets.de/de/egret-ten-v4-e-scoo-ter-stvo-konform-special-edition/ |

**Abbildung A1.15: Technische Daten der exemplarisch zugelassenen E-Tretroller-Modelle**

## Anhang 2 Geschwindigkeitsvergleich zwischen Fahrrädern und Pedelecs

In Anhang 2 wird die Geschwindigkeit zwischen Fahrrädern und Pedelecs unter verschiedenen Rahmenbedingungen in den Literaturen verglichen und aufgelistet.

**Tabelle A2.1: Geschwindigkeit der Fahrräder und Pedelecs mit Darstellung der Messverfahren und Altersstruktur**

| Studie | | Geschwindigkeit [km/h] | | Messverfahren | Altersstruktur | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Fahrrad | Pedelec | | | | |
| (Alrutz et al. 2015b) | | 18,3 | 18,5 | mit Videoaufnahmen und Stoppuhren | | n=14243 | |
| | | | | | ≤ 24 Jahre | 25,9% | |
| | | | | | 25-65 Jahre | 64,2% | |
| | | | | | > 65 Jahre | 9,6% | |
| (Schleinitz et al. 2014) | mit Standzeit | 13,9 | 16,0 | Sensoren am Fahrzeug | | Fahrrad | Pedelec |
| | | | | | | n=28 | n=49 |
| | | | | | ≤ 40 Jahre | 29% | n=33% |
| | | | | | 41-64 Jahre | 32% | n=29% |
| | ohne Standzeit | 15,3 | 17,4 | | ≥ 65 Jahre | 39% | n=39% |
| (Pez) (Koch und Pez 2013) | Lüneburg | 17,26 | 21,82 | Messung der Reisezeit im Straßennetz | Studierende | | |
| | Hamburg | 11,79 | 16,82 | | | | |
| | Göttingen | 14,00 | 18,81 | | | | |
| (Landau 2011)[1)] | | - | 17,40 | Fahrradcomputer am Fahrzeug | Berufstätige | | |
| (Czowalla 2016) | | 13,10 | 18,00 | Wegeprotokolle für Reisezeit | Berufstätige | | |
| Niederlande: (Vlakveld et al. 2015) | | 17,1 | 20,7 | Tachometer am Fahrzeug | Ältere: n=29 | | |
| | | 19,6 | 23,3 | | mittleres Erwachsenenalter: n=29 | | |
| Schweiz: (Renard 2017) | | 25,0 | 26,7 | o.A | o.A. | | |
| Österreich: (Jellinek et al. Februar, 2013) | | 18,5 | 19,7 | Stationäre Messungen: Radarpistole | | Fahrrad | Pedelec |
| | | | | | | n=865 | n=252 |
| | | | | | 15-24 Jahre | 15% | 3% |
| | | | | | 25-65 Jahre | 65% | 70% |
| | | | | | > 65 Jahre | 17% | 27% |
| Österreich: (Meyer et al. 2020) | | 18,9 | 23,5 | Multistopuhr am Fahrzeug | 16-24 Jahre | n= 12 (12%) | |
| | | | | | 25-30 Jahre | n= 24 (24%) | |
| | | | | | 31-60 Jahre | n= 46 (45%) | |
| | | | | | > 60 Jahre | n= 19 (19%) | |
| 1) Davon 47 Pedelecs und 11 S-Pedelecs | | | | | | | |

**Tabelle A2.2: Geschwindigkeit der Fahrräder und Pedelecs nach den Altersgruppen**

| Studie | | Altersgruppe | Geschwindigkeit [km/h] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Fahrrad | Pedelec |
| (Schleinitz et al. 2014) | ohne Standzeiten | ≤ 40 Jahre | 14,9 | 18,7 |
| | | 41-64 Jahre | 14,4 | 16,1 |
| | | ≥ 65 Jahre | 12,7 | 13,6 |
| | mit Standzeiten | ≤ 40 Jahre | 16,6 | 20,4 |
| | | 41-64 Jahre | 15,8 | 17,5 |
| | | ≥ 65 Jahre | 13,9 | 14,8 |
| Österreich: (Jellinek et al. Februar, 2013) | | 15-24 Jahre | 19,4 | 23,0 |
| | | 25-65 Jahre | 18,9 | 20,5 |
| | | > 65 Jahre | 16,4 | 17,4 |

**Tabelle A2.3: Geschwindigkeit der Fahrräder und Pedelecs in Abhängigkeit von der Längsneigung in der schweizerischen Studie [nach (Fleury 2018)]**

| Längsneigung | Geschwindigkeit [km/h] | |
|---|---|---|
| | Fahrrad | Pedelec |
| 1,5 % | 17,5 | 20,0 |
| 4,5 % | 16,0 | 22,0 |
| 5,5 % | 12,0 | o.A. |
| Durchschnitt | 16,0 | 21,9 |

## Anhang 3 Unfallfolge zwischen Fahrrädern und Pedelecs in den Literaturen

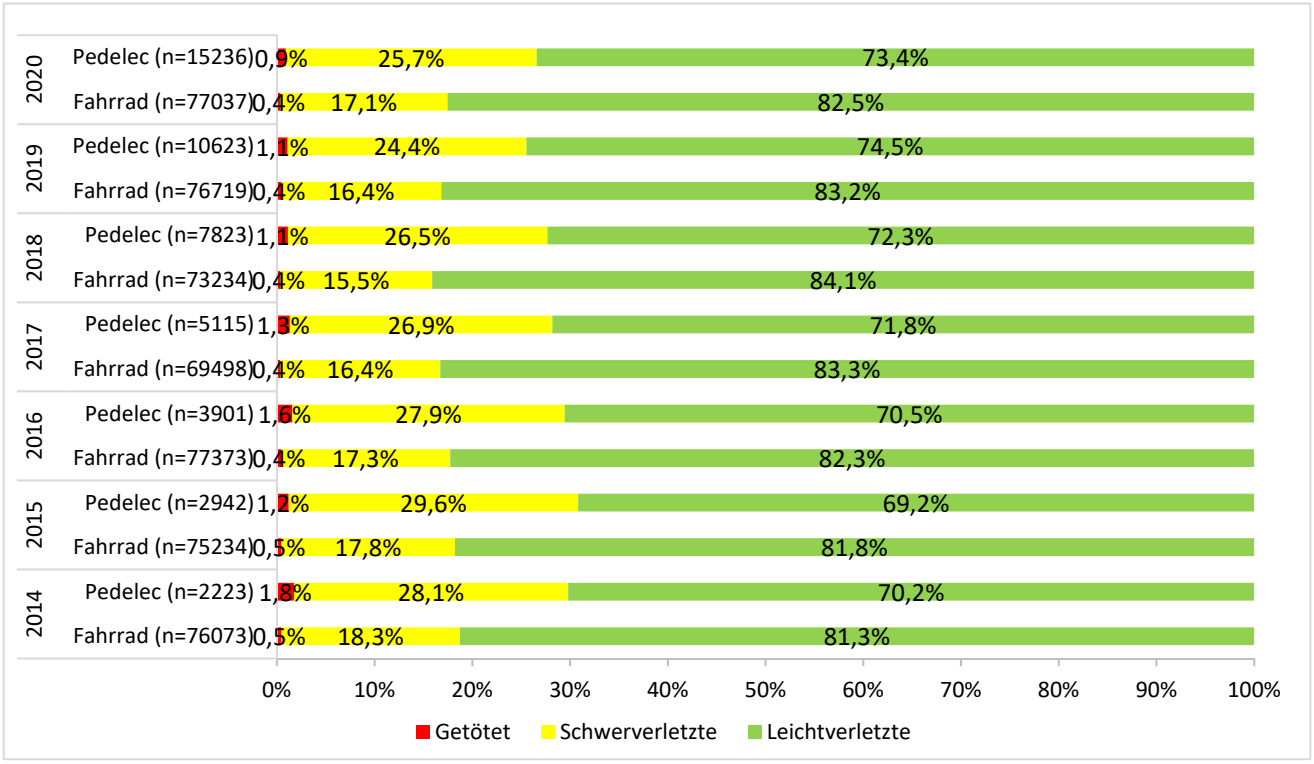



**Abbildung A3.1: Verletzungsschwere bei Unfällen mit Fahrrädern und Pedelecs in Deutschland 2014- 2020 [nach (StBA 2015-2021)] (n: Anzahl der Verunglückten)**

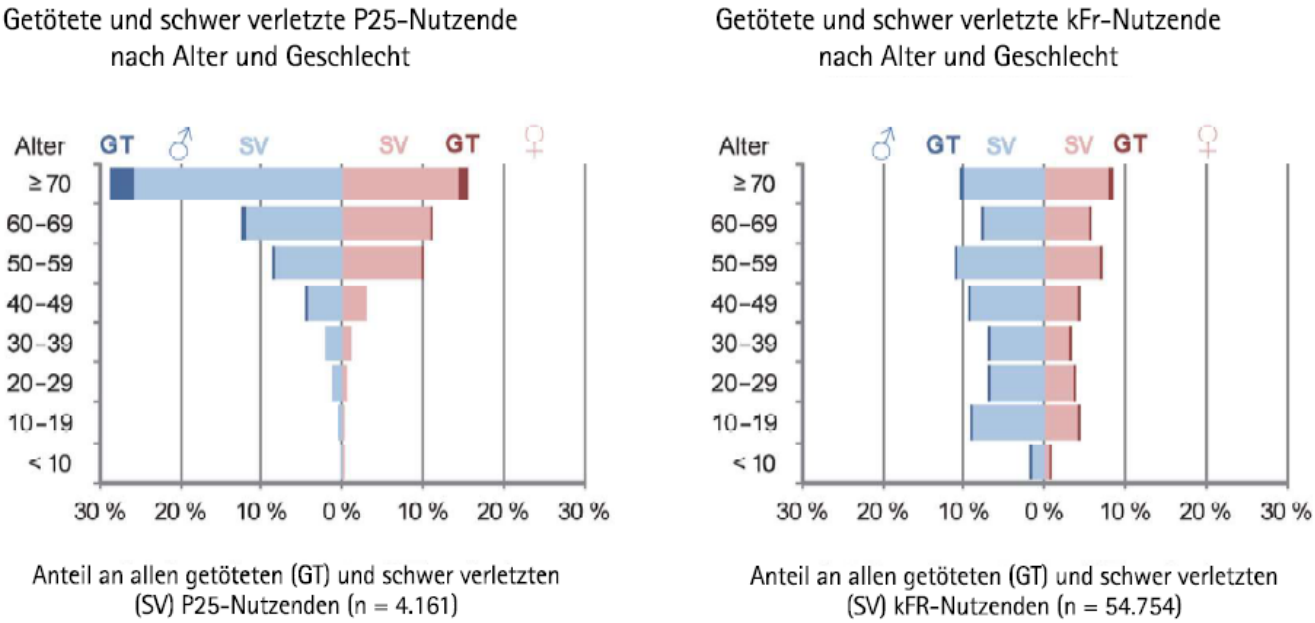



**Abbildung A3.2: Anteil der getöteten und schwer verletzten Nutzenden von Pedelecs (links) und Fahrrädern (rechts) (2014-217) nach Alter und Geschlecht (Panwinkler und Holz-Rau 2019)**

## Anhang 4 Bemessungen von Radverkehrsanlagen in den internationalen Regelwerken und Gesetzen

In Anhang 4 werden die Vorgaben für die Bemessung von Radverkehrsanlagen in den internationalen Regelwerken (oder Gesetzen) je nach den Themen in Anlehnung von Kapitel 1 zusammengefasst, um einen Vergleich zu vereinfachen. Im Folgenden werden die maßgebenden ausländischen Regelwerken in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** aufgelistet. Daher werden Literaturquellen grundsätzlich nicht mehr einzeln zitiert.

**Tabelle A4.1: Internationale technische Regelwerke für Radverkehrsanlagen (RVA)**

| Länder | Bezeichnung | Betreffende Themen | Abkürzung | Zitat |
|---|---|---|---|---|
| A | Merkblatt Radverkehr | allgemeine RVA | RVS 03.02.13 | (RVS 03.02.13) |
| | Verkehrslichtsignalanlagen Einsatzkriterien | Signalsteuerung | RVS 05.04.32 | (RVS 05.04.32) |
| CH | Arbeitshilfe: Anlagen für den Veloverkehr | allgemeine RVA (Bern) | Bern 2018 | (TBA 2018) |
| | Geometrisches Normalprofil | Breitenmaß (teil) | SN 640 201 | (SN 640 201) |
| | Leichter Zweiradverkehr Grundlagen | Längsneigung, Kurvenradien | SN 640 060 | (SN 640 060) |
| | Knoten: Führung des Veloverkehrs | RVS an Knotenpunkten | VSS 40 252 | (VSS 40 252) |
| | Lichtsignalanlagen: Zwischenzeiten | Signalisierung (Zwischenzeit) | VSS 40 838 | (VSS 40 838) |
| NL | Radverkehrsplanung von A-Z | Allgemeine RVA | CROW 12 | (CROW 1994) |
| | Design manual for bicycle traffic | Allgemeine RVA | CROW 28 | (CROW 2016) |
| | Handboek verkeerslichten-regelingen 2014 | Signalsteuerung | CROW 343 | (CROW 343) |
| GB | Cycle Infrastructure Design | allgemeine RVA | TSO 2012 (1) | (LTN 2/08) |
| | Cycle traffic and the strategic road network | allgemeine RVA (ergänzend) | IAN 195/16 | (IAN 195/16) |
| | Shared Use Routes for Pedestrians and Cyclists | gemeinsamer und getrennter Geh- und Radweg | TSO 2012 (2) | (LTN 1/12) |
| | Traffic Signs Manual 6: Traffic Control | Signalisierung | TSO 2019 | (TSO 12/19) |
| DK | Håndbog tværprofil i byer | RVA an Strecken | Vejregler 2019 | (Vejdirektoratet 2019) |
| | Håndbog vejkryds i byer | RVA an Knotenpunkten | Vejregler 2018 | (Vejdirektoratet 2017b) |
| | Håndbog projektering af trafiksignale | Signalsteuerung | Vejregler 2017 | (Vejdirektoratet 2017a) |
| | Guide for the development of bicycle facilities | allgemeine | AASHTO 2012 | (AASHTO-GBF-4) |
| | Separated bike lane planning and design guide | geschützter Radfahrstreifen Radweg | FHWA 2015 | (FHWA-HEP-15-025) |
| | Urban Bikeway Design Guide | allgemeine RVA | NACTO 2014 | (NACTO 2014) |
| | Signal Timing Manual | Signalisierung | FHWA 2008 | (FHWA-HOP-08-024) |
| AUS | Cycling Aspects of Austroads Guides | allgemeine RVA | AP-G88-17 | (AP-G88-17) |
| | Guide to Road Design Part 6A: Paths for Waling and Cycling | gemeinsamer und getrennter Geh- und Radweg | AGRD06A-17 | (AGRD06A-17) |
| | Guide to Traffic Management Part 9: Traffic Operations | Signalisierung | AGTM09-16 | (AGTM09-16) |

# Anhang 4.1 Entwurfselemente

## Breite von Radverkehrsanlagen

**Tabelle A4.2: Breitenmaße von Radverkehrsanlagen in ausländischen Regelwerken [Übermaß] und (Mindestmaß)**

| Länder / Führung | Breite der Radverkehrsanlage [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Schutzstreifen | Radfahrstreifen | Einrichtungsradweg: Bordsteinrad-weg | Einrichtungsradweg: abgesetzter Radweg | Zweirichtungs-radweg | Geschützter Radfahrstreifen |
| D | -<br>1,50<br>(1,25) | -<br>1,60[2)]<br>- | -<br>2,00<br>(1,60) | | -<br>2,50-3,00<br>(2,00-2,50) | |
| A | -<br>1,50<br>(1,25) | [2,00]<br>1,50<br>(1,25) | -<br>2,00<br>(1,60) | | -<br>3,00<br>(2,00) | |
| CH | [1,55-1,85]<br>1,50<br>- | [1,55-1,85]<br>1,50<br>- | [3,00]<br>2,50<br>(1,50) | | [3,50-4,50]<br>3,00<br>(≥ 2,50) | |
| NE1[1)] | [2,50]<br>2,00<br>(1,50) | [2,50]<br>2,00<br>(1,50) | kein Maß | [3,00]<br>2,00<br>(1,50) | [3,50]<br>2,50<br>(1,50) | [3,00]<br>2,00<br>- |
| NE2[1)] | [2,25]<br>2,00<br>(1,70) | -<br>1,70-2,25<br>(1,70) | -<br>-<br>(1,50) | [3,50-4,00]<br>2,50-3,00<br>(2,00) | [4,50]<br>2,50-4,00<br>(2,50) | kein Maß |
| GB | -<br>2,00<br>(1,50) | -<br>2,00<br>(1,50) | -<br>2,00<br>[1,50] | [4,00]<br>3,00<br>(2,50) | [4,00]<br>3,00<br>- | -<br>2,50<br>(1,50) |
| DK | -<br>≤1,50<br>(0,90) | -<br>1,20[3)]<br>- | -<br>1,70<br>(1,50) | -<br>2,25<br>(1,80/2,00) | -<br>≥2,50<br>- | |
| USA | -<br>2,00<br>(1,20) | [1,80-2,40]<br>1,50<br>(1,20) | -<br>2,00<br>(1,50) | | -<br>3,65<br>- | -<br>2,10<br>(1,50) |
| AUS | | [2,50]<br>1,50<br>(1,20) | kein Maß | -<br>1,50<br>(1,20) | [3,00]<br>2,50<br>(2,00) | [3,00]<br>2,50<br>(2,00) |

[1)] NE1=altes niederländisches Handbuch (CROW 12) NE2=neues niederländisches Regelwerk (CROW 2016); [2)] abzüglich von 0,25 m Markierung; [3)] abzüglich von 0,30 m Markierung;

**Tabelle A4.3: Breitenmaß der Radwege und Rad-/Mofawege bei verschiedener Verkehrsstärke des Radverkehrs [nach (CROW 1998, 2016; IAN 195/16)]**

| Länder | | Radweg | | | | Rad-/Mofaweg | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Einrichtungsradweg | | Zweirichtungsradweg | | Einrichtungsradweg | | Zweirichtungsradweg | |
| | | Verkehrsstärke [R/h] | Breite [m] | Verkehrsstärke [R/h] | Breite [m] | Verkehrsstärke [R/h] | Breite [m] | Verkehrsstärke [R/h] | Breite [m] |
| NE | 2016 | 0-150 | 2,00 | 0-50 | 2,50 | 0-150 | 2,00 | 0-50 | 2,00 |
| | | 150-750 | 2,50-3,00 | 50-150 | 2,50-3,00 | 75-375 | 3,00 | 50-150 | 3,00 |
| | | >750 | 3,50-4,00 | 150-350 | 3,50-4,00 | >375 | 4,00 | 150-350 | 4,00 |
| | | | | >350 | 4,50 | | | >350 | 5,00 |
| | 2007 | 0-150 | 1,50 | 0-50 | 1,50 | 0-150 | 2,00 | 0-50 | 2,00 |
| | | 150-750 | 2,50 | 50-150 | 2,50 | 150-750 | 3,00 | 50-100 | 3,00 |
| | | >750 | 3,50 | >150 | 3,50 | >750 | 4,00 | >100 | 4,00 |
| GB | | 0-150 | 2,50 | 0-150 | 3,00 | | | | |
| | | 150-750 | 3,00 | >150 | 4,00 | | | | |
| | | >750 | 4,00 | | | | | | |

## Trennung zwischen Geh- und Radweg

**Tabelle A4.4: Vorgaben für Radweg- und Gehwegbreite in den internationalen Regelwerken**

| Länder | Radwegbreite [m] | Gehwegbreite[1)] [m] | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| D | 2,00 (1,60) | 2,30 (inkl. Begrenzungsstreifen) | |
| A | 1,60-2,00 (1,00) | 2,30 (≥1,50)<br>(inkl. Begrenzungsstreifen) | 1,50 m für Ausnahmefälle (z.B. geringe Fußgängerfrequenz) |
| CH | | | |
| NE1 | | | |
| NE2 | 1.50 | 0.90 | 25 zu Fußgehende/h/m |
| GB | 2,00 | 2,00 (1,50) | |
| DK | 1.70 (1,50) | 1,30 (1,00) | |
| USA | 2,00 | Kein Maß | |
| AUS | Einrichtung: 1,50 (1,20)<br>Zweirichtung: 2,50 (2,00-3,00) | 1,50 (≥ 1,20)<br>2,00 (≥ 1,20) | |

[1)] Gehwegbreite bezieht sich auf Gehwege bei Bordsteinradweg

**Tabelle A4.5: Vorgaben für die Trennung zwischen Geh- und Radwegen in den internationalen Regelwerken**

| Länder | Trennung zwischen Geh- und Radweg | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Höhenungleich | Höhengleich | | | |
| | Bord (Höhe) | Weiße Linie (Breite) | Begrenzungsstreifen (Breite) | Poller | Trennelement |
| D | 0-4 cm | 0,25 m | 0,30 m | (0,25 m zu Einbauten) | N/A |
| A | Schrägbord 3-5 cm | vermeiden | 0,30 m | N/A | kein Maß |
| CH | | | | | |
| NL1 | | | | | |
| NL2 | 11 cm[2)] | N/A | kein Maß | N/A | N/A |
| GB | > 5 cm | 0,15 m-0,25 m | 0,45 m | kein Maß | N/A |
| DK[1)] | 7-12 cm | 0,30 m | 0,30 m | 0,30 m von Radweg | N/A |
| AUS | Schrägbord 7,5-10 cm | vermeiden | kein Maß | 0,50 -1,00 m von Radweg | 0,20 m Sicherheitsraum mehr |
| USA | > 8 cm (0-13 cm) | N/A | N/A | N/A | N/A |

[1)] Quelle: (Andersen et al. 2012); [2)] Bevorzugte Trennung in Grün

## Breite von Sicherheitstrennstreifen

**Tabelle A4.6: Breite der Sicherheitstrennstreifen in den internationalen Regelwerken**

| Länder | Breite des Sicherheitstrennstreifens [m] | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Führungsform | Schutz-/ Radfahrstreifen | | | Radweg | | | Geschützte Radfahrstreifen | | |
| zu grenzende Fläche | Fahrbahn | Längsparken | Schräg-/ Senkrechtparken | Fahrbahn | Längsparken | Schräg-/ Senkrechtparken | Fahrbahn | Längsparken | Schräg-/Senkrechtparken |
| D | - | 0,50 - 0,75 | 0,75 | 0,50 - 0,75 | 0,75 | 1,10 | - | - | |
| A | - | Breitenzuschlag: 0,50 | | ≥ 0,50 | ≥ 0,75 | | - | - | |
| CH | - | 0,70-0,80 (≥ 0,50) | - | - | - | | - | - | |
| NE 1 | - | 0,75 | 0,75 | ≥0,70 | 1,00 (0,80) | | - | - | |
| NE 2 | 0,50 | 0,50 | - | ≥ 0,50 | - | | 0,10 -0,22 | - | |
| GB | - | 0.50-1.00 | - | - | - | | 0,40* | - | |
| DK | - | Breitenzuschlag: 0,30 | - | 1,00 (0,80) | 1,00 (0,80) | | - | - | |
| USA | ≥ 0,60 | Breitenzuschlag: 0.30 - 0.60 | - | 0,45 | ≥ 0,90 | | ≥ 0,90 | ≥ 0,90 | |
| AUS | - | 0,40 -1,00 | 0,80 – 1,50 | 0,60 / 0,50 – 1,00 | 1,00 | | 1,00 | 1,00 | |

* Angabe aus der Praxis

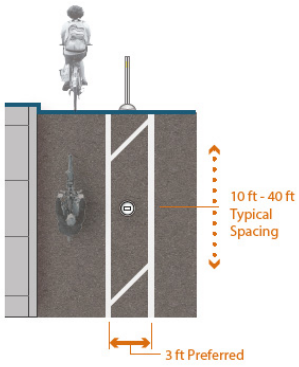
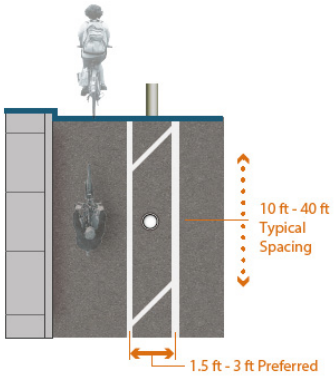
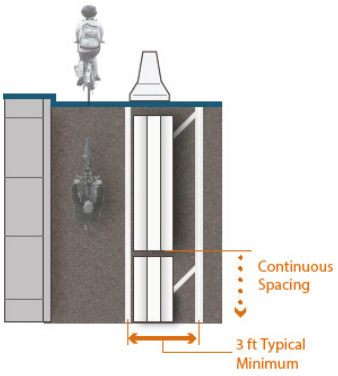
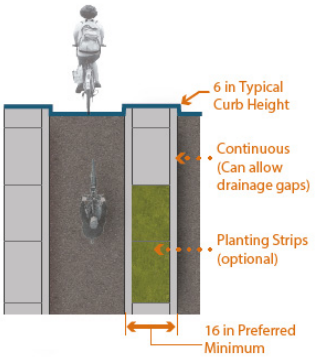
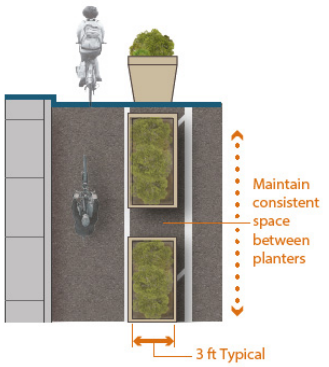
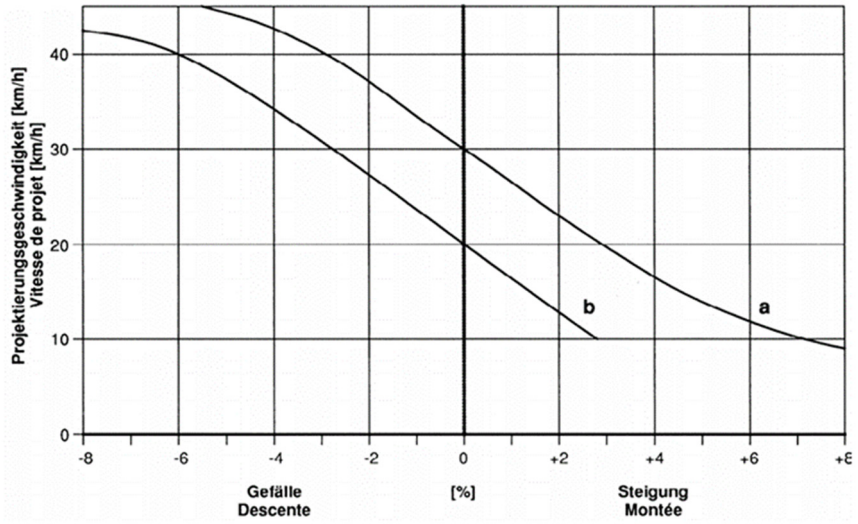
| Trenn-element | Leitpfosten | Poller | Betonschutzwand |
|---|---|---|---|
| Illustration |  |  |  |
| Breite | 0,90 m | 0,45 – 0,90 m | ≥ 0,90 m |
| Trenn-element | erhöhter Bordstein | Grünanlage | |
| Illustration |  |  | |
| Breite | ≥ 0,41 m | 0,90 m | |

**Abbildung A4.1: physische Trennelemente im amerikanischen Regelwerk [nach (FHWA-HEP-15-025)]**

## Längsneigung




a Haupt- und Verbindungsrouten (Tabelle 3)
b Erschliessungs- und Radwanderrouten

a Itinéraires principaux et de liaision (tableau 3)
b Itinéraires de desserte et de cyclotourisme

| Steigung | Bewegungsspiel-raumzuschläge |
|---|---|
| 4% | 0,20 m |
| 5% | 0,25 m |
| 6% | 0,30 m |
| 7% | 0,35 m |
| ≥ 8% | 0,40 m |

**Abbildung A4.2: Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Längsneigung (SN 640 060) und Breitenzuschlag in Abhängigkeit von der Steigung (SN 640 060) im schweizerischen Regelwerk**

## Kurvenbereich

**Tabelle A4.7: Kurvenradius in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit**

| Länder | Kurvenradius [m] | | | | | | | | | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Geschwindigkeit [km/h]** | **10** | **15** | **20** | **25** | **30** | **35** | **40** | **45** | **50** | |
| D | | | 10 | | **20** | | 30 | | | |
| A | 2,5 | 4,5 | 8 | 14 | **22** | | | | | Verbreiterung 0,30-0,50 m |
| CH | 6 | 10 | 15 | 21 | **30** | 40 | | | | ohne Sicherheitsmaßnahmen |
| | | 6 | 8 | 13 | **18** | 23 | 30 | | | mit Sicherheitsmaßnahmen |
| N1 | | | 10 | 15 | **20** | | | | | |
| N2 | | | 10 | | **20** | | | | | Verbreiterung von 0,50 m bei $v$ =40 km/h |
| DK | | | | 16 | **20** | | | | | |
| AUS | | | 10 | | **25** | | 50 | | 94 | bei Querneigung = 0% |
| | | | 9 | | **23** | | 45 | | 82 | bei Querneigung = 3% |
| **Geschwindigkeit [mph] (Geschwindigkeit [km/h])** | | **12 (19)** | **14 (23)** | **16 (26)** | **18 (29)** | **20 (32)** | **25 (40)** | **30 (48)** | **40 (64)** | |
| GB | | | | | | **14** | | 32 | 57 | |
| USA | | 8 | 11 | 15 | 18 | **22** | 35 | 50 | | |

**Tabelle A4.8: Minimalkurvenradius nach Fahrradtypen [Einheit: mm] [nach (LTN 2/08)]**

| Fahrzeugtyp | Länge des Fahrzeugs | Minimalkurvenradius | |
|---|---|---|---|
| | | Außenradius* | Innenradius** |
| konventionelles Fahrrad | 1800 | 1650 | 850 |
| Fahrrad mit 850 mm breitem Anhänger | 2700 | 2650 | 1500 |
| Fahrad mit Tandemstange | 2750 | 2050 | 700 |
| Tandem-Fahrrad | 2400 | 3150 | 2250 |
| * Außenradius bestimmt den Abstand zur Wand, um die Kurvenfahrt zu ermöglichen | | | |
| ** Innenradius gibt die Größe eines (fiktiven) kreisförmigen Hindernisses/ Konstruktion an | | | |

## Aufstellmöglichkeiten

**Tabelle A4.9: Vergleich der Gestaltung der Aufstellbereiche für Radverkehr in den ausländischen Regelwerken**

| Länder | Aufgeweiteter Radaufstellstreifen | | Radverkehrsstreifen zum Vorbeifahren | |
|---|---|---|---|---|
| | Breite [m] | Länge [m] | Breite [m] | Länge [m] |
| D | Gesamte Breite des Fahrstreifens | 4,00–5,00 (≥ 3,00) | 1,50[2)] (≥1,25) | 20-30 |
| A | **nicht** gesamte Breite des Fahrstreifens | N/A | N/A | N/A |
| CH | Gesamte Breite des Fahrstreifens | ≥ 4,00 | 1,50 | N/A |
| N1 | Gesamte Breite des Fahrstreifens | 4,00-6,00 | 1,75 (1,00) | ≥ 25 |
| N2 | Gesamte Breite des Fahrstreifens | 4,00-5,00 | 1,50-1,75 | ≥ 25 |
| GB | Gesamte Breite des Fahrstreifens | 4,00-5,00 | 1,20 | N/A |
| DK | nur vor **Rechtsabbiegestreifen** | 5,00 | N/A | N/A |
| USA | Gesamte Breite des Fahrstreifens | 3,00-5,00 | 1,50 (+0,30-1,20)[1)] | 7,5-15 |
| AUS | Gesamte Breite des Fahrstreifens | 4,00 | 1,40 | N/A |
| [1)] Breite der markierten Trennung von geschützten Radfahrstreifen; [2)] zuzüglich 0,25 m Markierung bei Radfahrstreifen | | | | |

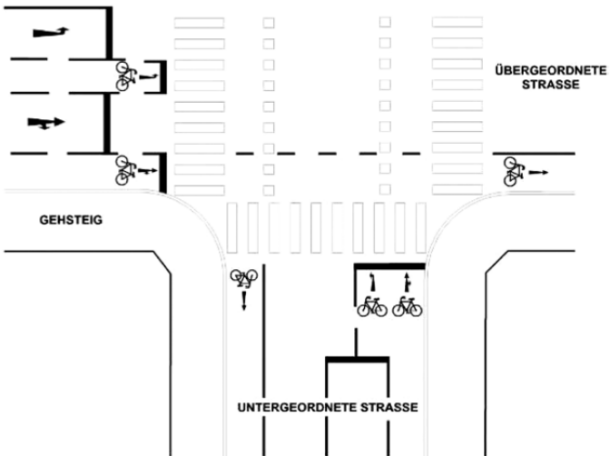



**Abbildung A4.3: Gestaltung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Österreich (RVS 03.02.13)**

# Anhang 4.2 Führung an Strecken

## Führung mit Fußverkehr

**Tabelle A4.10: Einsatzkriterien für Führung mit Fußverkehr in den ausländischen Regelwerken (Mindestmaß in Klammern)**

| Länder | Breiten des Gehwegs [m] | | Breite des Sicherheitstrennstreifens [m] | Bedarfsabhängig | Zusatzbedingungen |
|---|---|---|---|---|---|
| | Einrichtung | Zweirichtung | | | |
| D | ≥ 2,50 | | 0,50 -1,10 | ja | ja |
| A | 3,00 (2,50) | | 0,50 | teils | nein |
| CH | - | | | | ja |
| NL | - | | | | |
| DK | 2,25 (1,80) | 3,00 | 1,00 | nein | nein |
| UK | ≥ 3,00 | | 0,20 | teils | nein |
| USA | 3,00-4,30 (2,40) | | 1,50 (baulich) | nein | ja |
| AUS | 2,50 – 3,50 (2,00) | | 0,50 - 1,00 | teils | teils |

## Duale Führungsform

**Tabelle A4.11: Radwegbenutzungspflicht und Regel „Gehweg/ Radfahrer frei“ im Ausland**

| Länder | Radwegbenutzungspflicht oder nicht | Verkehrszeichen für nicht benutzungspflichtige Radwege | Regel „Gehweg/ Radfahrer frei“ | Bemerkungen für Benutzungspflicht |
|---|---|---|---|---|
| D | beide möglich | nein | ja | - |
| A | beide möglich | ja | keine | Fahrräder mit Anhänger, mehrspurige Fahrräder, breiter als 100 cm sind ausgeschlossen |
| CH | benutzungspflichtig | - | ja | - |
| N | beide möglich | ja | keine | Fahrräder mit Anhänger, mehrspurige Fahrräder, breiter als 0,75 m sind ausgeschlossen |
| GB | nicht benutzungspflichtig | - | keine | - |
| DK | benutzungspflichtig | - | keine | breite Fahrräder mit Nachteilen für andere dürfen Radwege nicht benutzen |

**Abbildung A4.4: Verkehrszeichen für den Radweg ohne Benutzungspflicht in Österreich (links) und den Niederlanden (rechts) (§ 53 Abs 27, StVO) (RVV 1990 01.01/2020)**

# Anhang 4.3 Führung an Knotenpunkten

## Zwischenzeit (Einfahrzeit)

**Tabelle A4.12: Berechnung der Zwischenzeit mit der Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs**

| Länder | Berechnung-Einfahrzeit | Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs | Bemerkungen |
|---|---|---|---|
| **D** | $t_Z = t_{ü} + \frac{s_0 + l_{Fz}}{v_r} - \frac{s_e}{v_e}$ | 5 m/s | bei Gefälle 5 m/s< $v_e$ ≤7 m/s |
| **A** | $t_Z = t_{ü} + \frac{s_0 + l_{Fz}}{v_r} - \frac{s_e}{v_e}$ | Berücksichtigung keiner Einfahrvoränge für Radverkehr<br>Einfahrzeit einheitlich 1 s im Bedarf einsetzen | |
| **CH** | $t_Z = (\frac{s_r}{v_r} + r_1) - (\frac{s_e}{v_e} + e_2)$ | 5 m/s | $e_2$= 0 für Radverkehr |
| **NL** | $t_Z = \frac{s_0 + l_{Fz}}{v_r} - (\frac{s_e}{v_e} + t_{rea})$ | 5 m/s | Reaktionszeit nur für Langsamverkehr in Bedarf, max. 0,5 s |
| **GB** | Je nach der Differenz zwischen Räum- und Einfahrweg | | |
| **DK** | $t_Z = t_{ü} + \frac{s_0 + l_{Fz}}{v_r} - \frac{s_e}{v_e}$ | 8 m/s bei Kfz-Räumen<br>10 m/s bei Fußverkehr-Räumen | |
| **USA** | $t_Z = (t_{rea} + \frac{1{,}47\, v_r}{2(a + 32{,}2g)} + (\frac{W + l_{Fz}}{1{,}47 v_r})$ (US-Einheit) | Berücksichtigung keiner Einfahrvorgänge im Allgemeinen | |
| **AUS** | $t_Z = t_G + \frac{W}{v_{zul}}$ | Berücksichtigung keiner Einfahrvorgänge im Allgemeinen | |

| | |
|---|---|
| $r_1/e_2$: Räum-/ Einfahrintervall [s] | $t_{rea}$: Reaktionszeit [s] |
| $a$: Beschleunigung [m/s$^2$] /[mph] | $g$: Gradiente [%/100] |
| $W$: Breite der Knotenpunkte [m]/[ft] | $t_G$: Gelbzeit [s] |
| Die anderen Symbole wie in der Formel (1) | |

## Führung des geradeausfahrenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

**Tabelle A4.13: Maßnahmen für geradeausfahrenden Radverkehr im Zuge der übergeordneten Straßen**

| Länder | Führungsform und Furtabsetzung | | | | Behandlung der Kfz-Rechtsabbieger | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Führungsform an Radweg | Maß der weiteren Absetzung [m] | Vorfahrt des Radverkehrs | Länge der Verschwenkung vom Radweg [m] | Breite von RiM [m] | Länge von RiM [m] |
| D | fahrbahnnah | > 5 | ja | zur Fahrbahn: > 10 | 1,50 (1,25) | 20 - 40 |
| A | fahrbahnnah | > 5 | ja | zur Fahrbahn: > 15 | N/A | N/A |
| CH | mit LSA: RFS<br>ohne LSA: weitere Absetzung | ≥ 5 | nein | zur Fahrbahn: ≥ 30 | 1,80 | ≥ 30 |
| N1 | weitere Absetzung | 4 - 5/ 5 - 8 | ja | zur Fahrbahn: ≥ 30 | 1,50 - 2,00 | 35 - 80 |
| N2 | | 5 | ja | von der Fahrbahn: ≥ 35 | ≥ 1,50 | 25 - 40 |
| GR | Fahrbahnnah (nach Geschwindigkeit) | 5-10 | ja | zur Fahrbahn: > 20 | 2,00 | N/A |
| | | > 10 | nein | | | |
| DK | fahrbahnnah | 10-15 | nein | zur Fahrbahn: 30 - 50 | 1,50 | N/A |
| USA | nach Vorhandensein von Parken | 4,5 – 7,5 | ja | zur Fahrbahn: ≥ 6 | 1,80 (1,20) | 15 - 60 |
| AUS | weitere Absetzung | 6 - 7 | Ja | von der Fahrbahn: ≥ 30 | 1,40 | N/A |
| | | 7 - 10 | nein | | | |

## Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

**Tabelle A4.14: Entwurfselemente für die Führung des links abbiegenden Radverkehrs in den internationalen Regelwerken**

| Länder | Direktes Linksabbiegen | | | | Indirektes Linksabbiegen |
|---|---|---|---|---|---|
| | Knotenpunkt mit Vorfahrtsregeln | | Knotenpunkt mit Lichtsignalanlage | | |
| | Ohne Linksabbiegestreifen für Radverkehr | mit Linksabbiegestreifen für Radverkehr | freies Einordnen (Breitenmaß) | Andere signaltechnische Sicherung | Größe der Aufstellfläche |
| D | geteilte Mittelinsel:<br>Breite zwischen Mittelinseln entspricht der kreuzenden Straße<br>Länge: 3,00 m (≥ 2,50 m) | Linksabbiegestreifen (Kfz+RV): 2,75 + 1,50 m<br>Linksabbiegestreifen (Kfz) +Schutzstreifen: 2,25 +1,25 m | Linksabbiegestreifen (Kfz+RV): 2,75 + 1,50 m<br>Linksabbiegestreifen (Kfz) +Schutzstreifen: 2,25 +1,25 m | Fahrradschleuse<br>Rundum-Grün | Breite: ≥ 1,50 m<br>Länge: ≥ 2,00 m |
| A | Mittelinsel:<br>Länge: > 1,50 m | N/A | kein Maß | N/A | kein Maß |
| CH | Mittelinsel:<br>Breite: ≥ 45,00 m<br>Länge: ≥ 2,50 m | N/A | Linksabbiegestreifen (RV)<br>1,80-2,00 m | Fahrradschleuse | kein Maß |
| NE1 | kein Maß | N/A | Linksabbiegestreifen (Kfz+RV): 2,75 +1,75-2,00 m | N/A | kein Maß |
| NE2 | Mittelinsel:<br>Breite: 5,00-20,00 m<br>Länge: ≥ 2,50 m | Linksabbiegestreifen (Kfz+RV): 2,75-3,75 m +2,00-2,25 m (1,70 m) | Geradeaus+Linksabbiegestreifen (Kfz+RV) 2,50 + 1,50 m | Rundum-Grün | Breite: >1,20 m |
| GB | Mittelinsel:<br>Breite der kreuzenden Straße<br>Länge: ≥ 3,00 m | N/A | N/A | N/A | N/A |
| DK | (Das direkte Linksabbiegen ist nicht erlaubt) | | | | kein Maß |
| USA | Mittelinsel:<br>Breite entspricht der kreuzenden Straße<br>Länge: ≥ 3,00 m | N/A | kein Maß | N/A | Breite: ≥ 3,00 m<br>Länge: ≥ 2,00 m |
| AUS | Mittelinsel:<br>Breite der kreuzenden Straße<br>Länge: ≥ 2,50 m | N/A | Linksabbiegestreifen (Kfz+RV): 3,00 +1,40 m | N/A | Breite: ≥ 1,00 m<br>Länge: ≥ 3,00 m |

# Anhang 5 Detailierte Beschreibung der Interaktionen

## Anhang 5.1 Grundlagen für Interaktionen

Abbildung A5.1 verdeutlicht die Auswertestufen in der Verkehrssituation. Dabei werden drei Typen von Verkehrsverhalten zusammengestellt:

- normal verlaufende Interaktionen (Normalverlauf und „positive“ Reaktion)
- Behinderung
- kritische Situation

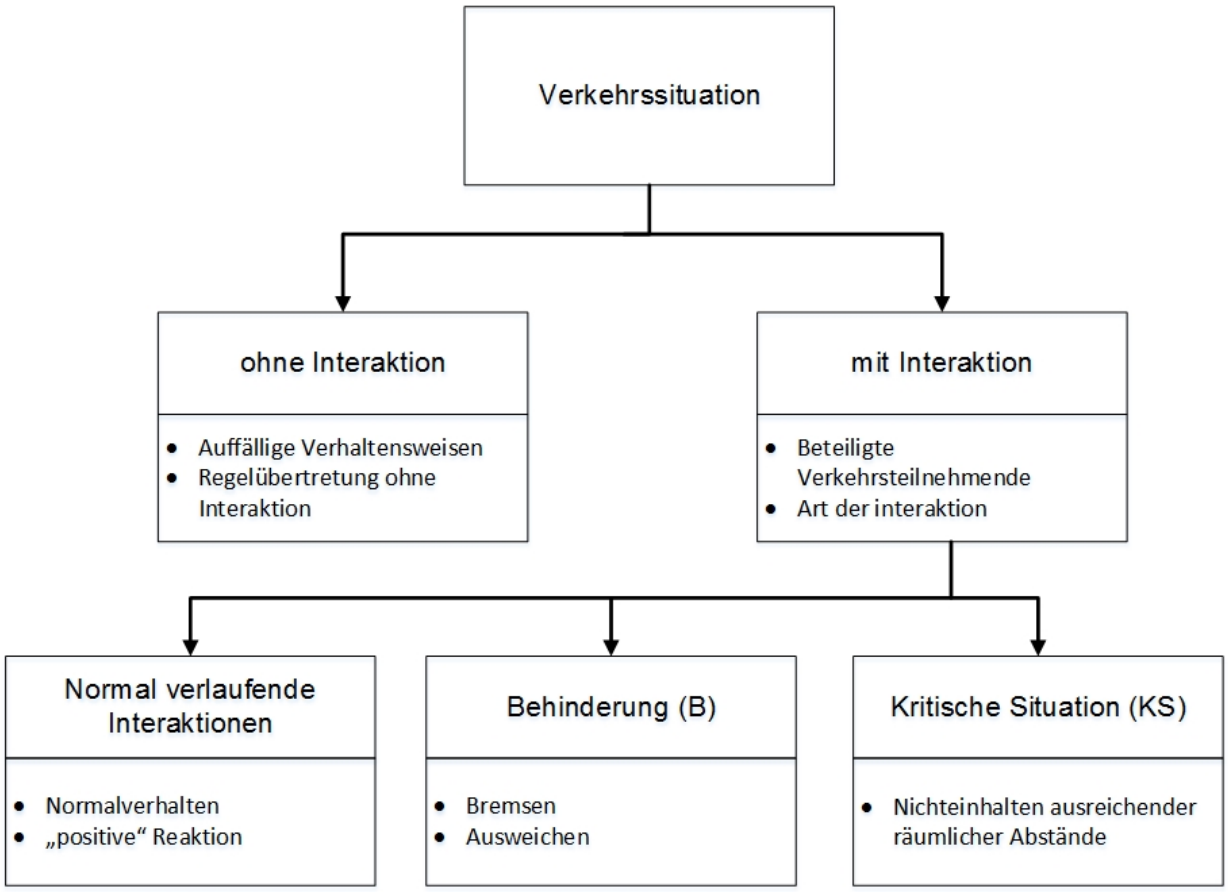



**Abbildung A5.1: Darstellung von Verkehrssituationen und Interaktionen [nach (Alrutz und Stellmacher-Hein 1997; Eger 1985)]**

Bei „normal verlaufenden Interaktionen“ wird die Verhaltensweise der Verkehrsteilnehmenden so gegenseitig abgestimmt, dass kein von der Norm abweichender, problematischer Bewegungslauf (Behinderung oder kritische Situation) festgelegt werden kann (Alrutz und Stellmacher-Hein 1997). Dabei unterscheiden sich zwei Situationen: Normalverlauf und „positive“ Reaktion.

Beim „Normalverhalten“ verkehren die Verkehrsteilnehmenden in Bezug auf das Verhalten und die Bewegungsabläufe ohne gegenseitige Beeinflussung oder Störung. Im Vergleich dazu müssen die Verkehrsteilnehmenden ihren Bewegungsablauf bei der „positiven Reaktion“ so aufeinander abstimmen, dass sie sich nicht gegenseitig gefährden (z.B. Stopp von Pedalbewegung der Radfahrenden) (Eger 1985). Die „normale“ und sichere Interaktion charakterisiert **keinen plötzliche** Bewegungsänderungen (Richtung und Geschwindigkeit) (Alrutz und Stellmacher-Hein 1997).

Als „Behinderung (B)“ wird eine Abweichung von dem Normalbewegungsverlauf eines Verkehrsteilnehmenden durch das (meistens regelwidrige) Verhalten eines anderen Verkehrsteilnehmenden bezeichnet (z.B. Einbiegevorgang von Grundstückausfahrt) (Angenendt et al. 1994). Zur Vermeidung der Kollision oder Beibehaltung der Fortbewegung muss ein Bremsen oder Ausweichen ausgeführt werden.

Eine „kritische Situation (KS)“ wird durch eine beobachtbare Gefahrensituation gekennzeichnet, bei der die Verkehrsteilnehmenden im Raum-Zeit-Kontinuum einer Verkehrsanlage sich räumlich-zeitlich nähern, sodass eine erhöhte Kollisionsgefahr vorhanden ist (Angenendt et al. 1994; Angenendt und Wilken 1997). Anders als bei einer Behinderung wird die Gefahrensituation in der Praxis nicht von den beteiligten Verkehrsteilnehmenden selbst beobachtet, sondern erst durch einen anderen Beobachter erfasst (z.B. Kfz überholt das Fahrrad mit dem unangepassten Abstand) (Eger 1985). Das Nichteinhalten ausreichend räumlicher Abstände wird zu der kritischen Situation.

Allerdings steht eine reine Wahrnehmung oder Begegnung von Verkehrsteilnehmenden generell nicht für eine Interaktion, da das Auslösen einer Reaktion von einer Interaktion vorausgesetzt wird (Riel 2002). Deswegen werden eine positive Reaktion, Behinderung und kritische Situation in der Arbeit schwerpunktmäßig ausgewertet. Je nach der Führungsform von Radverkehrsanlagen und Örtlichkeit (Strecke oder Knotenpunkt) haben die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden Interaktionen verschiedener Art mit den unterschiedlich beteiligten Verkehrsteilnehmenden. Dadurch ergeben sich andere Arten der Interaktionen, nämlich Interaktion mit überholenden, begegnenden und kreuzenden Verkehrsteilnehmenden. Im Folgenden werden die zu beobachtenden Interaktionen ausführlich erklärt.

**Interaktionen zwischen Radfahrenden und E-Tretroller-Fahrenden**

Im Vergleich zum Nebeneinanderfahren ist das Überholen zwischen Rad- oder E-Tretrollernutzenden für die Bemessungsfragen entscheidend und sinnvoller, da bei der Bemessung der Breite von Radverkehrsanlagen ein Überholvorgang reibungslos durchgeführt werden sollte. Dadurch ist zu beurteilen, ob oder inwieweit die Überholvorgänge innerhalb von Radverkehrsanlagen durchgeführt werden. Zudem ist die Begegnung von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden an Radverkehrsanlagen mit Zweirichtungsbetrieb (Zweirichtungsradweg) zu betrachten. Dabei ist zu beurteilen, ob sich die Rad- oder E-Tretrollerfahrenden ohne deutliche Abweichung vom Normalbewegungslauf begegnen können.

**Interaktionen zwischen Rad-/ E-Tretrollerfahrenden und Kfz**

Zuerst sind Interaktionen mit überholendem Kfz-Verkehr im Längsverkehr bei Fahrbahnführung dahingehend zu untersuchen, ob die Kfz die Rad- und E-Tretrollerfahrenden rechtsgerecht überholen. Dies betrifft auch die Radfahrstreifen in Mittellage an Knotenpunktzufahrten.

Außerdem werden Interaktionen mit ein- und ausbiegenden Kfz bei den Grundstückein- und ausfahrten und an Knotenpunktarmen beobachtet, ob Rad- oder E-Tretroller durch ein- oder ausbiegenden Kfz-Verkehr beeinträchtigt und behindert werden.

**Interaktionen zwischen Rad-/ E-Tretroller-Fahrenden und zu Fuß Gehenden**

Die Interaktionen umfassen die Begegnung von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden und zu Fuß Gehenden im Längs- oder Querverkehr (Überschreiten-Unfall). Bei der Radwegführung und der gemeinsamen Führung von Rad- und Fußverkehr ist zu überprüfen, ob sich Rad- oder E-Tretrollerfahrende mit unangepassten Abständen oder Geschwindigkeit an den zu Fuß Gehenden vorbeifahren (kritische Situation) oder die zu Fuß Gehenden und Rad- oder E-Tretrollerfahrenden sich gegenseitig beeinträchtigen (Behinderung).

## Anhang 5.2 Auswertungskriterien für Interaktionen

Hierbei werden ausführliche Auswertungskriterien für unterschiedliche Interaktionsvorgänge erläutert, die das Fahrverhalten sowie die Beeinträchtigungen zu bestimmten Interaktionskonstellationen zuordnen. Die Erklärung der Auswertungskriterien erfolgt zunächst aus der kritischen Situation und Behinderung.

Die Kritische Situation (KS) ergibt aus dem Grad der räumlichen Nähe zwei Schwerestufen:

- Kritische Situation der Schwerestufe I (KS I)
  Brems- und/ oder Ausweichmanöver schwächerer bis mittlerer Intensität zur Vermeidung einer Kollision; Grad der räumlichen Nähe in einem engen Niveau;

- Kritische Situation der Schwerestufe II (KS II)
  Brems- und/ oder Ausweichmanöver stärkerer Intensität zur Vermeidung einer Kollision; Grad der räumlichen Nähe in einem sehr engen Niveau;

Der Abstand zur Einstufung der kritischen Situation ist je nach Verkehrsteilnehmenden anders. Beim Vorbeifahren von Rad- oder E-Tretrollerfahrenden an zu Fuß Gehenden ist ein **Seitenabstand** ($x_{\ddot{u},Fu\beta,N}$) festzulegen. Hierbei ist die Einstufung der Abstände Abbildung A5.2 zu entnehmen. Es ist deutlich zu erkennen, dass sich der benötigte Sicherheitsabstand mit der zunehmenden Geschwindigkeit erhöht.

Bei der Führung auf der Fahrbahn ist ein Überholabstand ($x_{\ddot{u},Kfz,N}$) beim Überholvorgang von Rad- oder E-Tretroller-Fahrenden durch Kfz festzulegen (Tabelle A5.1). Die Beurteilung des Überholabstands zwischen Kfz- und Radverkehr richtet sich auf die rechtlichen Vorgaben nach StVO. Ein Überholabstand größer als 1,50 m wird als „unkritische Situation" betrachtet. Der Überholabstand kleiner als 1,50 m wird in weitere drei Stufen gegliedert (Kaulen et al. 2013; Richter und Beyer 2019). Der Überholabstand „≥1,00 und <1,50 m" wird als KS I eingestuft und der Überholabstand „< 1,00 m" als KS II. Diese Einstufung setzt eine Kfz-Geschwindigkeit von 50 km/h voraus.

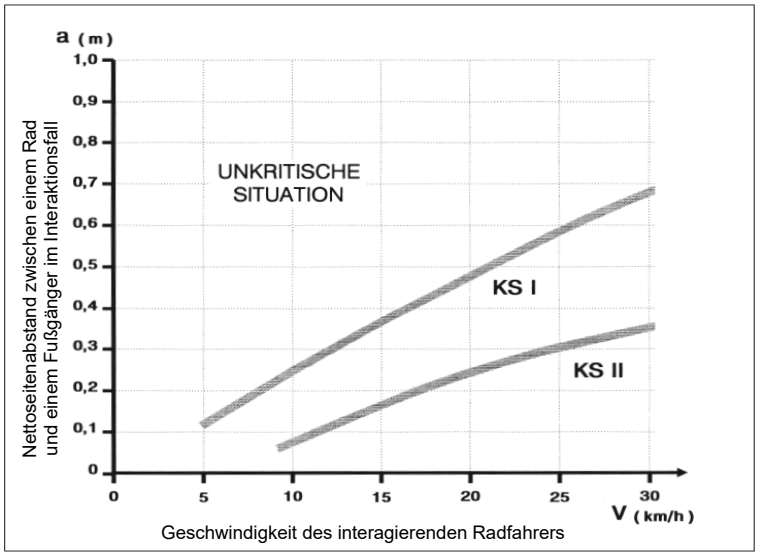



**Abbildung A5.2: Diagramm zur Einstufung der kritischen Situationen nach dem Schwergrad für Interaktionen zwischen Rad- und Fußverkehr im Parallelverkehr (Angenendt und Wilken 1997)**

**Tabelle A5.1: Einstufung der kritischen Situationen nach Überholabstand zwischen Kfz- und Radverkehr**

| **Überholabstand** | < 0,50 m | ≥0,50 und <1,00 m | ≥1,00 und <1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| **Bewertungsbereich** | I Unsicher | II Kritisch | III Bedingt sicher | IV Sicher |
| **Schwerstufe KS** | KS II | | KS I | unkritische Situation |

Für den Seitenabstand zwischen Fahrrädern oder E-Tretrollern beim Überholen ($x_{\ddot{u},Rad,N}$) und Begegnen ($x_{B,Rad,N}$) existieren bisher keine Bewertungskriterien. Wenn der Einrichtungsradweg mit einer

Breite von 1,60 und 2,00 m gemäß ERA 2010 vorliegt, liegt der Nettoabstand zwischen 0,20 - 0,40 m. In diesem Fall ist es nicht zielführend, Abbildung A5.2 als Auswertungskriterium auszuwählen, da nach der Abbildung nur eine Geschwindigkeit von 7- 16 km/h zulässig ist. Für das Überholen werden andere Auswertungskriterien gesucht. Für die Begegnung von zwei Rad- oder E-Tretrollernutzenden im zwei Richtungsbetrieb ist Abbildung A5.2 zu nehmen.

Der vorliegende Seiten- und Überholabstand bezieht sich auf einen „Nettoabstand". Analog zur Position im Querschnitt werden die Abstände („Bruttoabstand") zwischen Mittelachse der Fahrräder und Außenkante der zu Fuß Gehenden (Abbildung 4.2 b) im Haupttext) zwischen Mittelachse der Fahrräder und dem zum Fahrrad zugewandten Kfz-Reifen (Abbildung 4.2 a)) und zwischen Mittelachse der sich begegnenden Fahrräder (Abbildung 4.2 b)) gemessen. Zur Festlegung des „Nettoabstands" werden die Breiten des Radverkehrs oder E-Tretrollers nach Tabelle 4.13 im Haupttext und die Breite des Kfz um 20 cm (Außenspiegel) abgezogen. Bei den Fahrrädern mit Anhängern oder mehrrädrigen Lastenrädern kann der Nettoabstand direkt gemessen werden.

Ähnlich untergliedert ist die Behinderung (B), die auch in zwei Beeinträchtigungsstufen eingeteilt wird. Es ist zu beobachten, in welchem Maß Rad- oder E-Tretrollernutzende oder zu Fuß Gehende beeinträchtigt werden.

- Behinderungen der Schwerestufe (B I): leichte bis mittelstarke Behinderungen kennzeichnen sich durch
  - deutlich ausgeprägtes/ plötzliches Ausweichmanöver sowie Geschwindigkeitsreduzierung der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden (allgemein)
  - deutliche Irritation mit Kopfdrehung, Geschwindigkeitsreduzierung und unsicherem Ausweichen der zu Fuß Gehenden bei gemeinsamer Führung (eventuell auch bei Radwegführung)

- Behinderungen der Schwerestufe (B II): stärkere Behinderungen gekennzeichnet durch
  - Anhalten, Absteigen bzw. Abspringen von Rad- und E-Tretrollernutzenden (allgemein)
  - Anhalten, starkes zur Seite Drängen der zu Fuß Gehenden oder Auseinandergehen von Paaren oder Gruppen bei gemeinsamer Führung (eventuell auch bei Radwegführung)

Aus der kritischen Situation und Behinderung erfolgt eine Beschreibung des Fahrverhaltens von Normalverhalten und positiver Reaktion:

- Normalverhalten
  - Kfz überholt Rad- oder E-Tretrollerfahrende mit einem ausreichenden Abstand (> 1,50 m) an Radverkehrsstreifen
  - Rad- oder E-Tretrollerfahrende überholen Fuß Gehende in einem sicheren Seitenabstand laut Abbildung A5.2 bei gemeinsamer Führung (eventuell auch Radweg)
  - Rad- oder E-Tretrollerfahrende begegnen sich einander in einem sicherem Seitenabstand laut Abbildung A5.2 am Zweirichtungsradweg
  - Verkehrsteilnehmende haben kein aggressives Verhalten gegenüber anderen (allgemein)

- Positive Reaktion (B 0)
  - Rad- und E-Tretrollerfahrende verlangsamen ihre Geschwindigkeit oder weichen bei der Annäherung geringfügig/ allmählich aus (ohne plötzliches Verhalten) (allgemein)
  - Radfahrende zeigen ihre Bremsbereitschaft durch Stoppen der Pedalbewegung (allgemein)
  - zu Fuß Gehende zeigen durch geringfügiges Ausweichen oder durch Zeichen, dass sie die Rad- oder E-Tretrollernutzenden wahrgenommen haben und bereit sind, sich bei gemeinsamer Führung mit diesem der Situation gemäß zu arrangieren (eventuell auch Radweg)

## Anhang 5.3 Rate und Quote der Interaktionen

**Rate** der kritischen Situationen (KSR), der Behinderung (BR) oder der Summe von kritischen Situationen und Behinderungen ((KS+B) R). Mit den Größen sollen die Anzahl der kritischen Situationen, die Anzahl der Behinderungen oder die Anzahl der Summe von kritischen Situationen und Anzahl der Interaktionen jeder Art der Rad- oder E-Tretrollerfahrenden jeder Fahrzeugtypen gekennzeichnet werden.

$$KSR = \frac{Anzahl\ der\ kritischen\ Situationen\ (KS\ \mathrm{I} + KS\mathrm{II})}{Anzahl\ aller\ Interaktionen\ von\ kritischen\ Situationen\ der\ Fahrräder\ (E-Tretroller)\ jeder\ Fahrzeugtypen}$$

$$BR = \frac{Anzahl\ der\ Behinderungen\ (B\ \mathrm{I} + B\ \mathrm{II})}{Anzahl\ aller\ Interaktionen\ von\ Behinderungen\ der\ Fahrräder\ (E-Tretroller)\ jeder\ Fahrzeugtypen}$$

$$(KS+B)R = \frac{Anzahl\ der\ Summe\ von\ kritischen\ Situationen\ und\ Behinderungen\ (KS\ \mathrm{I} + KS\ \mathrm{II} + B\ \mathrm{I} + B\ \mathrm{II})}{Anzahl\ aller\ Interaktionen\ der\ Fahrräder\ (E-Tretroller)\ jeder\ Fahrzeugtypen}$$

**Quote** der kritischen Situationen (KSQ), der Behinderung (BQ) oder der Summe von kritischen Situationen und Behinderungen ((KS+B) Q). Mit den Größen sollen die Anzahl der kritischen Situationen, die Anzahl der Behinderungen oder die Anzahl der Summe von kritischen Situationen und Behinderungen pro 100 beobachteter Rad- oder E-Tretrollerfahrenden jeder Fahrzeugtypen gekennzeichnet werden.

$$KSQ = \frac{Anzahl\ der\ kritischen\ Situationen\ (KS\ \mathrm{I} + KS\ \mathrm{II})}{Anzahl\ der\ Fahrräder\ (E-Tretroller)\ jeder\ Fahrzeugtypen/100}$$

$$BQ = \frac{Anzahl\ der\ Behinderungen\ (B\ \mathrm{I} + B\ \mathrm{II})}{Anzahl\ der\ Fahrräder\ (E-Tretroller)\ jeder\ Fahrzeugtypen/100}$$

$$(KS+B)Q = \frac{Anzahl\ der\ Summe\ von\ kritischen\ Situationen\ und\ Behinderungen\ (KS\ \mathrm{I} + KS\ \mathrm{II} + B\ \mathrm{I} + B\ \mathrm{II})}{Anzah\ der\ Fahrräder\ (E-Tretroller)\ jeder\ Fahrzeugtypen/100}$$

# Befragung zu Mobilitätsverhalten sowie Infrastrukturnutzung mit verschiedenen Fahrradtypen (Fahrrad, Pedelec, S-Pedelec, E-Mofa, E-Motorroller und Lastenrad) und E-Scooter

**Sehr geehrte Damen und Herren,**

wir möchten über ihre Erfahrungen mit dem Fahrrad, Elektrofahrrad oder Lastenrad bei der täglichen Nutzung in der Stadt und der Region mehr erfahren. Nennen Sie uns Ihre Wünsche und Anregungen für eine sichere und komfortablere Infrastruktur.

Im Rahmen dieses Promotionsvorhaben sollen Kriterien erarbeitet werden, um die Radverkehrs-Infrastruktur alltagstauglich auch auf neue Fahrzeuge wie Pedelec, S-Pedelec, (E-)Mofa, (E-)Motorroller, Lastenräder und E-Scooter weiterzuentwickeln. Die Forschung zielt darauf, die Verkehrssicherheit und den Fahrkomfort des Radverkehrs (mit Hilfsmotor) zu erhöhen.

Ihre Teilnahme an der Befragung ist freiwillig und es entstehen keine Kosten für Sie. Bitte nehmen Sie sich 15-20 Minuten Zeit, um unsere Fragen zu beantworten. Ihre Daten werden anonymisiert behandelt und nur für den Zweck der Befragung verwendet.

Die Unterlagen der Befragung bestehen aus:

- Merkmale des Mobilitätsverhaltens und der Fahrzeugnutzung
- Merkmale der Fahrverhalten in den gegebenen Infrastrukturen
- Personenmerkmalen
- Haushaltsmerkmalen

Die Zweigfragen werden automatisch angezeigt und versteckt, was zu einem Sprung der Fragennummer führen könnte.

Falls Sie Fragen zur Umfrage haben, wenden Sie sich bitte an die nachstehende E-Mail: xiaochen.yu@h-da.de.

**Vielen Dank für Ihre Unterstützung!**

## Umfragedatenrichtlinie

Ihre über die Umfrage erhobenen Angaben werden pseudonym und soweit möglich anonym weiterverarbeitet und ausschließlich zum Zweck der Befragung verwendet. Bitte achten Sie darauf, in Kommentaren keine rückführbaren Angaben zu Ihrer Person zu machen, da die Kommentare mit den übrigen Angaben gemeinsam gespeichert werden.

Ihre Daten werden nicht an Dritte weitergegeben und nur für die Dauer der genannten Nutzungszwecke gespeichert.

Die Teilnahme an der Umfrage ist freiwillig und kann jederzeit beendet werden.

Gemäß den Datenschutzbestimmungen (DSGVO und HDSIG) ist ihre Einwilligung zur Erhebung und Verarbeitung der abgefragten Daten erforderlich. Bitte geben Sie an, ob die mit der Teilnahme an der Befragung einverstanden sind.

Sie können jederzeit unentgeltlich Auskunft über die Empfänger der gespeicherten Daten sowie den Zweck der Speicherung verlangen. Auf das Bestehen eines Widerrufsrechts hinsichtlich Ihrer Einwilligung und eines Beschwerderechts bei einer Aufsichtsbehörde wird hingewiesen. Im Übrigen gelten für die Datenverarbeitung, insbesondere hinsichtlich der Kontaktdaten zum Datenschutz, die Grundsätze unserer allgemeinen Datenschutzerklärung unter

https://www.h-da.de/datenschutz

## Merkmale des Mobilitätsverhaltens und der Fahrzeugnutzung

Am Anfang der Befragung bitten wir Sie um ein paar anonyme Angaben zu Ihrem Mobilitätsverhalten und zu Ihrer Nutzung der Fahrzeuge. Diese Angaben helfen uns zu verstehen, inwieweit Fahrrad/ Elektrofahrrad/ Lastenrad/ Kleinkraftrad zu Ihrer Mobilität beitragen.

**1.** Welches ***Verkehrsmittel*** nutzen Sie überwiegend für die folgenden Wege?

| | zu Fuß | Fahr-rad | Pede-lec | S-Pede-lec | Mofa/ Motorroller/ Motorrad | E-Tret-roller | Lasten-rad | Bus/ Tram | S-Bahn/ Regio-nalbahn | Auto als Fahrer | Auto als Mit-fahrer |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Wege zur Arbeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Wege zum Einkaufen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Freizeit im Freien | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Dienst/Beruflich | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**2.** ***Welchen*** Radverkehr (mit Hilfsmotor) benutzen Sie überwiegend?

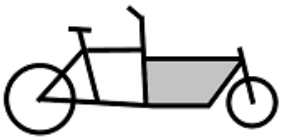
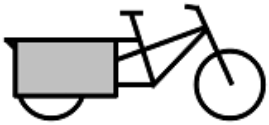
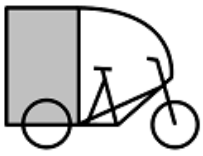
- ☐ Ich benutze (kaum) Radverkehr
- ☐ Fahrrad (inklusive Mountainbike, Rennrad)
- ☐ Pedelec
- ☐ S-Pedelec
- ☐ Mofa (inklusive Leichtmofa)
- ☐ Motorroller
- ☐ E-Tretroller
- ☐ Lastenrad mit Elektroantrieb
- ☐ Lastenrad ohne Elektroantrieb

**3.** ***Wie häufig*** sind Sie mit dem Radverkehr (mit Hilfsmotor) unterwegs?

| **Sommerzeit** | **(fast) täglich** | **Mehrmals pro Woche** | **Mehrmals im Monat** | **Selten im Monat** | **fast nie** |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Pedelec | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| S-Pedelec | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Mofa (inklusive Leichtmofa) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Motorroller | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| E-Tretroller | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Lastenrad mit Elektroantrieb | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Lastenrad ohne Elektroantrieb | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Winterzeit** | **(fast) täglich** | **Mehrmals pro Woche** | **Mehrmals im Monat** | **Selten im Monat** | **fast nie** |
| Fahrrad | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Pedelec | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| S-Pedelec | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Mofa (inklusive Leichtmofa) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Motorroller | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| E-Tretroller | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Lastenrad mit Elektroantrieb | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Lastenrad ohne Elektroantrieb | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**3a.** Welchen **Lastenradtypen** nutzen Sie (Mehrfachauswahl ist möglich)? Bitte geben Sie die maximale zulässige Zuladung in der Kommentarbox an. (Bildquelle: http://nutzrad.de) (in Frage 2 „Lastenrad“ gekreuzt) *

| | | | |
|---|---|---|---|
| ☐ | | Bäckerrad | Max. Zuladung: |
| ☐ | | Lorri | Max. Zuladung: |
| ☐ |  | Long John | Max. Zuladung: |
| ☐ |  | Longtails | Max. Zuladung: |
| ☐ | | Dreirad-Bakfietsen/ Trike | Max. Zuladung: |
| ☐ | | Dreirad-Transporter für große Lastenrad | Max. Zuladung: |
| ☐ |  | Dreirad-Transporter für Lasten mit Kabine | Max. Zuladung: |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ☐ | Sonstige: | Typ: | Max. Zuladung: |

**3b.** Ist das von Ihnen benutzte Mofa/ Motorroller mit ***Elektroantrieb***? (in Frage 2 „Mofa/ Motorroller" gekreuzt) *

☐ Ja ☐ Nein ☐ ich weiß nicht

**4.** ***Wie häufig*** nutzen Sie den Radverkehr für die folgenden Ziele? *

| **Mit dem Fahrrad** (in Frage 2 „Fahrrad" gekreuzt) | **(fast) täglich** | **mehrmals pro Woche** | **mehrmals im Monat** | **selten im Monat** | **fast nie** |
|---|---|---|---|---|---|
| Wege zur Arbeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Wege zum Einkaufen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Freizeit im Freien | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Dienst/Beruflich | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Mit dem Pedelec** (in Frage 2 „Pedelec" gekreuzt) | **(fast) täglich** | **mehrmals pro Woche** | **mehrmals im Monat** | **selten im Monat** | **fast nie** |
| Wege zur Arbeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Wege zum Einkaufen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Freizeit im Freien | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Dienst/Beruflich | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Mit dem S-Pedelec** (in Frage 2 „S-Pedelec" gekreuzt) | **(fast) täglich** | **mehrmals pro Woche** | **mehrmals im Monat** | **selten im Monat** | **fast nie** |
| Wege zur Arbeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Wege zum Einkaufen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Freizeit im Freien | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Dienst/Beruflich | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Mit dem Mofa/Motorroller** (in Frage 2 „Mofa/Motorroller" gekreuzt) | **(fast) täglich** | **mehrmals pro Woche** | **mehrmals im Monat** | **selten im Monat** | **fast nie** |
| Wege zur Arbeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Wege zum Einkaufen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Freizeit im Freien | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Dienst/Beruflich | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Mit dem E-Tretroller** (in Frage 2 „E-Tretroller" gekreuzt) | **(fast) täglich** | **mehrmals pro Woche** | **mehrmals im Monat** | **selten im Monat** | **fast nie** |
| Wege zur Arbeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Wege zum Einkaufen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Freizeit im Freien | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Dienst/Beruflich | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **Mit dem <u>Lastenrad</u>** (in Frage 2 „Lastenrad“ gekreuzt) | **(fast) täglich** | **mehrmals pro Woche** | **mehrmals im Monat** | **selten im Monat** | **fast nie** |
| Wege zur Arbeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Wege zum Einkaufen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Freizeit im Freien | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Dienst/Beruflich | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**5.** Wenn Sie den Radverkehr (mit Hilfsmotor) vielleicht nicht für alle Wege benutzen, bevor Sie das Ziel erreichen, ***mit welchem Verkehrsmittel*** reisen Sie weiter?

| | **sehr häufig** | **häufig** | **manchmal** | **selten** | **(fast) nie** | **weiß ich nicht** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| zu Fuß | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Auto | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Bus | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Straßenbahn/ U-Bahn | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| S-Bahn/ Regionalbahn | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| anderes | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**6.** Bitte schätzen Sie die ***maximal zurückgelegten Streckenlängen*** mit dem Radverkehr (mit Hilfsmotor) ein

| | **Fahr-rad** | **Pede-lec** | **S-Pe-delec** | **Mofa** | **Motor-roller** | **E-Tret-roller** | **Lastenrad mit Elektro-antrieb** | **Lastenrad ohne Elektro-antrieb** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| bis 5 km | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 5 km bis 15 km | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 15 km bis 30 km | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| 30 km bis 50 km | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| mehr als 50 km | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| weiß ich nicht | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| nicht zutref-fend | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

"nicht zutreffend" bedeutet, dass Sie diesen Typen des Fahrzeugs gar nicht benutzen.

| **7.** Schätzen Sie die ***Reichweite des Akkus*** eines Radverkehrs nach der vollständigen Aufladung unter Ihrer üblichen benutzten Unterstützungsstufe ein? * | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Pedelec** (in Frage 2 „Pedelec“ gekreuzt) | **unter 30 km** | **30-50 km** | **50-100 km** | **100-200 km** | **Über 200 km** |
| Sommerzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Winterzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **S-Pedelec** (in Frage 2 „S-Pedelec“ gekreuzt) | **unter 30 km** | **30-50 km** | **50-100 km** | **100-200 km** | **Über 200 km** |
| Sommerzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Winterzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **E-Mofa** (in Frage 2 „Mofa“ gekreuzt) | **unter 30 km** | **30-50 km** | **50-100 km** | **100-200 km** | **Über 200 km** |
| Sommerzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Winterzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **E-Motorroller** (in Frage 2 „Motorroller“ gekreuzt) | **unter 30 km** | **30-50 km** | **50-100 km** | **100-200 km** | **Über 200 km** |
| Sommerzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Winterzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **E-Tretroller** (in Frage 2 „E-Tretroller“ gekreuzt) | **unter 30 km** | **30-50 km** | **50-100 km** | **100-200 km** | **Über 200 km** |
| Sommerzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Winterzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **E-Lastenrad** (in Frage 2 „E-Lastenrad“ gekreuzt) | **unter 30 km** | **30-50 km** | **50-100 km** | **100-200 km** | **Über 200 km** |
| Sommerzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Winterzeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| **8.** ***Welche Wege*** befahren Sie eher mit dem Radverkehr (mit Hilfsmotor)? | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Fahr-rad** | **Pede-lec** | **S-Pede-lec** | **Mofa** | **Motor-roller** | **Lastenrad mit Elekt-roantrieb** | **Lastenrad ohne Elekt-roantrieb** | **E-Tret-roller** |
| **innerorts**: Hauptver-kehrsstraßen mit hoher Kfz-Belastung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **außerorts**: Hauptver-kehrsstraßen mit hoher Kfz-Belastung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| **innerorts**: Straßen mit niedriger Kfz-Belastung oder Wege im Grünen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **außerorts**: Straßen mit niedriger Kfz-Belastung oder Wege im Grünen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| gleichwertige Nutzung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| weiß nicht | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| nicht zutreffend | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

"nicht zutreffend" bedeutet, dass Sie diesen Typen des Fahrzeugs gar nicht benutzen.

**9.** Aus welchen ***Gründen*** fahren Sie eher mit einem Elektrofahrrad (Pedelec, S-Pedelec, E-Mofa, E-Motorroller) / Lastenrad mit Elektroantrieb/ E-Tretroller *

| | **trifft voll zu** | **trifft eher zu** | **teils/ teils** | **trifft eher nicht zu** | **trifft überhaupt nicht zu** |
|---|---|---|---|---|---|
| Reduktion der körperlichen Anstrengung generell | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Steigung (bergauf) leicht zu bewältigen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Längere Strecken im Alltag zu pendeln | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ausgedehnte Entfernung in der Freizeit zurückzulegen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schnelligkeit im Vergleich zum Fahrrad | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Gesundheit/ Fitness zu halten | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| körperliche Belastung aus gesundheitlichen Gründen zu vermeiden | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| weniger Schwitzen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schonung der Umwelt | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Last/Kinder einfacher zu transportieren | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| kostengünstiger als Autofahren | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| staufrei in der Stadt vorankommen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Kein Problem mit dem Parkplatz | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Einzige Lösung, um meinen Arbeitsplatz zu erreichen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Fahrspaß | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| relativ einfachere Mitnahme (z.B. ins Büro) im Vergleich zu (Elektro-) Fahrrädern[1)] | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ergänzung (Vor- oder Nachlauf) für Autos oder öffentliche Verkehrsmittel[1)] | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

[1)] Nur die Personen, die überwiegend die E-Tretroller nutzen, werden befragt.

**10.** Welche ***Nachteile*** mit dem Elektrofahrrad (Pedelec, S-Pedelec, E-Mofa, E-Motorroller) / Lastenrad mit Elektroantrieb / E-Tretroller werden wahrgenommen? Bitte geben Sie dazu jeweils an, wie sehr die folgenden Aussagen auf Sie zutreffen. *

| | **trifft voll zu** | **trifft eher zu** | **teils/ teils** | **trifft eher nicht zu** | **trifft überhaupt nicht zu** |
|---|---|---|---|---|---|
| Hohes Gewicht | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Reichweite des Akkus reicht nicht | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ladedauer des Akkus zu lang | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Hohe Anschaffungskosten | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Hohe Kosten des Ersatzakkus | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Komplexität der Technik | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Höhere Diebstahlgefahr | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Höheres Unfallrisiko | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Empfindlich bei schlechter Witterung (z.B. Nässe) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Stärkere Unfallschwere | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schlechte Steuerbarkeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Mangelnde Radwege | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schlechter baulicher Zustand der Radverkehrsanlagen (z.B. Unebenheit, Schlaglöcher) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Nicht für Elektrofahrräder/ E-Tretroller taugliche Radverkehrsanlagen (z.B. zu schmal) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

## Merkmale des Fahrverhaltens in der gegebenen Infrastruktur

In diesem Abschnitt der Befragung bitten wir Sie um ein paar anonyme Angaben zur Ihrer subjektive Sicherheitswahrnehmung im Bereich der Radverkehrsinfrastruktur (mit dem von Ihnen überwiegend benutzten Fahrradtypen/ E-Tretroller). Diese Angaben helfen uns, eine für Sie passende Radverkehrsinfrastruktur zu entwickeln.

**11.** Welche ***Kriterien der Radverkehrsanlagen*** halten Sie für wichtig***?***

| | **sehr wichtig** | **etwas wichtiger** | **etwas unwichtiger** | **sehr unwichtig** | **keine Antwort** |
|---|---|---|---|---|---|
| Breiterer Radweg/ Radfahrstreifen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| großzügiger Kurvenradius | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| für den Radverkehr spezifische Führungsformen (z.B. baulicher Radweg) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Guter baulicher Zustand (z.B. Ebenheit, Griffigkeit) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Vorrang der Führung des Radverkehrs (z.B. Fahrradstraße) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Strecken mit weniger Kfz | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Strecken mit niedriger zulässiger Geschwindigkeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Strecken mit wenigen Störungen von Fußgängern | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| direkte Führung des Linksabbiegens am Knotenpunkt | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| die an den Radverkehr angepasste Lichtsignalsteuerung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Umwegfreie Führung/ Schnelle Verbindung zwischen A und B | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**12.** Welche ***Fahrverhalten*** werden mit dem Elektrofahrrad (Lastenrad) / E-Tretroller (im Vergleich zum Fahrrad) besonders wahrgenommen? *

| | **trifft voll zu** | **trifft eher zu** | **teils/ teils** | **trifft eher nicht zu** | **trifft überhaupt nicht zu** |
|---|---|---|---|---|---|
| Höhere Geschwindigkeit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Häufiges Überholen anderer Radfahrer auf ebenen Strecken | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Häufiges Überholen anderer Radfahrer auf der Steigung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Leichtes Befahren steiler Steigung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Schnelles Befahren steiler Steigung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schnelles Anfahren am Knotenpunkt | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Leichte Beschleunigung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Längerer Bremsweg bei Trockenheit | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Längerer Bremsweg bei Nässe | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Erhöhung des Gewichts der zu transportierenden Güter | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**13.** Bitte äußern Sie Ihre Meinung zu folgenden Aussagen über ***Infrastrukturnutzung***

| | **trifft voll zu** | **trifft eher zu** | **teils/ teils** | **trifft eher nicht zu** | **trifft überhaupt nicht zu** |
|---|---|---|---|---|---|
| Ich bevorzuge breitere Radverkehrsanlagen, weil ich mich sonst unsicher fühle. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ich bevorzuge breitere Radverkehrsanlagen, um das Überholen zu vereinfachen. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ich fahre lieber auf die Fahrbahn als auf dem Radweg oder Gehweg. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ich habe viele Konflikte mit Fußgängern, wenn ich auf dem Gehweg fahre. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**14.** Inwieweit stimmen Sie dem folgenden ***regelwidrigen Fahrverhalten*** zu?

| | **trifft voll zu** | **trifft eher zu** | **teils/ teils** | **trifft eher nicht zu** | **trifft überhaupt nicht zu** |
|---|---|---|---|---|---|
| Ich fahre manchmal auf der Fahrbahn, selbst wenn der Radweg/ Gehweg benutzungspflichtig ist. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ich fahre manchmal auf dem Gehweg, der nicht für den Radverkehr freigegeben ist. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ich befahre die Radverkehrsanlagen in der "falschen" Richtung, um den Umweg zu vermeiden, obwohl das nicht erlaubt ist. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Ich fahre manchmal beim Rotlicht. | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**15.** Wie ***sicher*** fühlen Sie sich mit einem Radverkehr (mit Hilfsmotor) allgemein?

- ☐ sehr sicher
- ☐ sicher
- ☐ teils - teils
- ☐ unsicher
- ☐ sehr unsicher

**16.** Wie schätzen Sie die Verkehrssicherheit mit verschiedener ***Breite*** des ***Sicherheitsraums/ Sicherheitstrennstreifens*** der Radverkehrsanlagen ein?

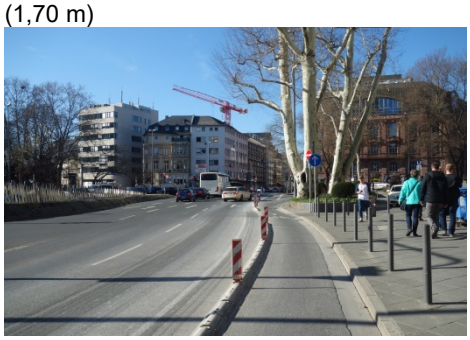
| | **gefährlich zu fahren** | **etwas gefährlich zu fahren** | **ungefährlich zu fahren** | **ziemlich sicher zu fahren** |
|---|---|---|---|---|
| Längsparken ohne Sicherheitstrennstreifen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Längsparken mit 0,25 m Breite nicht markiertem Sicherheitsraum | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Längsparken mit 0,50 m breitem Sicherheitstrennstreifen | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Längsparken mit 0,75 m breitem Sicherheitstrennstreifen<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Radfahrstreifen mit 1,25 m breitem Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (1,85 m breiter Radfahrstreifen)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Radweg ohne Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Radweg mit 0,50 m breitem Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| **17.** Wie schätzen Sie die Eignung der ***Breite*** der ***Radverkehrsanlagen*** ein | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **gefährlich zu fahren** | **etwas gefährlich zu fahren** | **ungefährlich, aber schwierig zu überholen** | **einfach zu überholen** |
| Schutzstreifen mit Mindestmaß (1,25 m Breite) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schutzstreifen mit Regelmaß (1,50 m Breite) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Schutzstreifen mit Übermaß (1,75 m Breite) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Radfahrstreifen mit Mindestmaß (1,50 m Breite) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Radfahrstreifen mit Regelmaß (1,85 m Breite)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Radfahrstreifen mit Übermaß (2,00 m Breite)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Einrichtungsradweg mit Untermaß (1,30 m Breite)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Einrichtungsradweg mit Mindestmaß (1,60 m Breite)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Einrichtungsradweg mit Regelmaß (2,00 m Breite) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Zweirichtungsradweg mit Untermaß (1,60 m Breite)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Zweirichtungsradweg mit Mindestmaß (2,50 m Breite)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Zweirichtungsradweg mit Regelmaß (3,00 m Breite)<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| schmaler geschützter Radfahrstreifen mit 1,40 m Breite<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Geschützter Radfahrstreifen mit mäßiger Breite (1,70 m)<br>  | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| breiter geschützter Radfahrstreifen mit 2,30 m Breite<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| **18.** Wie schätzen Sie die Eignung der ***Längsneigung*** der Infrastruktur ein | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **kaum Einfluss** | **geringe Geschwindigkeitsreduzierung** | **Deutliche Geschwindigkeitsreduzierung** | **Absteigen und Schieben** |
| gegen 1% Steigung<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| gegen 3% Steigung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| gegen 5% Steigung<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| gegen 6% Steigung<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| **19.** Wie schätzen Sie die Befahrbarkeit im ***Kurvenbereich*** der Radverkehrsanlagen ein? | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **kaum Einfluss** | **geringe Geschwindigkeitsreduzierung** | **Deutliche Geschwindigkeitsreduzierung** | **Absturzrisiko** |
| Verschwenkung aufgrund der Straßenraumgestaltung<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Übergang vom Radfahrstreifen in Radweg<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Knick der Radverkehrsanlage | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Rechts Abbiegen (Spitzwinkel) mit Übergang von der Fahrbahn in Radweg | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**20.** Für wie gefährlich halten Sie die folgenden Verkehrssituationen?

| | **gefährlich zu fahren** | **etwas gefährlich zu fahren** | **ungefährlich zu fahren** | **ziemlich sicher zu fahren** |
|---|---|---|---|---|
| Auf dem breiten gemeinsamen Geh-/Radweg mit mehr Fußgänger und Radverkehr | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Auf dem schmalen gemeinsamen Geh-/Radweg mit weniger Fußgänger und Radverkehr | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| Fahrbahnführung innerorts<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Fahrbahnführung außerorts<br> | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**21.** Wenn Sie mit dem Radverkehr (mit dem Hilfsmotor) an der ***Kreuzung*** nach ***links abbiegen*** möchten, welche Führungsformen bevorzugen Sie?

☐ direkt nach links abbiegen mit Kfz

☐ indirekt nach links abbiegen: zuerst geradeaus fahren auf der Radverkehrsfurt oder neben der Radverkehrsfurt und auf die zweite Überquerung warten

☐ Fußgängerfurt benutzen

**22.** Wie schätzen Sie das Risiko zwischen dem ***nach rechts abbiegenden Kraftfahrzeug*** und dem geradeaus fahrenden Radverkehr ein?

| | **sehr gefährlich** | **gefährlich** | **etwas gefährlich** | **ungefährlich** |
|---|---|---|---|---|
| Verflechtung vom nach rechts abbiegendem Kraftfahrzeug und geradeaus fahrenden Radverkehr in der Knotenpunktzufahrt (Fahrradweichen) | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Dreiecksinsel mit Rechtsabbiegefahrbahnen ohne Signalsteuerung | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| abgesetzter Radweg | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

| **23.** Werden Sie die ***Fahrbahn*** oder den ***Seitenraum*** in den unteren Situationen nehmen? | | | |
|---|---|---|---|
| | **Fahrbahn** | **Seitenraum (Radweg/ Gehweg)** | **Weiß nicht** |
| Hauptstraße und Gehweg mit dem Zusatz "Radfahrer frei"<br> | ☐ | ☐ | ☐ |
| Hauptstraße und Radweg ohne Schild. Die Piktogramme sind auf der Fahrbahn und dem Radweg markiert.<br> | ☐ | ☐ | ☐ |
| Hauptstraße und Radweg ohne Schild. Weder auf dem Radweg noch auf der Fahrbahn ist ein Piktogramm markiert.<br> | ☐ | ☐ | ☐ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Straße ohne Schild und ohne Piktogramm | ☐ | ☐ | ☐ |
| Hauptstraße und ein schmaler gemeinsamer Geh-/Radweg | ☐ | ☐ | ☐ |

**24.** Wissen Sie was eine ***Radschnellverbindung***/ ein ***Radschnellweg*** ist?

- ☐ ja, ich habe schon eine benutzt
- ☐ ja, aber ich habe noch keine Radschnellverbindung befahren
- ☐ Ich habe davon gehört, aber ich weiß nicht genau, was es ist
- ☐ Ich weiß gar nicht
- ☐ Motorroller
- ☐ Lastenrad mit Elektroantrieb
- ☐ Lastenrad ohne Elektroantrieb

Die Fragen mit * beziehen sich nur auf die betreffenden Gruppen basierend auf der Frage 2

## Personenmerkmale

In diesem Abschnitt der Befragung bitten wir Sie um ein paar anonyme Angaben zu Ihren Personen. Diese Angaben helfen uns, Ihre Fahrverhalten und Entscheidungsmotivationen besser zu verstehen.

**25. Geschlecht**

☐ männlich ☐ weiblich ☐ anderes

**26. Alter**

☐ < 18 Jahre ☐ 18 – 24 Jahre ☐ 25 – 40 Jahre
☐ 41 – 59 Jahre ☐ 60 – 64 Jahre ☐ 65 – 75 Jahre
☐ älter als 75 Jahre

**27. Tätigkeit**

| | | |
|---|---|---|
| ☐ Vollzeit berufstätig | ☐ Teilzeit berufstätig | ☐ Zurzeit arbeitssuchend |
| ☐ Auszubildende(r) | ☐ Schüler(in) | ☐ Student(in) |
| ☐ Hausfrau/-mann | ☐ Rentner(in)/Pensionär(in) | ☐ Wehr-/Zivildienstleistender |
| ☐ Sonstiges | | |

**28.** Ihr ***höchster Schulabschluss*** ist

☐ noch Schüler(in) ohne Abschluss ☐ Volks- oder Hauptschule
☐ Mittlere Reife (Realschule) ☐ Abitur, Hochschulreife
☐ Universitäts-/Hochschulabschluss

**29.** Welche ***Fahrkarten*** nutzen Sie am häufigsten beim Fahren mit öffentlichen Verkehrsmitteln in Ihrer Region?

☐ Ich fahre (fast) nie mit öffentlichen Verkehrsmitteln

☐ Einzelfahrkarte, Tageskarte ☐ Mehrfachfahrkarte
☐ Monatskarte ☐ Jahreskarte
☐ Jobticket, Semesterticket, Landesticket

**30.** Haben Sie den folgenden ***Führerschein***? (Mehrfachauswahl ist möglich)

☐ Pkw-Führerschein (Führerscheinklasse B/BF 17)
☐ Kraftrad-Führerschein (Führerscheinklasse A)
☐ Kleinkraftrad-Führerschein (Führerscheinklasse AM)
☐ Mofa-Führerschein
☐ keine der angegebenen Führerscheine

## Haushaltsbefragung

Zum Ende der Befragung bitten wir Sie um ein paar anonyme Angaben zu Ihrem Haushalt. Diese Angaben helfen uns, den Fahrzeugbestand in Ihrem Haushalt und verhaltensbezogene Hintergründe zu erfassen.

| **31.** Wie viele Personen leben in Ihrem Haushalt (Sie selbst miteingeschlossen)? | |
|---|---|
| Kinder unter 14 Jahre | **[Anzahl]** |
| Kinder zwischen 14 und 18 Jahre | **[Anzahl]** |
| Erwachsene über 18 Jahre | **[Anzahl]** |

| **32.** Wie viele der folgenden ***Fahrzeuge*** gibt es in Ihrem Haushalt? | | | |
|---|---|---|---|
| Pkws | **[Anzahl]** | funktionstüchtige Fahrräder | **[Anzahl]** |
| Pedelecs | **[Anzahl]** | S-Pedelecs | **[Anzahl]** |
| Mofas | **[Anzahl]** | Motorroller | **[Anzahl]** |
| Motorräder | **[Anzahl]** | Lastenräder ohne Elektroantrieb | **[Anzahl]** |
| Lastenräder mit Elektroantrieb | **[Anzahl]** | | |

| **33.** Ihre ***Postleitzahl*** Ihres Wohnorts | |
|---|---|
| Bitte geben Sie die Postleitzahl Ihres Wohnortes an: | **[PLZ]** |

**34.** Wie viele Minuten benötigen Sie von Ihrer Wohnung zu Fuß zur nächsten ***Haltestelle*** des ***öffentlichen Verkehrs***?

| | Weniger als 10 Minuten | 10 - 20 Minuten | 20 - 30 Minuten | Mehr als 30 Minuten | Keine Haltestelle in der Umgebung | weiß ich nicht |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Bus | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| Straßenbahn | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| U-Bahn | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |
| S-Bahn/ Regionalbahn | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ | ☐ |

**35.** Wie hoch ist das monatliche ***Nettoeinkommen*** Ihres Haushalts?

- ☐ unter 500 € pro Monat
- ☐ 500 € bis 1000 € pro Monat
- ☐ 1000 € bis 2000 € pro Monat
- ☐ 2000 € bis 3000 € pro Monat
- ☐ 3000 € bis 4000 € pro Monat
- ☐ 4000 € bis 5000 € pro Monat
- ☐ über 5000 € pro Monat

**36. Falls Sie noch Anregungen oder Hinweise zur Verbesserung der Radinfrastruktur haben, können Sie uns diese hier mitteilen**

**Vielen Dank für Ihre Mitarbeit und Ihre Unterstützung!**

## Anhang 7 Darstellung der Positionsverteilung

Die Positionsverteilung erfolgt durch die Positions-Summenlinie der Mittelachse (mittlere Reifen) der Fahrzeuge bezogen auf die Bordsteinkante zuzüglich minimaler und maximaler Position der Fahrzeugüberhänge. Die Positions-Summenlinie wird auf einem Balken positioniert. Die folgende Abbildng zeigt ein Beispiel der Positionsverteilung der Fahrräder ohne Anhänger auf einem 1,50 m breiten Radweg. Der schraffierte Balken umfasst die minimale (0% - Wert der Position) und maximale (100% - Wert der Position) Position der Mittelachse. Dazwischen liegen die 25%- (grüne Linie), 50%- (rote Linie) und 75%- (blaue Linie) Position der Fahrzeugmittelachse. Der weiße Balken beschreibt die minimale Position der von der Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugaußenkante und die maximale Position der von der Bordsteinkante abgewandten Fahrzeugaußenkante.

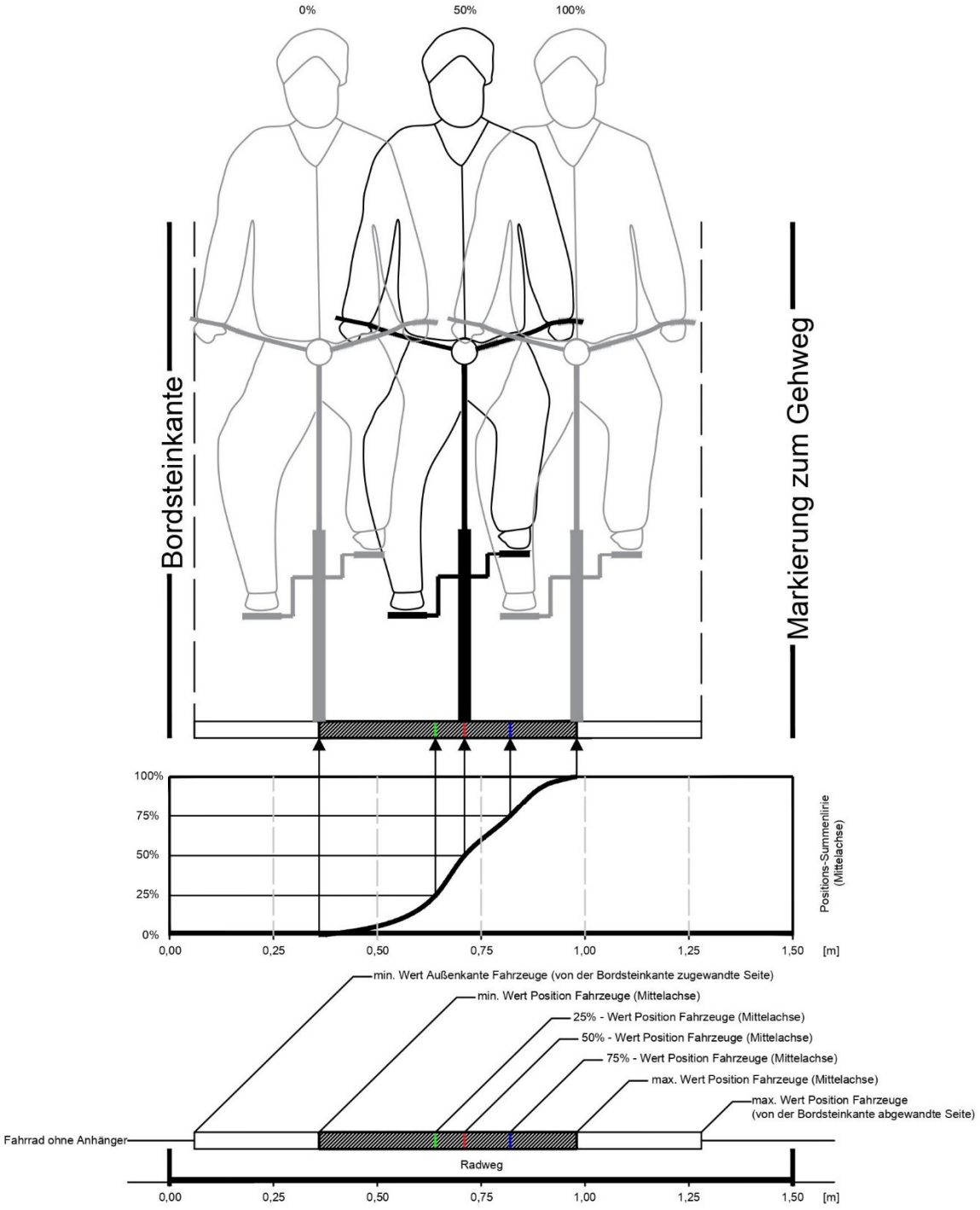



**Abbildung A7.1: Darstellung der Positionsverteilung im Querschnitt der Radverkehrsanlagen**

## Anhang 8 Beschreibung der Merkmale aus der Videoanalyse durch Kinovea

Kinovea wurde ursprünglich für die Sportanalyse entwickelt und bietet spezifische Funktionen für die Auswertung der Videoerfassung des Verkehrsablaufs. Die Funktion des Programms Kinovea ist geeignet für den Forschungszweck mit der Videoanalyse. Im Folgenden erfolgt eine Beschreibung der spezifischen Funktionen für die Auswertung der Videoerfassung des Verkehrsablaufs mithilfe von Kinovea.

1) Die Zeit-Präzision ist bis zu einer Millisekunde möglich, die zur Festlegung der zeitlichen Messgröße wichtig ist. Mit der Markierung von 10-Meter-Intervallen ist die Geschwindigkeit anhand des Weg-Zeit-Gesetzes zu berechnen (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**);

**Abbildung A8.1: Beispiel für die Geschwindigkeitsberechnung**

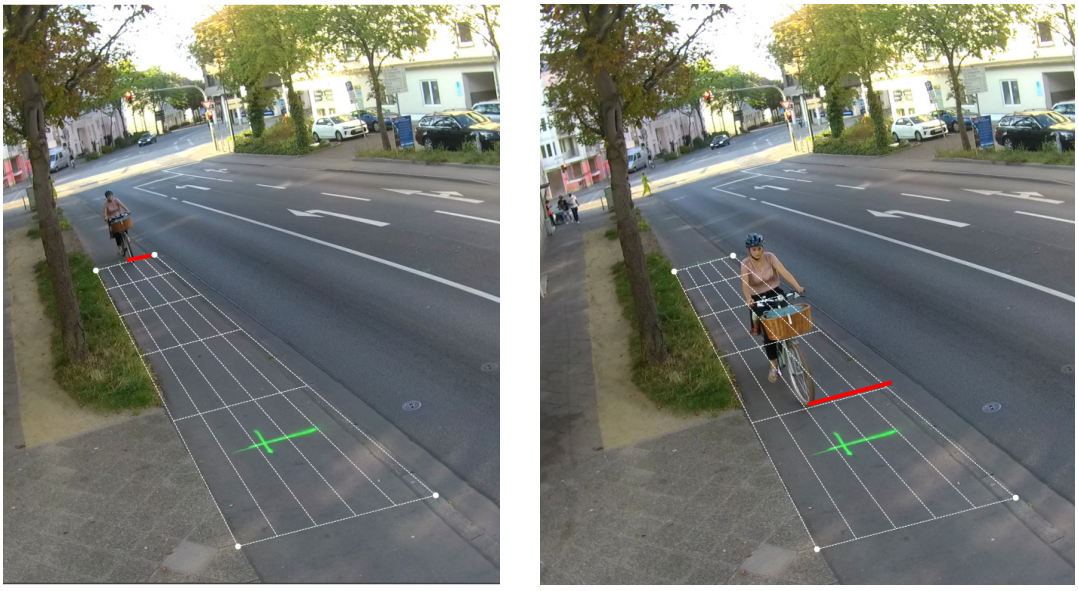


**Abbildung A8.2: Messung der seitlichen Schwankung durch „Raster“**

**Abbildung A8.3: Darstellung der Trajektorie-Verfolgung und Setzen der Markierung von Konfliktpunkten**

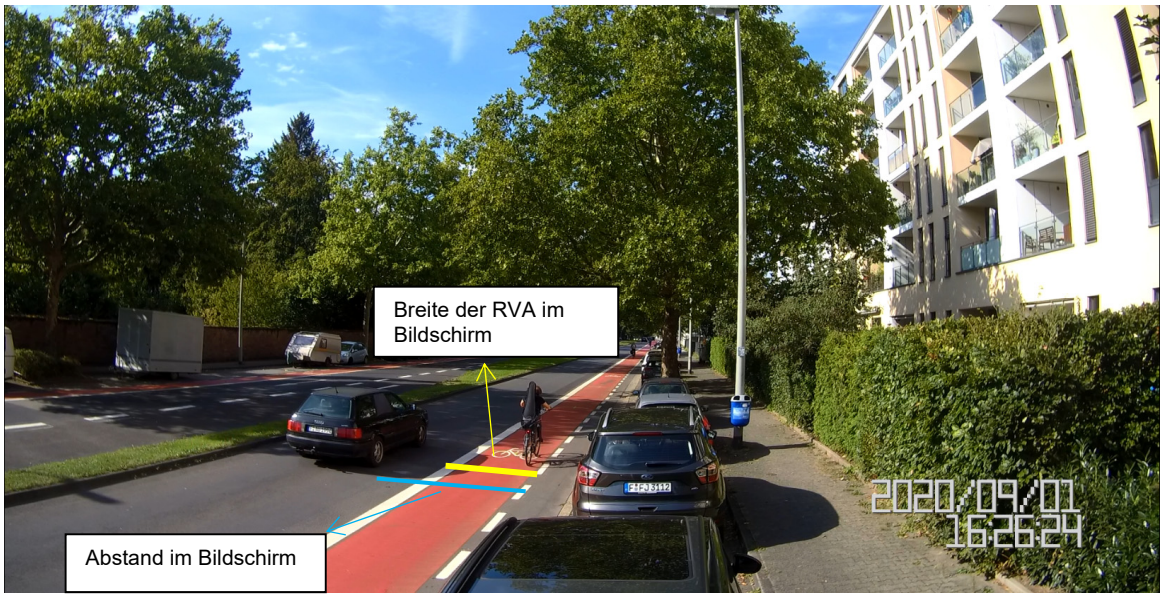



**Abbildung A8.4: Messmethode für abstandsbezogene Messgrößen**

2) Im Programm ist ein Raster hinzuzufügen, womit eine seitliche Schwankung nach den berührten Rechtecken messbar ist (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**);

3) In der Aufzeichnung wird die Trajektorie der Reifen automatisch angezeigt und kann auch manuell korrigiert werden. Außerdem wird der potentielle Konfliktpunkt markiert (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Dadurch kann der Zeitraum ermittelt werden, wo zwei Verkehrsteilnehmende den Konfliktbereich erreichen. Dies dient überwiegend zur quantitativen Analyse der Interaktionsvorgänge.

4) Die abstandsbezogene Messgröße wird anhand einer Messung am Bildschirm mit Hilfe von Lineal und mit einer Umrechnung anhand der folgenden Formel ermittelt (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese Umrechnung setzt das Breitenmaß von Radverkehrsanlagen voraus.

$$Abstand\ in\ der\ Realität = Abstand\ am\ Bildschirm \cdot \frac{Breite\ von\ Radverkehrsanlagen\ in\ der\ Ralität}{Breite\ von\ Radverkehrsanlagen\ am\ Bildschirm}$$

# Anhang 9 Graphische Darstellung der Unfallauswertung

## Anhang 9.1 Verkehrsflächen der Unfallstelle

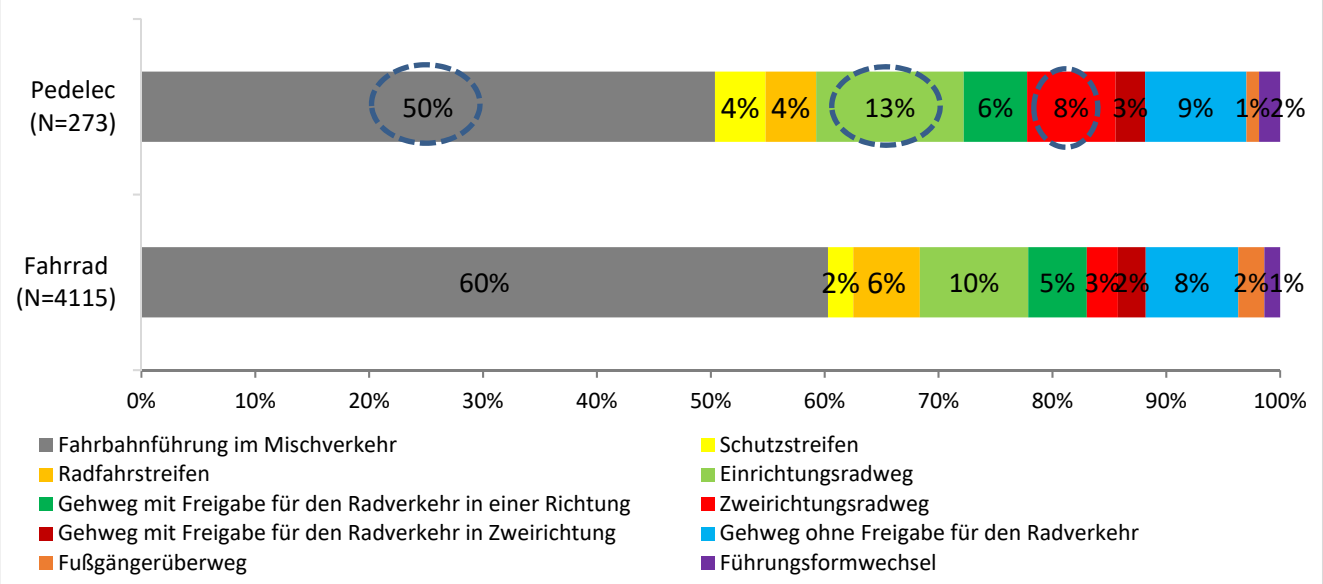



**Abbildung A9.1: Verkehrsflächen zum Unfallgeschehen (N: Anzahl der Unfälle)[20]**

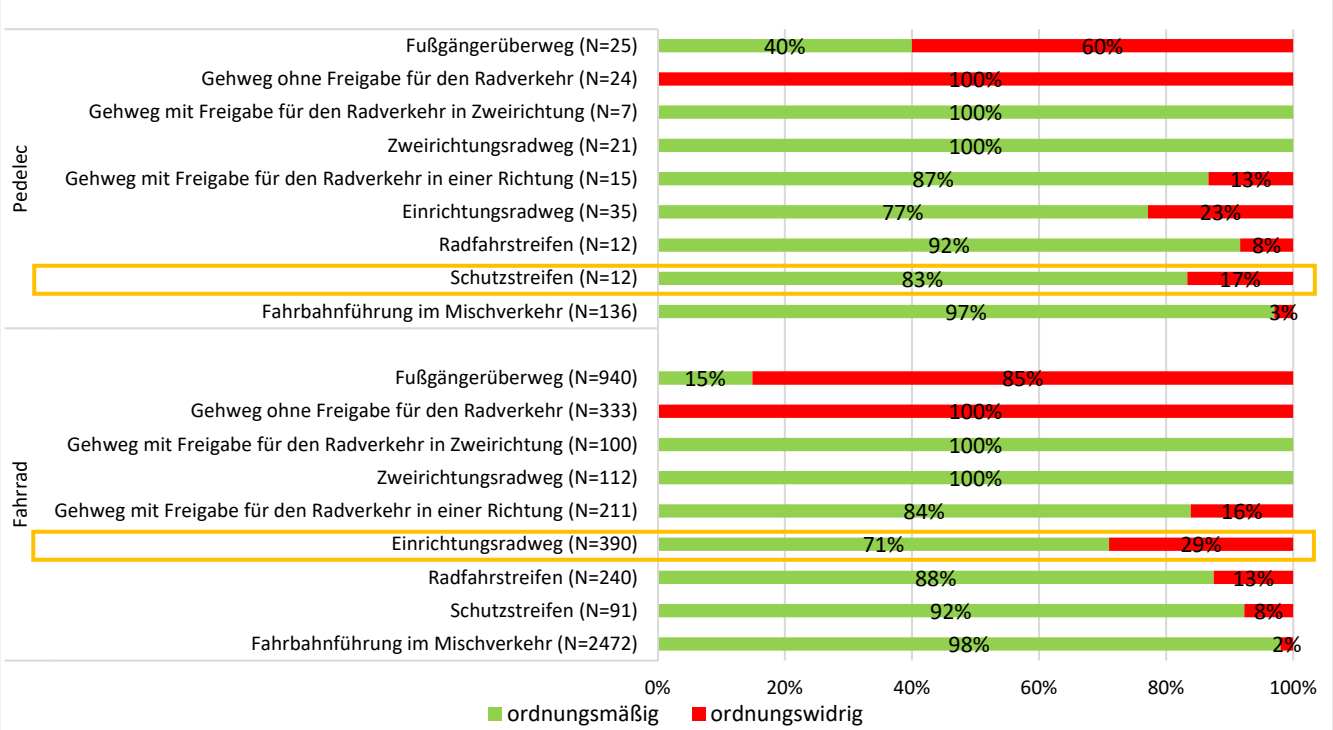



**Abbildung A9.2: Regelwidrige Verkehrsflächennutzung zum Unfallgeschehen (N: Anzahl der Unfälle)**

[20] „Gehweg mit Freigabe für den Radverkehr“ beschreibt den gemeinsamen Geh- und Radweg und Gehweg „Radfahrer frei“. Die beiden Führungsformen können in der Unfalldatenbank nicht genau unterschieden werden; Die vorliegenden Führungsformen umfassen die Führungsformen an den Knotenpunkten, nämlich Rad- oder Fußverkehrsfurten.

## Anhang 9.2 Charakteristik der Unfallstelle

**Tabelle A9.1: Vergleich der Charakteristik der Unfallstelle (Mehrfachnennung möglich)**

| Nr. | Charakteristik | Fahrrad | Pedelec |
|---|---|---|---|
| 1 | Kreuzung | 25% | 28% |
| 2 | Einmündung | 22% | 24% |
| 3 | Grundstückein-/ausfahrten | 10% | 12% |
| 4 | Steigung | 0% | 1% |
| 5 | Gefälle | 2% | 3% |
| 6 | Kurve | 2% | 1% |
| 7 | Kreisverkehr | 3% | 4% |
| Summe-Unfälle | | 4196 | 277 |

**Tabelle A9.2: Charakteristik der Unfallstelle in Abhängigkeit der Verkehrsflächen (N: Anzahl der Unfälle)**

| | Fahrbahnführung im Mischverkehr | Schutzstreifen | Radfahrstreifen | Einrichtungsrad-weg | Zweirichtungsrad-weg | Gehweg ohne Freigabe für den Radverkehr | Fußgängerüber-weg | Führungswechsel |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fahrrad** | | | | | | | | |
| 1-Kreuzung (N=1050) | 66% | 2% | 7% | 13% | 3% | 5% | 2% | 1% |
| 2-Einmündung (N=914) | 52% | 3% | 7% | 18% | 8% | 8% | 3% | 1% |
| 3-Grundstückein-/aus-fahrten (N=431) | 34% | 2% | 5% | 28% | 7% | 21% | 0% | 2% |
| 4-Steigung (N=15) | 42% | 8% | 15% | 12% | 8% | 12% | 0% | 4% |
| 5-Gefälle (N=89) | 68% | 1% | 11% | 11% | 5% | 2% | 0% | 2% |
| 6-Kruve (N=95) | 69% | 1% | 7% | 6% | 13% | 0% | 1% | 2% |
| 7-Kreisverkehr (N=131) | 64% | 0% | 0% | 14% | 4% | 2% | 15% | 1% |
| **Pedelec** | | | | | | | | |
| 1-Kreuzung (N=78) | 52% | 4% | 8% | 18% | 11% | 5% | 1% | 0% |
| 2-Einmündung (N=67) | 41% | 8% | 3% | 21% | 15% | 10% | 0% | 2% |
| 3-Grundstückein-/aus-fahrten (N=33) | 36% | 0% | 6% | 28% | 6% | 25% | 0% | 0% |
| 4-Steigung (N=3) | 50% | 50% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| 5-Gefälle (N=7) | 44% | 0% | 0% | 33% | 11% | 11% | 0% | 0% |
| 6-Kruve (N=4) | 75% | 0% | 0% | 0% | 25% | 0% | 0% | 0% |
| 7-Kreisverkehr (N=10) | 70% | 0% | 0% | 20% | 10% | 0% | 0% | 0% |

## Anhang 9.3 Unfallfolge

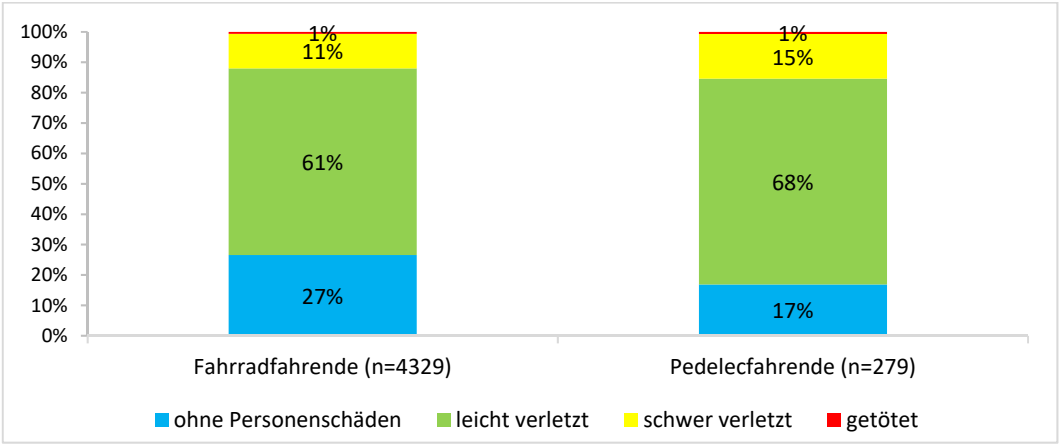



**Abbildung A9.3: Verletzungsart der Fahrrad- und Pedelecfahrenden (n: Anzahl der Verkehrsbeteiligten mit Fahrrad/ Pedelec)**

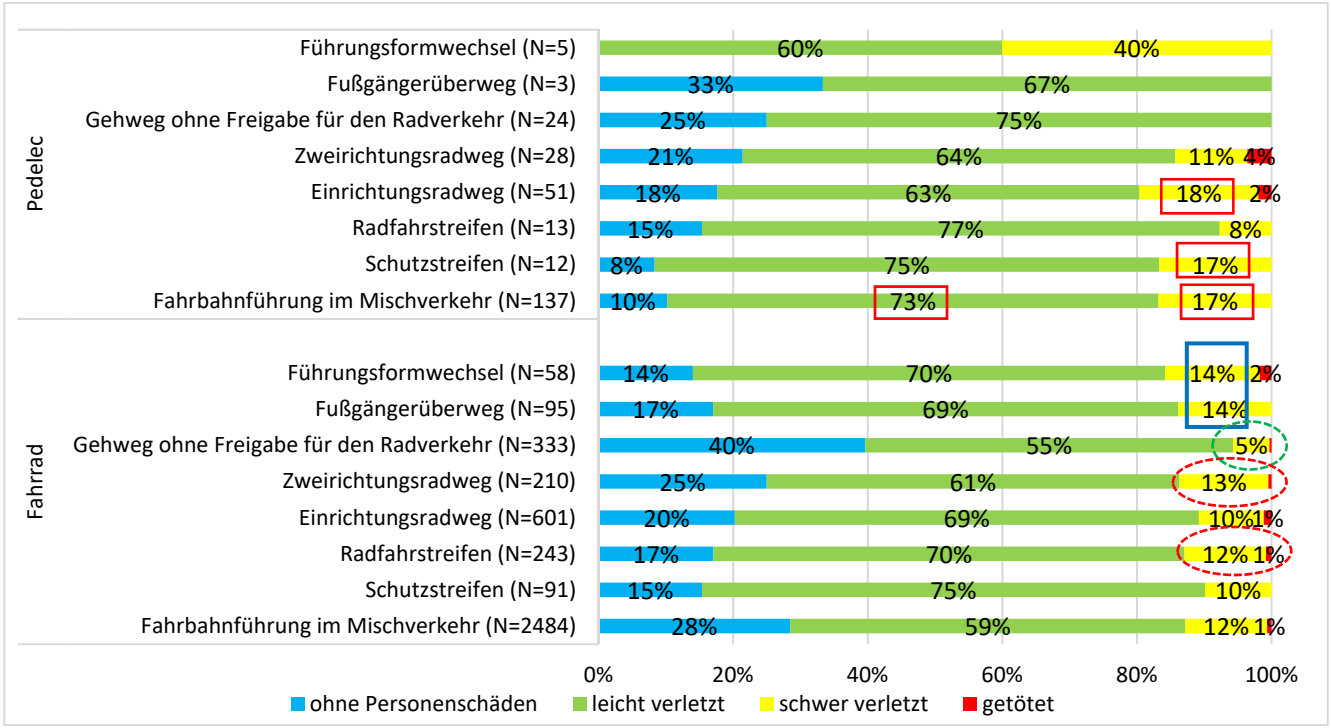



**Abbildung A9.4: Unfallfolge in Abhängigkeit von den Verkehrsflächen der Unfallstelle (N: Anzahl der Unfälle)**

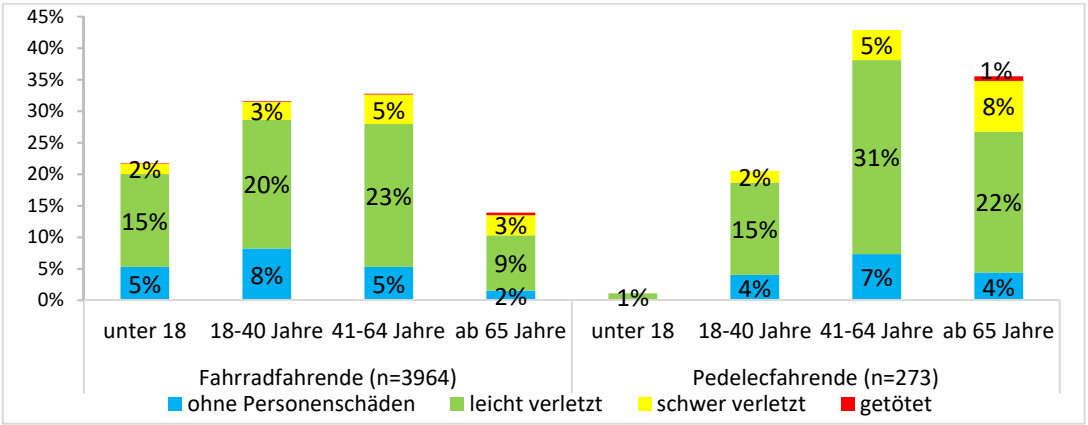



**Abbildung A9.5: Unfallfolge in Abhängigkeit der Altersgruppen (n: Anzahl der Verkehrsbeteiligten mit Fahrrad/ Pedelec)**

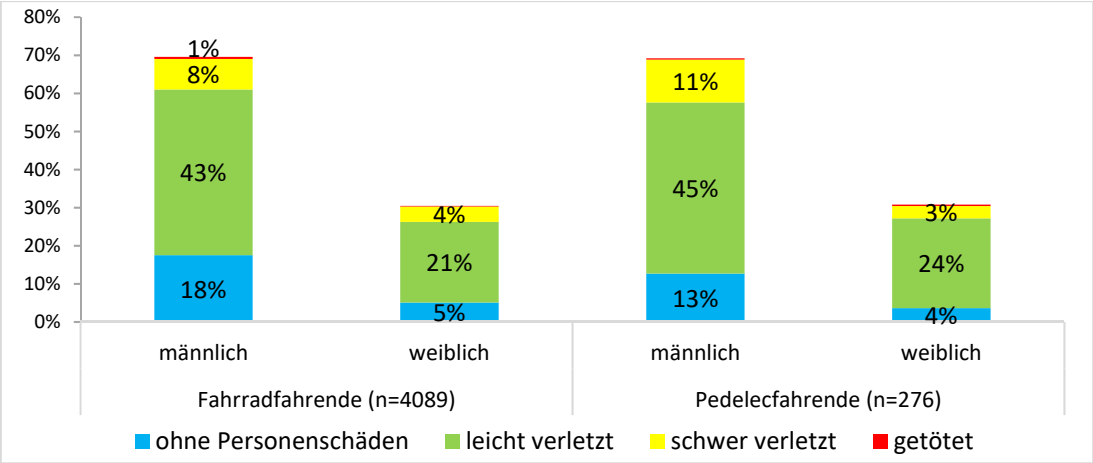



**Abbildung A9.6: Unfallfolge in Abhängigkeit vom Geschlecht (n: Anzahl der Verkehrsbeteiligten mit Fahrrad/ Pedelec)**

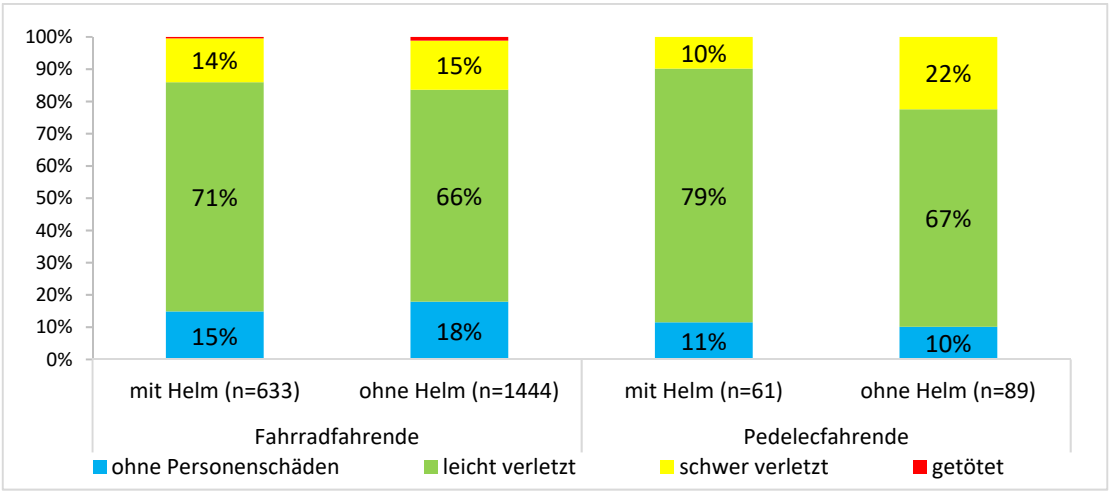



**Abbildung A9.7: Unfallfolge in Abhängigkeit der Helmnutzung (n: Anzahl der Unfallbeteiligten mit dem Fahrrad/ Pedelec)**

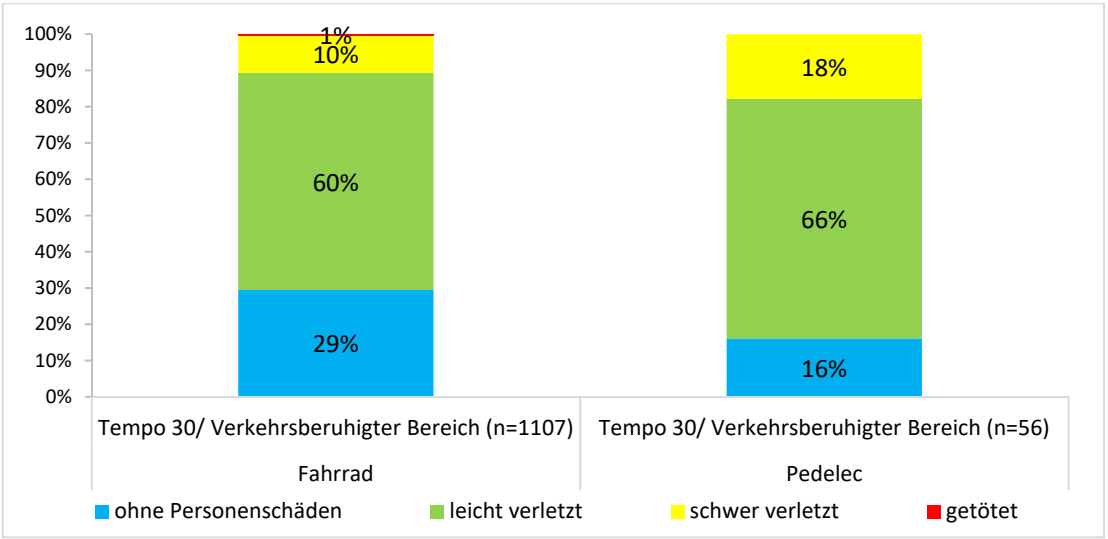



**Abbildung A9.8: Unfallfolge der Unfallstelle in verkehrsberuhigtem Bereich oder Tempo 30-Zone (n: Anzahl der Unfallbeteiligten mit dem Fahrrad/ Pedelec)**

## Anhang 9.4 Unfallbeteiligung

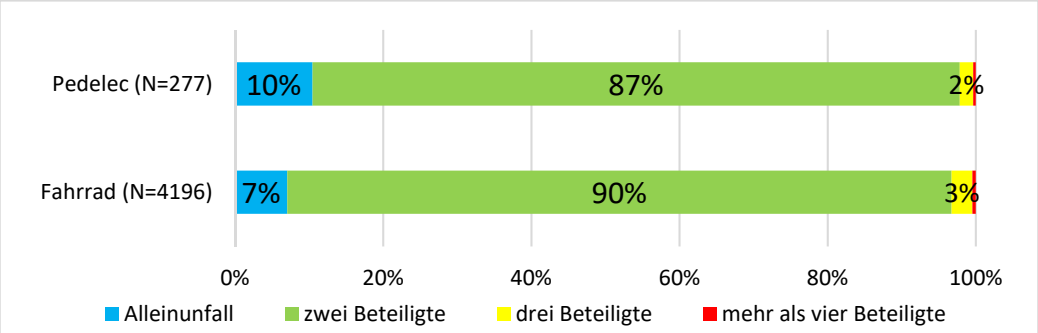



**Abbildung A9.9: Anzahl der Unfallbeteiligten (N: Anzahl der Unfälle)**

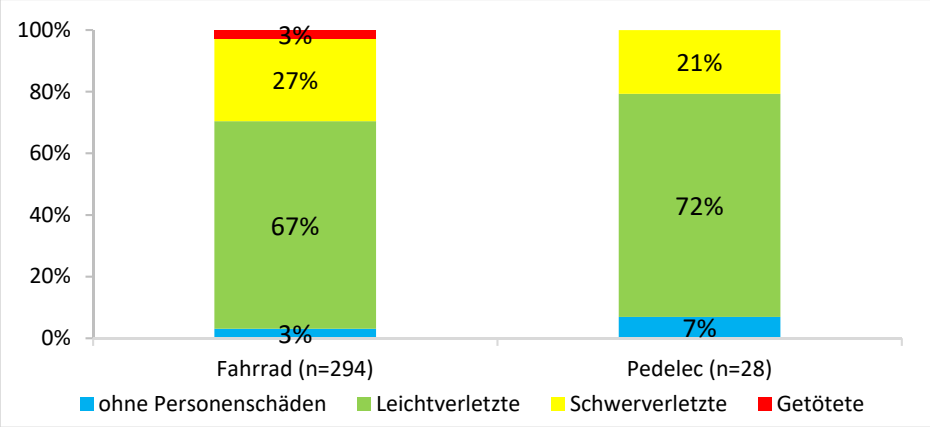



**Abbildung A9.10: Unfallfolge beim Alleinunfall (n: Anzahl der Unfallbeteitligten mit dem Fahrrad/ Pedelec)**

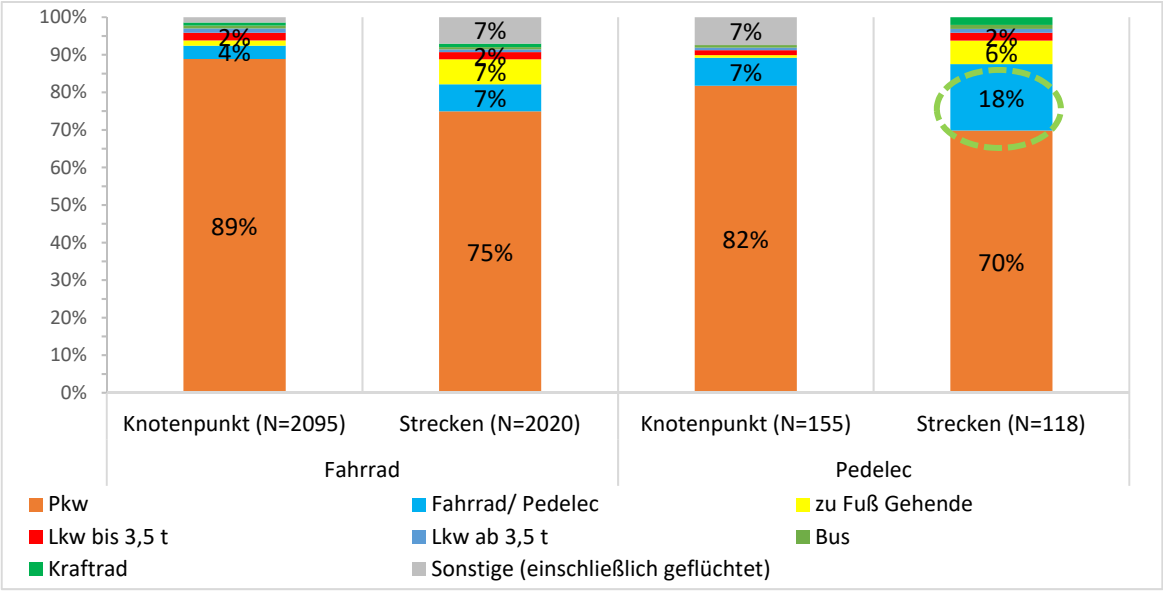
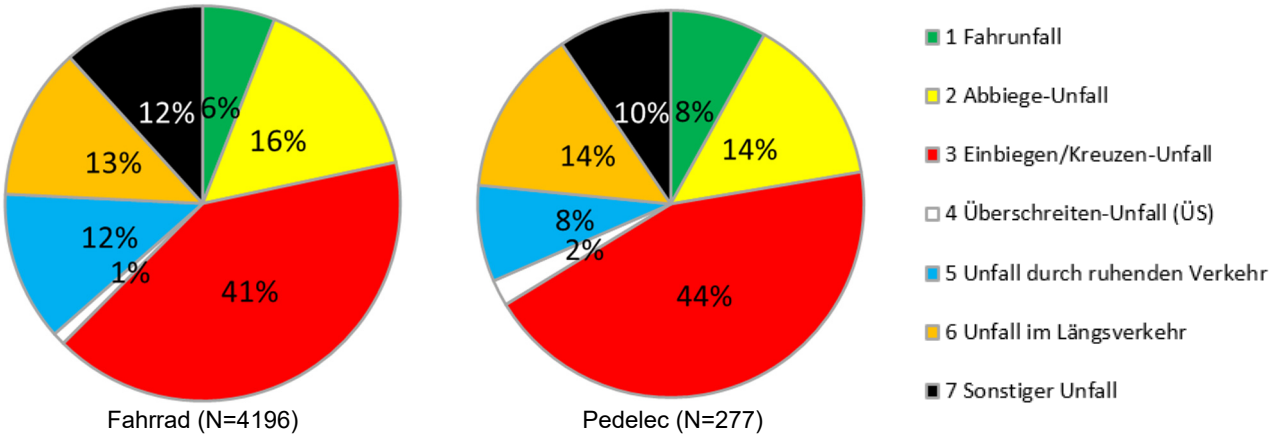



**Abbildung A9.11: Art der Unfallbeteiligten (N: Anzahl der Unfälle)**

## Anhang 9.5 Unfalltypen




Fahrrad (N=4196) Pedelec (N=277)

**Abbildung A9.12: Unfalltypen mit dem Fahrrad (links) und Pedelec (rechts) (N: Anzahl der Unfälle)**

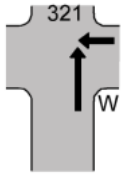
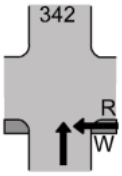
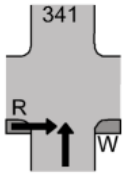
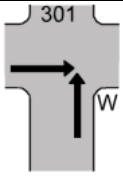
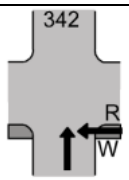
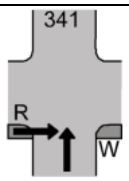
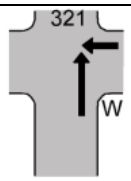
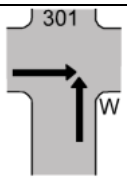
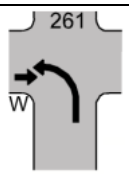
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| mit Fahrrad (N=4196) |  8% |  8% |  8% | 7% |  6% |
| mit Pedelec (N=277) |  12% |  8% |  8% |  5% |  4% |

**Abbildung A9.13: Häufigste fünf (dreistellige) Unfalltypen mit dem Fahrrad und Pedelec (N: Anzahl der Unfälle)**

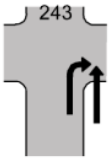
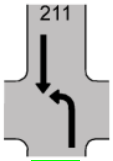
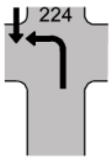
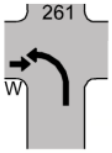
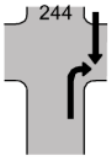
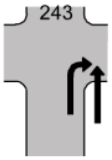
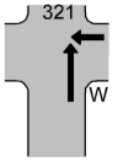
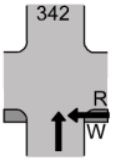
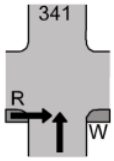
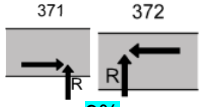
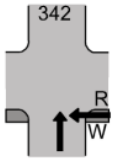
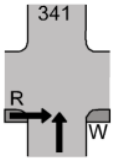
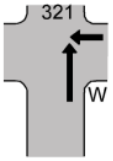
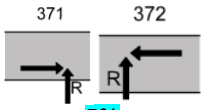
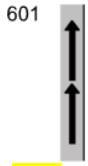
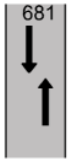
| Einstellige Unfalltypen | Fahrzeug | Dreistellige Unfalltypen | | | Sonderfall |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | |
| Abbiege-Unfall | Fahrrad (N=671) |  27% |  19% |  10% | |
| | Pedelec (N=42) |  31% |  15% |  15% | |
| Einbiegen/ Kreuzen-Unfall | Fahrrad (N=1720) |  22% |  19% |  14% |  9% |
| | Pedelec (N=122) |  28% |  19% |  18% |  5% |
| Unfall durch ruhenden Verkehr | Fahrrad (N=504) | 45% | 26% | 12% | |
| | Pedelec (N=22) | 45% | 18% | Bei weiteren dreistelligen Unfalltypen bestand keine häufigste Stelle | |
| Unfall im Längsverkehr | Fahrrad (N=545) | 21% | 19% | 16% | |
| | Pedelec (N=39) |  27% |  22% | 19% | |

**Abbildung A9.14: Häufigste dreistellige Unfalltypen der gesamten Unfalltypen (N: Anzahl der Unfälle)**

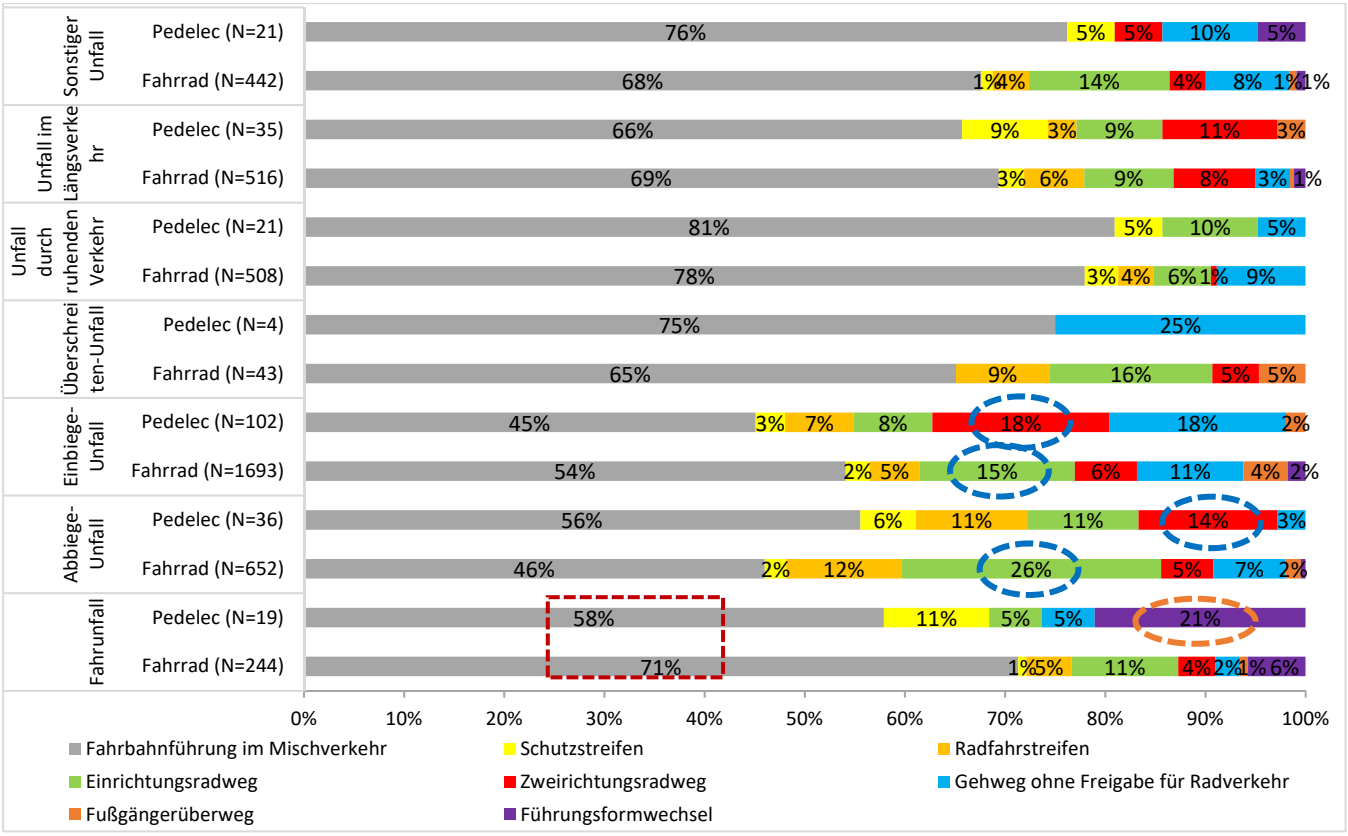



**Abbildung A9.15: Einstellige Unfalltypen in Abhängigkeit von Verkehrsflächen der Unfallstelle (N: Anzahl der Unfälle)**

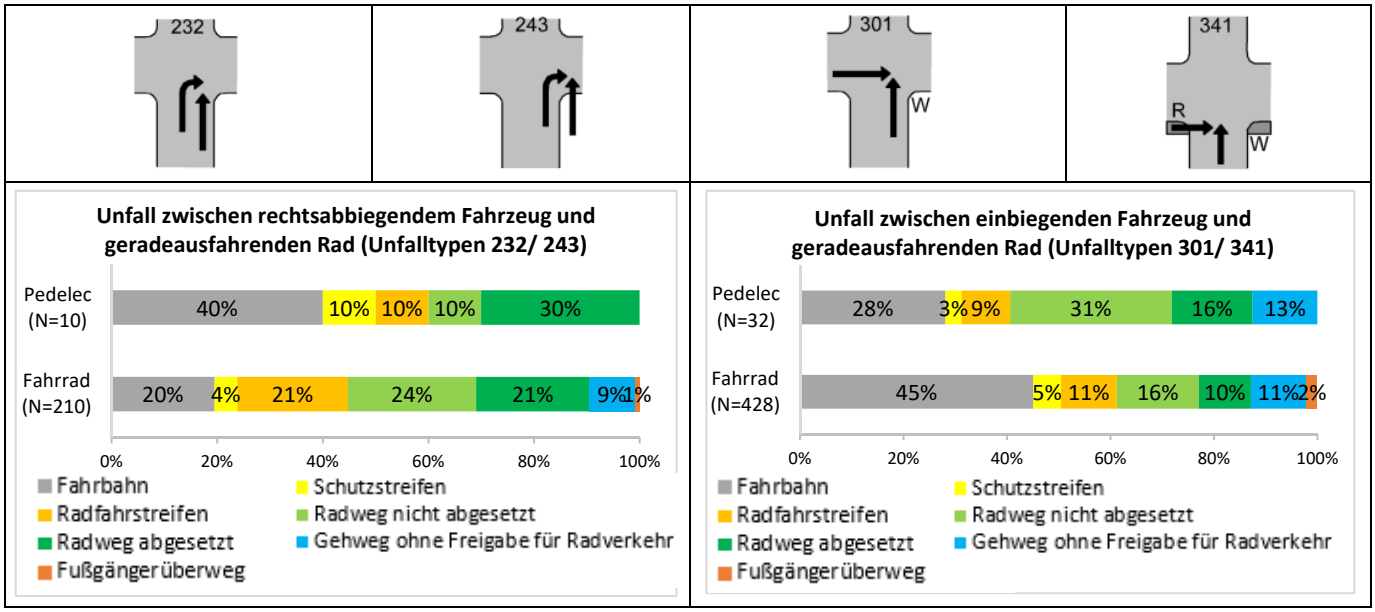



**Abbildung A9.16: Sonderauswertung der Unfalltypen 232/ 243 (links) und Unfalltypen 301/ 341 (rechts) in Abhängigkeit von Verkehrsflächen der Unfallstelle (N: Anzahl der Unfälle)**

## Anhang 9.6 Unfallursachen

**Tabelle A9.3: Unfallursachen der Unfälle an Knotenpunkten (N: Anzahl der Unfälle) (Mehrfachnennung möglich)**

| Knotenpunkt | Fahrrad (N=2095) | | | Pedelec (N=155) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Alleinunfall | Radfahrend Hauptverursacher | Radfahrend-Nicht-Hauptverursacher | Alleinunfall | Radfahrend Hauptverursacher | Radfahrend-Nicht-Hauptverursacher |
| Verkehrstüchtigkeit | 1% | 1% | 1% | 1% | 2% | 1% |
| Straßenbenutzung | 0% | 7% | 8% | 0% | 8% | 15% |
| Geschwindigkeit | 1% | 1% | 0% | 1% | 1% | 3% |
| Abstand | 0% | 2% | 1% | 0% | 1% | 3% |
| Überholen | 0% | 1% | 2% | 0% | 1% | 0% |
| Vorbeifahren/ Nebeneinanderfahren | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% |
| Vorfahrt, Vorrang | 0% | 21% | 31% | 0% | 15% | 36% |
| Abbiegen, Wenden, Rückwärts | 0% | 8% | 24% | 0% | 6% | 19% |
| Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Ruhender Verkehr | 0% | 0% | 1% | 0% | 1% | 1% |
| Sonstige | 1% | 6% | 5% | 2% | 2% | 3% |

**Tabelle A9.4: Unfallursachen der Unfällen an Strecken (N: Anzahl der Unfälle) (Mehrfachnennung möglich)**

| Strecke | Fahrrad (N=2020) | | | Pedelec (N=118) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Alleinunfall | Radfahrend Hauptverursacher | Radfahrend-Nicht-Hauptverursacher | Alleinunfall | Radfahrend Hauptverursacher | Radfahrend-Nicht-Hauptverursacher |
| Verkehrstüchtigkeit | 3% | 5% | 1% | 7% | 2% | 1% |
| Straßenbenutzung | 1% | 10% | 7% | 1% | 8% | 11% |
| Geschwindigkeit | 1% | 1% | 0% | 1% | 1% | 1% |
| Abstand | 0% | 2% | 1% | 0% | 4% | 2% |
| Überholen | 0% | 2% | 4% | 0% | 2% | 8% |
| Vorbeifahren/ Nebeneinanderfahren | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% |
| Vorfahrt, Vorrang | 0% | 1% | 2% | 0% | 1% | 2% |
| Abbiegen, Wenden, Rückwärts | 0% | 9% | 21% | 0% | 9% | 29% |
| Falsches Verhalten gegenüber Fußgängern | 0% | 2% | 0% | 0% | 1% | 1% |
| Ruhender Verkehr | 0% | 1% | 7% | 0% | 0% | 9% |
| Sonstige | 7% | 21% | 5% | 9% | 9% | 6% |

# Anhang 10 Graphische Darstellung der Umfrageergebnisse

## Anhang 10.1 Soziodemographische Merkmale

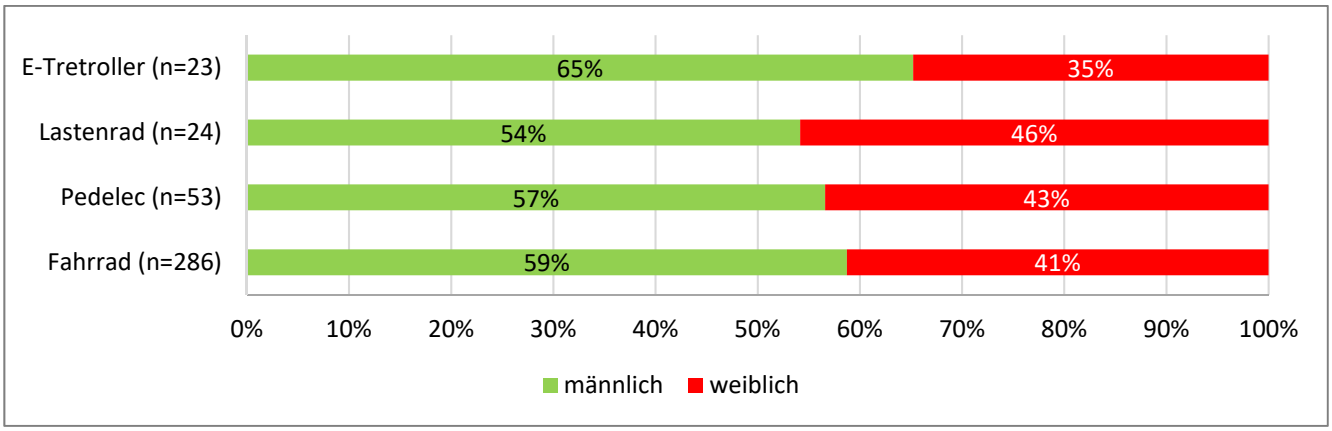



**Abbildung A10.1: Geschlechterverteilung der Rad- und E-Tretrollerfahrenden (n: Anzahl der Nutzenden)**

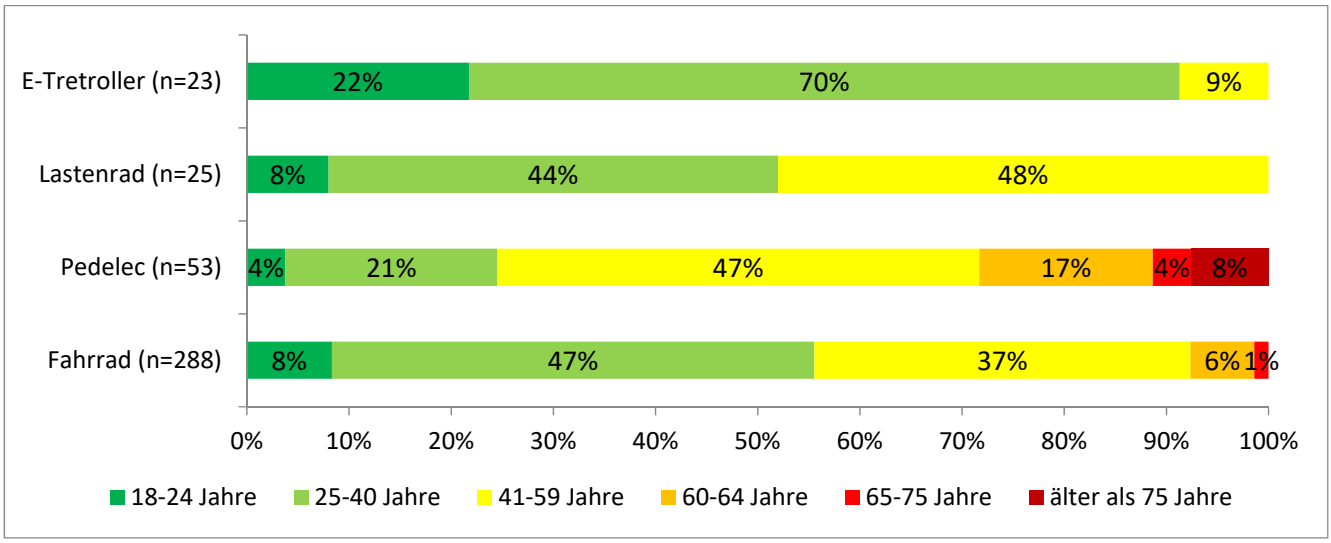



**Abbildung A10.2: Altersverteilung der Nutzenden (n: Anzahl der Nutzenden)**

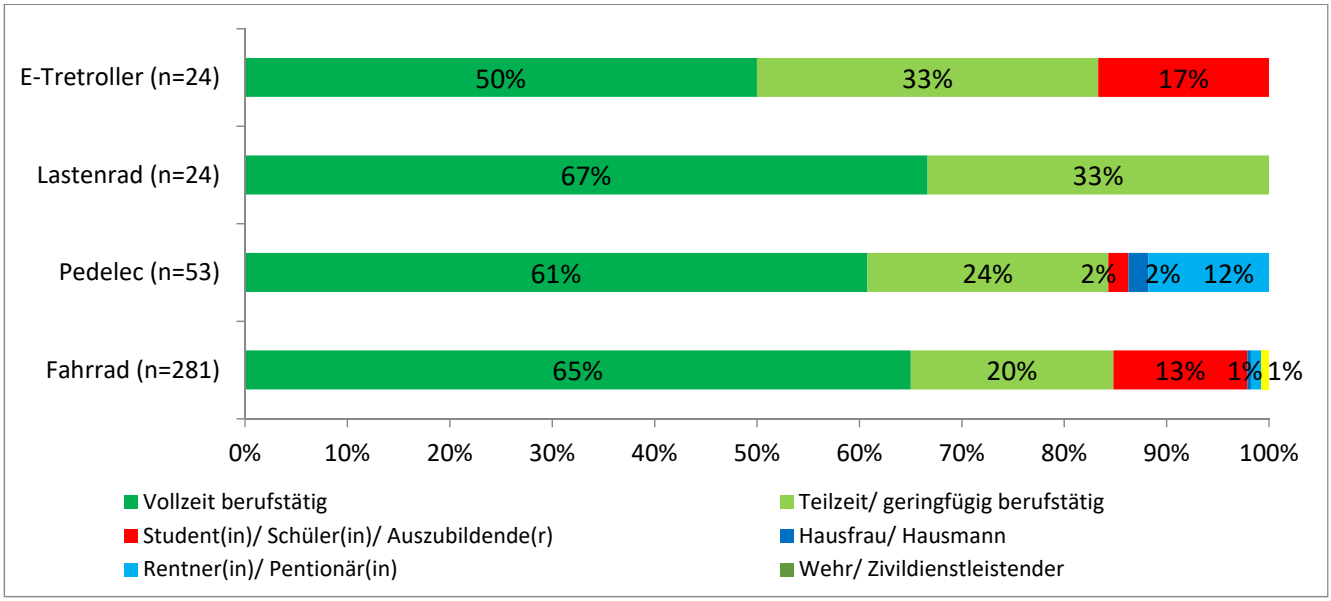



**Abbildung A10.3: Verteilung der Erwerbstätigkeit (n: Anzahl der Nutzenden)**

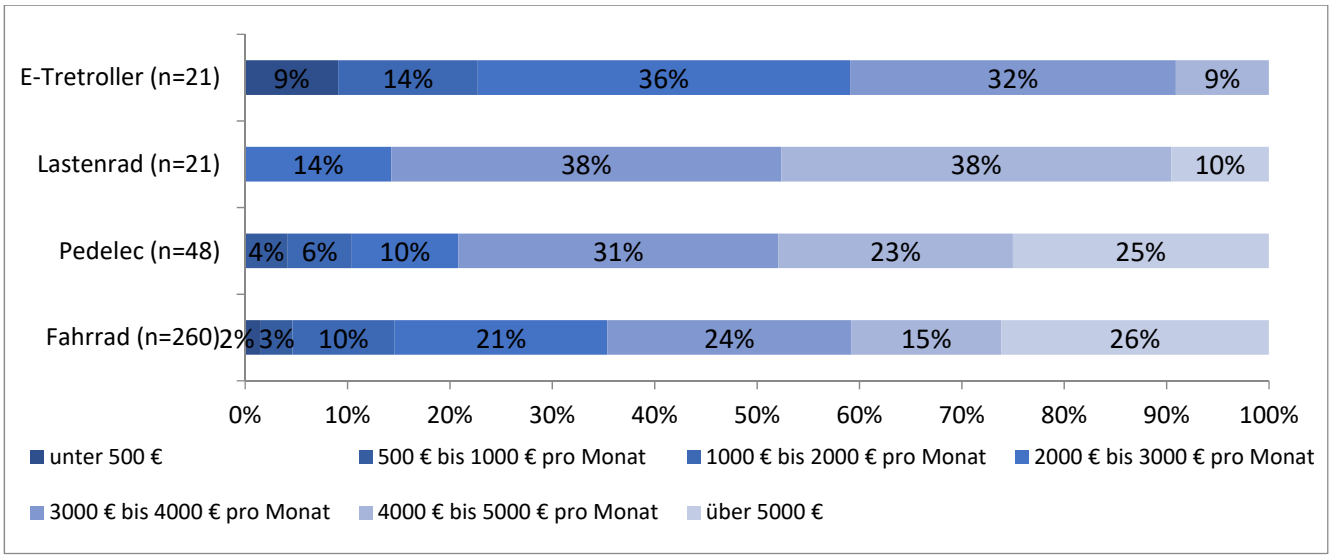



**Abbildung A10.4: Verteilung der Nettoeinkommen (n: Anzahl der Nutzenden)**

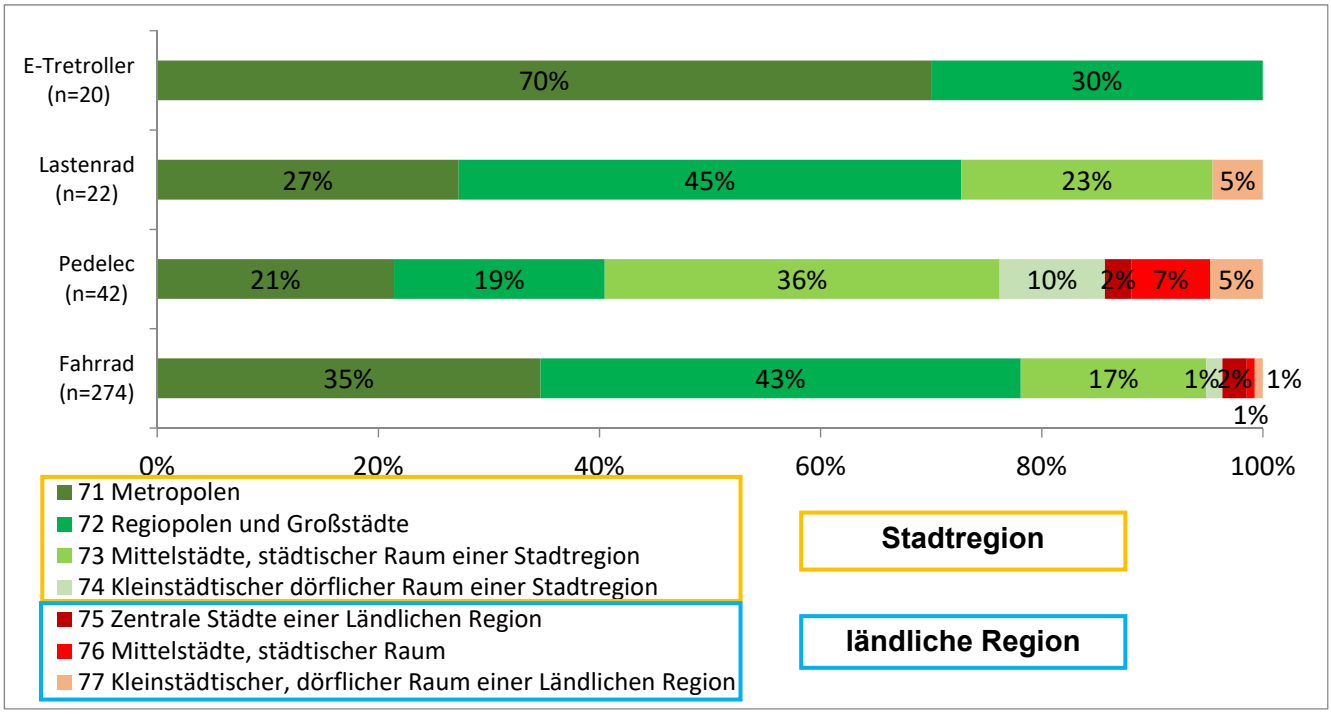



**Abbildung A10.5: Verteilung der Raumtypen über die Wohnorte der Nutzenden (n: Anzahl der Nutzenden)**

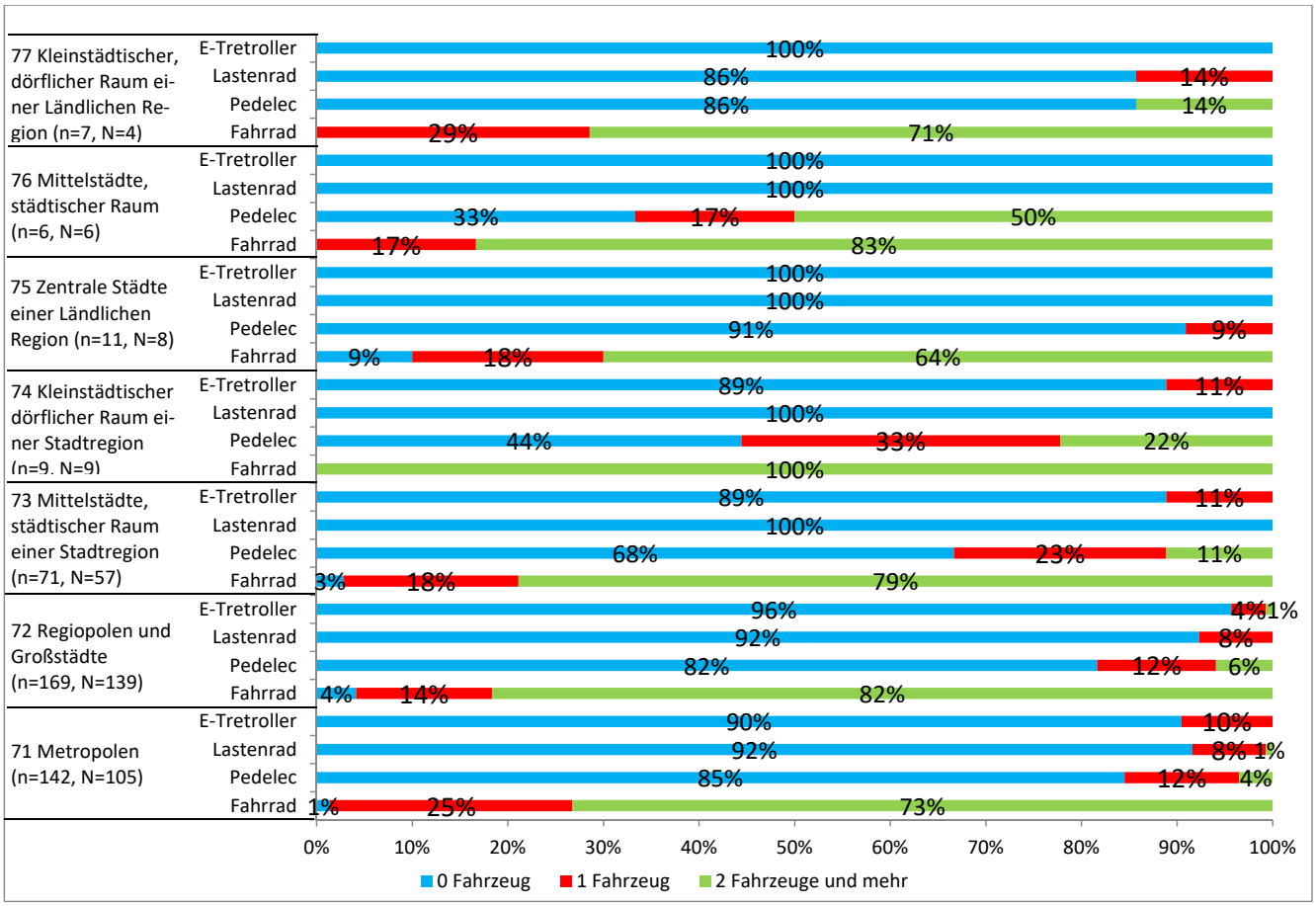
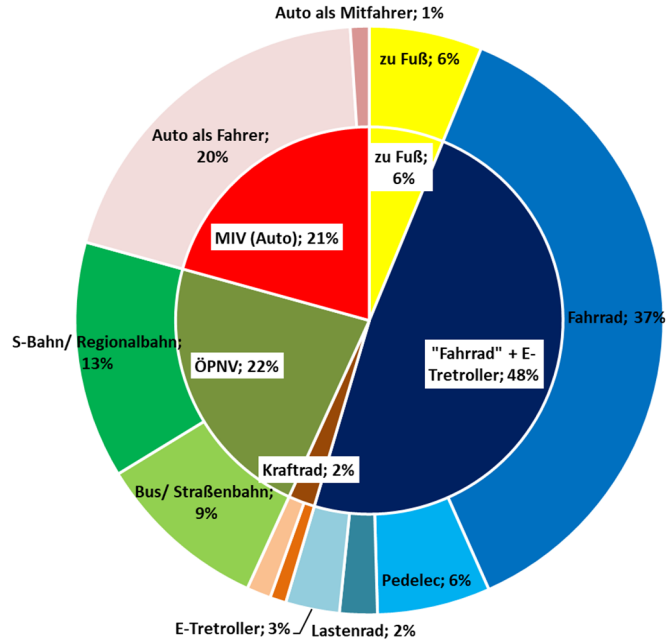


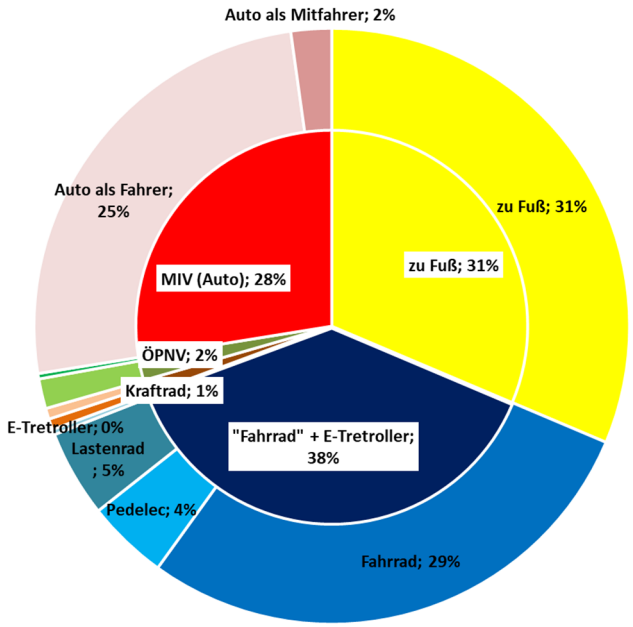

**Abbildung A10.6: Verteilung der Haushalte mit Rädern und E-Tretrollern nach Raumtypen (n/N: Anzahl der Haushalte)[21]**

[21] Die E-Tretroller waren in der ersten Befragungsrunde nicht enthalten. Nach der Modifikation wurden sie ergänzt. „n“ ist die Anzahl der Haushalte der ersten und zweiten Runde ohne Berücksichtigung von E-Tretrollern. „N“ ist die Anzahl der Haushalte der zweiten Runde mit E-Tretrollern.

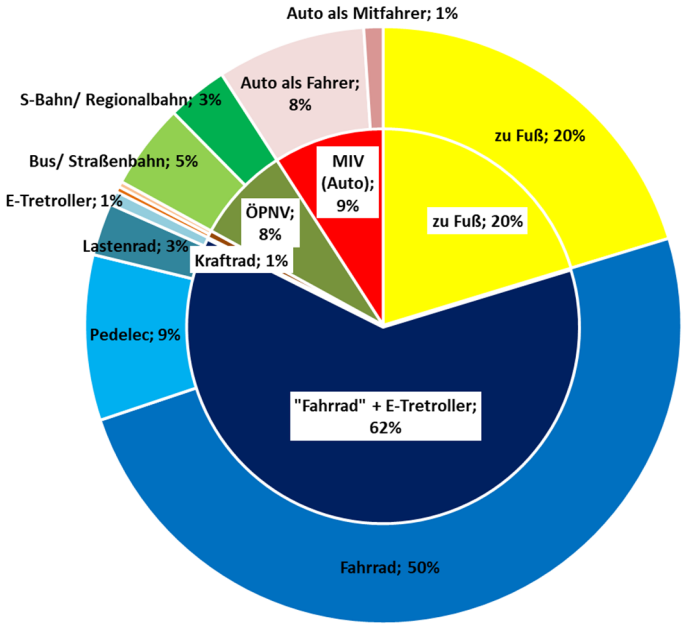
## Anhang 10.2 Mobilitätsverhalten und Fahrzeugnutzung



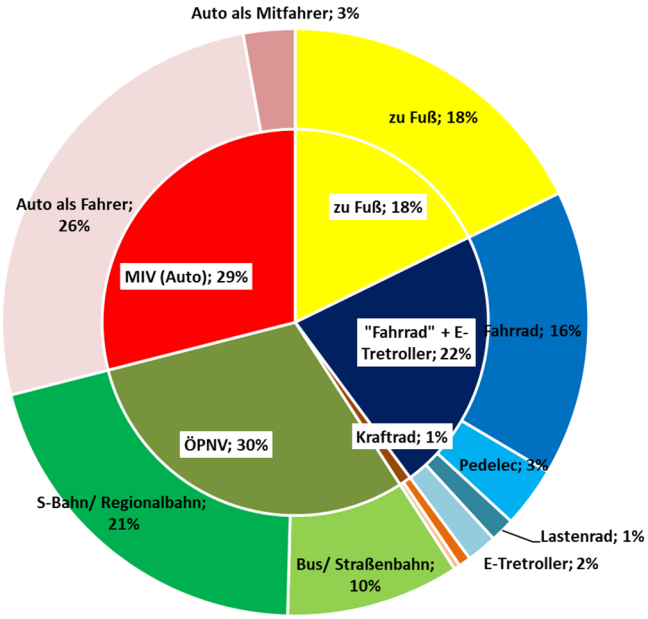

(a) Wege zur Arbeit (Anzahl der Wege: n=676)




(b) Wege zum Einkaufen (Anzahl der Wege: n=679)




(c) Freizeit im Freien (Anzahl der Wege: n=670)




(d) Dienst/ beruflich (Anzahl der Wege: n=597)

**Abbildung A10.7: Verkehrsmittelwahl der Wegeaufkommen nach den Wegezwecken (n: Anzahl der Wege)**

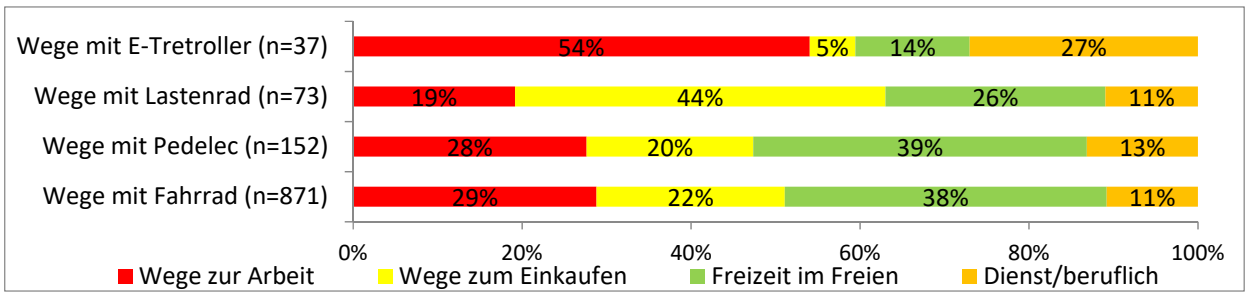



**Abbildung A10.8: Verteilung der Wegezwecke je nach Fahrzeugtyp (n: Anzahl der Wege)**

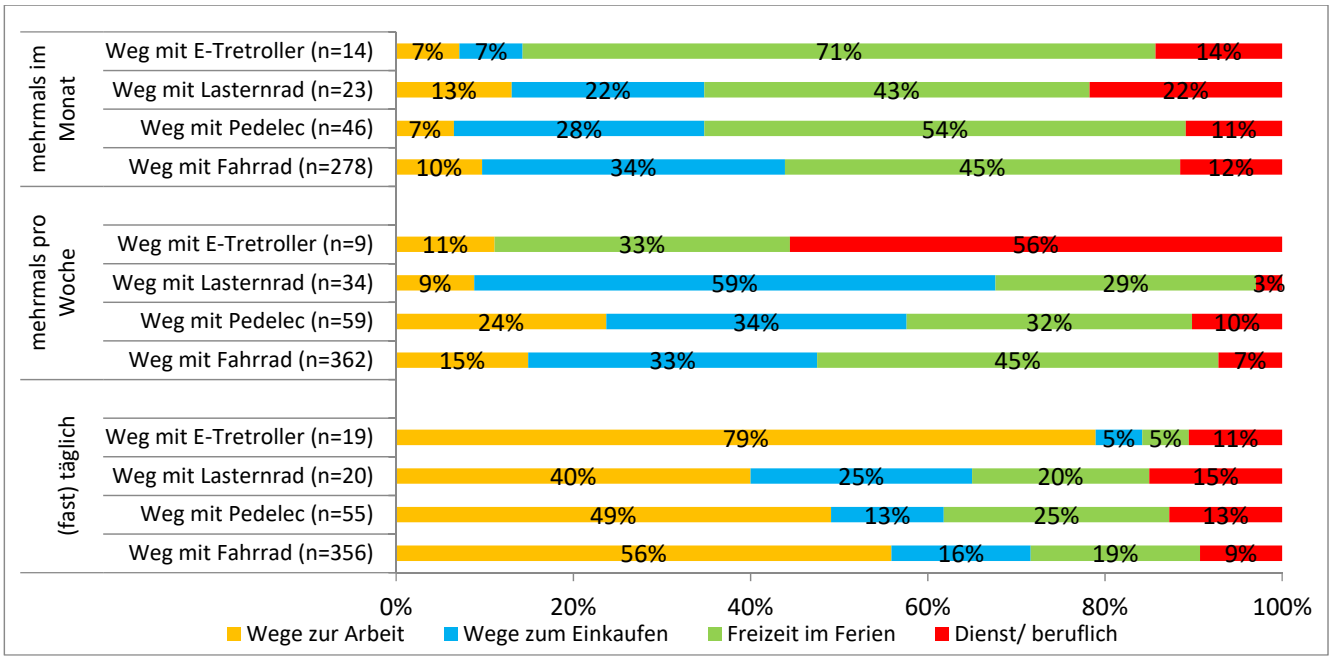



**Abbildung A10.9: Nutzungshäufigkeit in Abhängigkeit vom Wegezweck (n: Anzahl der Wege)**

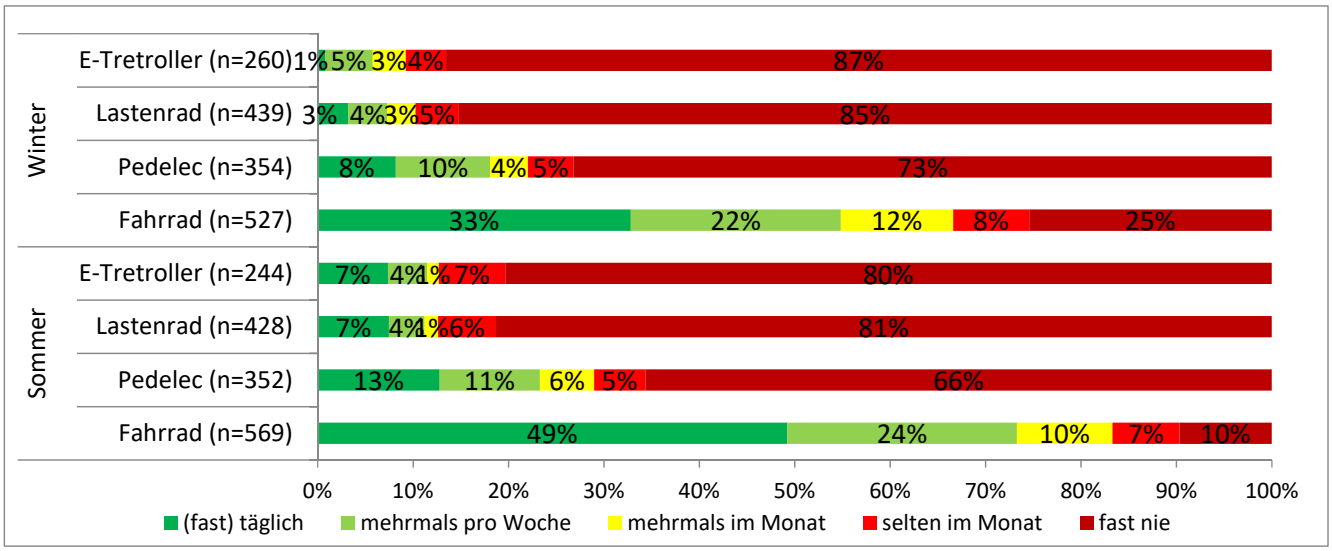



**Abbildung A10.10: Nutzungshäufigkeit im Sommer und Winter (n: Anzahl der Nutzenden)**

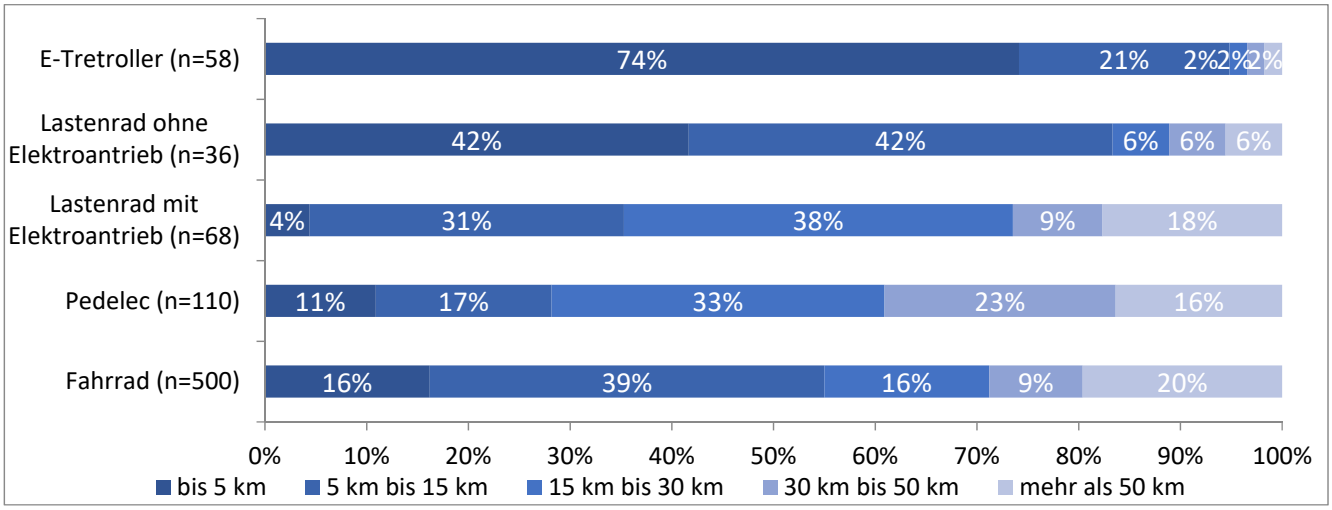



**Abbildung A10.11: Maximal zurückgelegte Wegelänge mit verschiedenen Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Nutzenden)**

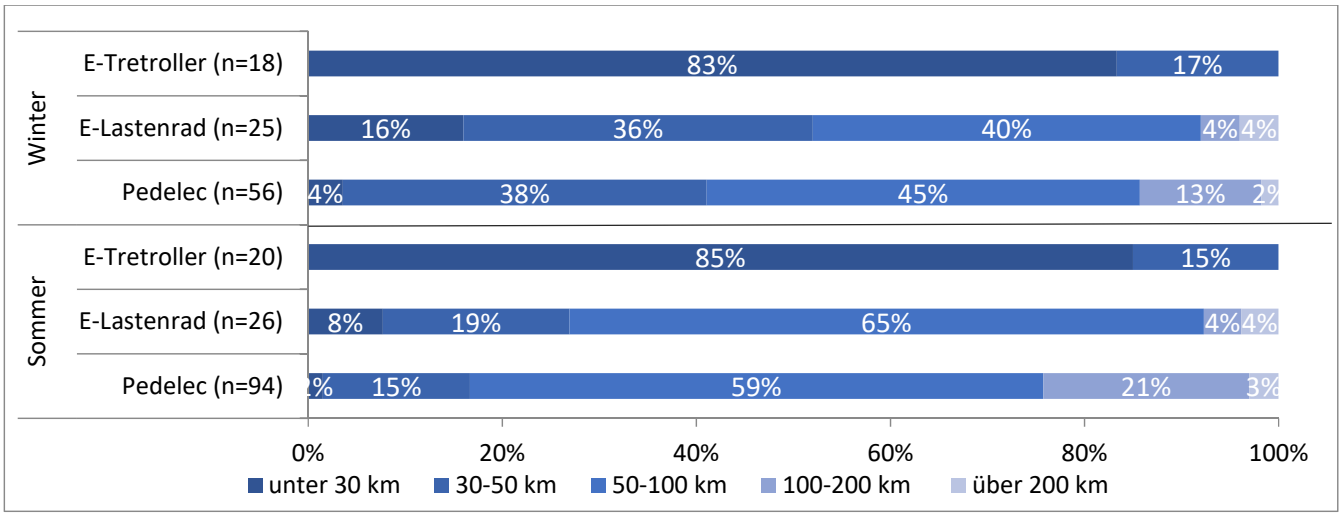



**Abbildung A10.12: Reichweite des Akkus je Saison (n: Anzahl der Nutzenden)**

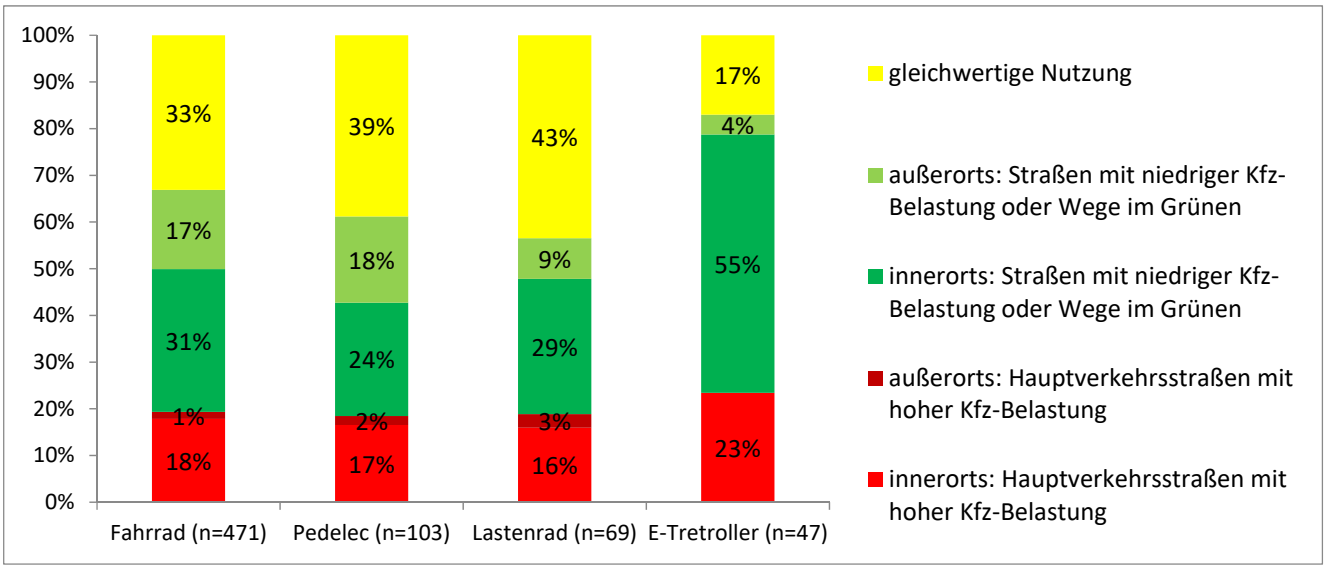



**Abbildung A10.13: Wegenutzung mit verschiedenen Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Nutzenden)**

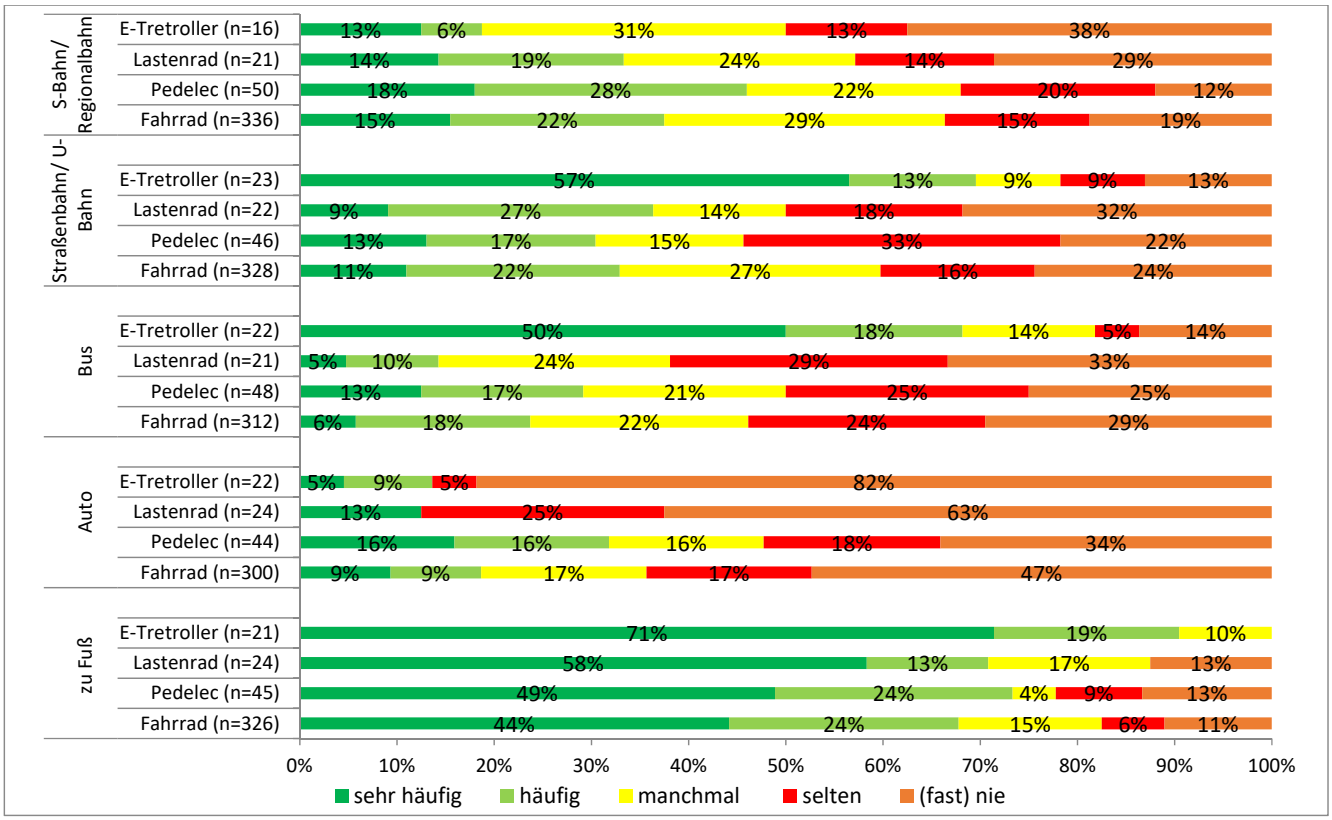



**Abbildung A10.14: Substitutive Verkehrsmittel für die Wegekette (n: Anzahl der Nutzenden)**

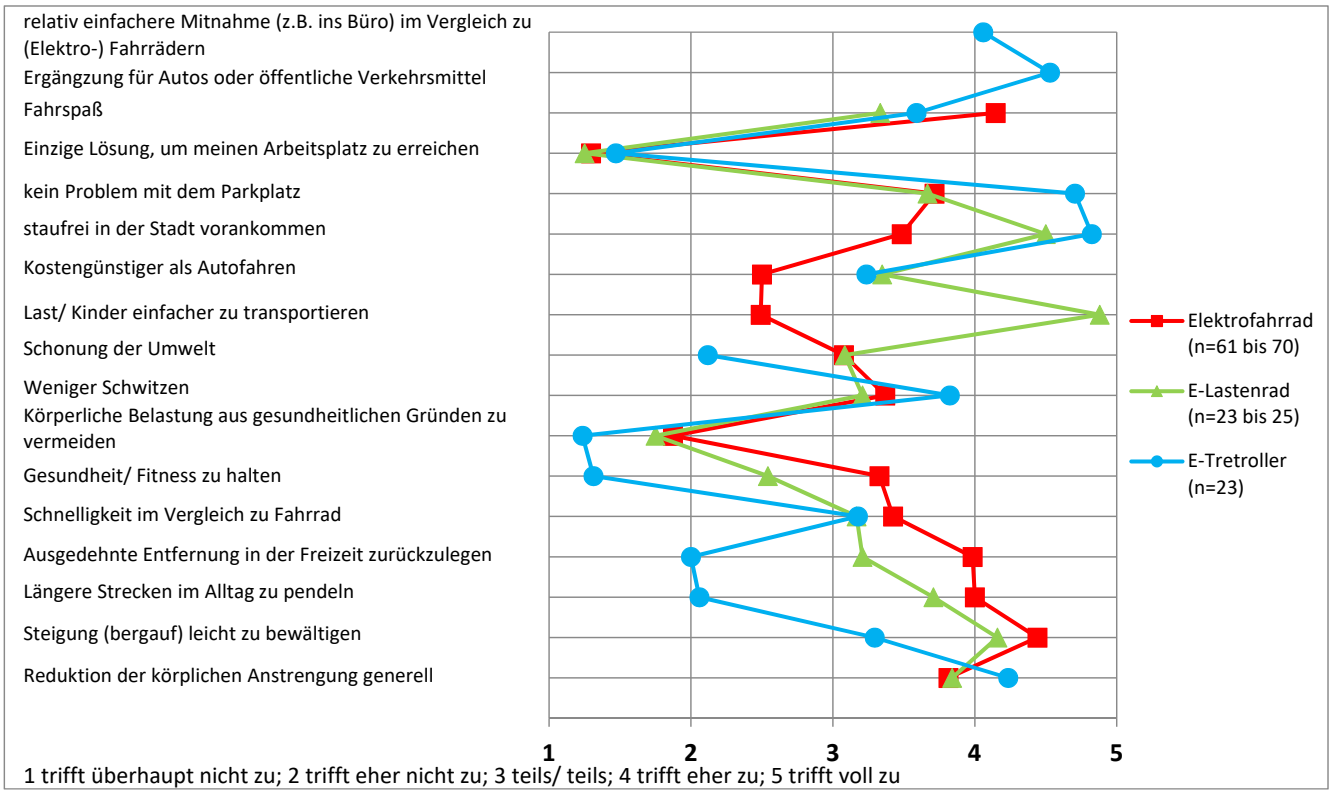



**Abbildung A10.15: Gründe für die Nutzung (Vorteile) der neuen Fahrzeuge (n: Anzahl der Nutzenden)**

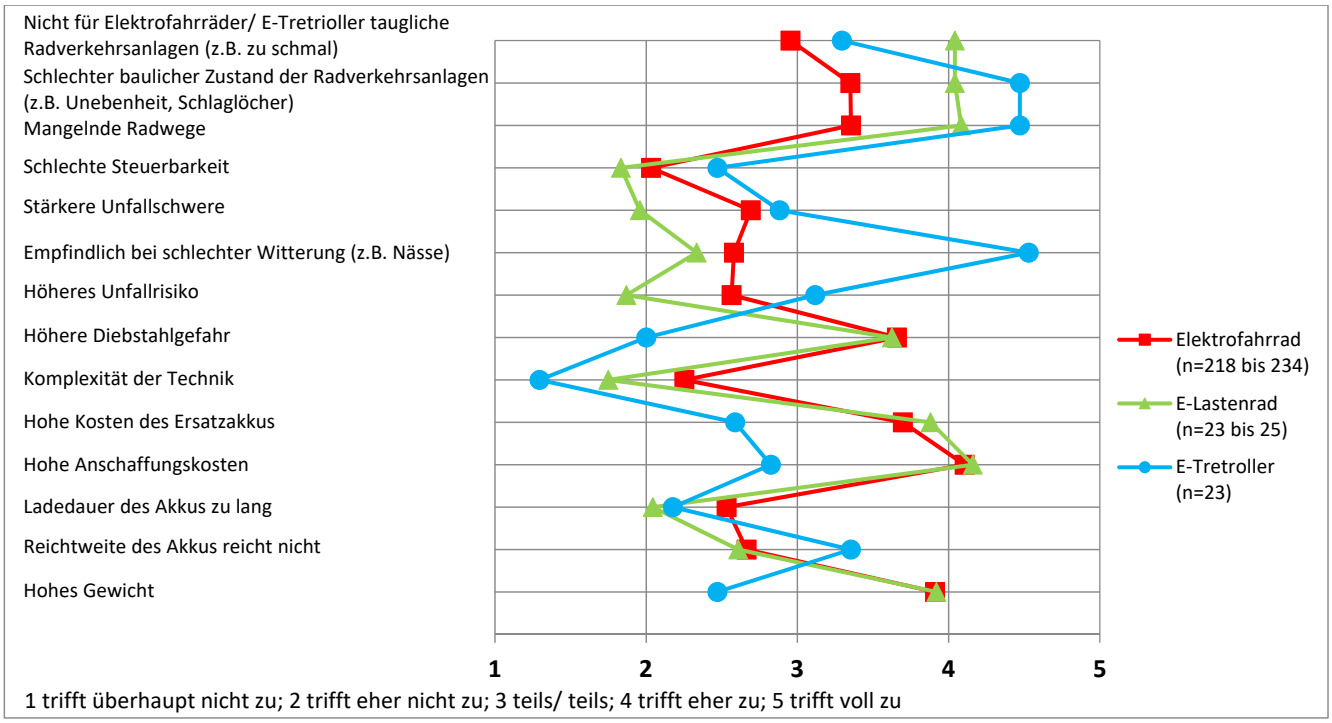



**Abbildung A10.16: Gründe für die Nicht-Nutzung (Nachteile) der neuen Fahrzeuge (n: Anzahl der Nutzenden)**

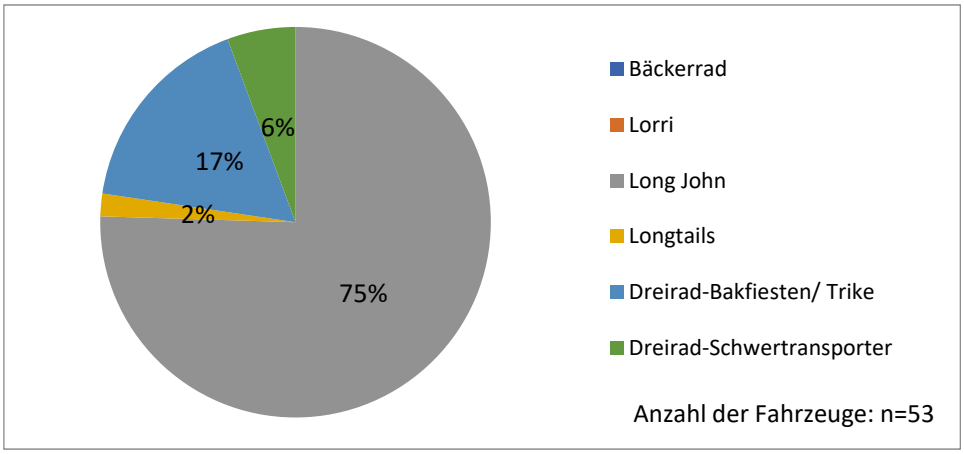



**Abbildung A10.17: Verteilung der Lastenradtypen (n: Anzahl der Fahrzeuge)**

## Anhang 10.3 (Regelwidriges) Fahrverhalten

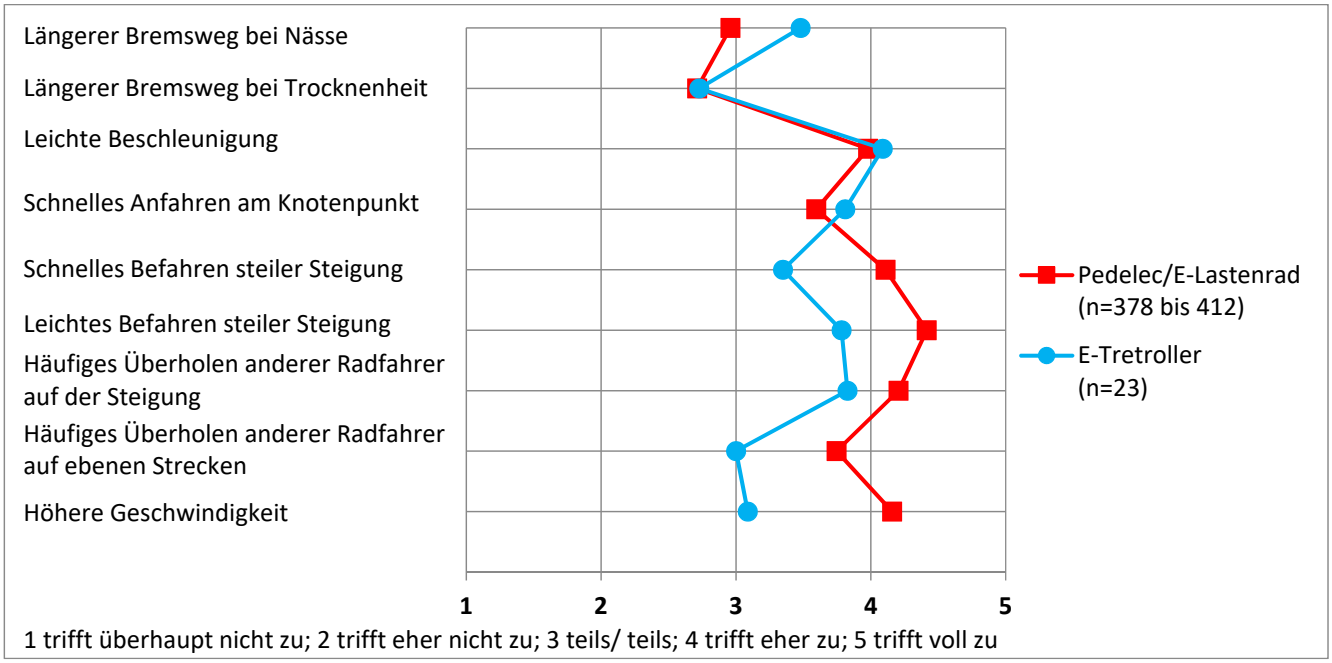



**Abbildung A10.18: Spezifisches Fahrverhalten mit elektrounterstützten Fahrzeugen (n: Anzahl der Nutzenden)**

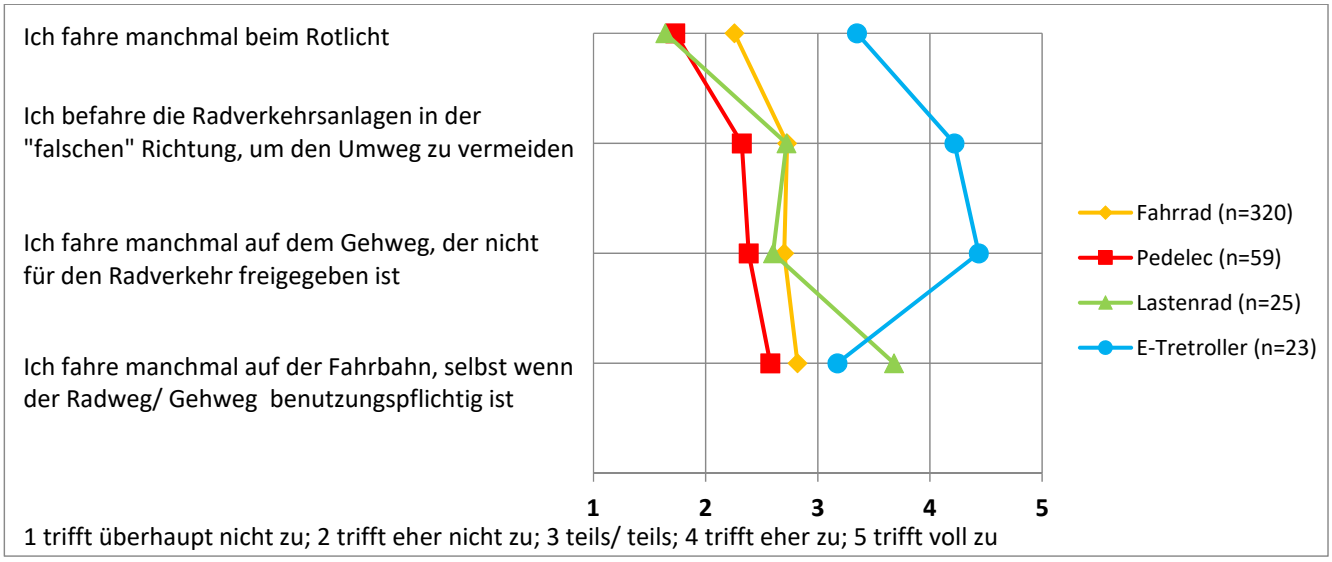



**Abbildung A10.19: Regelwidriges Verhalten der Nutzenden (n: Anzahl der Nutzenden)**

## Anhang 10.4 Wahrnehmung der Bemessung von Radverkehrsanlagen

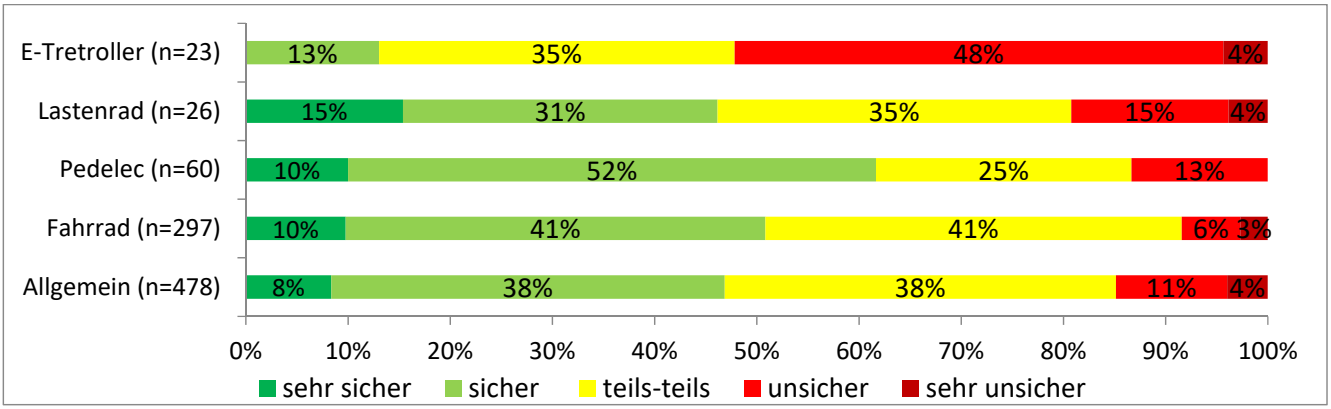



**Abbildung A10.20: Subjektive Sicherheit von Rad- und E-Tretrollerfahren (n: Anzahl der Nutzenden)**

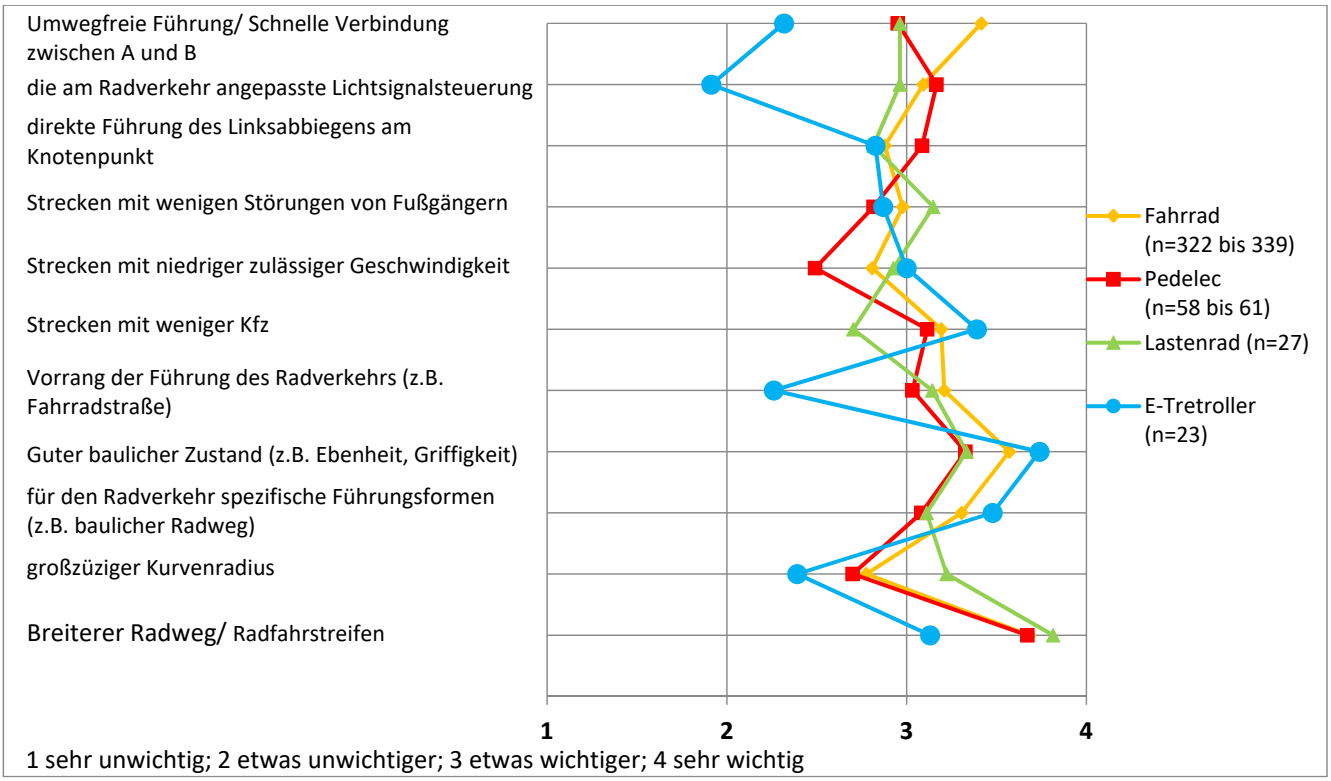



**Abbildung A10.21: Relevanz der Kriterien für die Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden)**

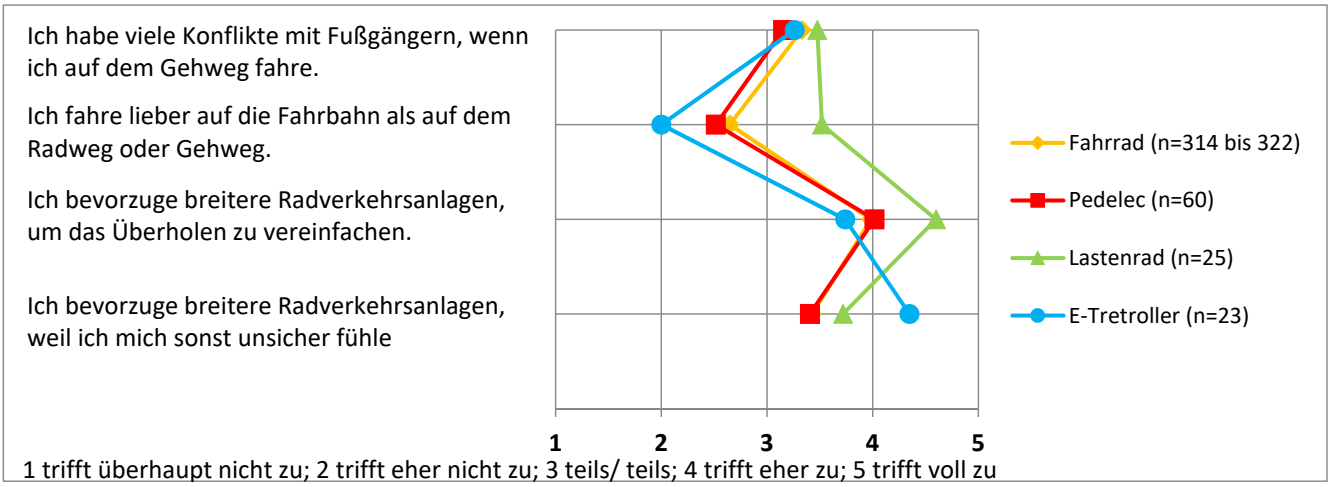



**Abbildung A10.22: Aussagen über die Breite von Radverkehrsanlagen und Führungsformen (n: Anzahl der Nutzenden)**

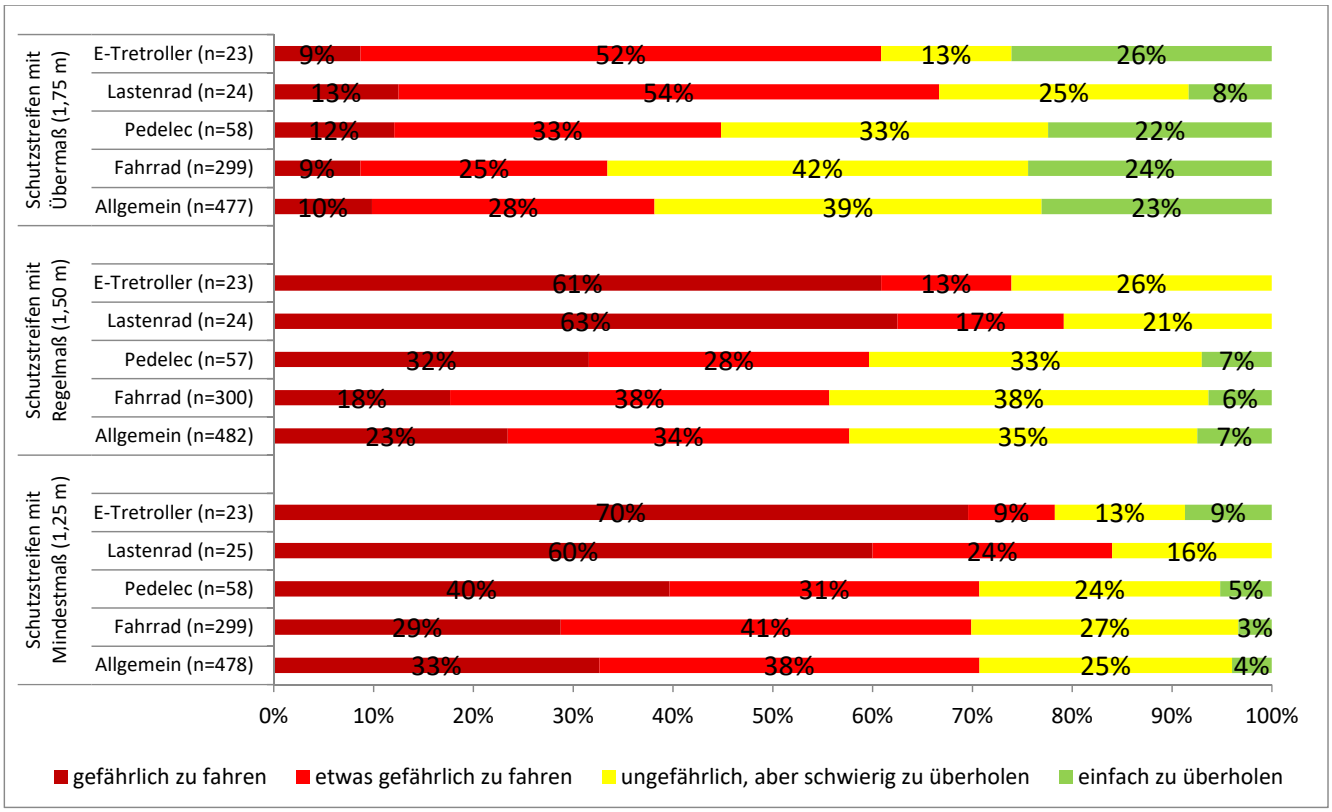



**Abbildung A10.23: (a) Wahrnehmung der Breite von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) - Schutzstreifen**

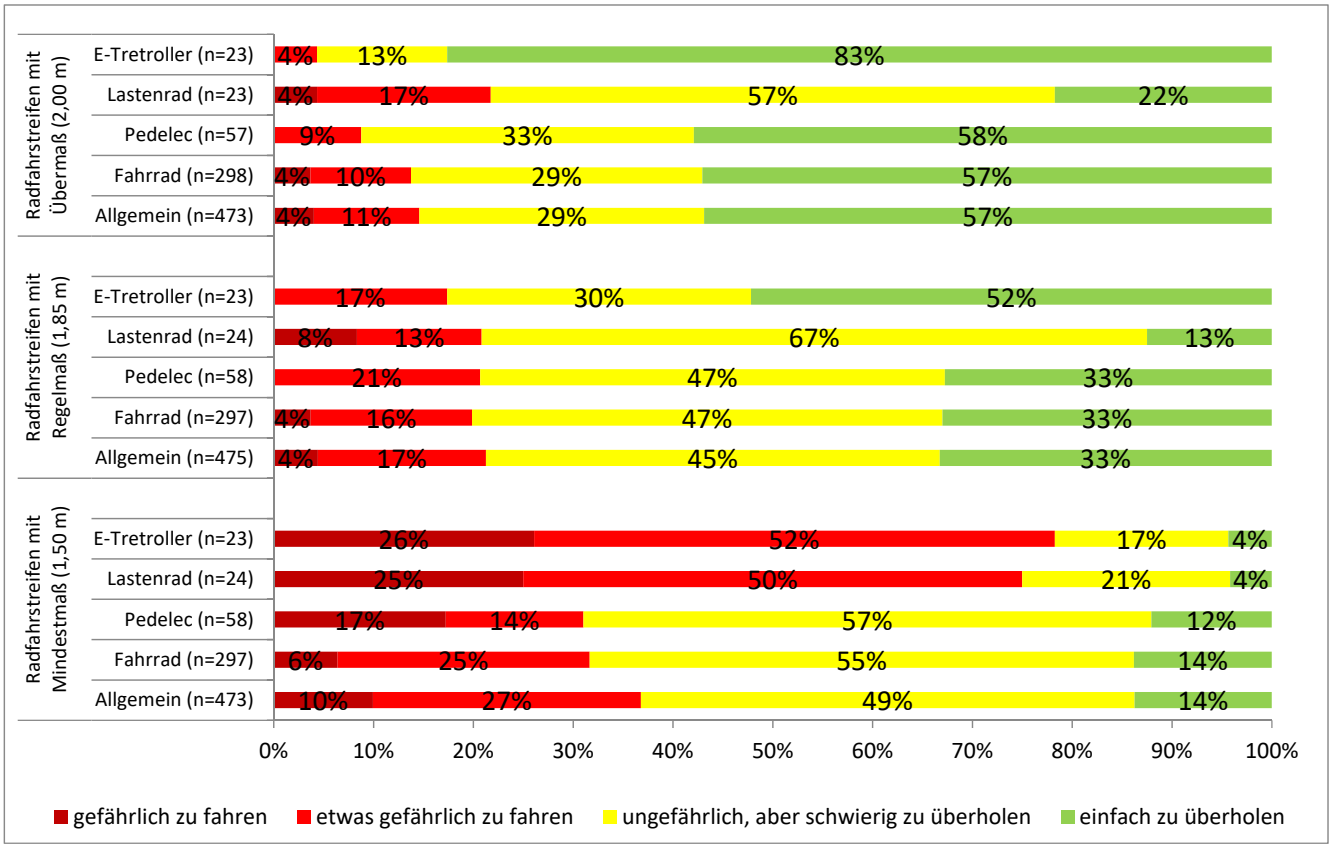



**Abbildung A10.23: (b) Wahrnehmung der Breite von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) - Radfahrstreifen**

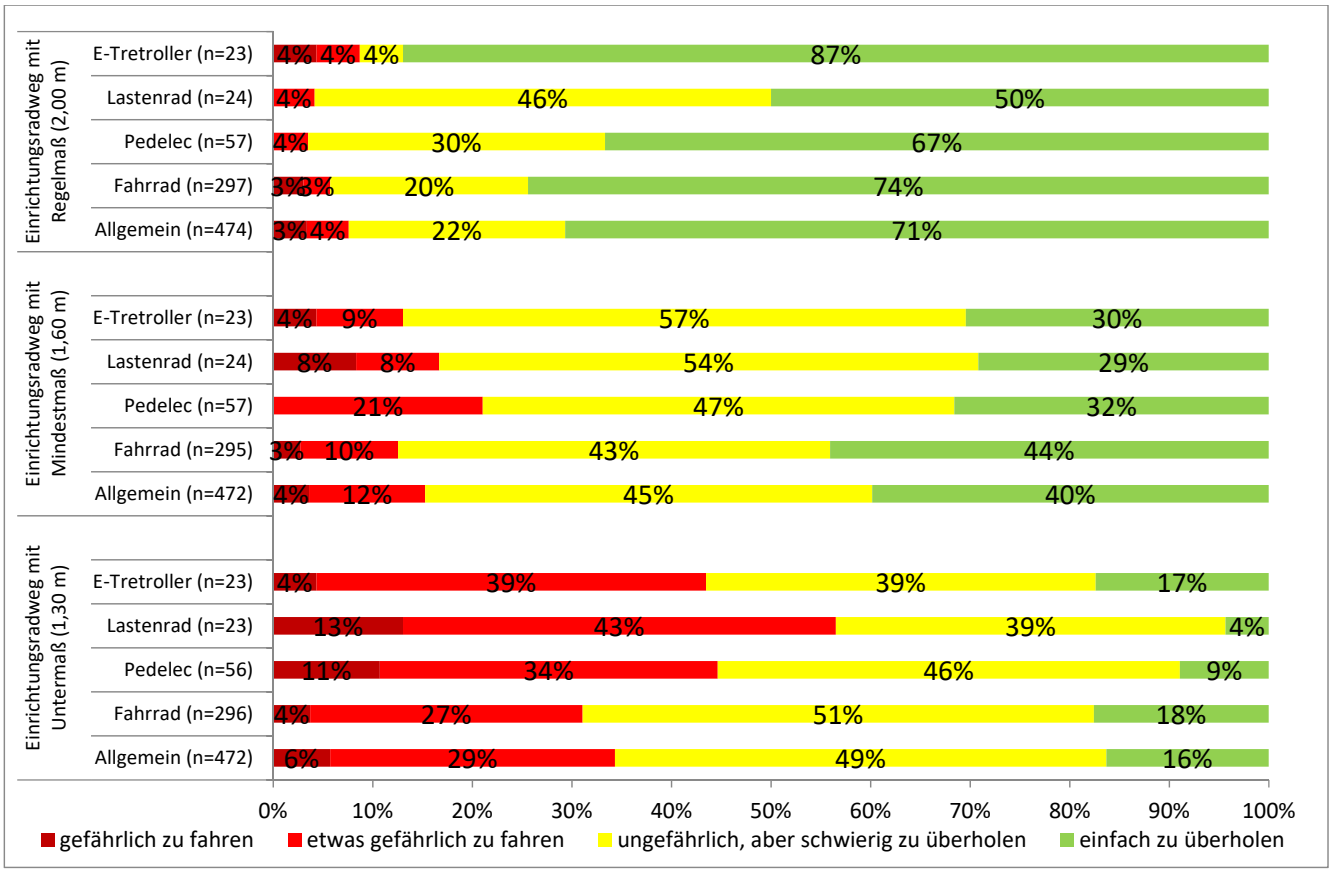



**Abbildung A10.23: (c) Wahrnehmung der Breite von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) - Einrichtungsradweg**

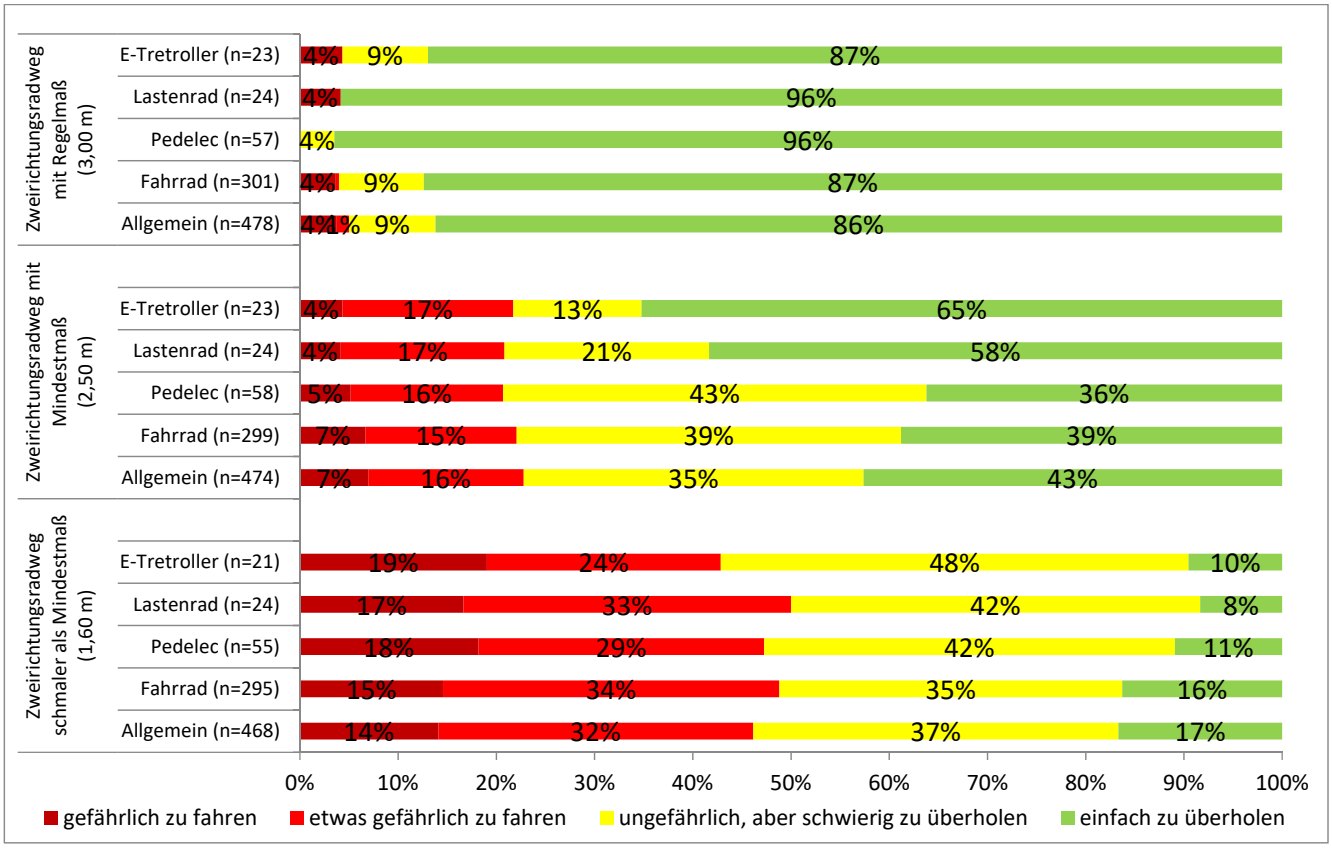



**Abbildung A10.23: (d) Wahrnehmung der Breite von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) - Zweirichtungsradweg**

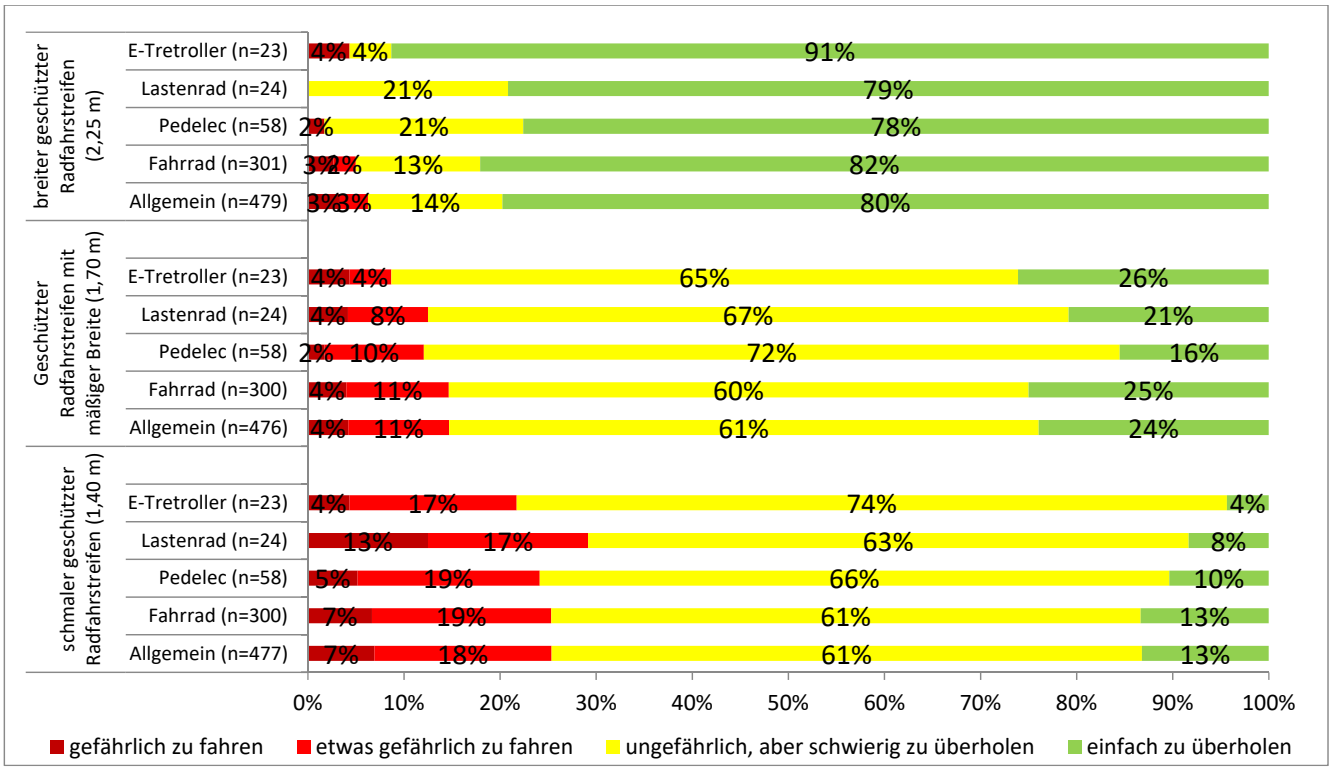



**Abbildung A10.23: (e) Wahrnehmung der Breite von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) - <u>geschützter Radfahrstreifen</u>**

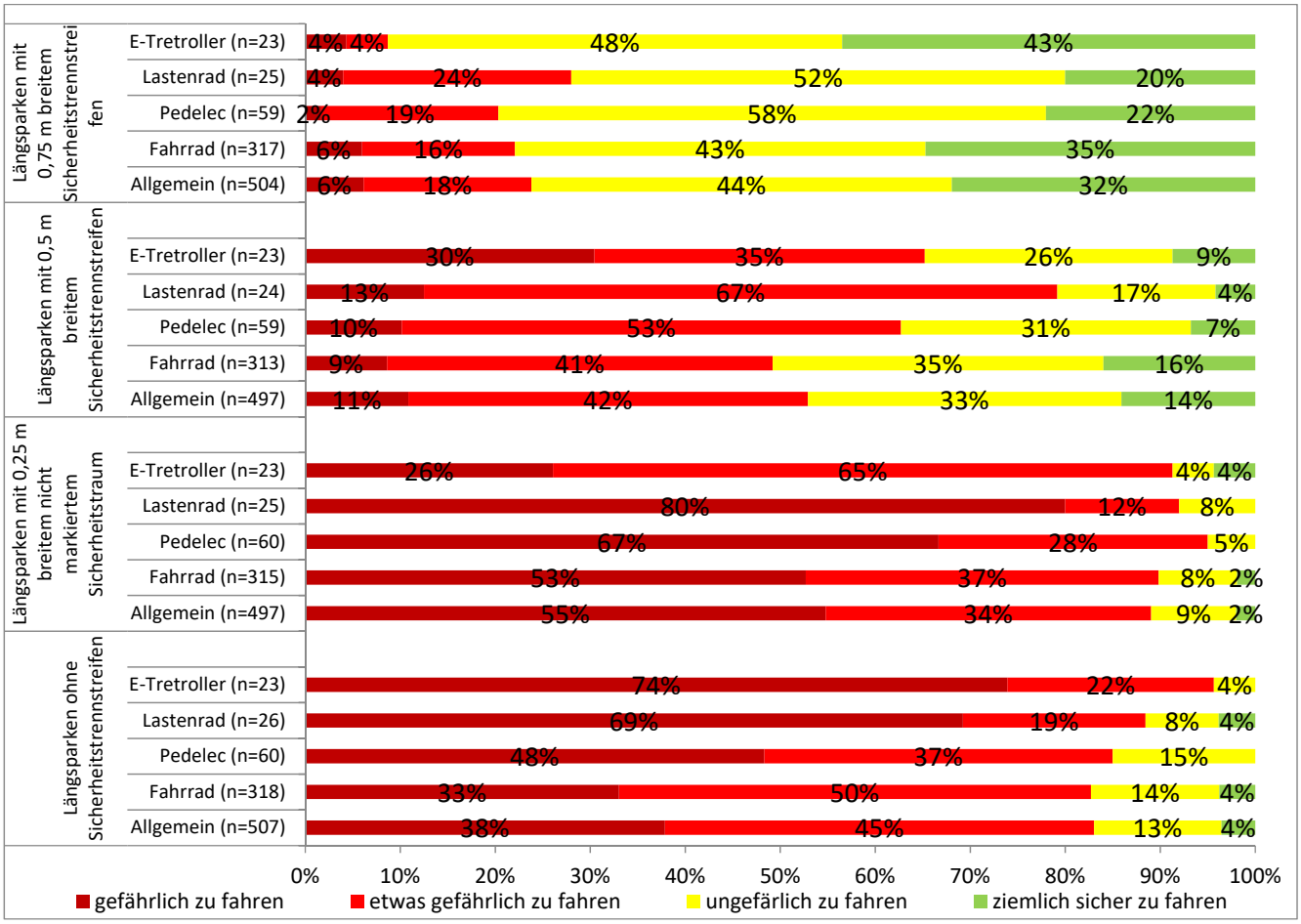



**Abbildung A10.24: Sicherheitsempfinden für Sicherheitstrennstreifen zum ruhenden Verkehr (n: Anzahl der Nutzenden)**

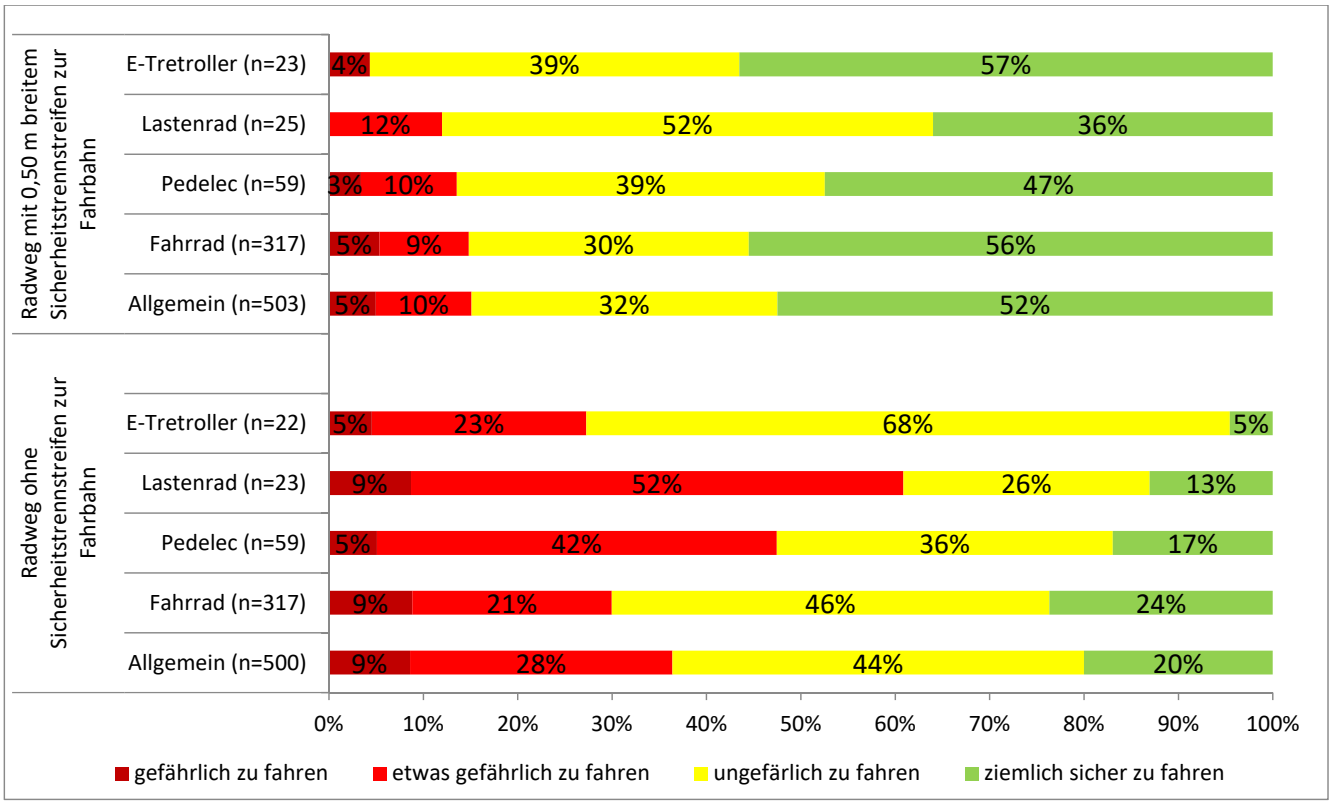



**Abbildung A10.25: Wahrnehmung des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radweg und Fahrbahn (n: Anzahl der Nutzenden)**

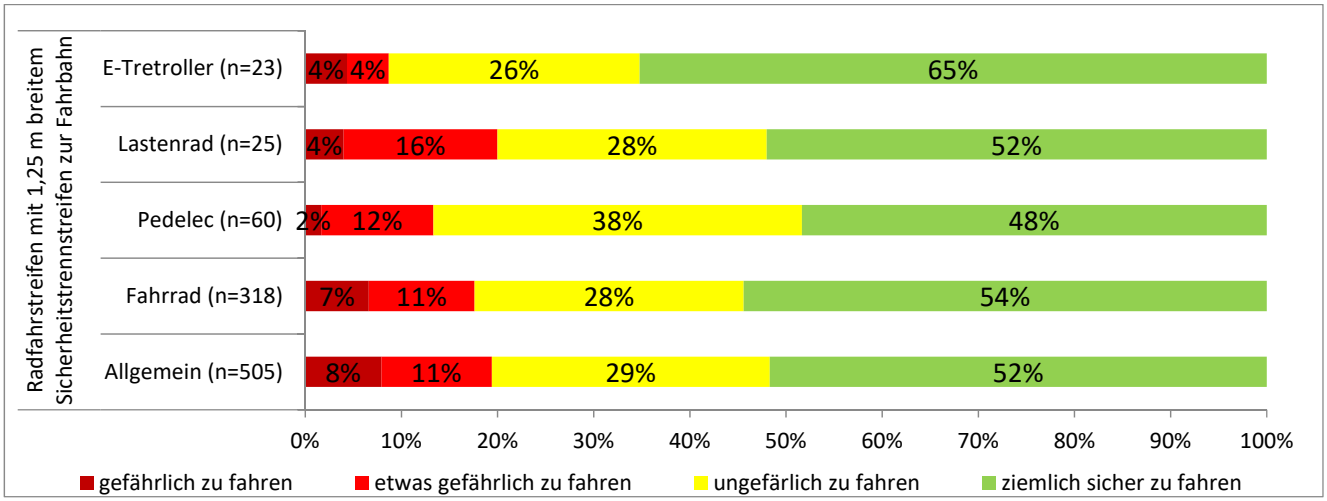



**Abbildung A10.26: Wahrnehmung des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn (n: Anzahl der Nutzenden)**

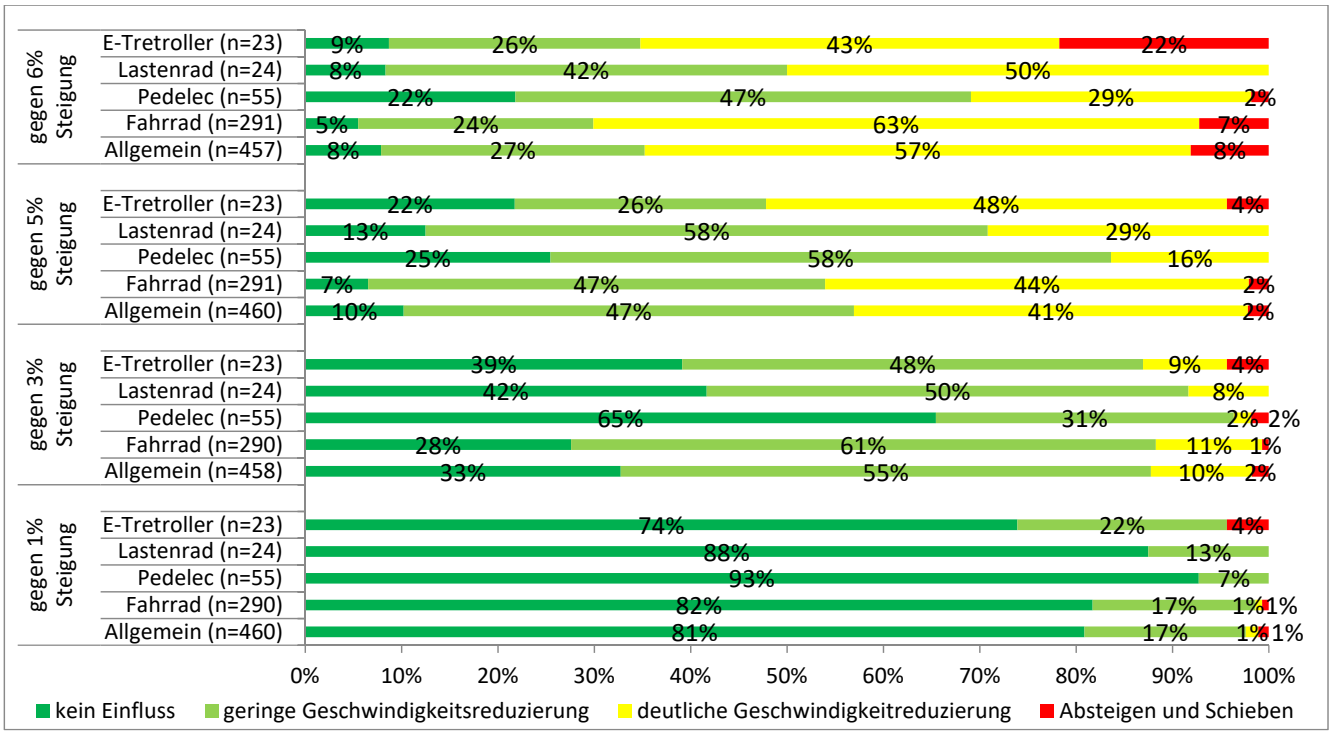



**Abbildung A10.27: Einschätzung der Auswirkung der Längsneigung (n: Anzahl der Nutzenden)**

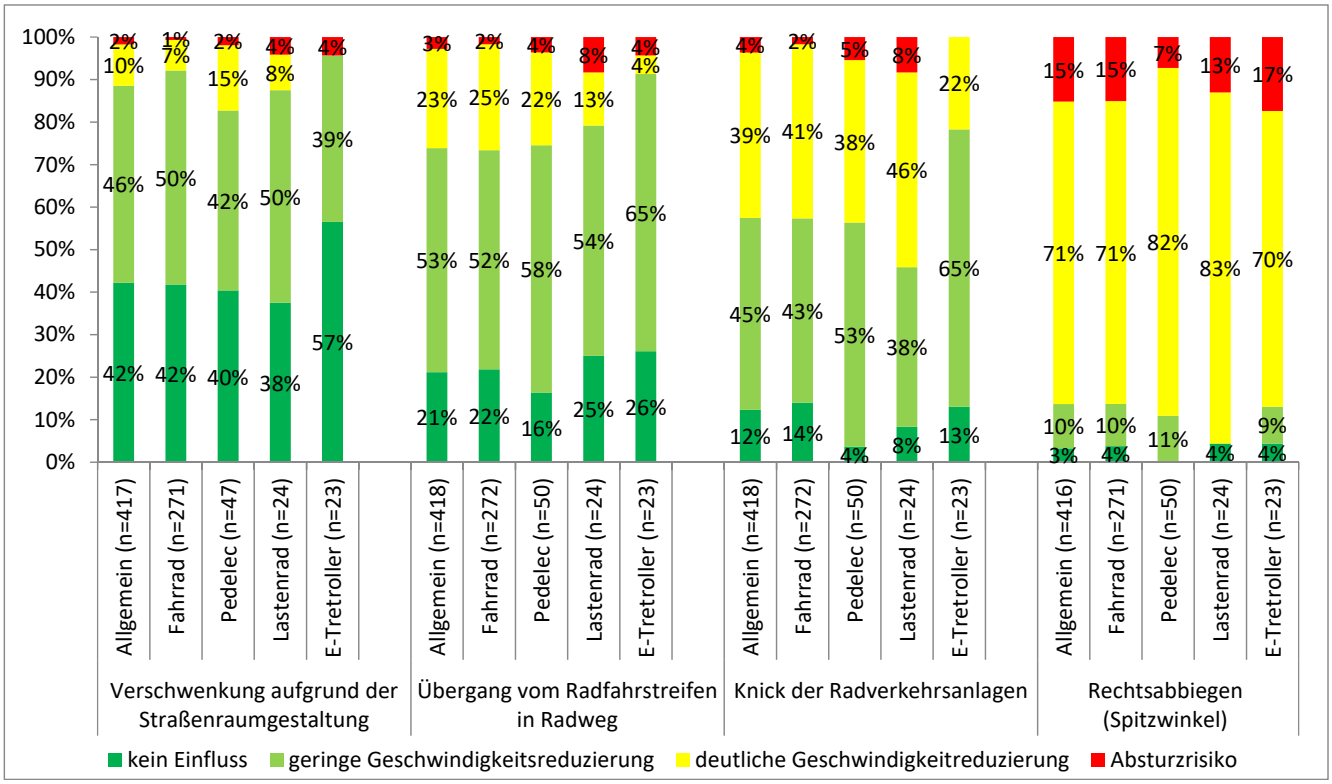



**Abbildung A10.28: Einschätzung der Auswirkung der Kurvenbereich (n: Anzahl der Nutzenden)**

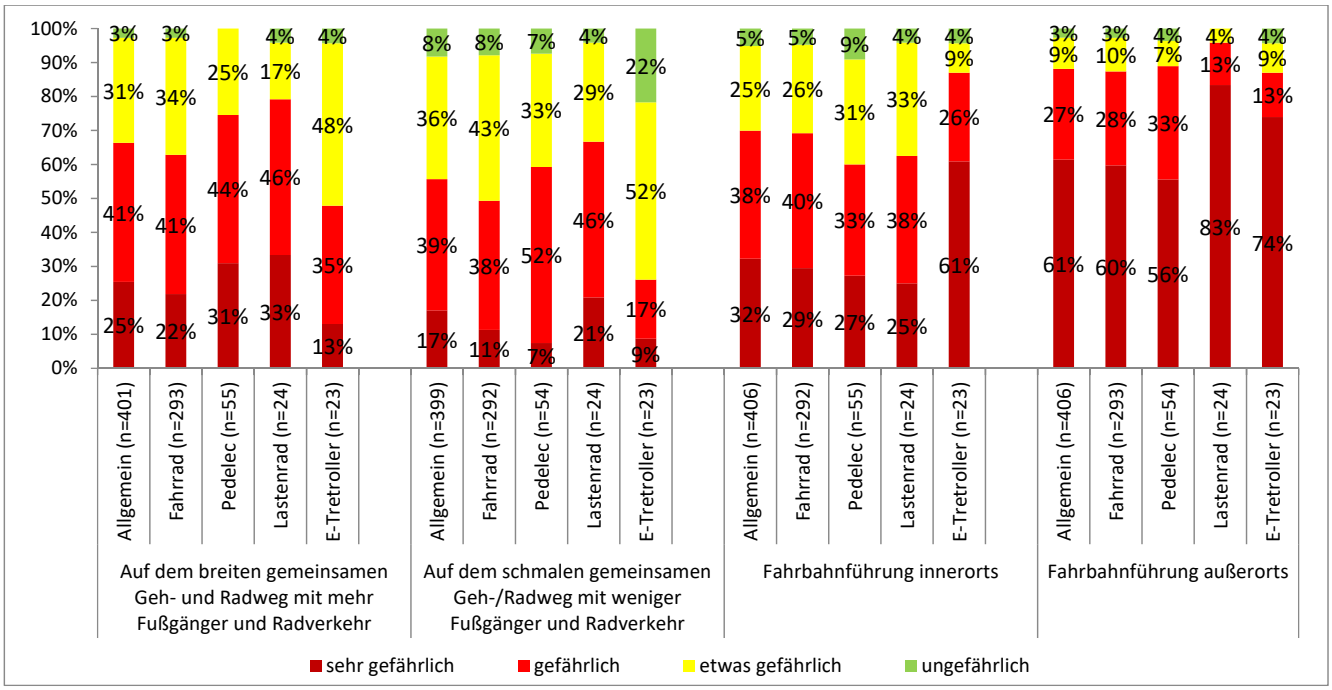



**Abbildung A10.29: Sicherheitsempfinden für die Führung mit Fußverkehr und auf der Fahrbahn (im Mischverkehr) (n: Anzahl der Nutzenden)**

**Abbildung A10.30: Verkehrsflächenwahl (n: Anzahl der Nutzenden)**

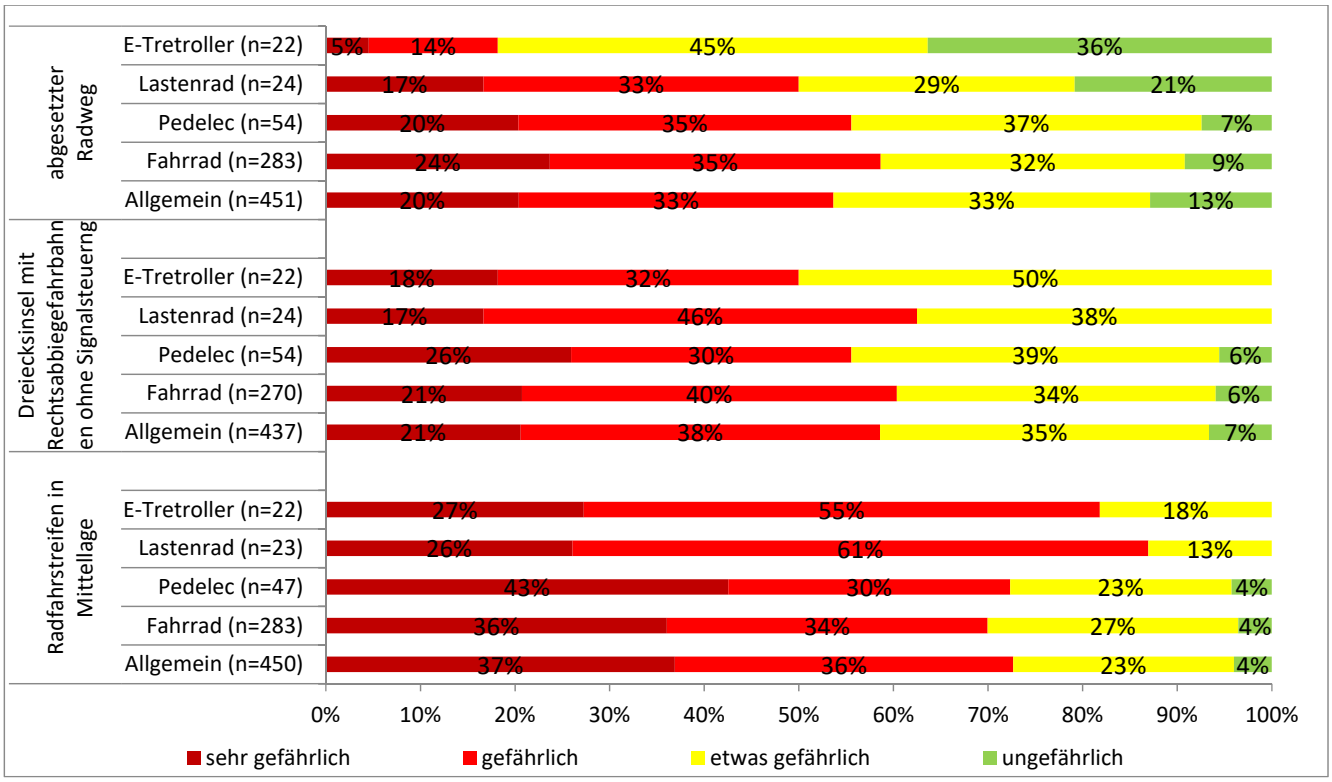



**Abbildung A10.31: Sicherheitsempfinden bei Führung des geradausfahrenden Radverkehrs/ E-Tretrollers (n: Anzahl der Nutzenden)**

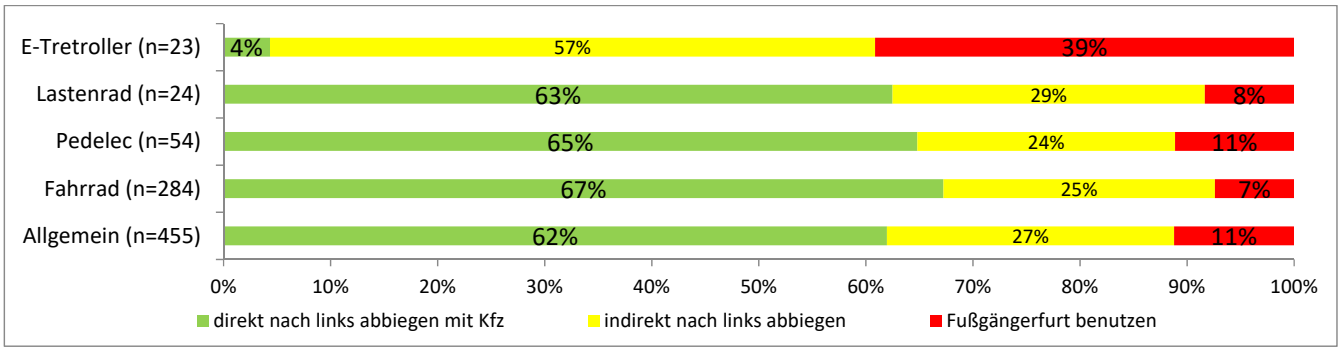



**Abbildung A10.32: Routenwahl beim Linksabbiegen (n: Anzahl der Nutzenden)**

# Anhang 11 Nebeneinanderfahren und Überholen aus der Videoerfassung

## Anhang 11.1 Auswertungen für die „Breite von Radverkehrsanlagen“

**Tabelle A11.1: Zusammenführung der Fälle von Nebeneinanderfahren in Abhängigkeit von der Breite von Radverkehrsanlagen (Anzahl der Fälle von Nebeneinanderfahren)**

| | | Nebeneinanderfahren außerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Nebeneinanderfahren innerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | innerhalb von RVA nicht versetzt (Anteil) | |
| Radverkehrsstreifen | (1) 1,25 m breit | 1 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 2 |
| | (5) 1,85 m breit | 0 | 0 | 0 | **2 (100%)** | 2 |
| | (6) 2,00 m breit | 1 | 0 | 0 | **10 (91%)** | 11 |
| Einrichtungsradweg | (7) 1,30 m breit | 7 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 8 |
| | (8) 1,48 m breit | 5 | 0 | 2 | **2 (22%)** | 9 |
| | (10) 1,50 m breit | 6 | 0 | 5 (1) | **3 (21%)** | 14 |
| | (11) 1,50 m breit | 3 | 1 | 0 | **4 (50%)** | 8 |
| | (12) 1,50 m breit | 1 | 0 | 0 | **0 (0%)** | 1 |
| | (13) 1,60 m breit | 0 | 0 | 0 | **2 (100%)** | 2 |
| | (14) 2,10 m breit | 1 | 0 | 0 | **10 (91%)** | 11 |
| Zweirichtungsradweg | (15) 1,60 m breit | 1 | 1 | 0 | **2 (50%)** | 4 |
| | (16) 2,50 m breit | 0 | 0 | 0 | **9 (100%)** | 9 |
| | (17) 3,00 m breit | 0 | 1 | 0 | **16 (94%)** | 17 |
| Geschützter Radfahrstreifen | (18) 1,40 m breit | 0 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 1 |
| | (19) 1,95 m breit | 0 | 0 | 0 | **3 (100%)** | 3 |
| | (20) 2,25 m breit | 0 | 0 | 0 | **15 (100%)** | 15 |

() Nebeneinanderfahren mit dem Lastenrad

**Tabelle A11.2: Vergleich der berechneten Überholungsrate aus der Videoerfassung mit der Überholungsrate gemäß HBS**

| Strecke | Erfassungswerte | | Berechnungswerte | |
|---|---|---|---|---|
| | erfasster Überholbedarf | Anzahl der Fahrzeuge (Rundung) | berechnete Überholungsrate | theoretische Überholungsrate gemäß HBS |
| (3) | 16 | 650 [8/h] | 0,5 | 0,8 |
| (5) | 20 | 500 [4/h] | 0,8 | 1,3 |
| (6) | 34 | 600 [4/h] | 1,1 | 1,5 |
| (10) | 25 | 450 [4/h] | 1,1 | 1,1 |
| (14) | 24 | 400 [4/h] | 1,2 | 1,0 |
| (19) | 18 | 550 [4/h] | 0,7 | 1,4 |
| (20) | 53 | 850 [4/h] | 1,2 | 2,2 |

**Tabelle A11.3: Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstände an Radverkehrsstreifen und geschützten Radfahrstreifen (n: Anzahl der Überholvorgänge)**

| Führungsform und Breite / Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstand | | Schutzstreifen | | | Radfahrstreifen | | | geschützter Radfahrstreifen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (1) 1,25 m breit | (2) 1,50 m breit | (3) 1,65 m breit | (4) 1,50 m breit + 0,30 m breite Rinne | (5) 1,85 m breit + 0,15 m breite Rinne | (6) 2,00 m breit + 0,15 m breite Rinne[1)] | (19) 1,95 m breit + 0,30 m breite Rinne | (19) 2,25 m breit + 0,15 m breite Rinne |
| **Anzahl der Überholvorgänge** | **Summe Überholbdarf** | **6 [/8h]** | **4 [/4h]** | **20 [/8h]** | **4 [/4h]** | **20 [/4h]** | **34 [/4h]** | **18 [/4h]** | **53 [/4h]** |
| abgebrochenes Überholen | | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 1 | 0 | 4 |
| erfolgreiches Überholen (außerhalb von Radverkehrsanlagen) | | 6 | 2 | 14 | 4 | 11 | 16 | 0 | 1 |
| erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 |
| **erfolgreiches Überholen (sonstige)** | | **0 (0%)** | **0 (0%)** | **4 (20%)** | **0 (0%)** | **7 (35%)** | **17 (50%)** | **16 (89%)** | **43+4 (89%)** |
| **Überholabstand** | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** | | | | | | |
| Fahrrad ohne Anh. | Fahrrad ohne Anh. | | 1,28 (0,68) (n=4) | 0,90 (0,30) (n=1) | 1,17 (0,57) (n=16) | 1,28 (0,68) (n=3) | 1,21 (0,61) (n=13) | 1,37 (0,77) (n=19) | 1,06 (0,46) (n=10) | 1,25 (0,65) (n=41) |
| | Fahrrad mit Anh. | | - | - | - | - | - | - | - | 1,44 (0,79) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anh. | | - | - | - | - | 1,48 (0,88) (n=1) | 1,62 (1,01) (n=1) | 0,88 (0,28) (n=2) | 1,21 (0,61) (n=2) |
| | Lastenrad | | - | - | - | - | - | 1,81 (1,19) (n=1) | - | - |
| | E-Tretroller | | - | - | 1,32 (0,72) (n=2) | - | - | - | 0,98 (0,38) (n=1) | - |
| Pedelec ohne Anh. | Fahrrad ohne Anh. | | 1,48 (0,86) (n=2) | - | - | - | 1,26 (0,66) (n=2) | 1,38 (0,78) (n=4) | 1,03 (0,43) (n=2) | 1,35 (0,75) (n=1) |
| | Lastenrad | | - | - | - | - | - | 1,51 (0,80) (n=1) | - | - |
| Lastenrad | Fahrrad ohne Anh. | | - | - | - | - | 1,66 (1,04) (n=1) | 1,54 (0,92) (n=4) | 1,34 (0,69) (n=1) | 1,78 (1,16) (n=3) 1,33 (0,59) (n=2)[2)] |
| | Fahrrad mit Anh. | | - | - | - | 1,42 (0,75) (n=1) | - | - | - | - |

**Bemerkung**

1) Der Überholabstand zwischen überholt werdendem Radfahrenden, der wiederum einen überholenden Radfahrenden überholte, und dem langsamsten Radfahrenden wurde nicht mitgezählt, weil der Überholabstand zwischen drei Fahrenden ziemlich groß war;
2) Das überholende Lastenrad überholt auf dem Fahrstreifen (außerhalb von Betonpoller) nicht beinhaltet.;
+N: Anzahl der Überholvorgänge mit Nutzung der Sicherheitstrennstreifen

**Tabelle A11.4: Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstände an Radwegen (n: Anzahl der Überholvorgänge)**

| Führungsform und Breite / Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstand | Anzahl der Überholvorgänge | | Einrichtungsradweg | | | | Zweirichtungsradweg | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Summe Überholbdarf | erfolgreiches Überholen (sonstige) | (8) 1,48 m breit | (10) 1,50 m breit | (12) 1,50 m breit | (13) 1,60 m breit | (14) 2,10 m breit | (16) 2,50 m breit | (17) 3,00 m breit |
| | **2 [/8h]** | **0 (0%)** | 0 | **25 [/4h]** | **8 [/4h]** | **4 [/4h]** | **24 [/4h]** | **18 [/4h]** | **42 [/4h]** |
| abgebrochenes Überholen | 0 | | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| erfolgreiches Überholen (außerhalb von Radverkehrsanlagen) | 6 | | 6 | 25 | 8 | 2 | 15 | 2 | 0 |
| erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **erfolgreiches Überholen (sonstige)** | | **0 (0%)** | **0 (0%)** | **0 (0%)** | **0 (0%)** | **1 (25%)** | **9 (38%)** | **16 (89%)** | **42 (100%)** |

| Überholabstand | | | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] | | | | | | | | | | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Überholende | Überholte | | (8) 1,48 m breit | | (10) 1,50 m breit | | (12) 1,50 m breit | | (13) 1,60 m breit | | (14) 2,10 m breit | | (16) 2,50 m breit | (17) 3,00 m breit | |
| | | | L | R | L | R | L | R | L | R | L | R | L | L | |
| Fahrrad ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | | 1,30 (0,80) (n=1) | | 1,33 (0,73) (n=13) | | 1,59 (0,99) (n=2) | | 1,00 (0,40) (n=1) | | 1,18 (0,58) (n=5) | 1,66 (1,06) (n=11) | 1,21 (0,61) (n=12) | 1,48 (0,88) (n=35) | L: Überholung auf der linken Seite; R: Überholung auf der rechten Seite. |
| | Fahrrad mit Ahn. | | - | | - | | - | | - | | - | 1,80 (1,05) (n=1) | - | - | |
| | Pedelec ohne Anh. | | - | | 1,58 (0,98) (n=1) | | 1,43 (0,83) (n=4) | | - | | 1,17 (0,57) (n=2) | 2,00 (1,40) (n=1) | 1,16 (0,56) (n=1) | - | |
| | Lastenrad | | - | | - | | 2,18 (1,43) (n=1) | | - | | - | - | - | - | |
| | E-Tretroller | | - | | 1,36 (0,76) (n=1) | | - | | - | | - | - | 1,31 (0,71) (n=2) | 1,63 (1,03) (n=2) | |
| Fahrrad mit Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | | - | | 1,57 (0,94) (n=2) | | - | | - | | - | - | - | - | |
| Pedelec ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | | 1,50 (0,90) (n=1) | | 1,35 (0,75) (n=5) | | 1,73 (1,13) (n=1) | | - | | 1,22 (0,62) (n=2) | 1,74 (1,14) (n=2) | - | 1,50 (0,90) (n=4) | |
| | E-Tretroller | | - | | 1,50 (0,90) (n=1) | | - | | - | | - | - | 1,37 (0,77) (n=1) | - | |
| Lastenrad | Fahrrad ohne Ahn. | | - | | 1,57 (0,93) (n=2) | | - | | - | | - | - | - | - | |
| E-Tretroller | Fahrrad ohne Ahn. | | - | | - | | - | | - | | - | - | - | 1,44 (0,84) (n=1) | |

## Anhang 11.2 Auswertungen für die „Breite von Sicherheitstrennstreifen zum Längsparken“

**Tabelle A11.5: Zusammenführung der Fälle von Nebeneinanderfahren an den Strecken mit Längsparken (in Abhängigkeit von der Breite von Sicherheitstrennstreifen)**

| | | Nebeneinanderfahren außerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Nebeneinanderfahren innerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt (Anteil)** | |
| Radverkehrsstreifen | (21) i 1,50 m ii 0 m | 1 | 0 | 0 | **0 (0%)** | 1 |
| | (22) i 1,40 m ii 0,50 m | 1 | 0 | 0 | **1 (50%)** | 2 |
| | (23) i 2,00 m ii 0,50 m | 0 | 0 | 0 | **3 (100%)** | 3 |
| | (24) i 1,85 m ii 0,75 m | 0 | 0 | 0 | **6 (100%)** | 6 |
| Einrichtungsradweg | (25) i 1,60 m ii 0 m | 0 | 0 | 0 | **1 (100%)** | 1 |
| | (26) i 1,60 m ii 0 m | 2 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 3 |
| | (27) i 1,60 m ii 0,75 m | 1 | 0 | 0 | **12 (92%)** | 13 |

**Tabelle A11.6: Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstände an den Strecken mit Längsparken (n: Anzahl der Überholvorgänge)**

| Führungsform und Breite / Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstand | | Schutz-/ Radfahrstreifen | | | | Einrichtungsradweg | | | Bemerkung |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (21) i 1,50 m ii 0 m | (22) i 1,40 m ii 0,50 m | (23) i 2,00 m ii 0,50 m | (24) i 1,85 m ii 0,75 m | (25) i 1,60 m ii 0 m | (26) i 1,60 m ii 0 m | (27) i 1,60 m 0,75 m | |
| **Anzahl der Überholvorgänge** | **Summe Überholbdarf** | **20 [/4h]** | 3 [/8h] | **10 [/4h]** | **7 [/8h]** | **16 [/8h]** | 1 [/8h] | **19 [/8h]** | |
| | abgebrochenes Überholen | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 15 | |
| | erfolgreiches Überholen (außerhalb von Radverkehrsanlagen) | 18 | 3 | 2 | 3 | 15 | 1 | 0 | |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | |
| | **erfolgreiches Überholen (sonstige)** | **2 (10%)** | 0 (0%) | **8 (80%)** | **4 (57%)** | **0 (0%)** | 0 (0%) | **3+1 (26%)** | |
| **Überholabstand** | | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** | | | | | | | |
| **Überholende** | **Überholte** | L | L | L | L | R | R | L | |
| Fahrrad ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | 1,30 (0,70) (n=16) | 1,70 (1,10) (n=1) | 1,18 (0,58) (n=4) | 1,28 (0,68) (n=4) | - | - | 1,18 (0,58) (n=3) | 1,41 (0,81) (n=11) |
| | Fahrrad mit Ahn. | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | Pedelec ohne Anh. | - | - | 1,28 (0,68) (n=2) | - | - | - | - | - |
| | Lastenrad | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | E-Tretroller | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Fahrrad mit Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | 1,57 (0,97) (n=3) | 1,75 (1,15) (n=2) | - | - | - | - | - | - |
| Pedelec ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | - | - | 1,29 (0,69) (n=3) | 1,27 (0,67) (n=2) | - | 1,24 (0,64) (n=1) | - | 1,43 (0,83) (n=3) |
| | Pedelec ohne Ahn. | - | - | 1,30 (0,70) (n=1) | - | - | - | - | - |
| Lastenrad | Fahrrad ohne Ahn. | 1,50 (0,85) (n=1) | - | - | 1,49 (0,86) (n=1) | - | - | - | - |
| E-Tretroller | Fahrrad ohne Ahn. | - | - | - | - | - | - | 1,31 (0,71) (n=1) | 1,36 (0,76) (n=1) |

L: Überholung auf der linken Seite; R: Überholung auf der rechten Seite;
i Breite von Radverkehrsanlagen; ii Breite von Sicherheitstrennstreifen;
+N: Anzahl der Überholvorgänge mit der Nutzung von Sicherheitstrennstreifen.

## Anhang 11.3 Auswertungen für die „Breite von Sicherheitstrennstreifen zwischen Radverkehrsanlagen und Fahrbahn“

**Tabelle A11.7: Zusammenführung der Fälle des Nebeneinanderfahrens an den Strecken mit Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn**

| Breite | Nebeneinanderfahren außerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Nebeneinanderfahren innerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt (Anteil)** | |
| (29) i 1,60 m ii 0,70 m | 0 | 0 | 0 | **8 (100%)** | 8 |
| (30) i 1,85 m ii 1,25 m | 0 | 0 | 0 | **4 (100%)** | 4 |
| i: Breite der Radverkehrsanlagen; ii: Breite der Sicherheitstrennstreifen | | | | | |

**Tabelle A11.8: Anzahl der Übervorgänge und Überholabstände an den Radverkehrsanlagen mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (n: Anzahl der Überholvorgänge)**

| Strecke | | | Einrichtungsradweg | | | | | Radfahrstreifen |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | (14) i 2,10 m ii 0 m | | (28) i 1,60 m ii 0,50 m | (29) i 1,60 m ii 0,70 m | | (30) i 1,85 m ii 1,25 m |
| Anzahl der Überholvorgänge | **Summe Überholbedarf** (Anzahl Fz) | | **24 [/4h]** | | **1 [/4h]** | **8 [/8h]** | | **9 [/4h]** |
| | abgebrochenes Überholen | | 0 | | 0 | 0 | | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (außerhalb von Radverkehrsanlagen) | | 15 | | 0 | 1 | | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | | 0 | | 0 | 0 | | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (sonstige) | | **9 (38%)** | | **1 (100%)** | **4+3 (88%)** | | **3+6 (100%)** |
| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** | | | | | |
| | | | L | R | R | L | R | L |
| | Fahrrad ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | 1,18 (0,88) (n=5) | 1,66 (1,36) (n=11) | 0,99 (0,39) (n=1) | 1,20 (0,90) (n=7) | - | 1,35 (0,75) (n=8) |
| | | Fahrrad mit Ahn. | - | 1,80 (1,05) (n=1) | - | - | | - |
| | | Pedelec ohne Ahn. | 1,17 (0,57) (n=2) | 2,00 (1,40) (n=1) | - | - | | - |
| | | Lastenrad | - | - | - | - | | 1,13 (0,51) (n=1) |
| | Pedelec ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | 1,22 (0,62) (n=2) | 1,74 (1,14) (n=2) | - | - | | - |
| | E-Tretroller | Fahrrad ohne Ahn. | - | | - | - | 1,98 (1,68) (n=1) | - |

L: Überholen auf der linken Seite; R: Überholen auf der rechten Seite;
i Breite der Radverekehrsanlagen; ii Breite der Sicherheitstrennstreifen;
+N: Anzahl der Überholvorgänge mit Nutzung der Sicherheitstrennstreifen;

## Anhang 11.4 Auswertungen für die „Längsneigung“

**Tabelle A11.9: Gegenüberstellung der Fälle von Nebeneinanderfahren an den Strecken mit Längsneigung**

| | | Nebeneinanderfahren außerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Nebeneinanderfahren innerhalb von Radverkehrsanlagen (RVA) | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt (Anteil)** | |
| eben | (8) Referenz 1 | 4 | 0 | 2 | **3 (33%)** | 9 |
| | (11) Referenz 2 | 3 | 0 | 0 | **4 (57%)** | 7 |
| mit Längsneigung | (31) 3,0% | 6 | 0 | 0 | **2 (25%)** | 8 |
| | (31) -3,0% | 3 | 0 | 0 | **2 (40%)** | 5 |
| | (32) 4,2% | 3 | 0 | 0 | **2 (50%)** | 5 |
| | (33) 6,2% - 6,5% | 6 | 1 | 0 | **0 (0%)** | 7 |

**Tabelle A11.10: Überholbedarf und Überholabstände an den Strecken mit Längsneigung (n: Anzahl der Nutzenden)**

| **Strecke** | | | **(10) Referenzstrecke** | **(31) 3% bergauf** | | **(31) 3% bergab** | | **(33) 6,2%-6,5% bergauf** |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Anzahl der Überholvorgänge** | **Summe Überholbedarf** | | **25 [/4h]** | **38 [/4h]** | | **9 [/4h]** | | **3 [12/h]** |
| | abgebrochenes Überholen | | 0 | 0 | | 0 | | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (außerhalb von Radverkehrsanlagen) | | 25 | 37 | | 8 | | ´3 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | | 0 | 0 | | 1 | | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (sonstige) | | 0 (0%) | 1 (3%) | | 0 (0%) | | 0 (0%) |
| **Überholabstand** | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** | | | | | |
| | | | R | L | R | L | R | R |
| | Fahrrad ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | 1,33 (0,73) (n=13) | 1,26 (0,66) (n=8) | 1,38 (0,78) (n=21) | 0,99 (0,39) (n=3) | 1,20 (0,60) (n=3) | 1,50 (0,90) (n=1) |
| | | Pedelec ohne Ahn. | 1,58 (0,98) (n=1) | - | - | - | - | - |
| | | Lastenrad | - | - | - | - | 1,16 (0,51) (n=1) | - |
| | | E-Tretroller | 1,36 (0,76) (n=1) | - | - | 1,25 (0,65) (n=1) | - | - |
| | Fahrrad mit Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | 1,57 (0,94) (n=2) | - | - | - | - | - |
| | Pedelec ohne Ahn. | Fahrrad ohne Ahn. | 1,35 (0,75) (n=5) | 1,28 (0,68) (n=1) | 1,50 (0,90) (n=6) | 1,10 (0,80) (n=1) | - | - |
| | | Pedelec ohne Ahn. | - | - | 1,50 (0,90) (n=1) | - | - | - |
| | | E-Tretroller | 1,50 (0,90) (n=1) | - | - | - | - | |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Ahn. | 1,57 (0,93) (n=2) | - | 1,30 (0,65) (n=1) | - | - | - |
| | E-Tretroller | Fahrrad ohne Anh. | - | - | - | - | - | 1,76 (1,16) (n=2) |

L: Überholen auf der linken Seite; R: Überholen auf der rechten Seite

# Anhang 12 Interaktionsvorgänge aus der Videoerfassung

## Anhang 12.1 Interaktionen mit Kfz im Längsverkehr (Überholabstände durch Kfz)

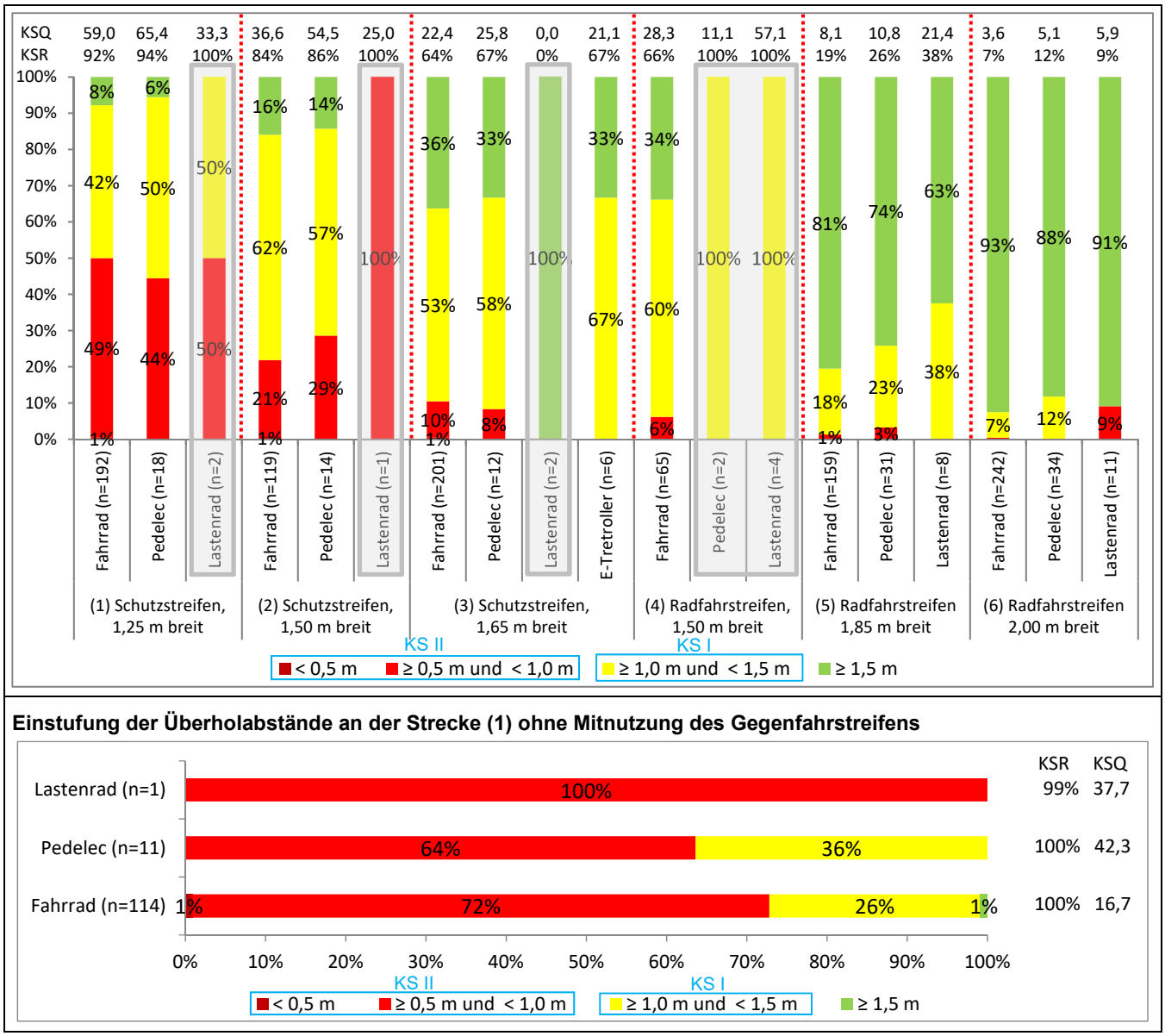






**Abbildung A12.1: Einstufung der Überholabstände in Abhängigkeit von den Breiten der Radverkehrsstreifen (n: Anzahl der Interaktionen)**

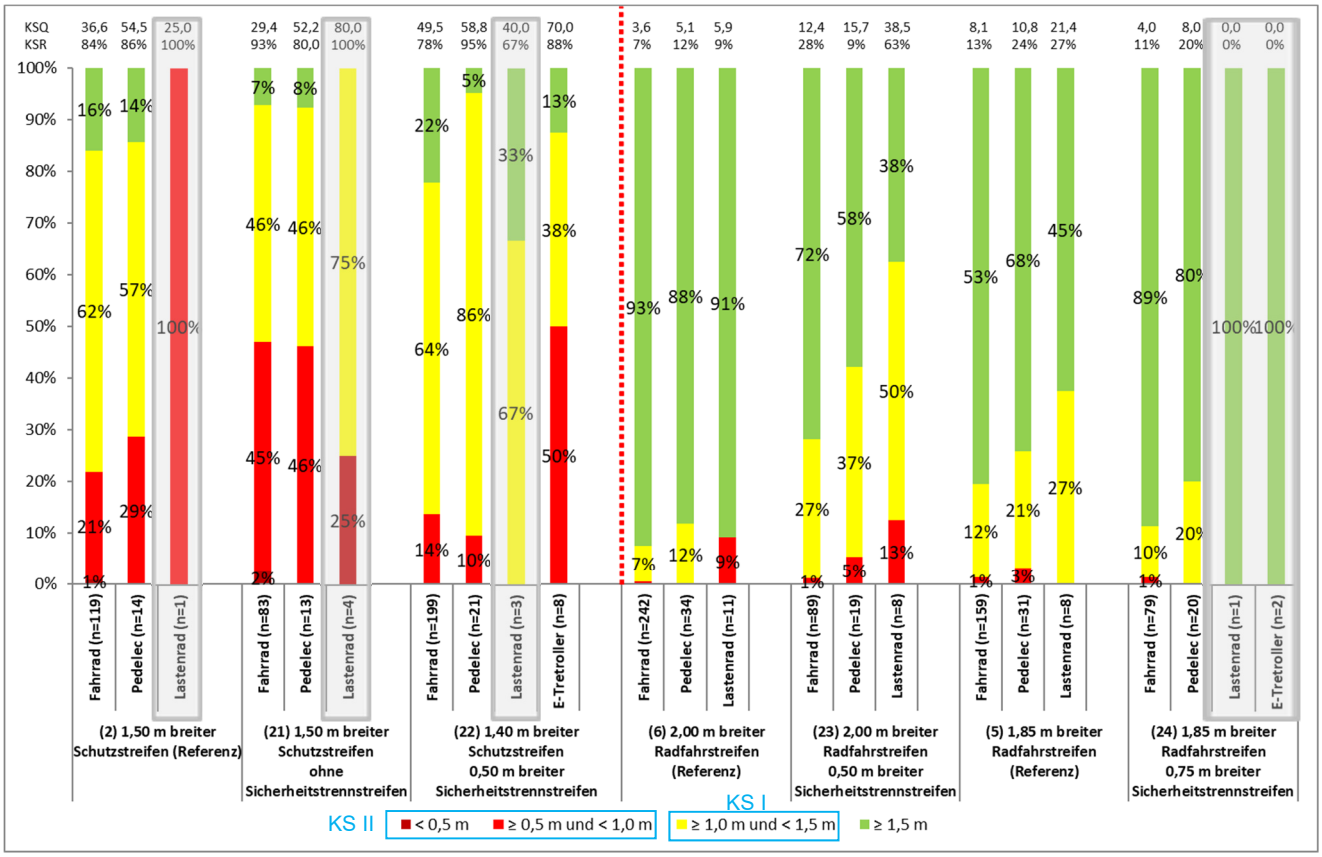



**Abbildung A12.2: Überholabstände durch Kfz-Verkehr je nach dem Vorhandensein von Parkständen und der Breite von Sicherheitstrennstreifen auf den Radverkehrsstreifen (n: Anzahl der Interaktionen)**

**Abbildung A12.3: Überholabstände durch Kfz bei allen Rad- und E-Tretrollerfahrenden (oben) und nur bei Überholenden oder links Fahrenden des Nebeneinanderfahrens (unten) auf Radfahrstreifen (mit Sicherheitstrennstrfeifen zur Fahrbahn) (n: Anzahl der Interaktionen)**

**Tabelle A12.1: kritische Überholabstände im Mischverkehr bei dualer Führungsform (n: Anzahl der Interaktionsvorgänge)**

| Straßenstrecken | Anzahl der Kfz-Fahrstreifen | KS I | KS II | KSR | KSQ |
|---|---|---|---|---|---|
| (40) Gehweg „Radfahrer frei“ (n=14) | 2 | 7% | 0% | 7% | 2,2 |
| (41) Gehweg „Radfahrer frei“ (n=12) | 2 | 0% | 25% | 25% | 8,8 |
| (7) Radweg (n=18) | 1 | 11% | 17% | 28% | 9,4 |
| (8) Radweg (n=5) | 1 | 0% | 60% | 60% | 25,0 |
| (9) Radweg (n=6) | 2 | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| (10) Radweg (n=6) | 3 | 17% | 0% | 17% | 9,1 |
| (32) Radweg 4,2% bergauf (n=2) | 1 | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| (32) Radweg 4,2% bergab (n=4) | 2 | 0% | 0% | 0% | 0,0 |

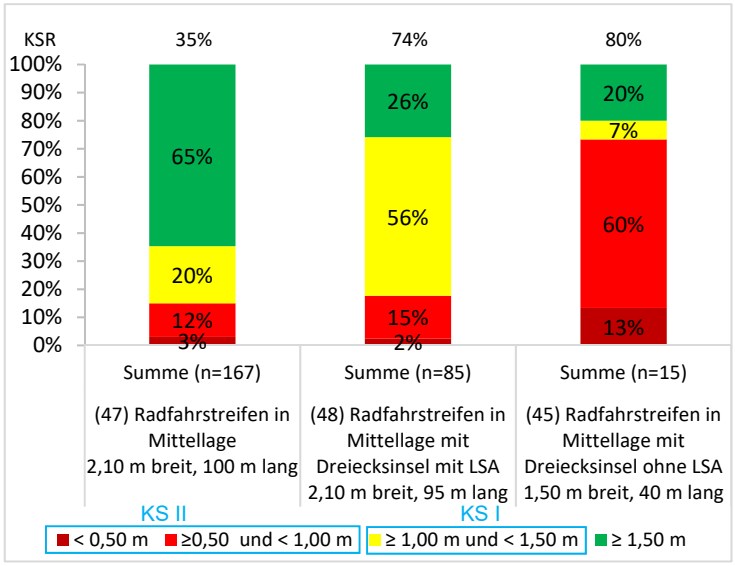



**Abbildung A12.4: Einstufung der Überholabstände an den Knotenpunktzufahrten mit Radfahrstreifen (n: Anzahl der Interaktionen)**

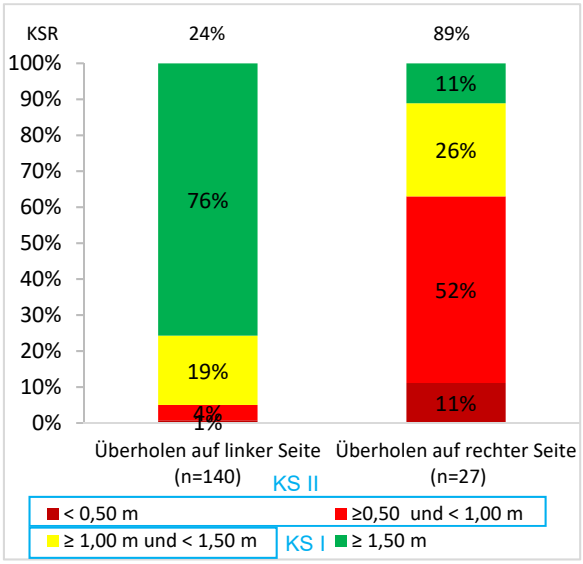



**Abbildung A12.5: Einstufung der Überholabstände je nach der Seite des Überholens an der Knotenpunktzufahrt (47) (n: Anzahl der Interaktionen)**

## Anhang 12.2 Interaktionen mit einbiegenden Kfz

**Tabelle A12.2: Interaktionsvorgänge mit den ein- und ausbiegenden Kfz aus Grundstücksein- und ausfahrt (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Fahrzeugart | Normal-verhalten | „positive“ Reaktion | B I | B II | BR | BQ |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad (n=141) | 80% | 6% | 13% | 1% | 13% | 0,7 |
| Pedelec (n=12) | 75% | 17% | 8% | 0% | 8% | 0,3 |
| Lastenrad (n=3) | 67% | 0% | 33% | 0% | 33% | 1,4 |
| E-Tretroller (n=3) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| **Strecken** | **Normal-verhalten** | **„positive“ Reaktion** | **B I** | **B II** | **BR** | **BQ** |
| (3) 1,25 m breiter Schutzstreifen (n=51) | 67% | 10% | 22% | 2% | 24% | 1,9 |
| (4) 1,50 m breiter Radfahrstreifen (n=9) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| (5) 1,85 m breiter Radfahrstreifen (n=17) | 76% | 6% | 18% | 0% | 18% | 0,6 |
| (6) 2,00 m breiter Radfahrstreifen (n=25) | 76% | 16% | 8% | 0% | 8% | 0,3 |
| (8) 1,48 m breiter Radweg (n=15) | 87% | 0% | 13% | 0% | 13% | 0,5 |
| (12) 1,50 m breiter Radweg (n=8) | 75% | 13% | 13% | 0% | 13% | 0,6 |
| (20) 2,25 m breitem geschützter Radfahr-streifen (n=34) | 97% | 0% | 3% | 0% | 3% | 0,1 |

## Anhang 12.3 Interaktionen mit abbiegenden Kfz

| Summe | Interaktionsvorgänge | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad (n=970) | 56% | 44% |
| | Pedelec (n=97) | 58% | 42% |
| | Lastenrad (n=25) | 56% | 44% |
| | E-Tretroller (n=41) | 39% | 61% |

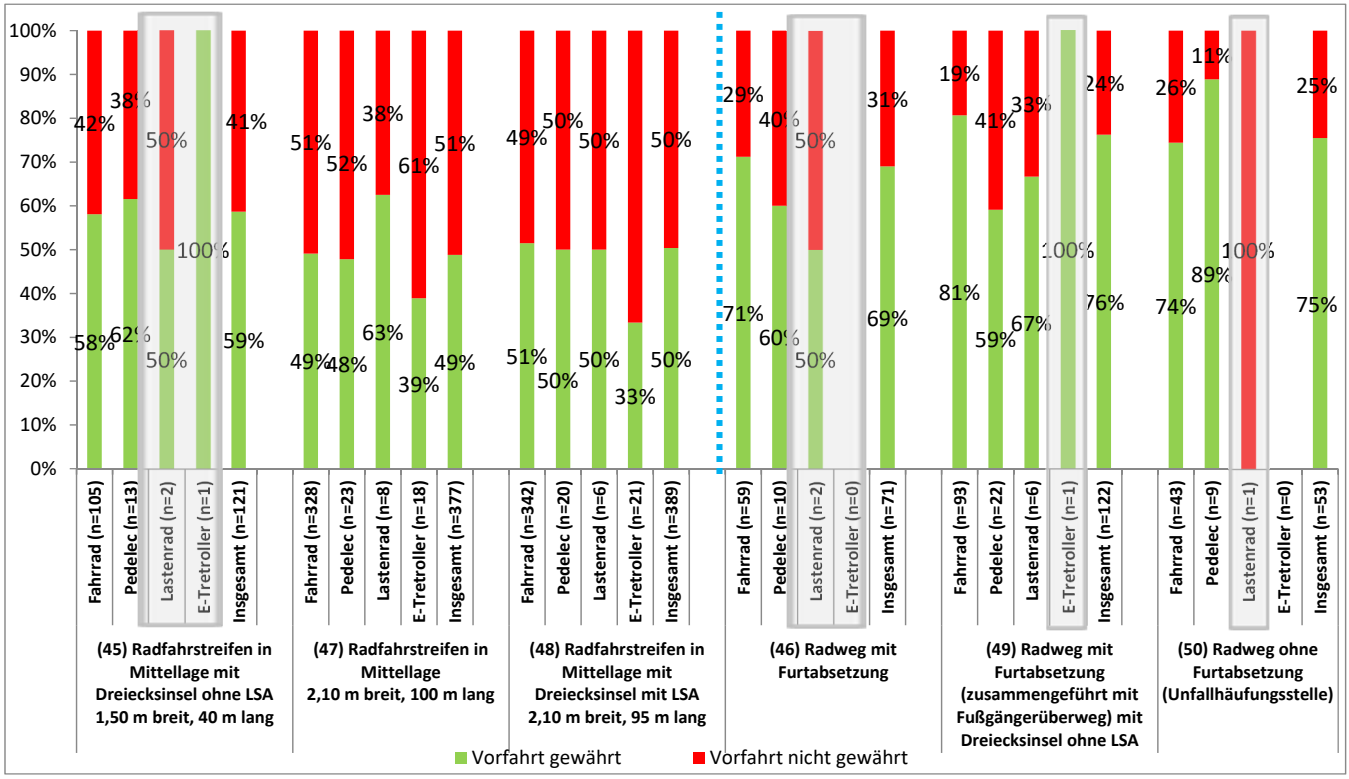
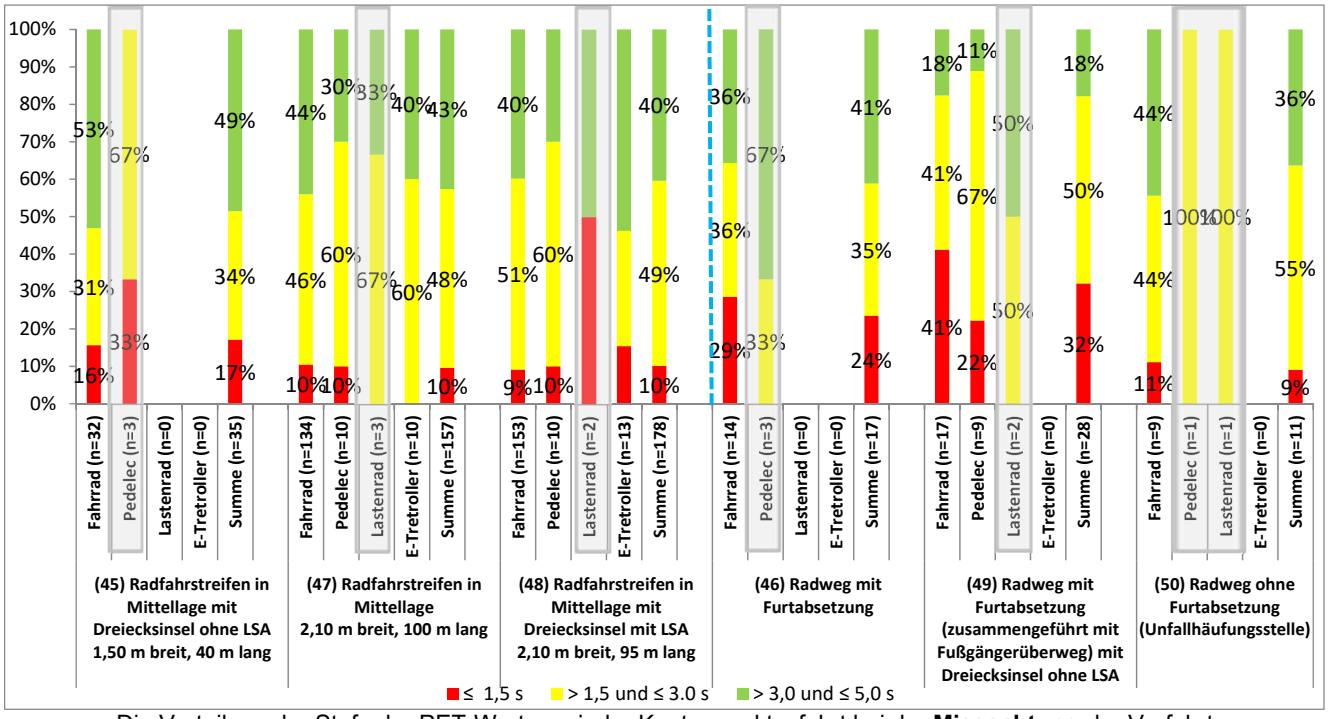



**Abbildung A12.6: Gewähren der Vorfahrt (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Summe | Vorfahrt gewährt | | | | Vorfahrt nicht gewährt | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Interaktion / PET-Stufe | ≤ 1,5 s | > 1,5 und ≤ 3,0 s | > 3,0 und ≤ 5,0 s | Interaktion / PET-Stufe | ≤1,5 s | > 1,5 und ≤ 3,0 s | >3,0 und ≤ 5,0 s |
| | Fahrrad (n=462) | 48% | 37% | 14% | Fahrrad (n=359) | 13% | 46% | 42% |
| | Pedelec (n=47) | 32% | 45% | 23% | Pedelec (n=36) | 14% | 61% | 25% |
| | Lastenrad (n=12) | 50% | 33% | 17% | Lastenrad (n=8) | 13% | 50% | 38% |
| | E-Tretroller (n=16) | 50% | 19% | 31% | E-Tretroller (n=23) | 9% | 43% | 48% |




Die Verteilung der Stufe der PET-Werte an jeder Knotenpunktzufahrt bei der **Missachtung** der Vorfahrt

**Abbildung A12.7: Stufe der PET-Werte (n:Anzahl der Interaktionen)**

| Summe | Fahrzeug / Beeinträchtigung | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt nicht gewährt | | | Insgesamt | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Normalverhalten | B1 | B2 | Normalverhalten | B1 | B2 | BR | BQ |
| | Fahrrad (n=994) | 54% | 3% | 0% | 38% | 4% | 1% | **8%** | **3,3** |
| | Pedelec (n=103) | 52% | 6% | 1% | 32% | 8% | 1% | **16%** | **6,4** |
| | Lastenrad (n=24) | 50% | 4% | 4% | 29% | 13% | 0% | **21%** | **8,4** |
| | E-Tretroller (n=38) | 34% | 0% | 0% | 63% | 3% | 0% | **3%** | **1,3** |

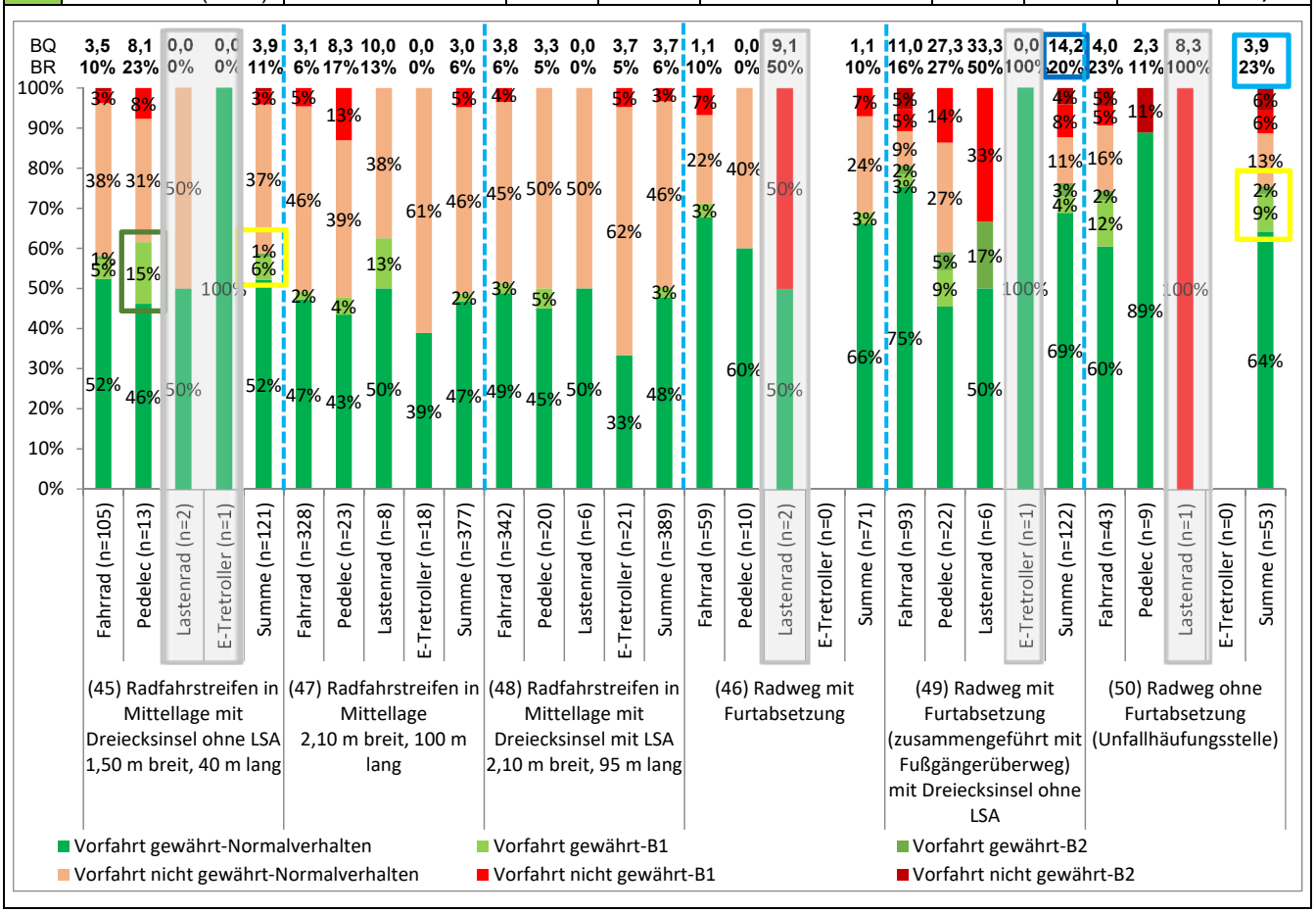



**Abbildung A12.8: Behinderungen zwischen geradausfahrenden Rad- und E-Tretrollernutzenden und rechts abbiegenden Kfz-Führenden (n: Anzahl der Interaktionen)**

## Anhang 12.4 Interaktionen mit zu Fuß Gehenden

**Tabelle A12.3: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden je nach der Trennungsform zwischen Geh- und Radweg (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Strecke: Breite [m] Trennung | Fahrzeugtypen | Normal-verlauf | „positive“ Reaktion | KS I | B I | KS II | B II | (K+B)R | (K+B)Q |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (8)a) Radweg: 1,50 (zum Teil) Poller | Fahrrad (n=49) | 90% | 2% | 2% | 0% | 6% | 0% | 8% | 0,9 |
| | Pedelec (n=5) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Lastenrad (n=1) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=55) | 91% | 2% | 2% | 0% | 5% | 0% | 7% | 0,8 |
| (8)b) Radweg: 1,50 (zum Teil) Farbun-terschied | Fahrrad (n=72) | 75% | 8% | 6% | 0% | 11% | 0% | 17% | 2,8 |
| | Pedelec (n=14) | 57% | 21% | 0% | 0% | 21% | 0% | 21% | 6,8 |
| | Summe (n=86) | 72% | 10% | 5% | 0% | 13% | 0% | 17% | 3,1 |
| (11) Radweg: 1,50 Poller | Fahrrad (n=85) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Pedelec (n=4) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Lastenrad (n=9) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | E-Tretroller (n=1) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=99) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| (7) Radweg: 1,30 Farbunterschied | Fahrrad (n=42) | 43% | 26% | 12% | 5% | 12% | 2% | 31% | 5,4 |
| | Pedelec (n=7) | 43% | 0% | 14% | 0% | 43% | 0% | 57% | 16,0 |
| | Summe (n=49) | 43% | 22% | 12% | 4% | 16% | 2% | 35% | 6,2 |
| (10) Radweg: 1,50 Farbunterschied | Fahrrad (n=113) | 71% | 12% | 6% | 0% | 10% | 1% | 17% | 5,0 |
| | Pedelec (n=18) | 44% | 11% | 17% | 6% | 22% | 0% | 44% | 14,3 |
| | Lastenrad (n=3) | 67% | 33% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=134) | 67% | 13% | 7% | 1% | 11% | 1% | 20% | 6,0 |
| (14) Radweg: 2,10 Farb-/ Matrialunter-schied | Fahrrad (n=7) | 71% | 29% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Pedelec (n=2) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=9) | 78% | 22% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| (12) Radweg: 1,50 Pflasterbelag | Fahrrad (n=28) | 93% | 4% | 0% | 0% | 4% | 0% | 4% | 0,7 |
| | Pedelec (n=4) | 50% | 25% | 0% | 0% | 25% | 0% | 25% | 5,3 |
| | Lastenrad (n=1) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=33) | 88% | 6% | 0% | 0% | 6% | 0% | 6% | 1,2 |

**Tabelle A12.4: Vergleich der Interaktionsvorgänge mit Fahrrad oder Pedelec je nach Anzahl oder Status des Fußverkehrs an der Strecke (7) (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Anzahl/Status des Fußverkehrs | einzelne | | einzelne mit Kinderwagen | | zwei | | drei oder mehr | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Interaktionen** | Summe | (KS+B)R | Summe | (KS+B)R | Summe | (KS+B)R | Summe | (KS+B)R |
| **Fahrrad (n=42)** | 31 | 19% | 2 | 0% | 2 | 0% | 7 | 71% |
| **Pedelec (n=7)** | 4 | 25% | 0 | - | 0 | - | 3 | 100% |

**Tabelle A12.5: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden an den Radwegen mit Parkständen in Abhängigkeit von Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Strecke | Fahrzeugtypen | Normal-verlauf | „positive“ Reaktion | KS I | B I | KS II | B II | (K+B)R | (K+B)Q |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (10) 1,50 m breiter Radweg (Referenz) | Fahrrad (n=113) | 71% | 12% | 6% | 0% | 10% | 1% | 17% | 5,5 |
| | Pedelec (n=18) | 44% | 11% | 17% | 1% | 22% | 0% | 44% | 18,2 |
| | Lastenrad (n=3) | 67% | 33% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=134) | 67% | 13% | 7% | 1% | 11% | 1% | 20% | 6,7 |
| (26) 1,60 m breiter Radweg mit Park-stände, ohne Si-cherheitsternn-streifen | Fahrrad (n=22) | 64% | 0% | 14% | 0% | 23% | 0% | 36% | 6,2 |
| | Pedelec (n=5) | 40% | 0% | 0% | 0% | 60% | 0% | 60% | 8,8 |
| | Lastenrad (n=1) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | E-Tretroller (n=2) | 0% | 0% | 0% | 0% | 100% | 0% | 100% | 66,7 |
| | Summe (n=30) | 57% | 0% | 10% | 0% | 33% | 0% | 43% | 7,4 |
| (27) 1,60 m breiter Radweg mit Park-ständen, 0,75 m breiter Sicher-heitstrennstreifen | Fahrrad (n=209) | 68% | 18% | 7% | 1% | 6% | 0% | 14% | 7,0 |
| | Pedelec (n=18) | 50% | 22% | 17% | 0% | 11% | 0% | 28% | 13,5 |
| | Lastenrad (n=7) | 29% | 29% | 43% | 0% | 0% | 0% | 43% | 37,5 |
| | E-Tretroller (n=19) | 68% | 21% | 5% | 0% | 5% | 0% | 11% | 10,0 |
| | Summe (n=253) | 66% | 19% | 9% | 1% | 6% | 0% | 15% | 8,1 |

**Tabelle A12.6: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden an den Radwegen mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Strecke | Fahrzeugtypen | Normal-verlauf | „positive" Reaktion | KS I | B I | KS II | B II | (K+B)R | (K+B)Q |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (14) 2,10 m breiter Radweg (Referenz) | Fahrrad (n=7) | 71% | 29% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Pedelec (n=2) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=9) | 78% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| (28) 1,60 m breiter Radweg, 0,50 m breiter Sicherheitstrennstreifen | Fahrrad (n=34) | 88% | 3% | 0% | 0% | 9% | 0% | 9% | 1,5 |
| | Pedelec (n=3) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=37) | 89% | 3% | 0% | 0% | 8% | 0% | 8% | 1,3 |
| (29) 1,60 m brieter Radweg, 0,70 m breiter Sicherheitstrennstreifen | Fahrrad (n=85) | 88% | 6% | 0% | 0% | 6% | 0% | 6% | 0,9 |
| | Pedelec (n=6) | 67% | 33% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=91) | 87% | 8% | 0% | 0% | 5% | 0% | 5% | 0,8 |

**Tabelle A12.7: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden an den Radwegen mit Längsneigung (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Strecke | Fahrzeugtypen | Normal-verlauf | „positive" Reaktion | KS I | B I | KS II | B II | (K+B)R | (K+B)Q |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (8) eben (1,48 m breit) (Referenz) | Fahrrad (n=72) | 75% | 8% | 6% | 0% | 11% | 0% | 17% | 2,8 |
| | Pedelec (n=14) | 57% | 21% | 0% | 0% | 21% | 0% | 21% | 6,8 |
| | Summe (n=86) | 72% | 10% | 5% | 0% | 13% | 0% | 17% | 3,1 |
| (31) 3% bergauf (1,50 m breit) | Fahrrad (n=236) | 87% | 3% | 2% | 0% | 8% | 0% | 11% | 4,3 |
| | Pedelec (n=21) | 57% | 14% | 10% | 0% | 19% | 0% | 29% | 13,3 |
| | Lastenrad (n=14) | 71% | 7% | 21% | 0% | 0% | 0% | 21% | 13,0 |
| | E-Tretroller (n=12) | 67% | 0% | 8% | 0% | 25% | 0% | 33% | 13,8 |
| | Summe (n=283) | 83% | 4% | 4% | 0% | 10% | 0% | 13% | 5,7 |
| (31) 3% bergab (1,50 m breit) | Fahrrad (n=177) | 74% | 6% | 8% | 0% | 12% | 0% | 20% | 6,2 |
| | Pedelec (n=18) | 50% | 6% | 22% | 0% | 22% | 0% | 44% | 13,8 |
| | Lastenrad (n=1) | 0% | 0% | 100% | 0% | 0% | 0% | 100% | 10,0 |
| | E-Tretroller (n=12) | 58% | 8% | 0% | 0% | 33% | 0% | 33% | 14,3 |
| | Summe (n=208) | 71% | 6% | 10% | 0% | 14% | 0% | 24% | 7,2 |
| (33) 6,2%-6,5% bergauf (1,50 m breit) | Fahrrad (n=49) | 88% | 4% | 8% | 0% | 0% | 0% | 8% | 2,4 |
| | Pedelec (n=9) | 89% | 0% | 11% | 0% | 0% | 0% | 11% | 4,3 |
| | Lastenrad (n=1) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | E-Tretroller (n=7) | 71% | 29% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=65) | 86% | 6% | 8% | 0% | 0% | 0% | 8% | 2,2 |

**Tabelle A12.8: Behinderungen und kritische Situationen bei Interaktionen mit zu Fuß Gehenden bei der gemeinsamen Führung (n: Anzahl der Interaktionen)**

| Strecke | Fahrzeugtypen | Normal-verlauf | „positive" Reaktion | KS I | B I | KS II | B II | (K+B)R | (K+B)Q |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (40) Gehweg „Radfahrer frei", 2,10 m breit | Fahrrad (n=77) | 57% | 8% | 22% | 10% | 1% | 1% | 35% | 20,0 |
| | Pedelec (n=17) | 12% | 0% | 71% | 6% | 0% | 12% | 88% | 83,3 |
| | Lastenrad (n=2) | 50% | 0% | 0% | 50% | 0% | 0% | 50% | 33,3 |
| | Summe (n=96) | 49% | 6% | 30% | 10% | 1% | 3% | **45%** | **27,6** |
| (41) Gehweg „Radfahrer frei", 2,50 m breit | Fahrrad (n=31) | 65% | 6% | 10% | 6% | 3% | 10% | 29% | 4,0 |
| | Pedelec (n=4) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Lastenrad (n=2) | 50% | 0% | 50% | 0% | 0% | 0% | 50% | 25,0 |
| | Summe (n=37) | 68% | 5% | 11% | 5% | 3% | 8% | **27%** | **3,8** |
| (42) gemeinsamer Geh- und Radweg, 2,80 m breit | Fahrrad (n=194) | 74% | 4% | 10% | 1% | 9% | 3% | 22% | 20,0 |
| | Pedelec (n=23) | 48% | 9% | 17% | 4% | 9% | 13% | 43% | 50,0 |
| | Lastenrad (n=9) | 33% | 0% | 44% | 22% | 0% | 0% | 67% | 85,7 |
| | Summe (n=226) | 69% | 4% | 12% | 10% | 1% | 3% | **26%** | **24,8** |
| (43) gemeinsamer Geh- und Radweg, 4,00 m breit | Fahrrad (n=94) | 68% | 7% | 7% | 16% | 0% | 1% | 24% | 7,5 |
| | Pedelec (n=15) | 60% | 13% | 13% | 13% | 0% | 0% | 26% | 13,3 |
| | Lastenrad (n=4) | 60% | 0% | 0% | 25% | 0% | 0% | 40% | 6,7 |
| | Summe (n=113) | 67% | 8% | 8% | 16% | 0% | 1% | **25%** | **8,0** |
| (44) gemeinsamer Geh- und Radweg, 5,50 m breit | Fahrrad (n=44) | 91% | 5% | 2% | 2% | 0% | 0% | 5% | 0,8 |
| | Pedelec (n=3) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Lastenrad (n=2) | 100% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0,0 |
| | Summe (n=49) | 92% | 4% | 2% | 2% | 0% | 0% | **4%** | **0,7** |

## Anhang 12.5 Interaktionen (Begegnungen) mit Rad- und E-Tretrollern

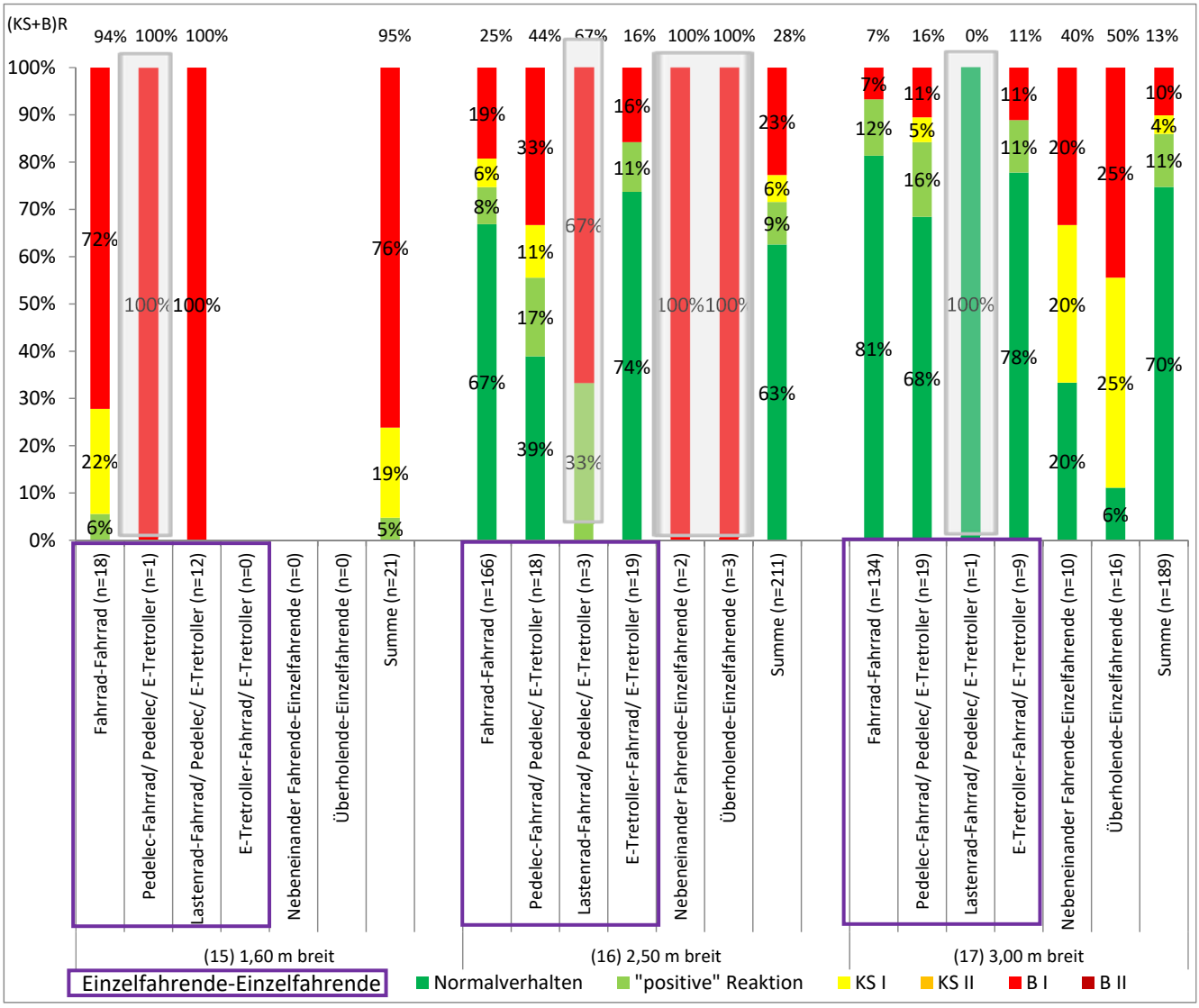



**Abbildung A12.9: Begegnungen von Rad- oder E-Tretrollernutzenden an den Zweirichtungsradwegen in Abhängigkeit von der Breite (n: Anzahl der Begegnungsfälle)**

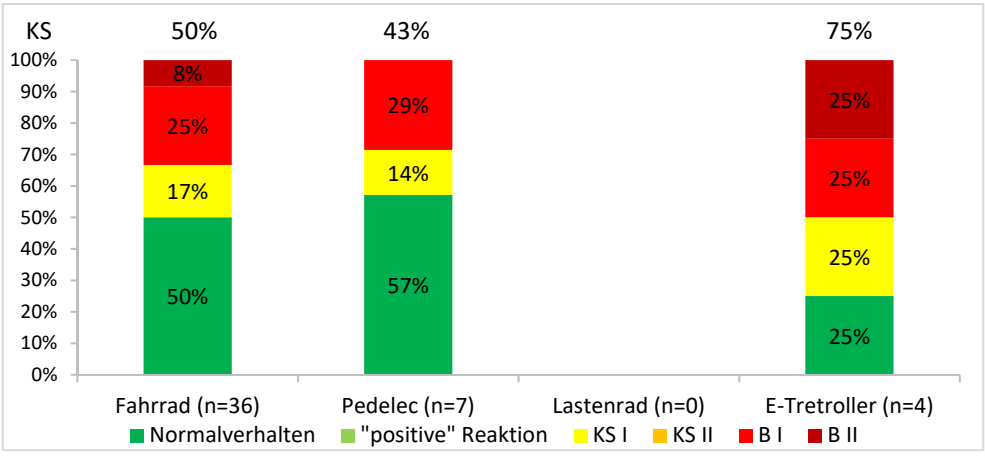



**Abbildung A12.10: Interaktionen (Begegnungen) mit der regelwidrig entgegenkommenden Nutzenden am Radweg (Strecke (29)) mit dem Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (n: Anzahl der Interaktionen)**

# Anhang 13 Beeinflussung durch den ruhenden Verkehr aus der Videoerfassung

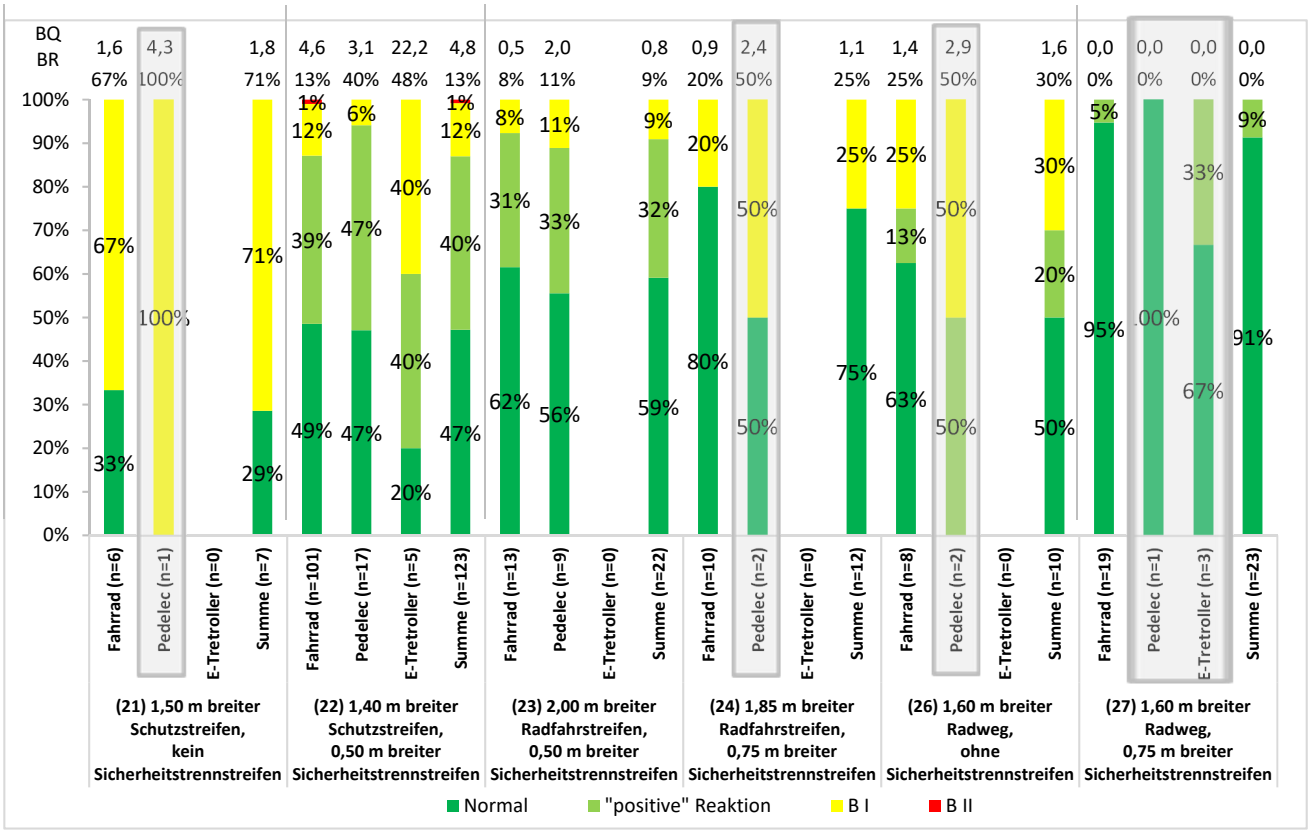
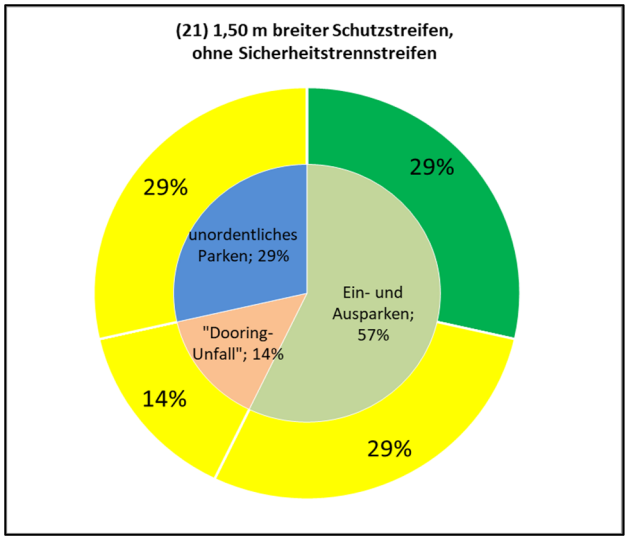
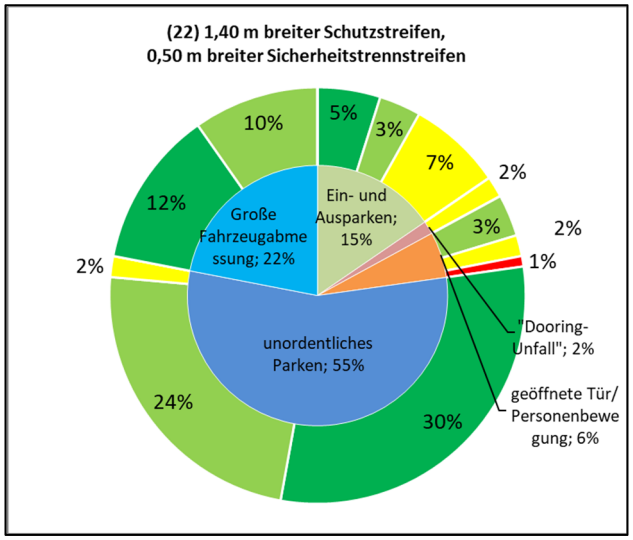



**Abbildung A13.1: Beeinflussungsstufe je nach Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Beeinflussungen)**

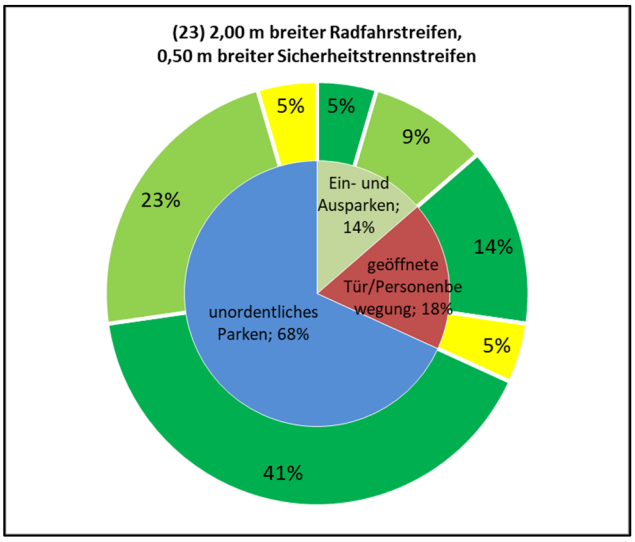
**Abbildung A13.2: Pedelec- und E-Tretrollerfahrende bei in den Schutzstreifen ragenden parkenden Fahrzeugen an der Strecke (22) [eigene Aufnahme]**



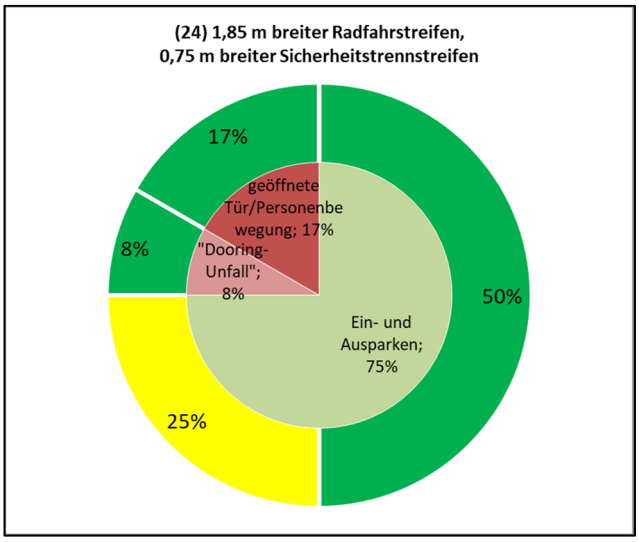

Anzahl der Beeinflussungen: n=7



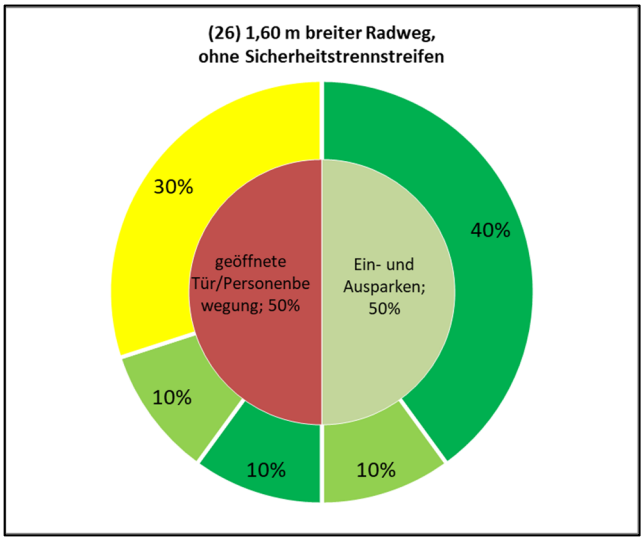

Anzahl der Beeinflussungen: n=123



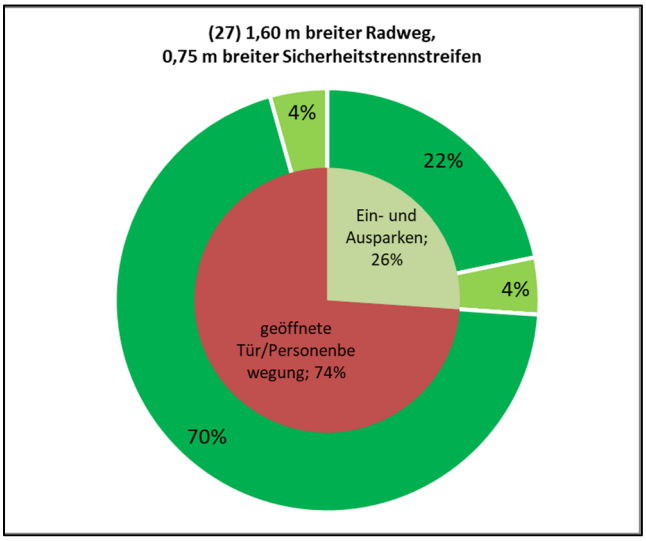

Anzahl der Beeinflussungen: n=22




Anzahl der Beeinflussungen: n=12




Anzahl der Beeinflussungen: n=10




Anzahl der Beeinflussungen: n=23

**Abbildung A13.3: Art der Beeinflussung mit der Beeinflussungsstufe**

# Anhang 14 Aufstellmöglichkeit an aufgeweiteten Radaufstellstreifen aus der Videoerfassung

## Anhang 14.1 Allgemeines Aufstellverhalten

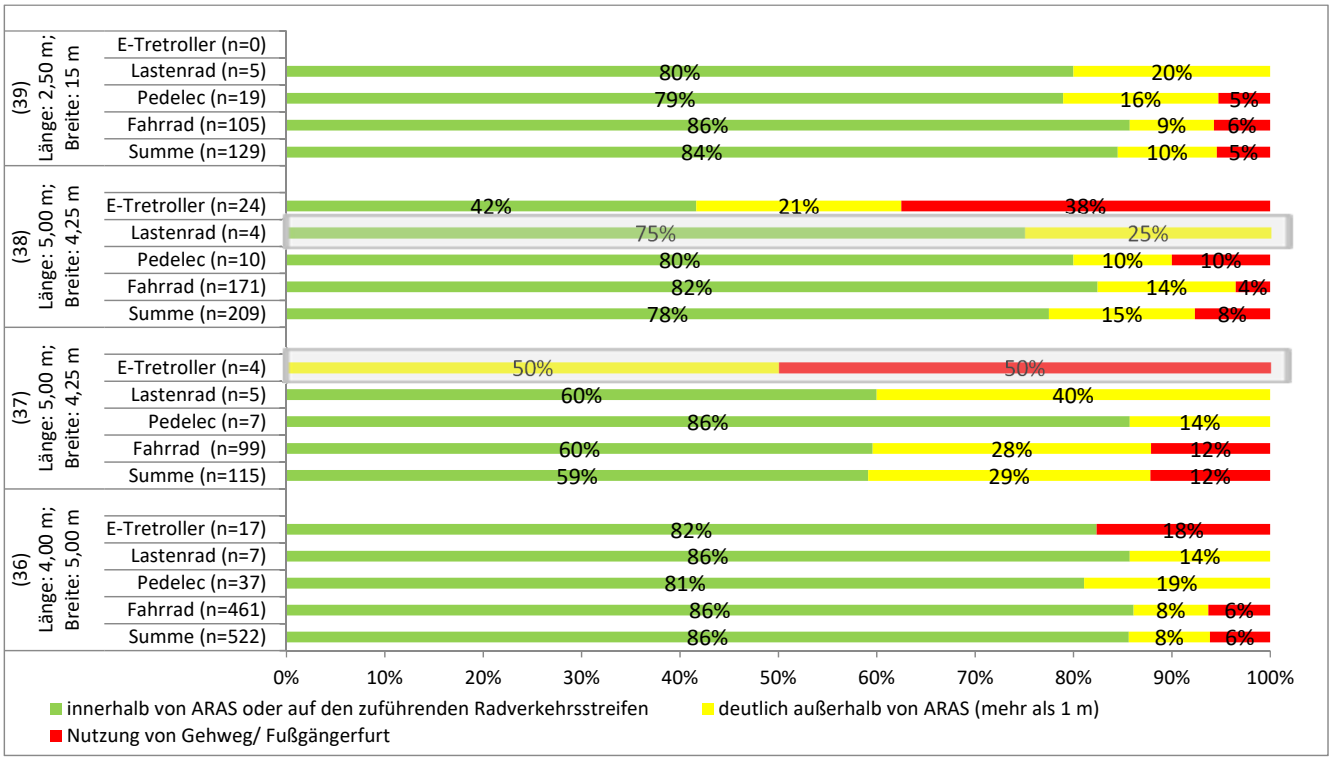



**Abbildung A14.1: Allgemeines Aufstellverhalten von Nutzenden der verschiedenen Fahrzeuge (n: Anzahl der Nutzenden)**

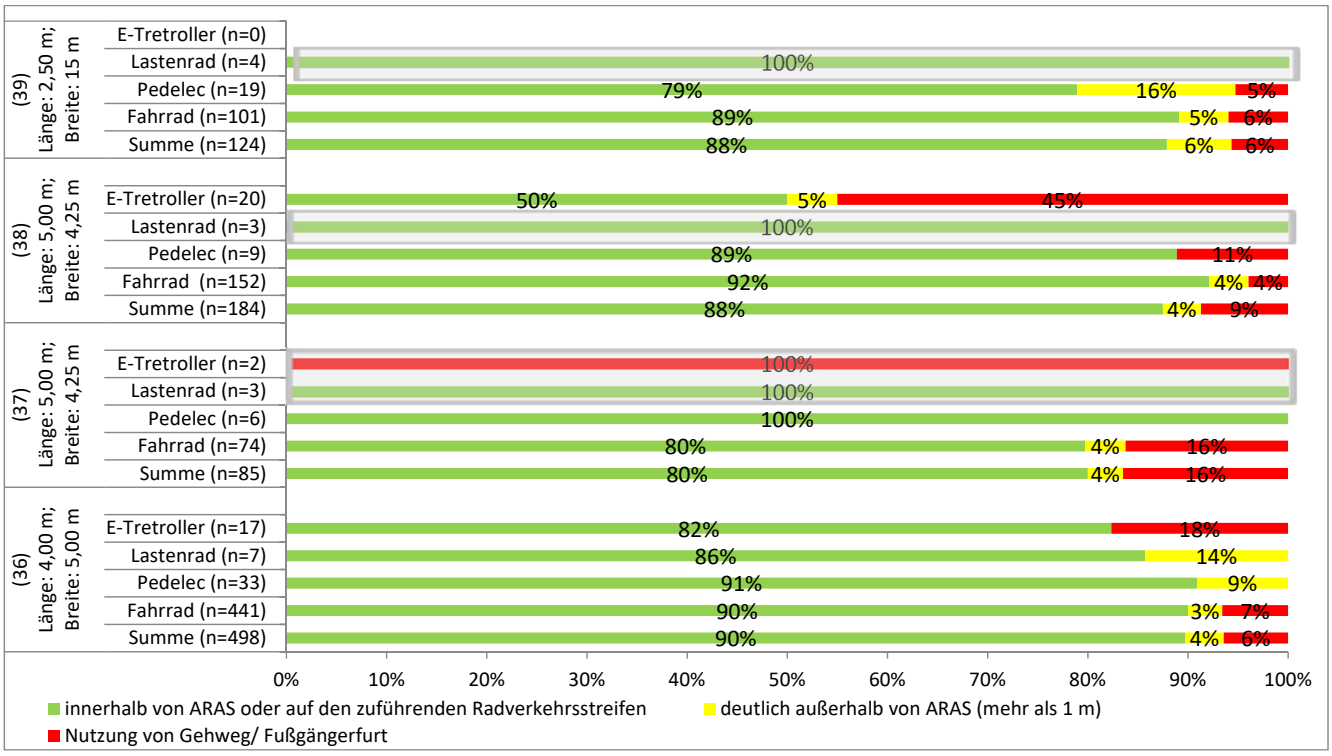



**Abbildung A14.2: Allgemeines Aufstellverhalten von Nutzenden der verschiedenen Fahrzeuge ohne als erste in der Sperrzeit ankommende Nutzende (n: Anzahl der Nutzenden)**

## Anhang 14.2 Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden

| | Aufstellen voran an aufgeweiteten Radaufstellstreifen (ARAS) | Aufstellen hinten an aufgeweiteten Radaufstellstreifen (ARAS) | Aufstellen an zuführenden Radverkehrsstreifen |
|---|---|---|---|
| Fahrrad (n=419) | 21% | 16% | 63% |
| Pedelec (n=42) | 24% | 17% | 60% |
| Lastenrad (n=7) | 14% | 0% | 86% |
| E-Tretroller (n=20) | 45% | 15% | 40% |

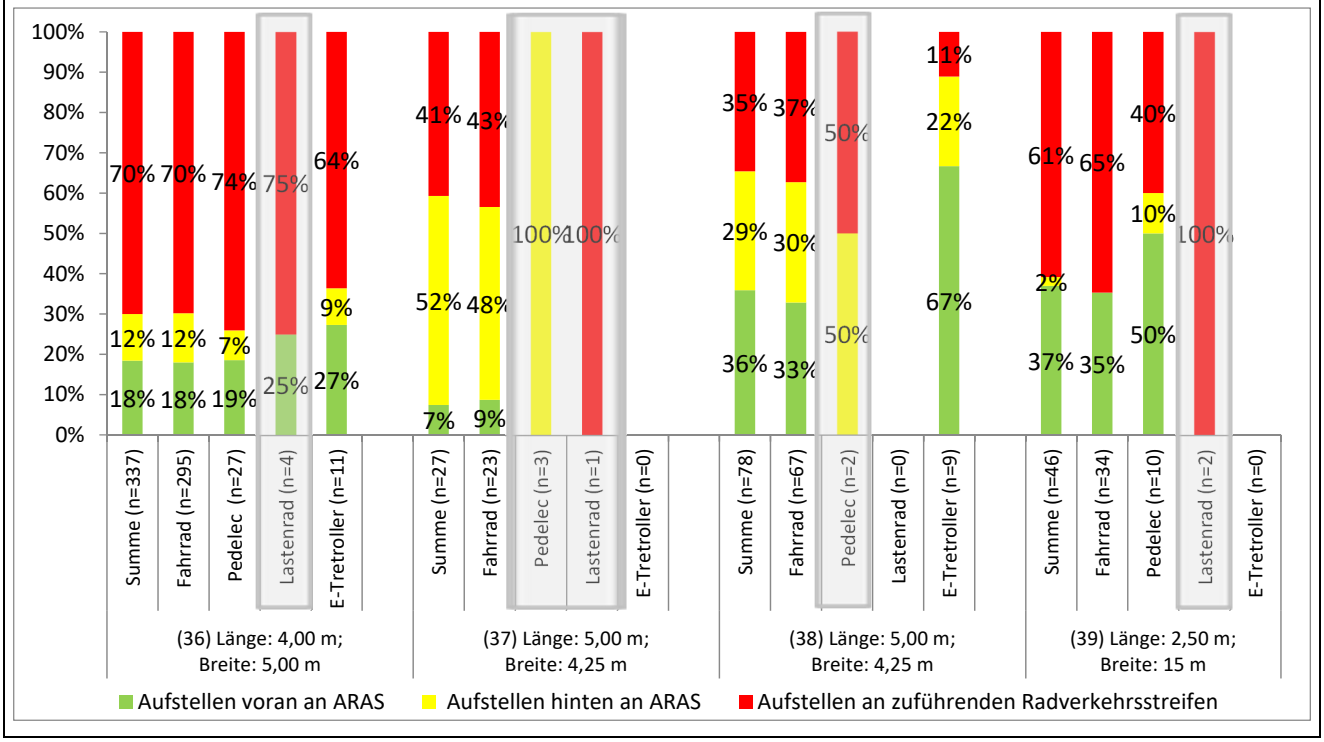



**Abbildung A14.3: Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden (n: Anzahl der Nutzenden)**

**Tabelle A14.1: Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollernutzenden in Abhängigkeit von den „Bedingungen“ (n: Anzahl der Nutzenden)**

| Verhalten | Voran-Aufstellen an aufgeweiteten Radaufstellstreifen | | |
|---|---|---|---|
| Bedingung | reibungslos voran aufstellen | zwischen aufgestellten Fahrzeugen kanalisieren | sehr schwieriges voran Aufstellen |
| Fahrrad (n=87) | 66% | 22% | 13% |
| Pedelec (n=10) | 70% | 2% | 1% |
| Lastenrad (n=1) | 0% | 0% | 1% |
| E-Tretroller (n=9) | 33% | 56% | 11% |
| **Verhalten** | **Aufstellen an zuführenden Radverkehrsstreifen** | | |
| Bedingung | reibungslos voran aufstellen | zwischen aufgestellten Fahrzeugen kanalisieren | sehr schwieriges voran Aufstellen |
| Fahrrad (n=260) | 35% | 22% | 43% |
| Pedelec (n=28) | 18% | 25% | 57% |
| Lastenrad (n=7) | 14% | 29% | 57% |
| E-Tretroller (n=8) | 13% | 38% | 50% |

## Anhang 14.3 Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen

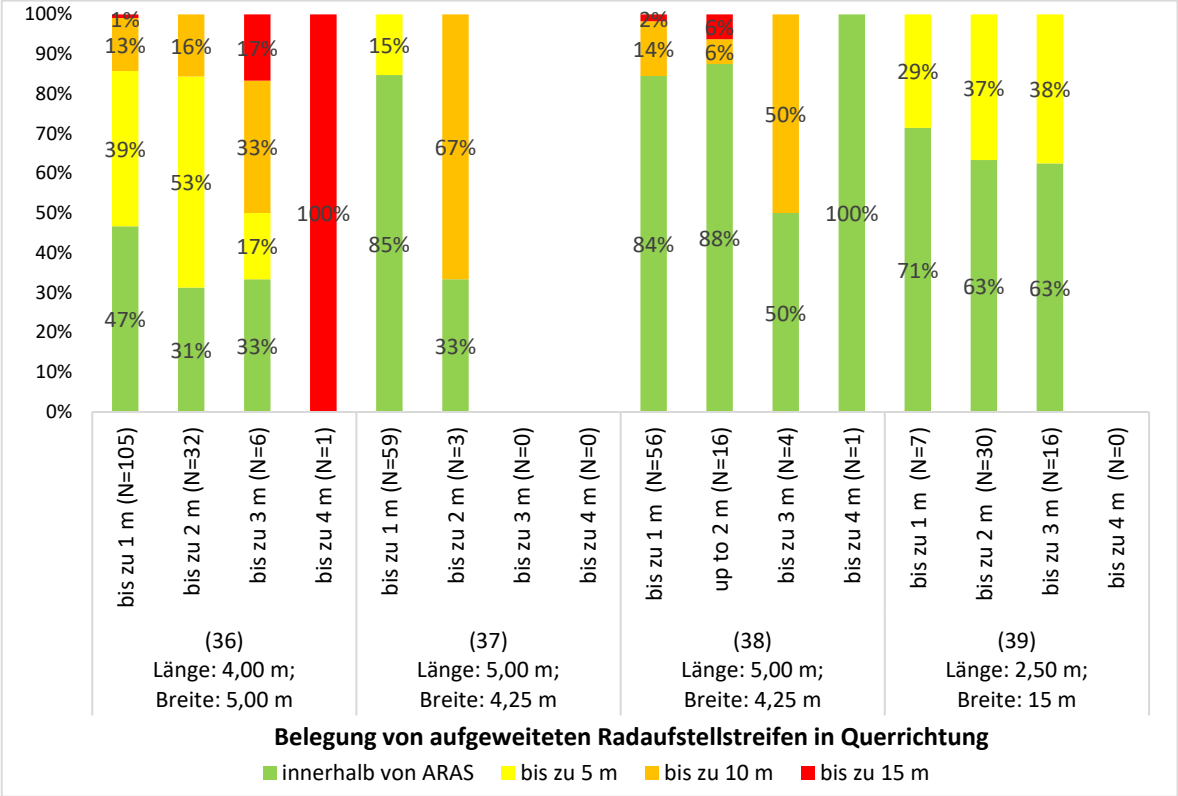



**Abbildung A14.4: Rückstaulänge auf zuführenden Radverkehrsstreifen in Abhängigkeit der Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Querrichtung (N: Anzahl der Umlaufzeit)**

**Abbildung A14.5: Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Querrichtung und Rückstau auf zuführenden Radaufstellstreifen bei derselben Umlaufzeit [eigene Aufnahme]**

## Anhang 14.4 Zugänglichkeit zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen

**Tabelle A14.2: Beeinflussungen und Beeinträchtigungen auf dem Weg zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen (n: Anzahl der Beeinflussungen und Beeinträchtigungen)**

| Knotenpunktzufahrt | Fahrzeug | B I | B II | BR | BQ |
|---|---|---|---|---|---|
| (36) Länge: 4,00 m; Breite: 5,00 m | Fahrrad (n=230) | 80% | 15% | 95% | 21,9 |
| | Pedelec (n=15) | 80% | 20% | 100% | 20,8 |
| | Lastenrad (n=5) | 60% | 40% | 100% | 35,7 |
| | E-Tretroller (n=8) | 88% | 13% | 100% | 21,1 |
| | **Summe (n=258)** | 79% | 16% | 95% | 21,9 |
| (37) Länge: 5,00 m; Breite: 4,25 m | Fahrrad (n=4) | 75% | 25% | 100% | 2,9 |
| | Pedelec (n=0) | | | | |
| | Lastenrad (n=0) | | | | |
| | E-Tretroller (n=0) | | | | |
| | **Summe (n=4)** | 75% | 25% | 100% | 2,6 |
| (38) Länge: 5,00 m; Breite: 4,25 m | Fahrrad (n=24) | 67% | 13% | 79% | 7,1 |
| | Pedelec (n=2) | 100% | 0% | 100% | 11,8 |
| | Lastenrad (n=0) | | | | |
| | E-Tretroller (n=1) | 100% | 0% | 100% | 3,3 |
| | **Summe (n=27)** | 69% | 12% | 81% | 6,9 |
| (39) Länge: 2,50 m; Breite: 15 m | Fahrrad (n=5) | 100% | 0% | 100% | 2,9 |
| | Pedelec (n=1) | 100% | 0% | 100% | 2,4 |
| | Lastenrad (n=0) | | | | |
| | E-Tretroller (n=0) | | | | |
| | **Summe (n=6)** | 100% | 0% | 100% | 2,7 |

**Tabelle A14.3: Art der Beeinflussung und Behinderungen auf dem Weg zur aufgeweiteten Radaufstellstreifen an der Knotenpunktzufahrt (36) (n: Anzahl der Beeinflussungen und Behinderungen)**

| Art der Beeinflussung / Fahrzeug | Behindert vom ruhenden Verkehr | | Behindert vom fließenden Verkehr im Stau | | Beeinflusst vom anderen Radverkehr | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | B I | B II | B I | B II | B I | B II |
| Fahrrad (n=218) | 73% | 9% | 9% | 6% | 2% | 1% |
| Pedelec (n=14) | 64% | 7% | 21% | 7% | 0% | 0% |
| Lastenrad (n=5) | 40% | 20% | 20% | 0% | 0% | 20% |
| E-Tretroller (n=8) | 75% | 13% | 13% | 0% | 0% | 0% |

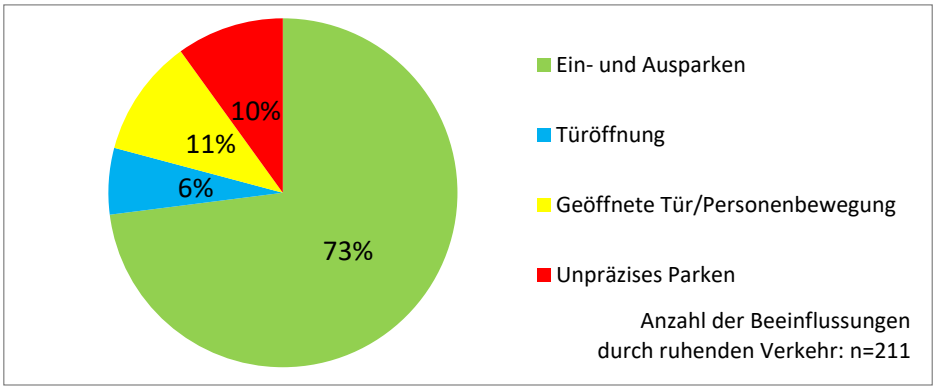



**Abbildung A14.6: Art der Beeinflussung durch den ruhenden Verkehr auf dem Weg zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen**

**Abbildung A14.7: Blockieren des Schutzstreifens durch einparkende Kfz [eigene Aufnahme]**

**Abbildung A14.8: Unpräzises Parken und Mitbenutzung des Schutzstreifen durch Kfz verengten Platz für Radfahrenden [eigene Aufnahme]**

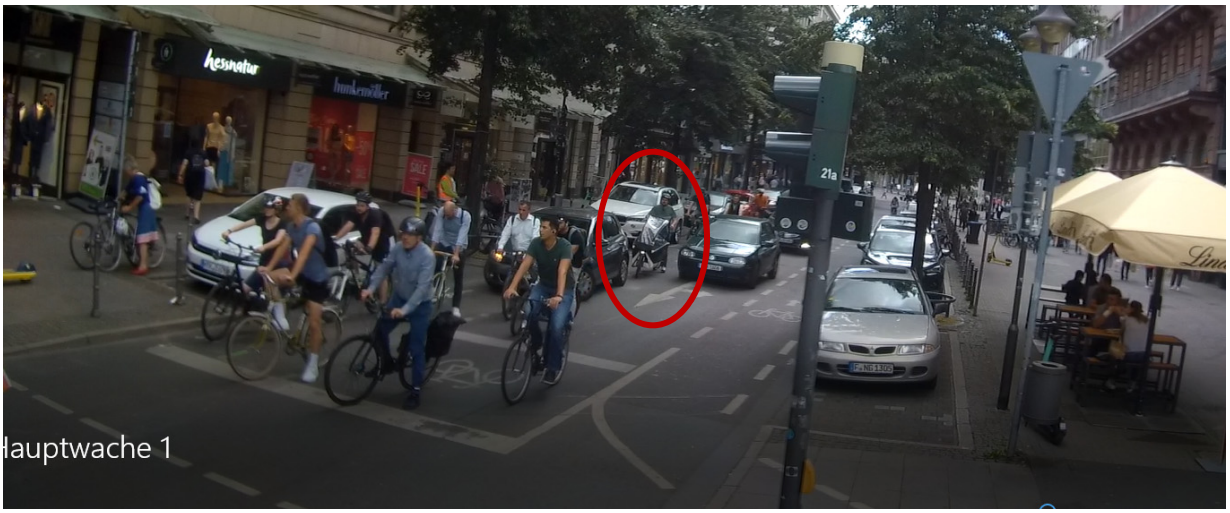



**Abbildung A14.9: Kanalisierung der Lastenradfahrenden zwischen den Kfz [eigene Aufnahme]**

# Anhang 15 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers) aus der Videoerfassung

## Anhang 15.1 Routenwahl

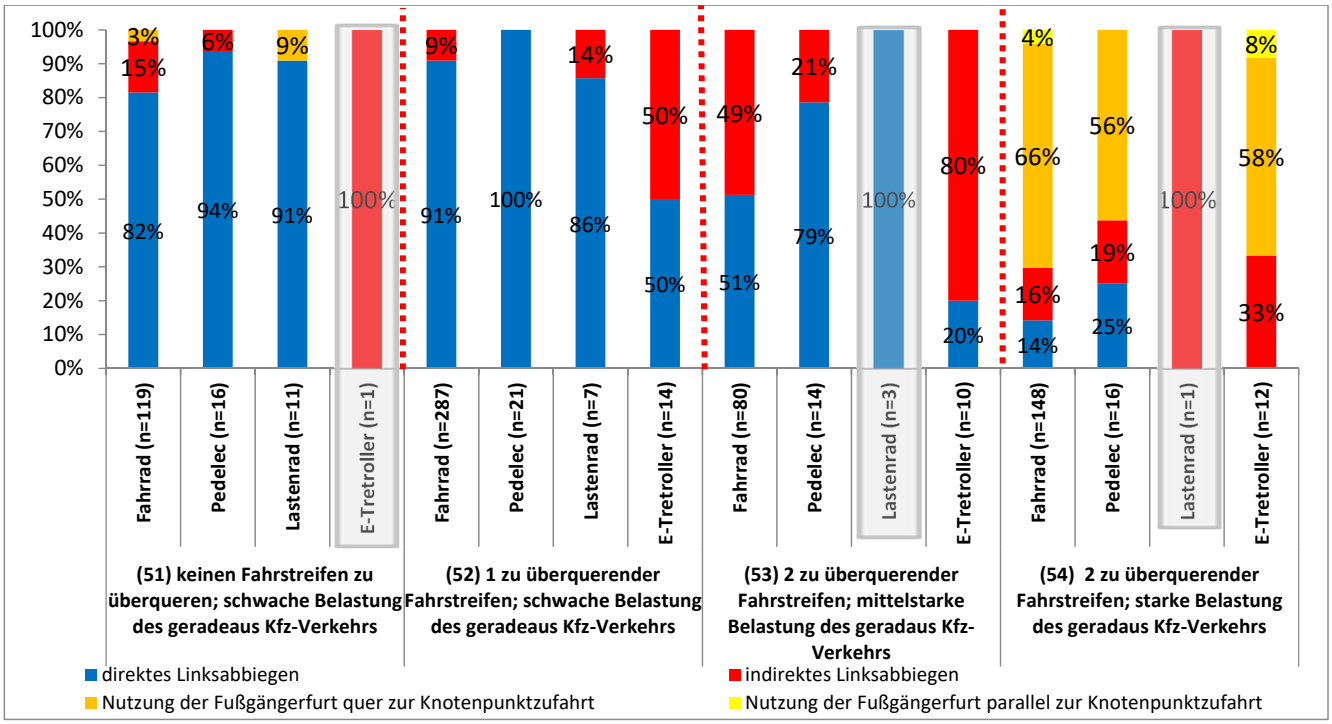



**Abbildung A15.1: Routenauswahl beim Linksabbiegen an der Knotenpunktzufahrt ohne aufgeweiteten Radaufstellstreifen (n: Anzahl der Nutzenden)**

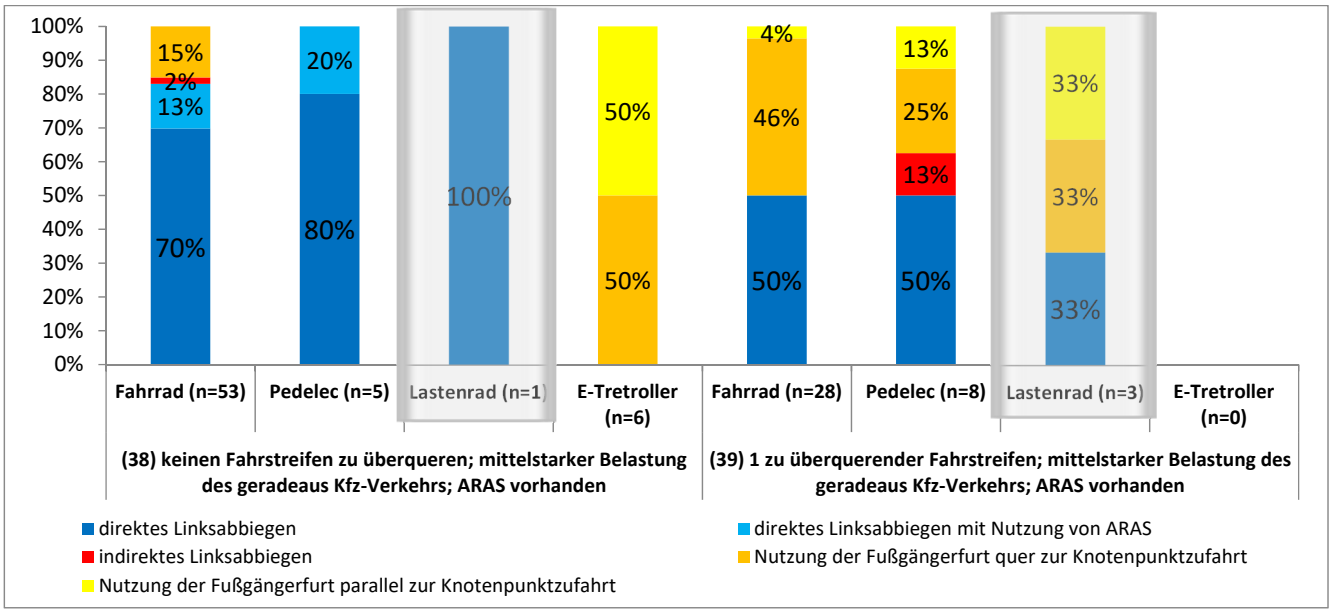



**Abbildung A15.2: Routenauswahl beim Linksabbiegen an Knotenpunktzufahrt ohne aufgeweiteten Radaufstellstreifen (n: Anzahl der Nutzenden)**

## Anhang 15.2 Entfernung der Einordnungsvorgänge

| | ≤ 20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | > 100 m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad (n=163) | 33% | 21% | 19% | 6% | 14% | 6% |
| Pedelec (n=24) | 25% | 8% | 17% | 13% | 29% | 8% |
| Lastenrad (n=12) | 25% | 17% | 8% | 0% | 25% | 25% |
| E-Tretroller (n=0) | | | | | | |

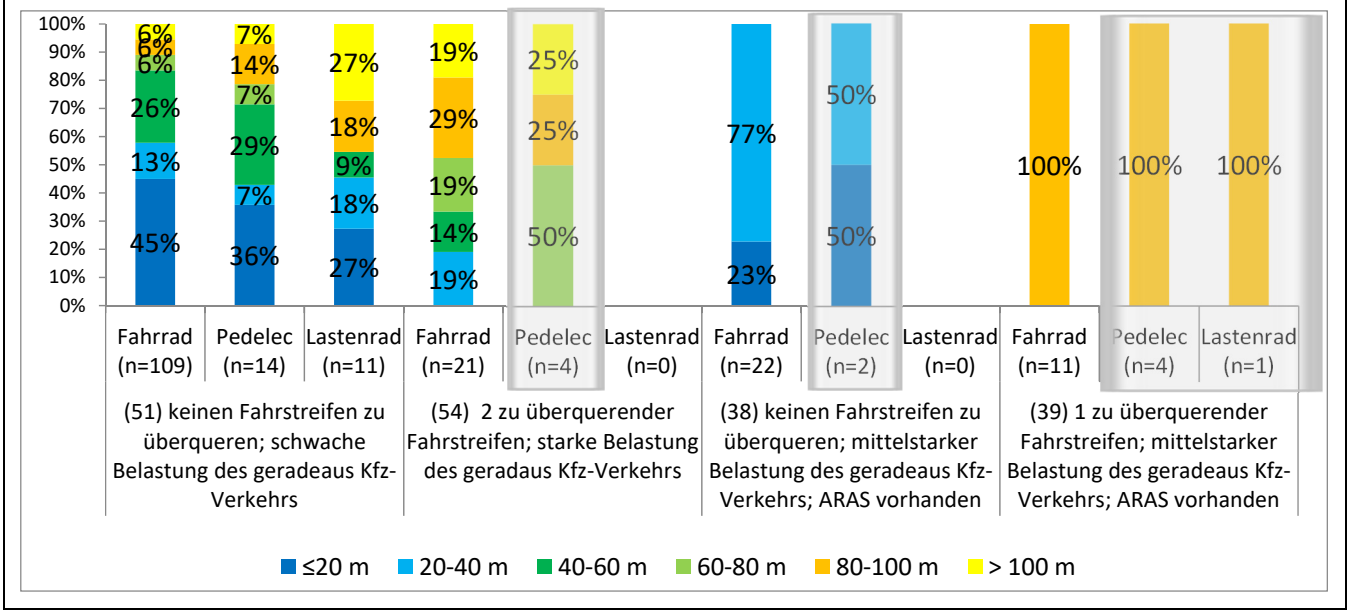



**Abbildung A15.3: Entfernung für Einordnungsvorgänge an den vorherigen Knotenpunkte weiter als 100 m (n: Anzahl der Nutzenden)**

| | ≤20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | am vorherigen Knotenpunkt | am Aufstellbereich des vorherigen Knotenpunkts | an der Zufahrt des vorherigen Knotenpunkts |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad (n=299) | 1% | 1% | 16% | 22% | 26% | 18% | 4% | 13% |
| Pedelec (n=31) | 0% | 0% | 10% | 26% | 39% | 10% | 6% | 10% |
| Lastenrad (n=9) | 0% | 0% | 0% | 22% | 33% | 22% | 11% | 11% |
| E-Tretroller (n=10) | 0% | 0% | 30% | 0% | 10% | 60% | 0% | 0% |

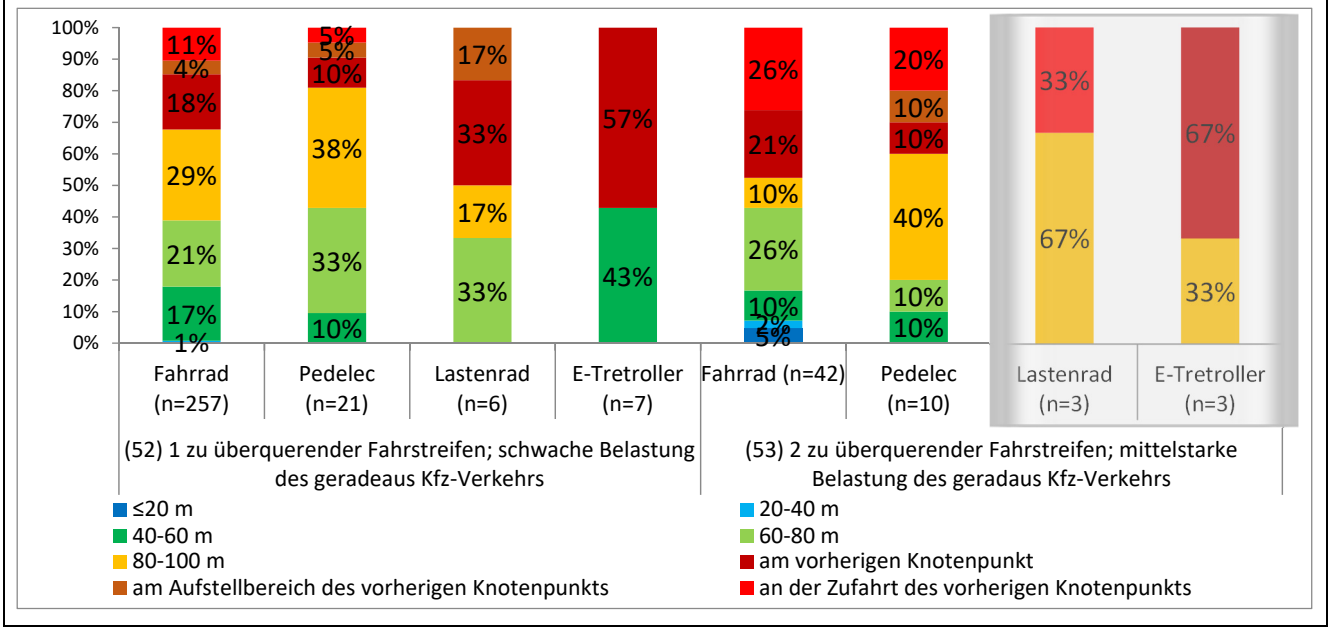



**Abbildung A15.4: Entfernung für Einordnungsvorgänge an den vorherigen Knotenpunkten weiter als 100 m (n: Anzahl der Nutzenden)**

## Anhang 15.3 Verhalten der Einordnungsvorgänge

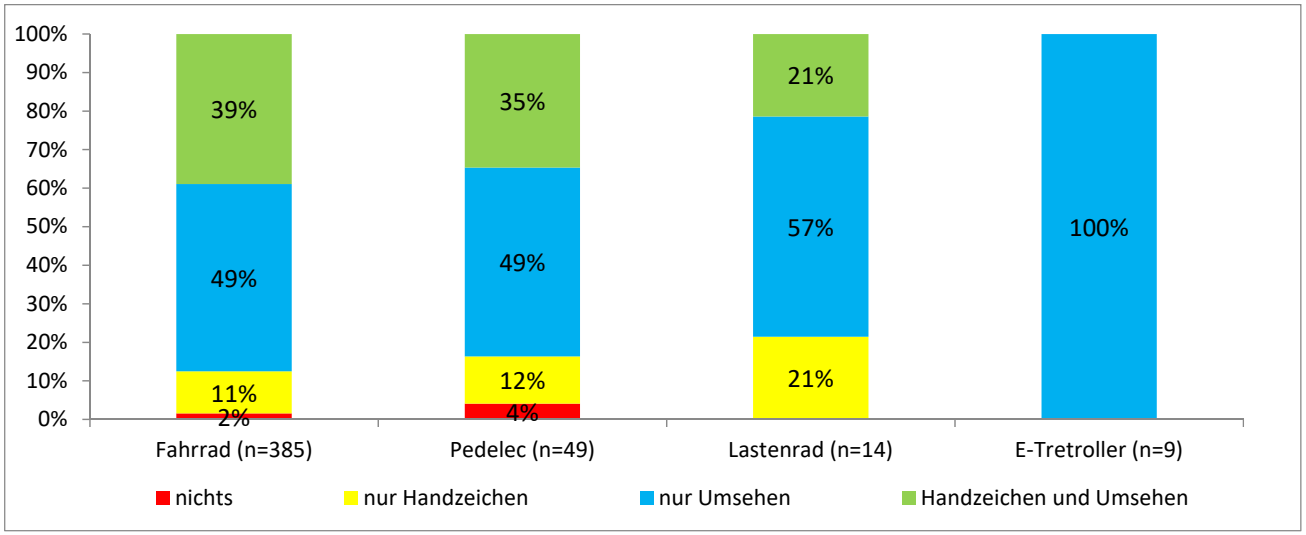



**Abbildung A15.5: Verhalten bewertbarer Rad- oder E-Tretrollerfahrenden bei Einordnungsvorgängen (n: Anzahl der Nutzenden)**

## Anhang 15.4 Zeitlücke

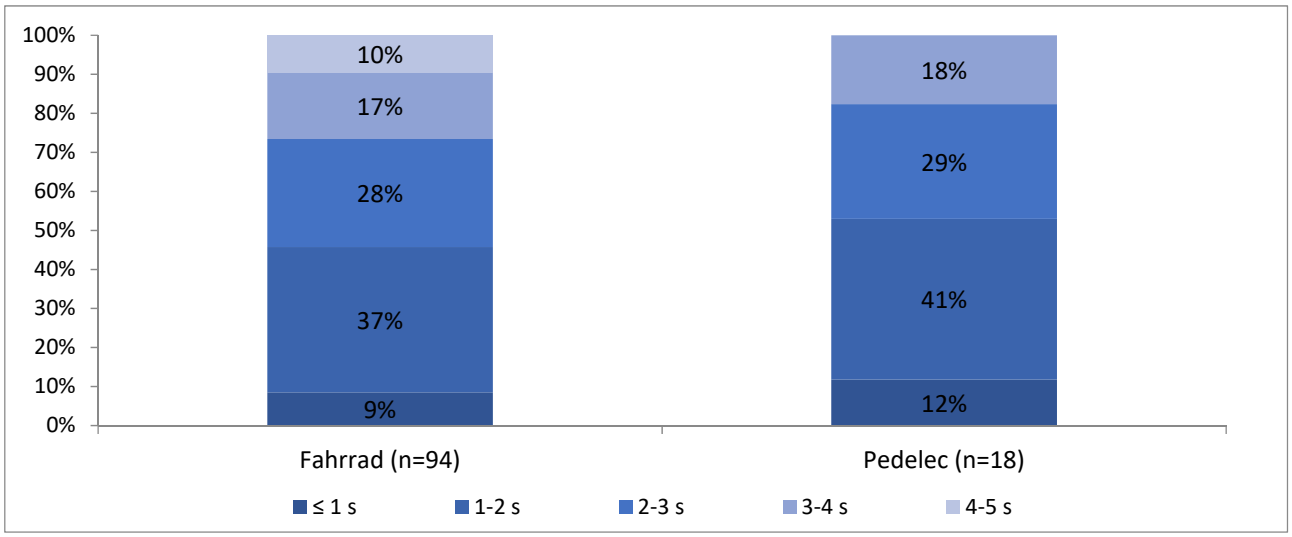



**Abbildung A15.6: Vergleich der Zeitlücke zwischen Fahrrädern und Pedelecs bei Einordnungsvorgängen (n: Anzahl der Nutzenden)**

# Anhang 16 Empfehlungen für die Bemessung von Radverkehrsanlagen

## Anhang 16.1 Breite von Radverkehrsanlagen

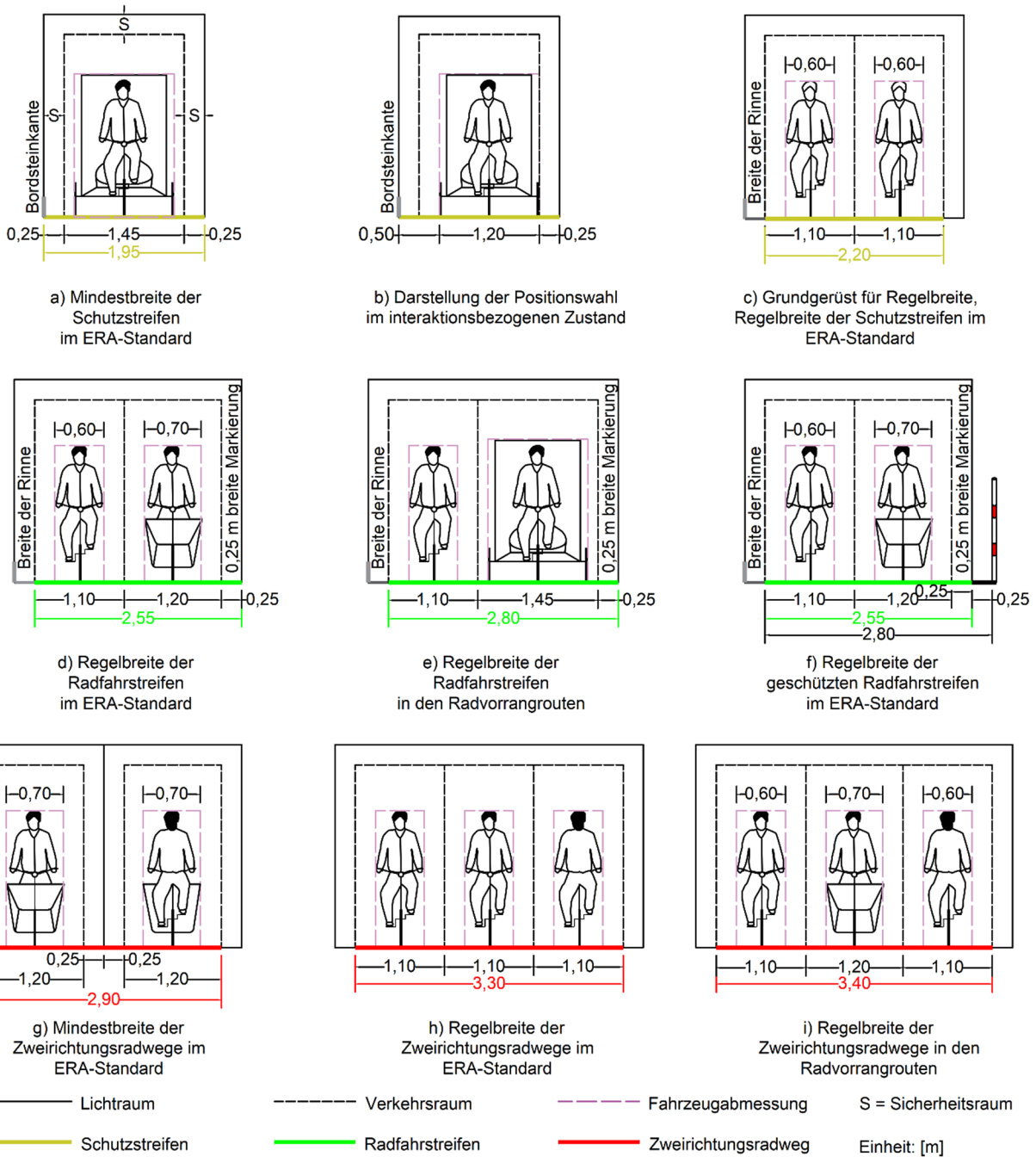



**Abbildung A16.1: Empfehlung für Breite von Radverkehrsanlagen mit Darstellung der Licht- und Verkehrsräume**

**Abbildung A16.2: Poller am Anfang von 4,50 m breiten geschützten Radaufstellstreifen in China (Yu. XC 2019)**

## Anhang 16.2 Kurvenbereich

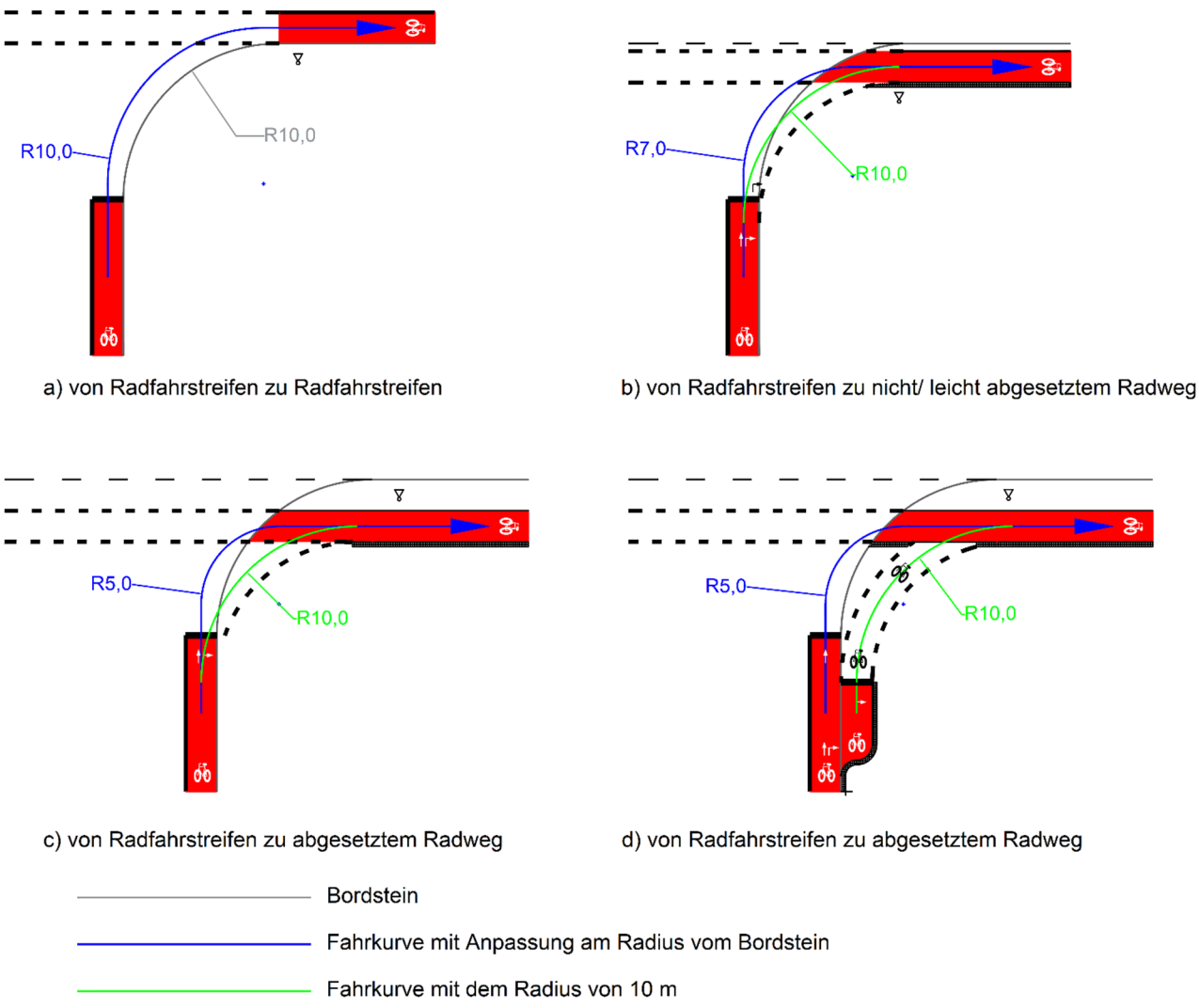



**Abbildung A16.3: Darstellung der geplante Fahrkurve des rechtsabbiegenden Radverkehrs je nach der Lage der Radverkehrsanlagen an der Knotenpunktausfahrt**

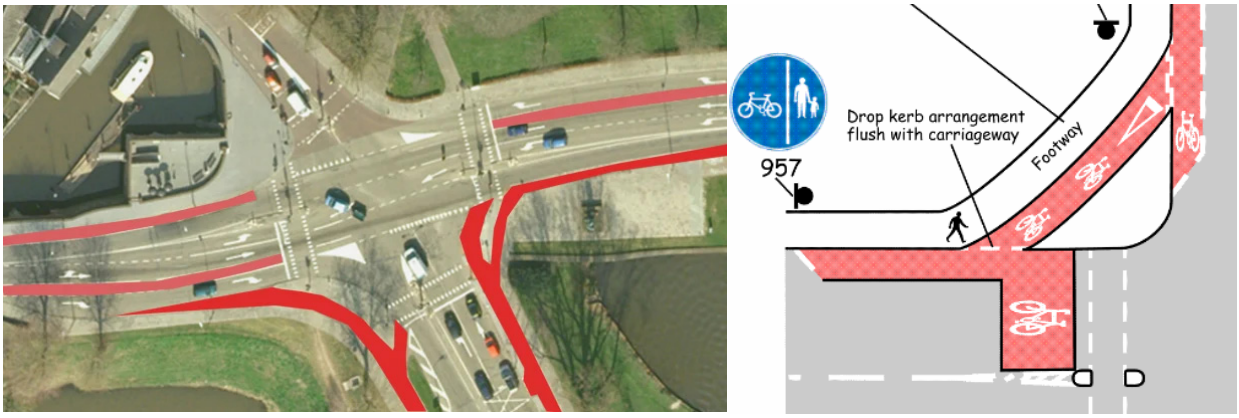
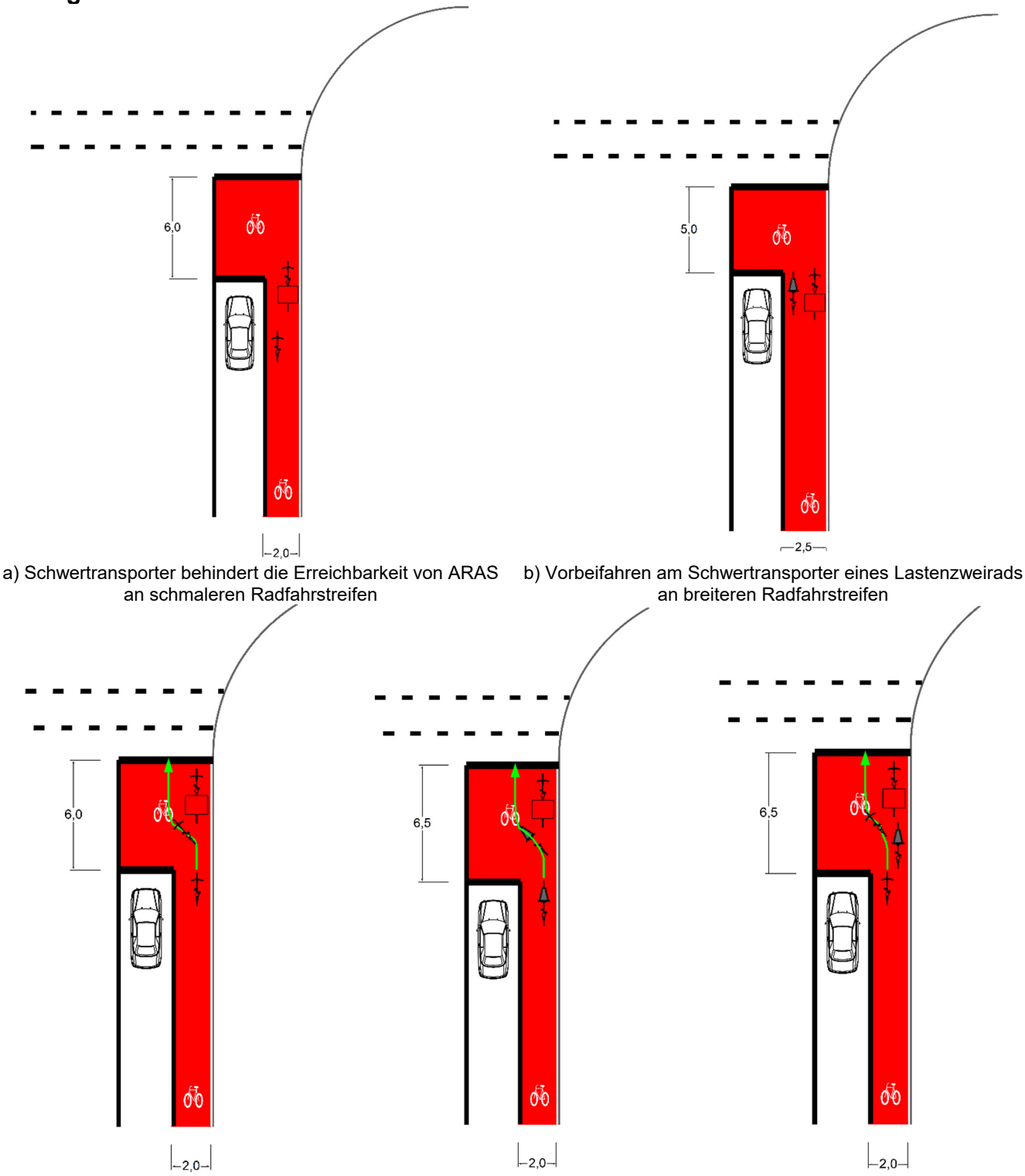



**Abbildung A16.4: „Bypass“ von rechtsabbiegenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden in den Niederlanden (links) und Großbritannien (rechts) (Bicycle Dutch 29.04.2020; Nottinghamshire County Council 2006)**

## Anhang 16.3 Aufstellbereich




a) Schwertransporter behindert die Erreichbarkeit von ARAS an schmaleren Radfahrstreifen

b) Vorbeifahren am Schwertransporter eines Lastenzweirads an breiteren Radfahrstreifen

c) reibungslose Erreichbarkeit von A-RAS mit Fahrrad bei aufgestelltem Schwertransporter nach ERA-Standard

d) reibungslose Erreichbarkeit von A-RAS mit Lastenzweirad bei aufgestelltem Schwertransporter in den Radvorrangrouten

e) Vorbeifahren von Lastenzweirad und Schwertransporter mit einem Fahrrad in den Radvorrangrouten

**Abbildung A16.5: Bemessungslogik der aufgeweiteten Radaufstellstreifen je nach Qualitätsstandard**

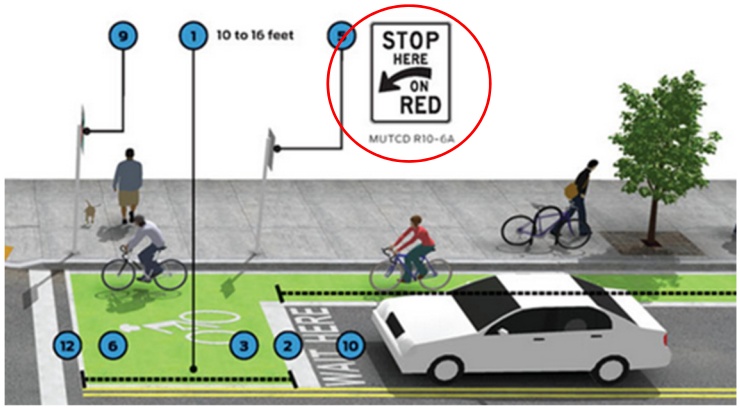



**Abbildung A16.6: Verkehrszeichen „STOP HERE ON RED“ in USA (NACTO 2014)**

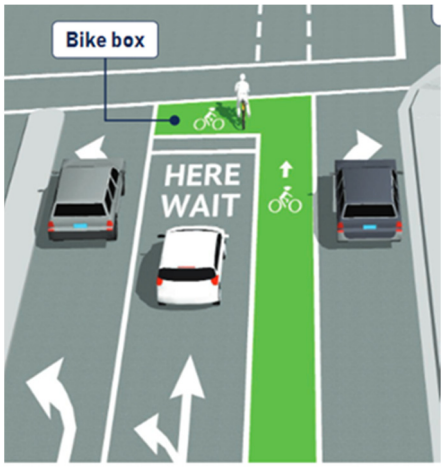



**Abbildung A16.7: Doppelthaltlinie mit aufgeweitetem Radaufstellstreifen in USA (NACTO 2014)**

Anhang 16.4 Führung mit Fußverkehr

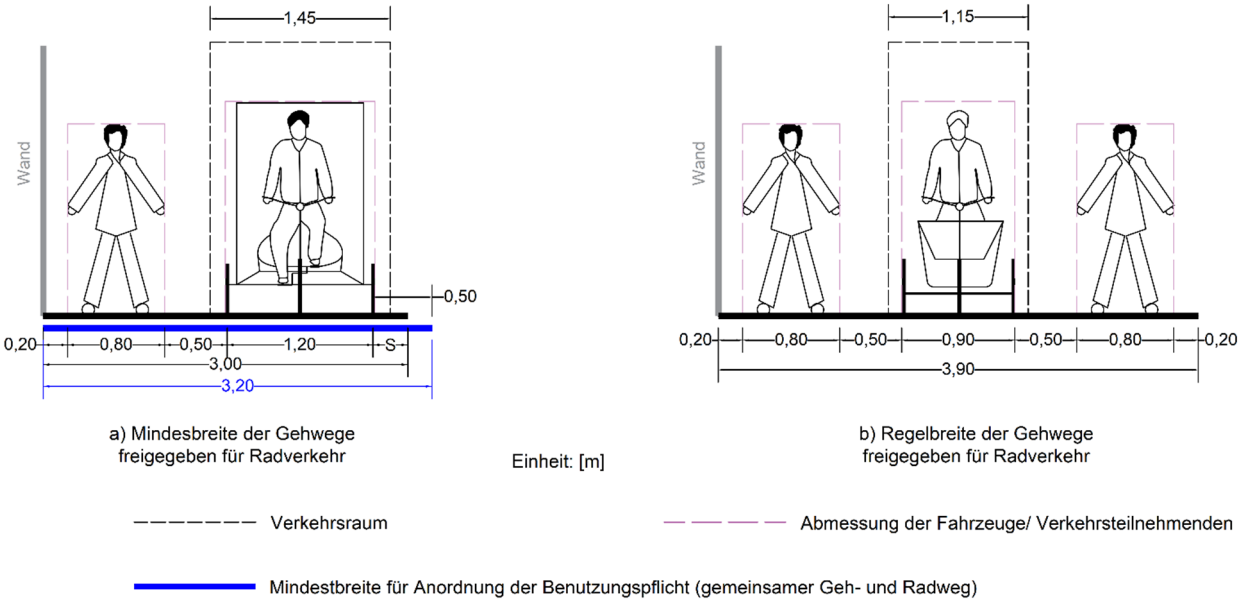



**Abbildung A16.8: Empfehlung für (nutzbare) Gehwegbreite freigegeben für den Radverkehr**

**Abbildung A16.9: Verkehrszeichen Gehweg „Radfahrer frei“ mit „Langsam fahren“ (StVO)**

**Abbildung A16.10: Verkehrszeichen „Lastenradverbot“ (cargobike.jetzt 07.10.2020)**

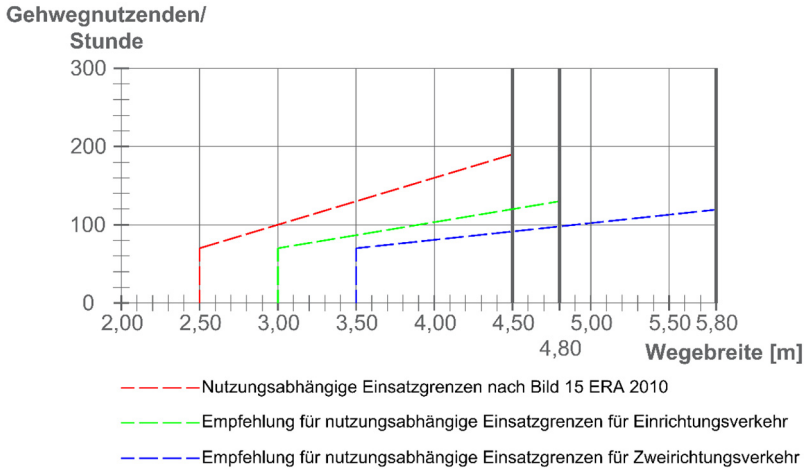



**Abbildung A16.11: nutzungsabhängige Einsatzbereiche für den Gehweg mit gemeinsamer Führung**

## Anhang 16.4 Duale Führungsform

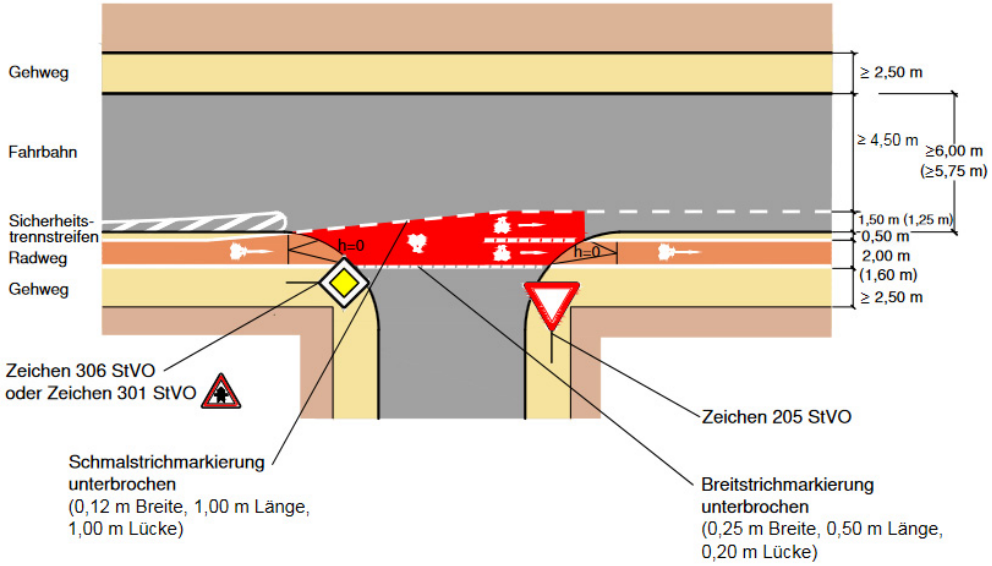



**Abbildung A16.12: Wechsel der Führungsform vom Radweg mit Benutzungspflicht zum Radweg ohne Benutzungspflicht am Knotenpunkt (RadKULTUR Baden-Württemberg 2017)**

**Abbildung A16.13: Wechsel der Führungsform von der Benutzungspflicht zu keiner Benutzungspflicht an der Strecke [eigene Aufnahme]**

**Abbildung A16.14: Hinweiszeichen für 1,50 m Überholabstand in der Stadt Düren (links) (radpendler düren 07.2020) und Überholverbot - Zweirad (VZ 277.1) nach StVO (rechts) (Anlage 2 54.4, StVO)**

## Anhang 16.5 Führung des linksabbiegenden Radverkehrs (E-Tretrollers)

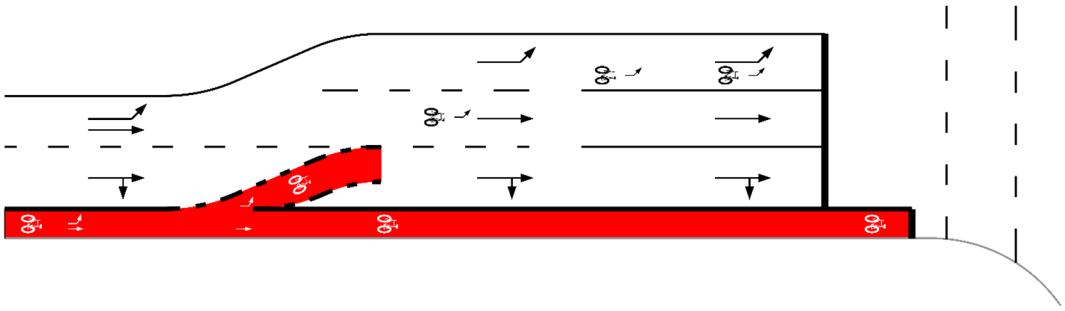


**Abbildung A16.15: Fahrradweiche für direkt linksabbiegende Rad- und E-Tretrollernutzende**

**Abbildung A16.16: Beispiel für die Verschwenkung des Radfahrstreifens infolge der Aufweitung der Knotenpunktzufahrt zur Anordnung der Fahrradweiche (google map)**

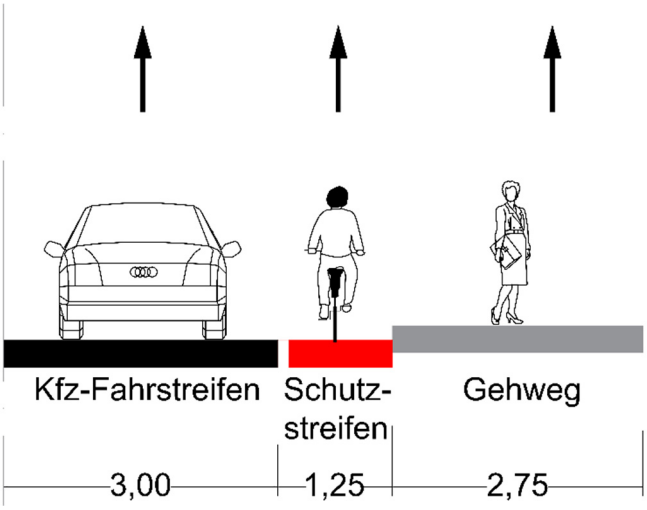
**Abbildung A16.17: Führung des linksabbiegenden Kfz- und Radverkehrs in gleicher Phase ohne Einordnen in der Skizze (links) und in der Praxis (rechts) in China (Huang et al. 2020; Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security 22.07.2020)**

**Abbildung A16.18: Markierung zur Differenzierung der geradeaus und linksabbiegenden Radfahrenden in China (Guilin News 12.04.2021; Zhou und Pei 2020)**

## Anhang 17 Beschreibung der Strecken und Knotenpunkte

### Nr. 1 Strecke Groß-Gerauer Weg in Richtung Norden

(zwischen Eschollbrücker Straße - Schepp Allee, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)[22]** | 11690 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr[23]** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr[23]** | Schutzstreifen, 1,25 m breit (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr[23]** | 2,75 m breit mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV[23]** | Buslinien ohne eigenen Busfahrstreifen |
| **Parken Kfz[23]** | keine |
| **Längsneigung[23]** | - 0,9% |
| **Grundstückein- und ausfahrt[24]** | keine |

[22] Die Verkehrsbelastung DTV bezieht sich auf die beiden Fahrtrichtungen der Strecken.

[23] Bezogen auf die betrachtete Fahrtrichtung.

[24] Bezogen auf den betrachteten Streckenbereich.

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 05.07.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr | 25.09.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

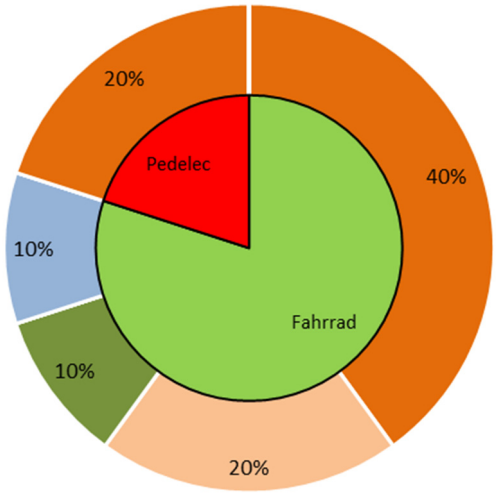
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 401 Kfz/h | 568 Kfz/h | 3,3% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 43 Fz/h | 95 Fz/h | |
| Fußverkehr | 32 Fuß/h | 58 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

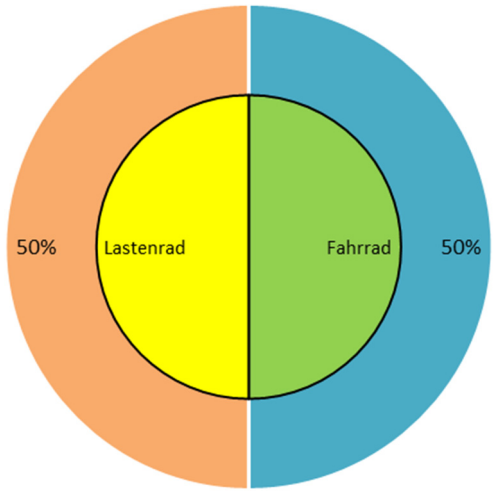
| | Schutzstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 300 (7) | 1 | 1 | 302 | **99%** |
| Pedelec | 28 (2) | 0 | 0 | 28 | **100%** |
| Lastenrad | 6 | 0 | 1 | 7 | **86%** |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=10

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=2

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=299) | 21,33 | Pedelec | ohne Anhänger (n=28) | 24,10 |
| | mit Anhänger (n=1) | 20,48 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=5) | 22,80 | | E-Tretroller (n=1) | 28,14 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 16,37 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

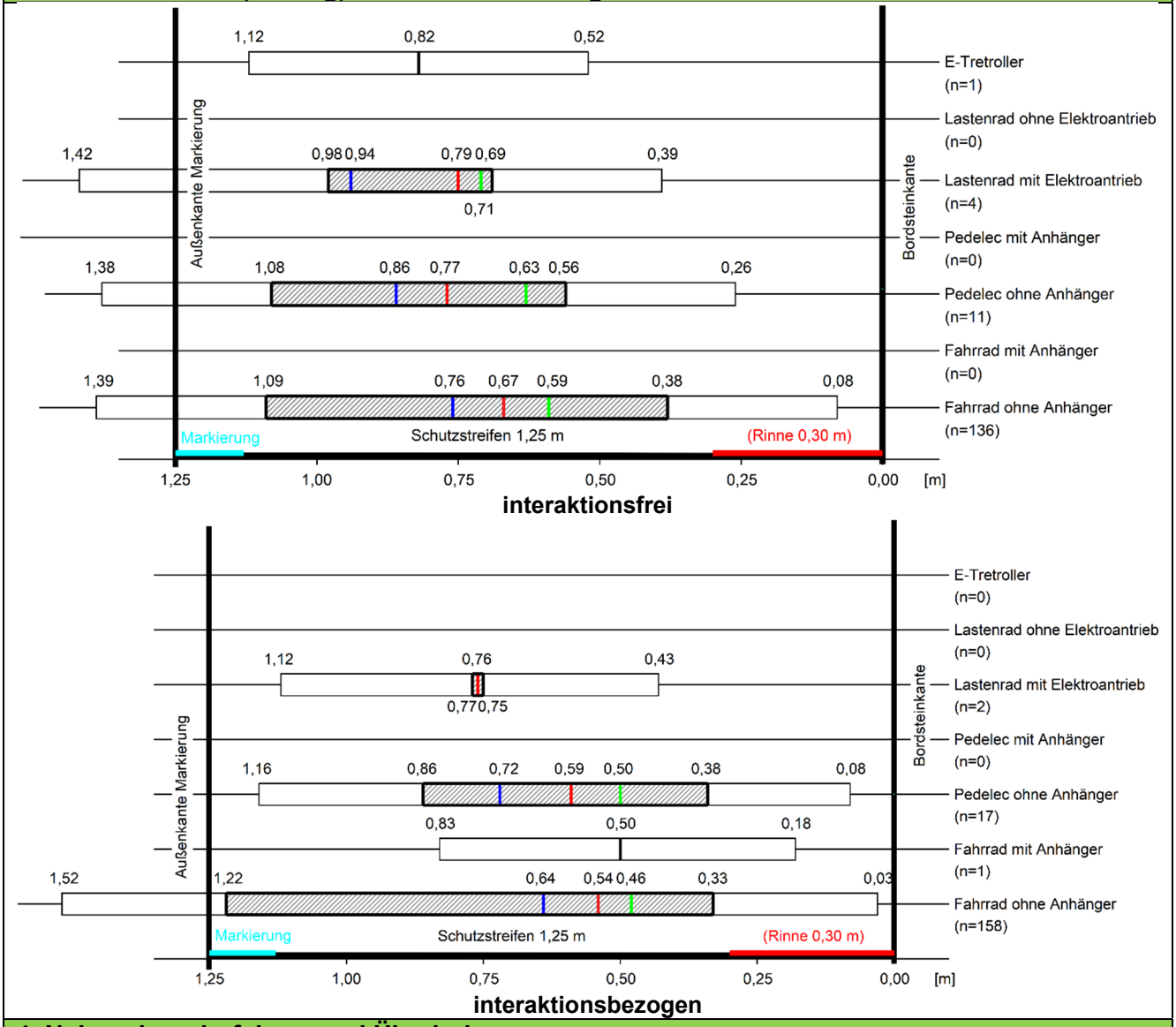
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=136) | 0,68 (0,38) | Pedelec | ohne Anhänger (n=11) | 0,76 (0,46) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 0,81 (0,47) | E-Tretroller (n=1) | | 0,82 (0,52) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=158) | 0,56 (0,26) | Pedelec | ohne Anhänger (n=17) | 0,61 (0,31) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,50 (0,20) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=2) | 0,76 (0,43) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 2 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 6 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **6 [/8h]** |

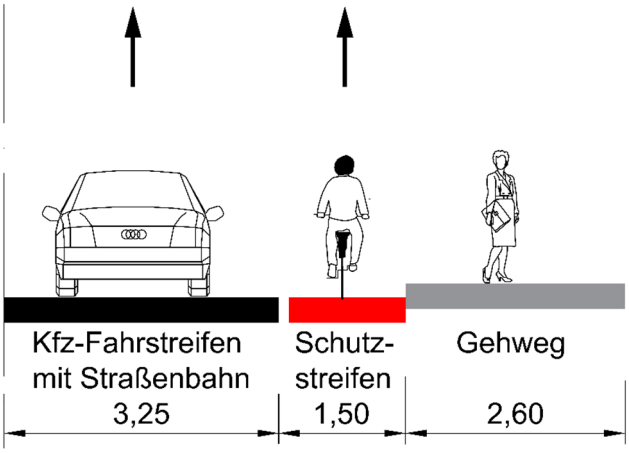
| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,28 (0,68) (n=4) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,46 (0,86) (n=2) |

## 5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 1 | 95 | 81 | 15 |
| Pedelec | 0 | 8 | 9 | 1 |
| Lastenrad | 0 | 1 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Nr. 2 Strecke: Bismarckstraße 1 in Richtung Osten

(zwischen Feldbergstraße - Kirschenallee, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 13518 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Schutzstreifen, 1,50 m breit (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,60 m breit mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahn- /Buslinien auf straßenbündigem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längs-neigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 20.08.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

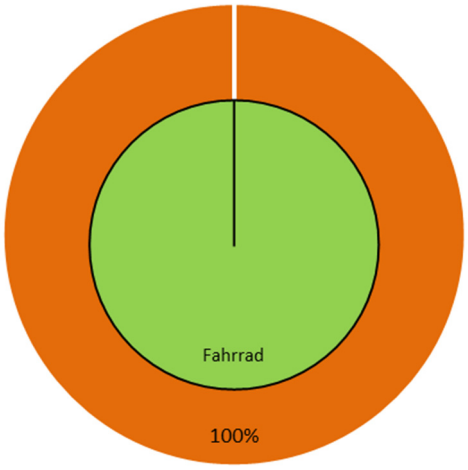
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 527 Kfz/h | 587 Kfz/h | 4,5% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 76 Fz/h | 100 Fz/h | |
| Fußverkehr | 20 Kfz/h | 28 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

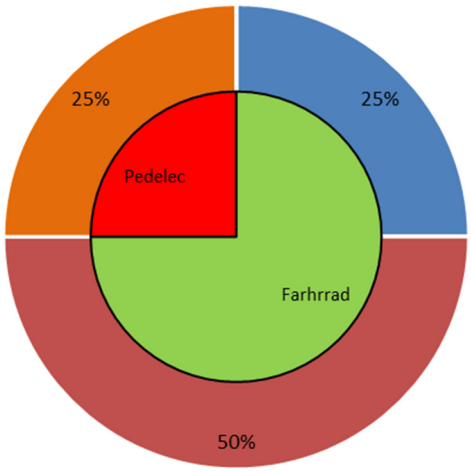
| | Schutzstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 273 (1) | 0 | 3 | 276 | **99%** |
| Pedelec | 22 | 0 | 1 | 23 | **96%** |
| Lastenrad | 4 | 0 | 0 | 4 | **100%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=1

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=4

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=273) | 19,65 | Pedelec | ohne Anhänger (n=22) | 22,36 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 21,89 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

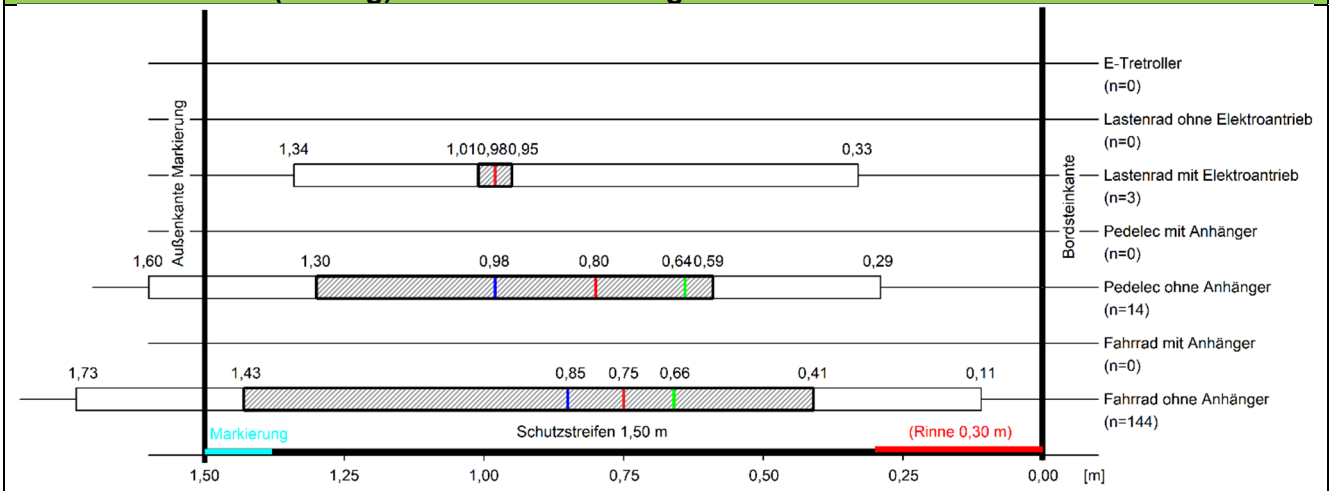
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

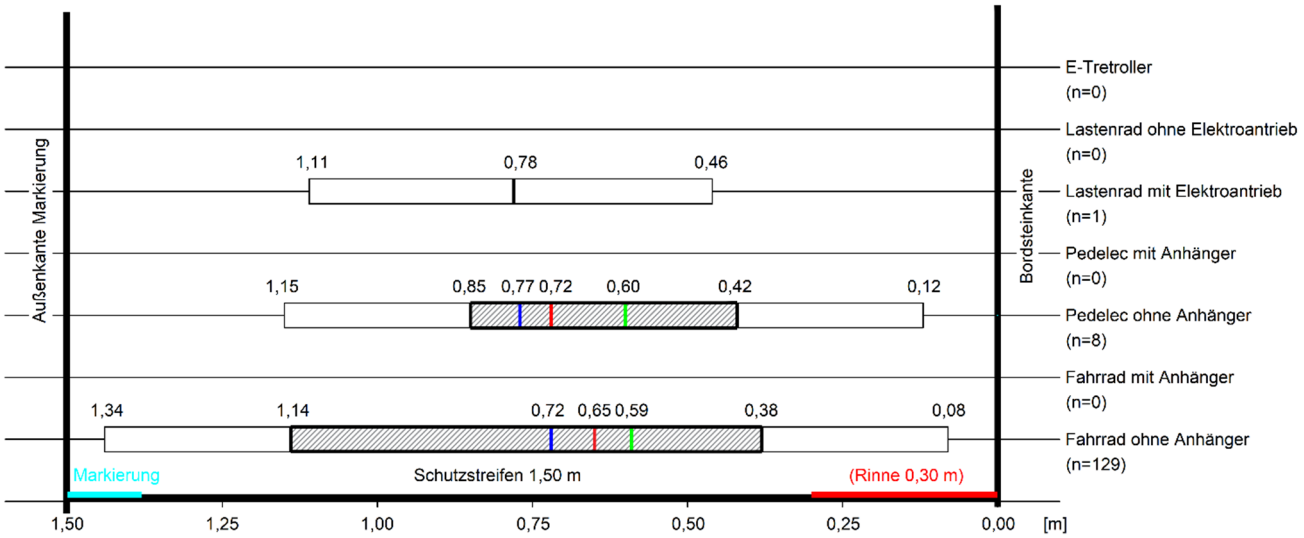
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=144) | 0,77 (0,47) | Pedelec | ohne Anhänger (n=14) | 0,84 (0,54) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 0,98 (0,53) | E-Tretroller (n=0) | | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=129) | 0,66 (0,36) | Pedelec | ohne Anhänger (n=8) | 0,68 (0,38) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 0,78 (0,46) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| Kein Nebeneinanderfahren wurde erfasst | | | | | |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 2 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 2 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **4 [/4h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 0,90 (0,30) (n=1) |

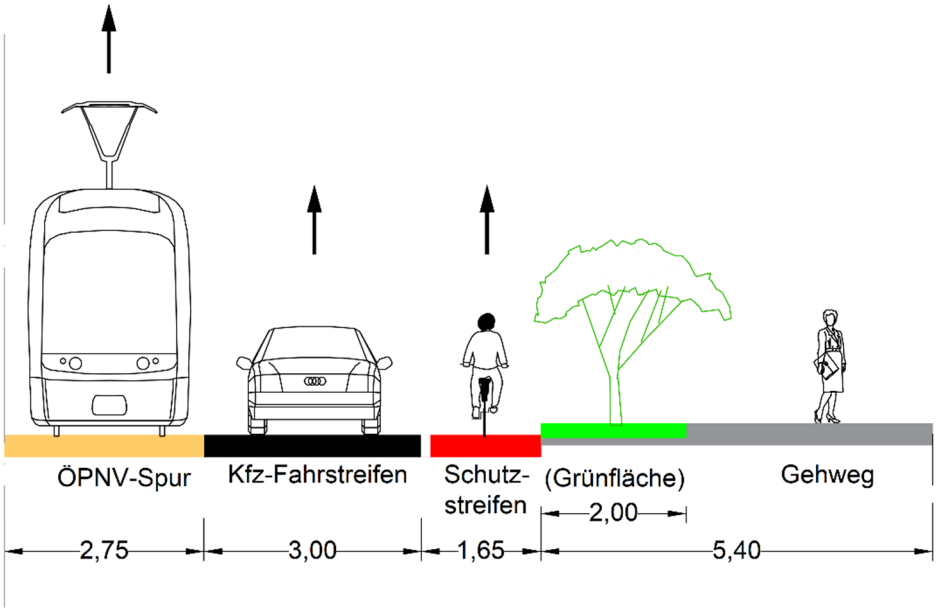
## 5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 1 | 25 | 74 | 19 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pedelec | 0 | 4 | 8 | 2 |
| Lastenrad | 0 | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Nr. 3 Strecke Mainzer Landstraße in Richtung Osten

(zwischen Hellerhofstraße - Gutenbergstraße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 10050 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Schutzstreifen, 1,65 m breit (Führungsform Vorstrecke: Schutzstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,4 m breit mit starker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Grundstückzufahrten mit hoher Frequenz |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 22.07.2019 | 14:50 - 18:50 Uhr | 23.07.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr |

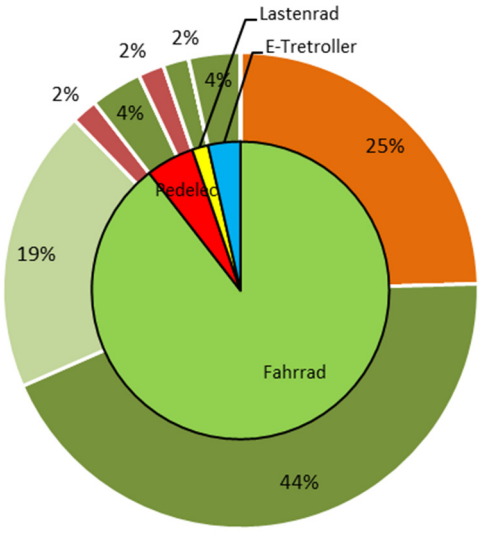
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 381 Kfz/h | 487 Kfz/h | 2,3% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 88 Fz/h | 139 Fz/h | |
| Fußverkehr | 160 Fuß/h | 257 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

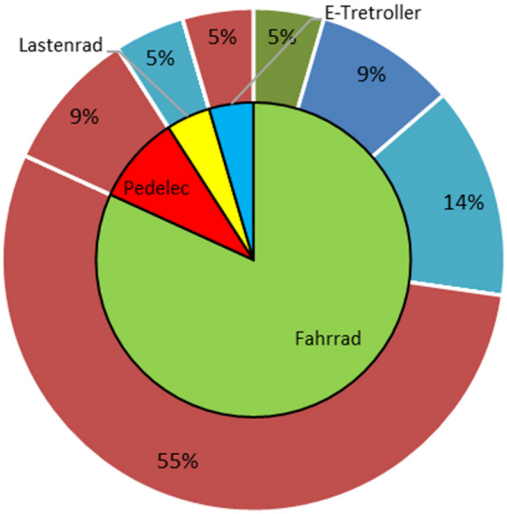
| | Radfahrstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 572 (51) | 0 | 18 | 590 | **97%** |
| Pedelec | 31 (3) | 0 | 2 | 33 | **94%** |
| Lastenrad | 5 (1) | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| E-Tretroller | 19 (2) | 0 | 2 | 21 | **90%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=57

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=22

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=571) | 19,79 | Pedelec | ohne Anhänger (n=31) | 23,70 |
| | mit Anhänger (n=1) | 19,35 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 21,82 | | E-Tretroller (n=19) | 19,38 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 17,00 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

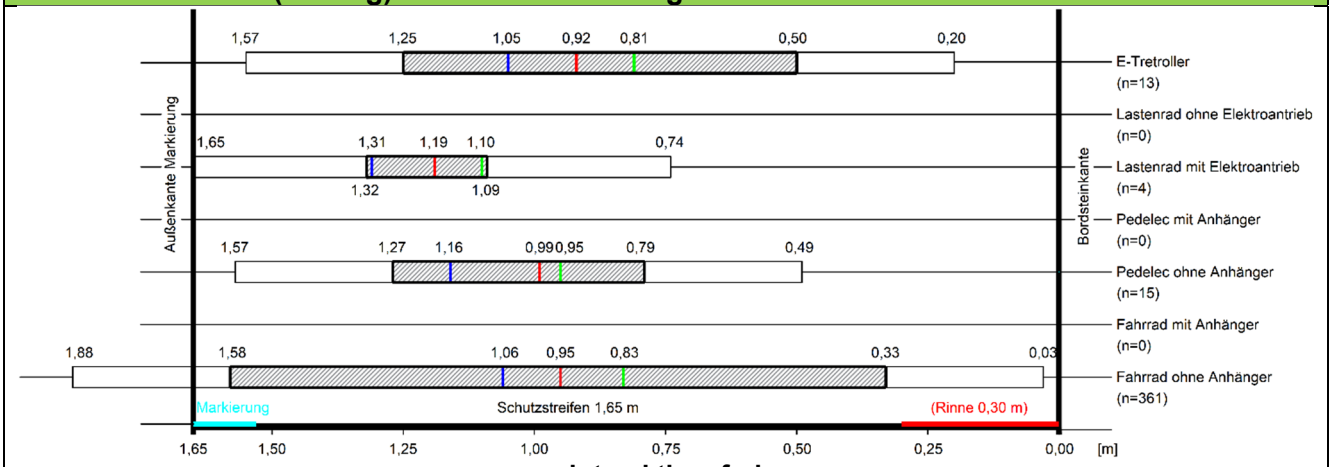
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=361) | 0,94 (0,64) | Pedelec | ohne Anhänger (n=15) | 1,03 (0,73) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 1,20 (0,86) | E-Tretroller (n=13) | 0,82 (0,52) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

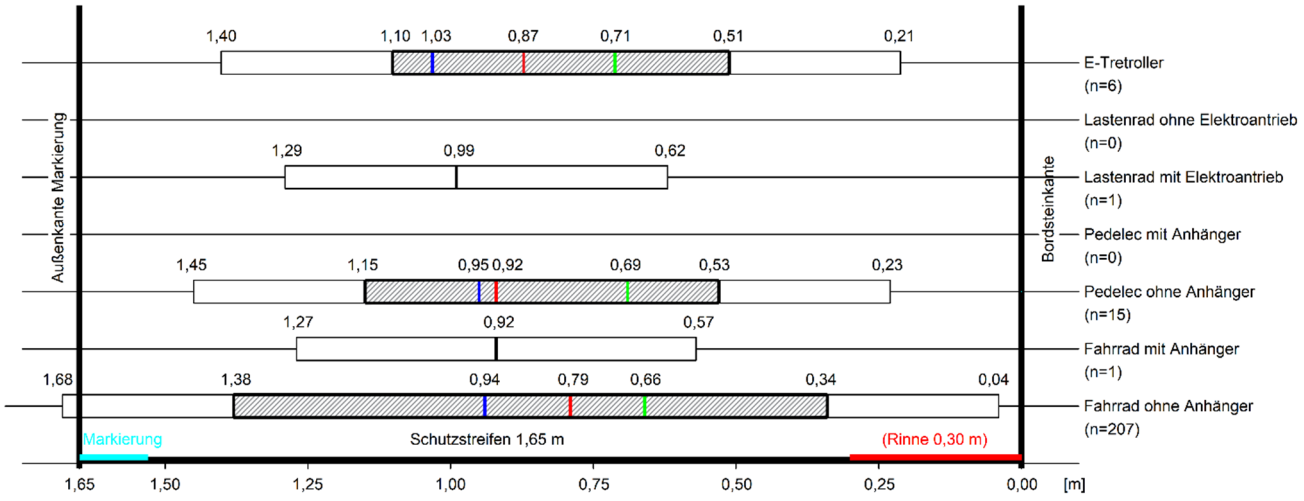
**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=207) | 0,80 (0,50) | Pedelec | ohne Anhänger (n=15) | 0,85 (0,55) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,92 (0,57) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 0,99 (0,62) | E-Tretroller (n=6) | | 0,85 (0,55) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |

Kein Nebeneinanderfahren wurde nicht erfasst

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 2 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 14 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 4 (20%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **20 [/8h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,17 (0,57) (n=16) |
| | Pedelec ohne Anhänger | E-Tretroller | 1,32 (0,72) (n=2) |

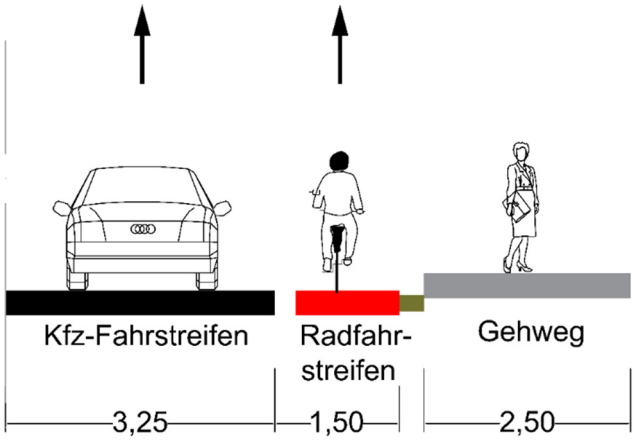
## 5.1 Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 1 | 20 | 107 | 73 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pedelec | 0 | 1 | 7 | 4 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 2 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 4 | 2 |
| **5.2 Interaktionsvorgänge: mit ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten** | | | | |
| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
| Fahrrad | 29 | 4 | 11 | 1 |
| Pedelec | 2 | 1 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 3 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **34** | **5** | **11** | **1** |

## Nr. 4 Strecke Goebelstraße in Richtung Süden

(zwischen Poststraße - Mornewegstraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 12915 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen, 1,50 m breit zzgl. 0,30 m breite Rinne (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,50 m breit mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Buslinien ohne eigene Busfahrstreifen |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Grundstückzufahrten mit schwacher Frequenz |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 01.08.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr | 23.08.2019 | 6:25 - 10:25 Uhr |

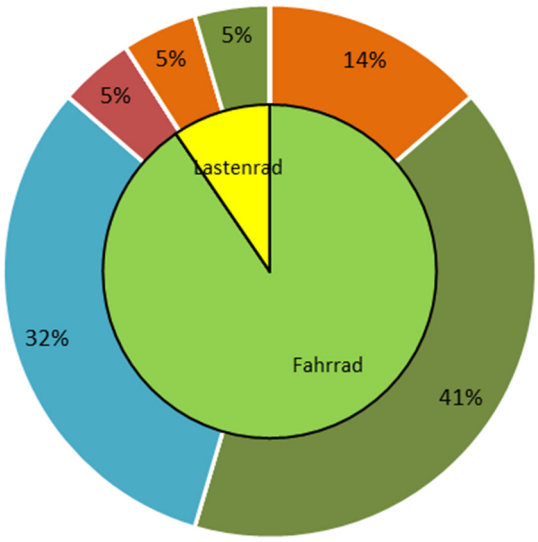
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 323 Kfz/h | 349 Kfz/h | 5,0% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 27 Fz/h | 48 Fz/h | |
| Fußverkehr | 8 Fuß/h | 11 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

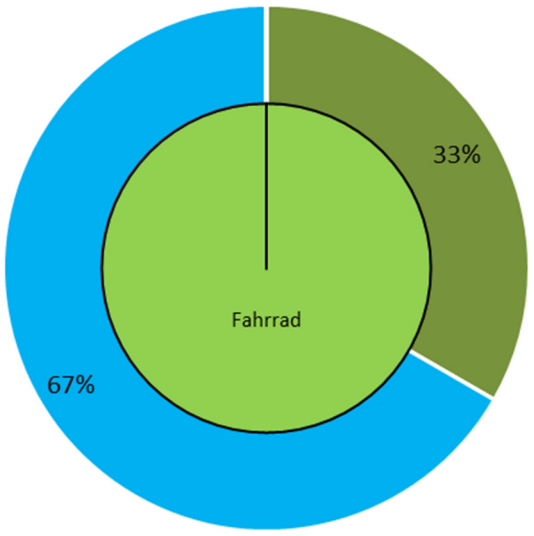
| | Radfahrstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 152 (10) | 10 | 6 | 168 | **90%** |
| Pedelec | 18 | 0 | 0 | 18 | **100%** |
| Lastenrad | 7 (2) | 0 | 0 | 7 | **100%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=22

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=6

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=151) | 19,96 | Pedelec | ohne Anhänger (n=17) | 23,24 |
| | mit Anhänger (n=1) | 20,70 | | mit Anhänger (n=1) | 18,56 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 23,67 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=3) | 18,96 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

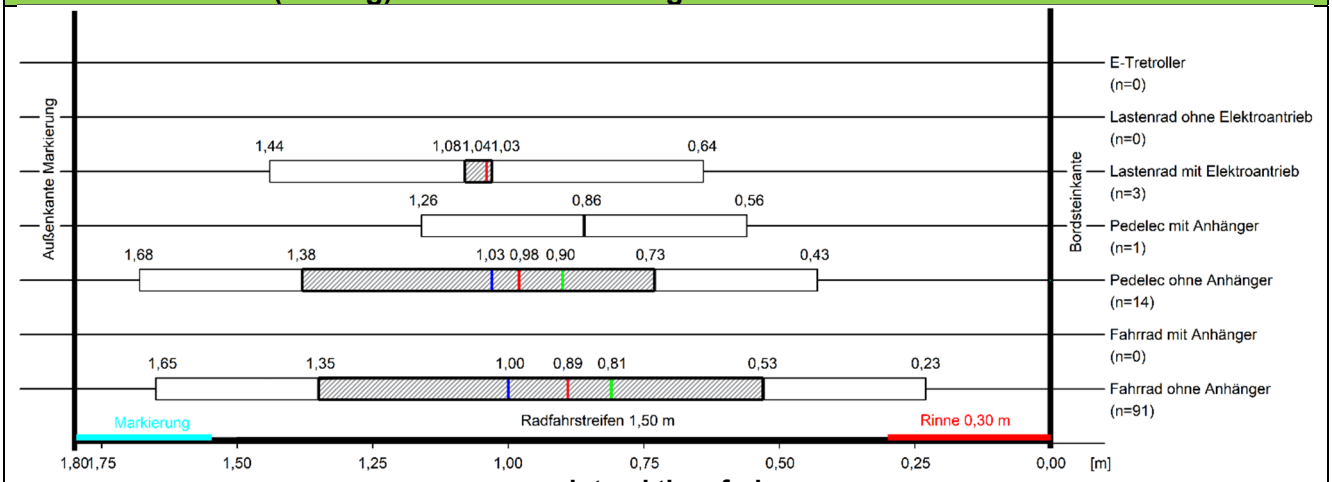
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=91) | 0,91 (0,61) | Pedelec | ohne Anhänger (n=14) | 0,97 (0,67) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 0,86 (0,56) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 1,05 (0,70) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

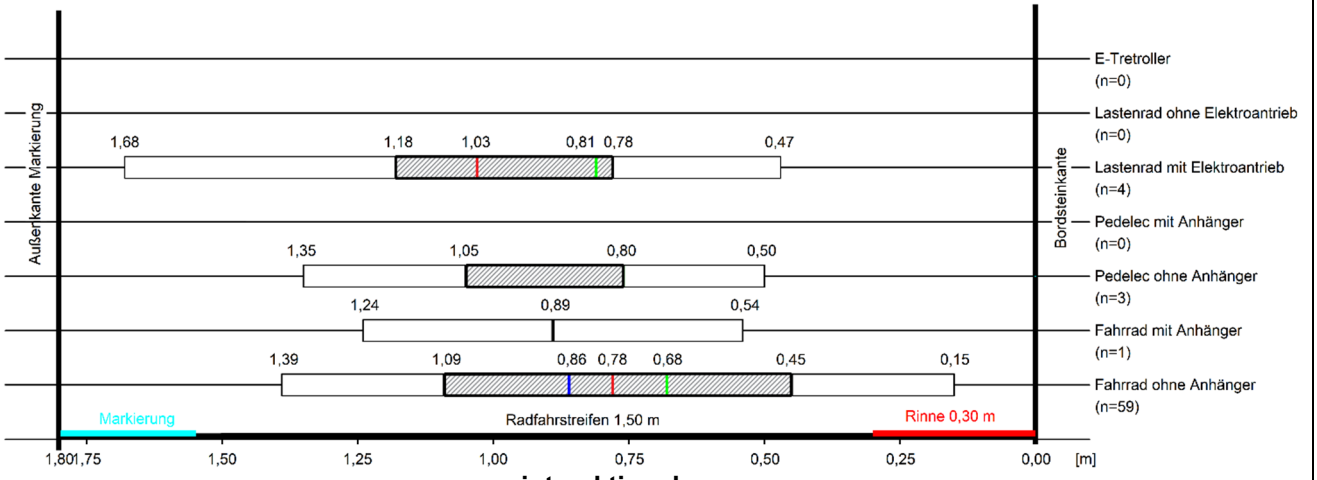
**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=59) | 0,78 (0,48) | Pedelec | ohne Anhänger (n=3) | 0,90 (0,60) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,89 (0,54) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 1,00 (0,67) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil) | |

Kein Nebeneinanderfahren wurde erfasst

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 4 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **4 [/8h]** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,28 (0,68) (n=3) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | 1,42 (0,75) (n=1) |

## 5.1 Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

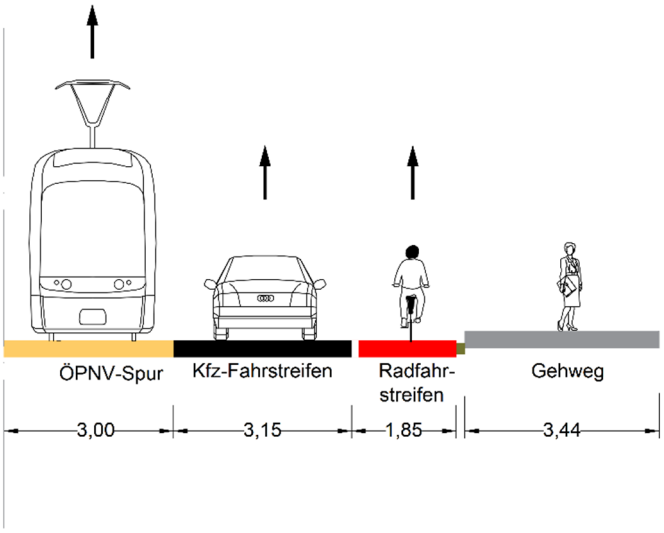
| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 4 | 39 | 22 |
| Pedelec | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 4 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **5.2 Interaktionsvorgänge: mit ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
| Fahrrad | 8 | 0 | 0 | 0 |
| Pedelec | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **9** | **0** | **0** | **0** |

## Nr. 5 Strecke Heidelberger Straße 1 in Richtung Süden

(zwischen Bessunger Straße - Sandbergstraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 17819 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen, 1,85 m breit zzgl. 0,15 m breite Rinne (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,44 m breit mit mittelstarker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Grundstückzufahrten mit schwacher Frequenz |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 02.09.2019 | 14:50 - 18:50 Uhr |

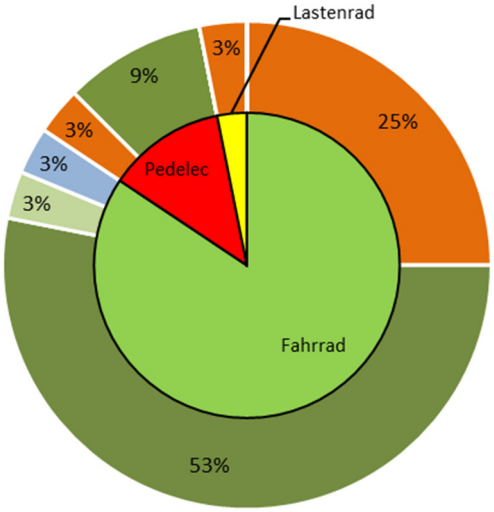
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 674 Kfz/h | 713 Kfz/h | 2,0% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 127 Fz/h | 145 Fz/h | |
| Fußverkehr | 91 Fuß/h | 100 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

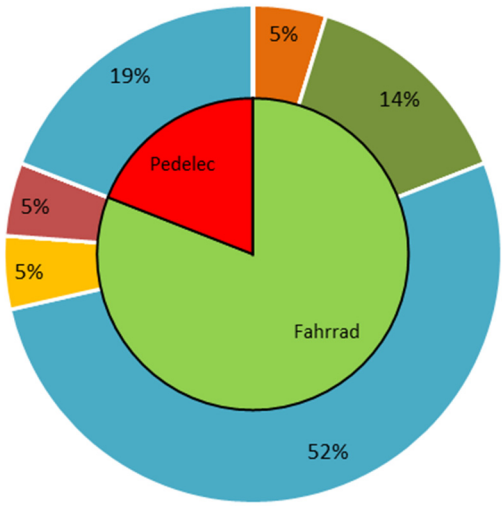
| | Radfahrstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 385 (3) (26) | 1 | 14 | 400 | **96%** |
| Pedelec | 74 (4) | 0 | 4 | 78 | **95%** |
| Lastenrad | 14 (1) | 0 | 0 | 14 | **100%** |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=32

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=21

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=372) | 20,41 | Pedelec | ohne Anhänger (n=73) | 23,06 |
| | mit Anhänger (n=3) | 16,67 | | mit Anhänger (n=1) | 20,10 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=13) | 24,62 | | E-Tretroller (n=1) | 19,96 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 18,34 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

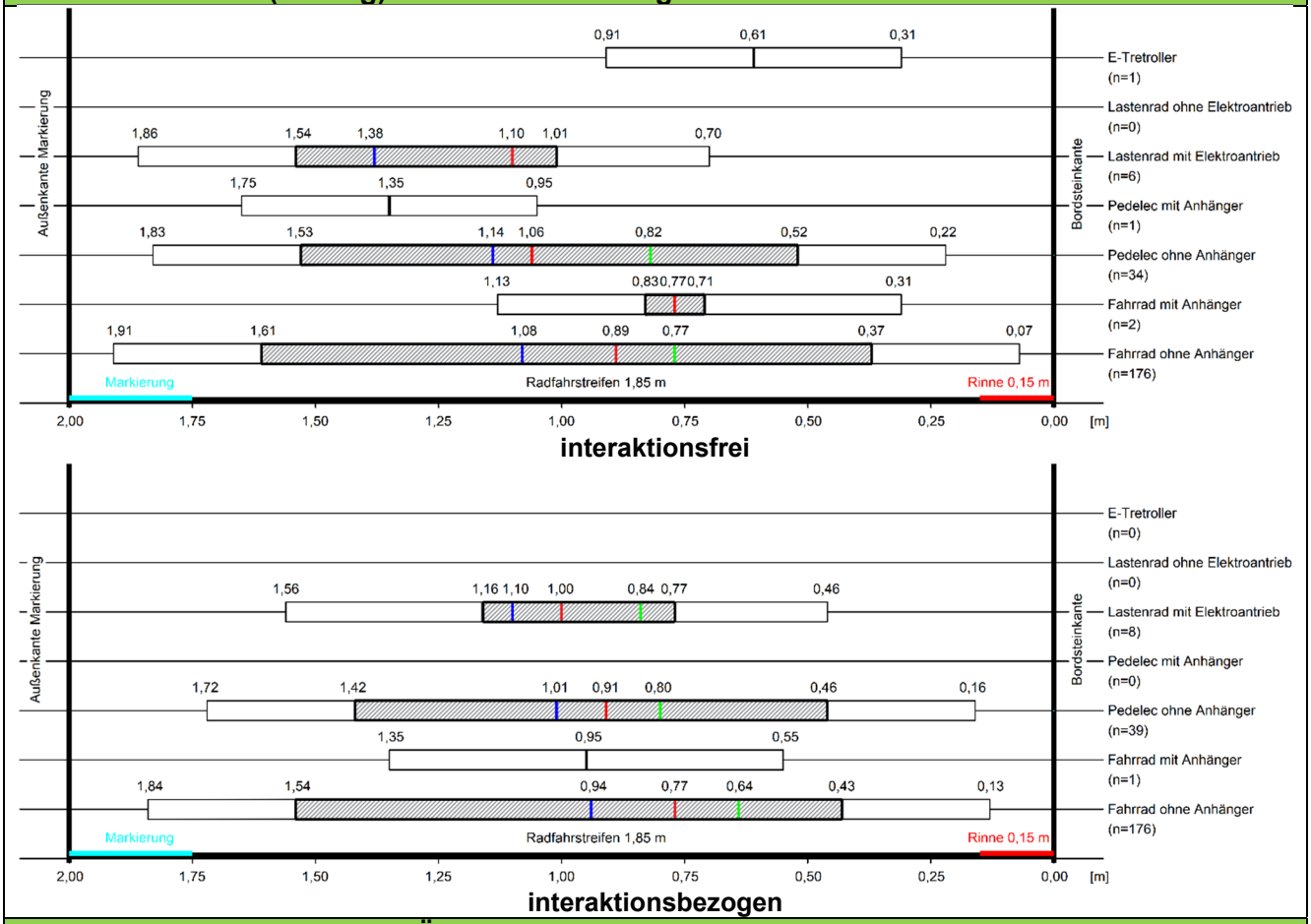
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=176) | 0,92 (0,62) | Pedelec | ohne Anhänger (n=34) | 1,00 (0,70) |
| | mit Anhänger (n=2) | 0,77 (0,38) | | mit Anhänger (n=1) | 1,35 (0,95) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 1,18 (0,86) | E-Tretroller (n=1) | 0,61 (0,31) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=176) | 0,79 (0,49) | Pedelec | ohne Anhänger (n=39) | 0,90 (0,60) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,95 (0,55) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=8) | 0,99 (0,65) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **2 (100%)** | 2 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 2 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 11 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 7 (35%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **20 [/4h]** |

| Überholabstand | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,21 (0,61) (n=13) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,48 (0,88) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,26 (0,66) (n=2) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | 1,66 (1,04) (n=1) |

## 5.1 Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

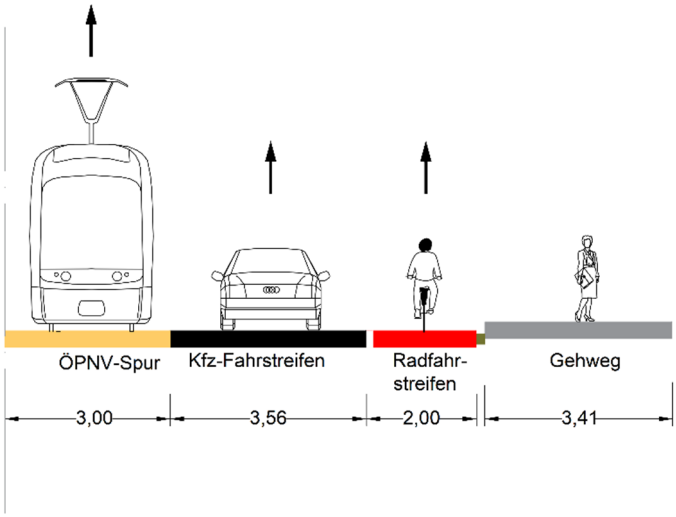
| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 2 | 29 | 128 |
| Pedelec | 0 | 1 | 7 | 23 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | 0 | 0 | 3 | 5 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **5.2 Interaktionsvorgänge: mit ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
| Fahrrad | 10 | 1 | 3 | 0 |
| Pedelec | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **13** | **1** | **3** | **0** |

## Nr. 6 Strecke Heidelberger Straße 2 in Richtung Süden

(zwischen Hermannstraße - Ahastraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 20913 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen, 2,00 m breit zzgl. 0,15 m breite Rinne (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,41 m breit mit mittelstarker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Grundstückzufahrten mit schwacher Frequenz |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 19.05.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

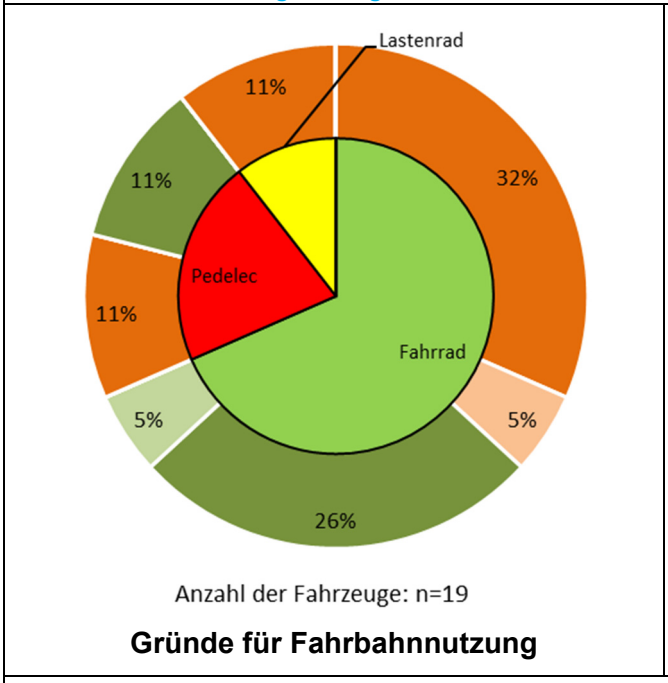
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 980 Kfz/h | 1284 Kfz/h | 1,2% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 163 Fz/h | 197 Fz/h | |
| Fußverkehr | 95 Kfz/h | 128 Kfz/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

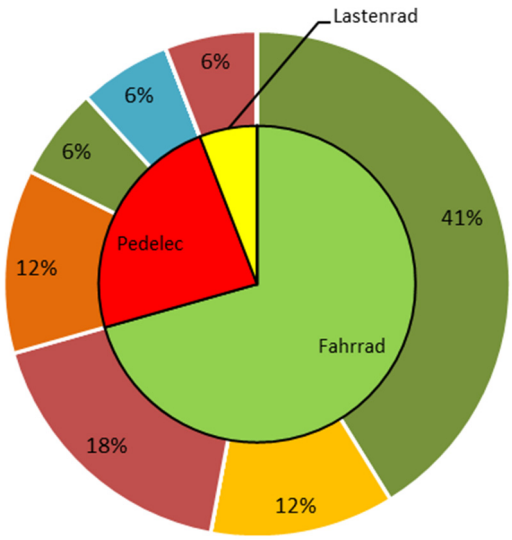
| | Radfahrstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 497 (1) (13) | 0 | 11 | 508 | **98%** |
| Pedelec | 78 (2) (4) | 0 | 2 | 80 | **98%** |
| Lastenrad | 17 (2) | 0 | 1 | 18 | **94%** |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=19

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=17

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=497) | 20,85 | Pedelec | ohne Anhänger (n=78) | 23,44 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb zweiräder (n=15) | 24,60 | | E-Tretroller (n=1) | 18,21 |
| | mit Elektroantrieb dreiräder (n=2) | 19,88 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

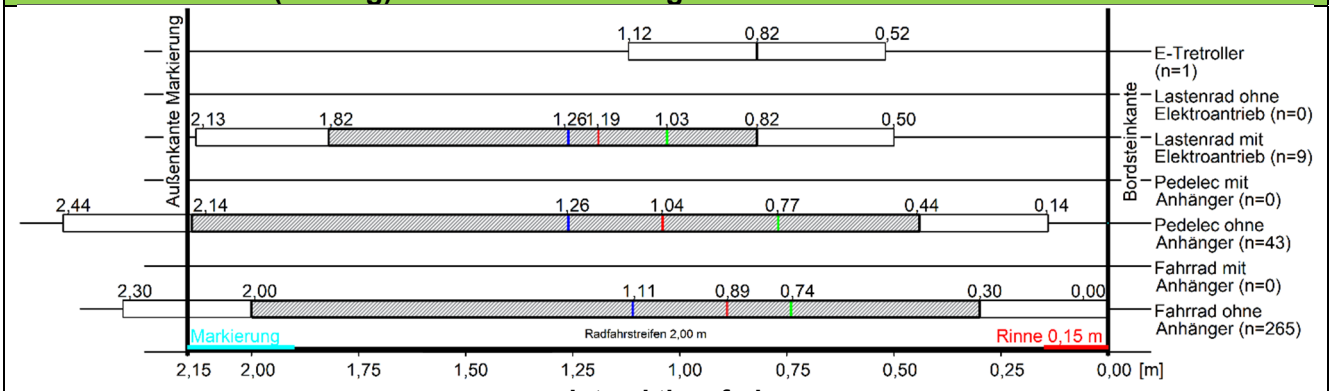
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

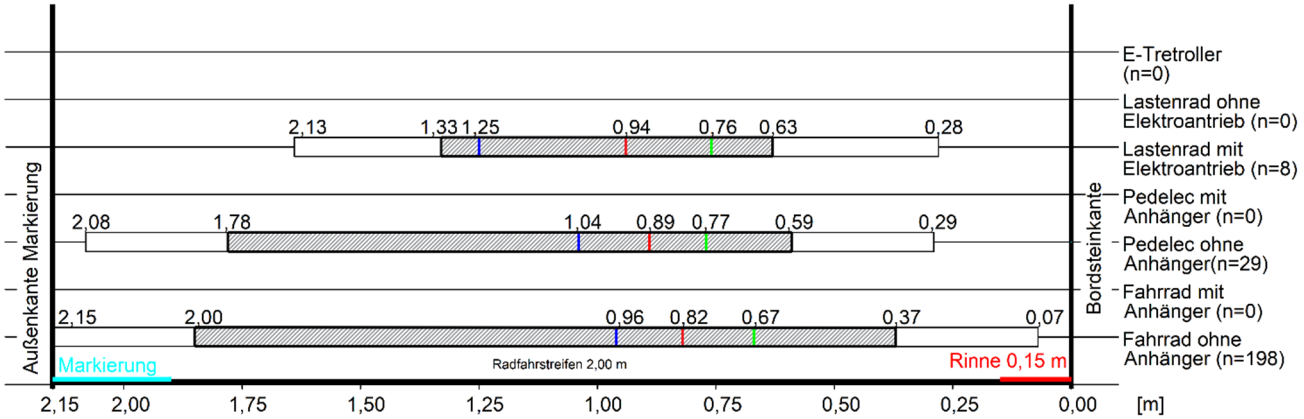
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=265) | 0,92 (0,62) | Pedelec | ohne Anhänger (n=43) | 1,04 (0,74) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=9) | 1,19 (0,87) | E-Tretroller (n=1) | | 0,82 (0,52) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=198) | 0,84 (0,54) | Pedelec | ohne Anhänger (n=29) | 0,92 (0,62) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=8) | 0,98 (0,64) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 0 | 0 | **10 (91%)** | 11 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 1 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 16 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 17 (50%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **34 [/4h]** |

| Überholabstand | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,37 (0,77) (n=19) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,62 (1,01) (n=1) |
| | | Lastenrad | 1,81 (1,19) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,38 (0,78) (n=4) |
| | | Lastenrad | 1,51 (0,80) (n=1) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | 1,54 (0,92) (n=4) |

## 5.1 Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

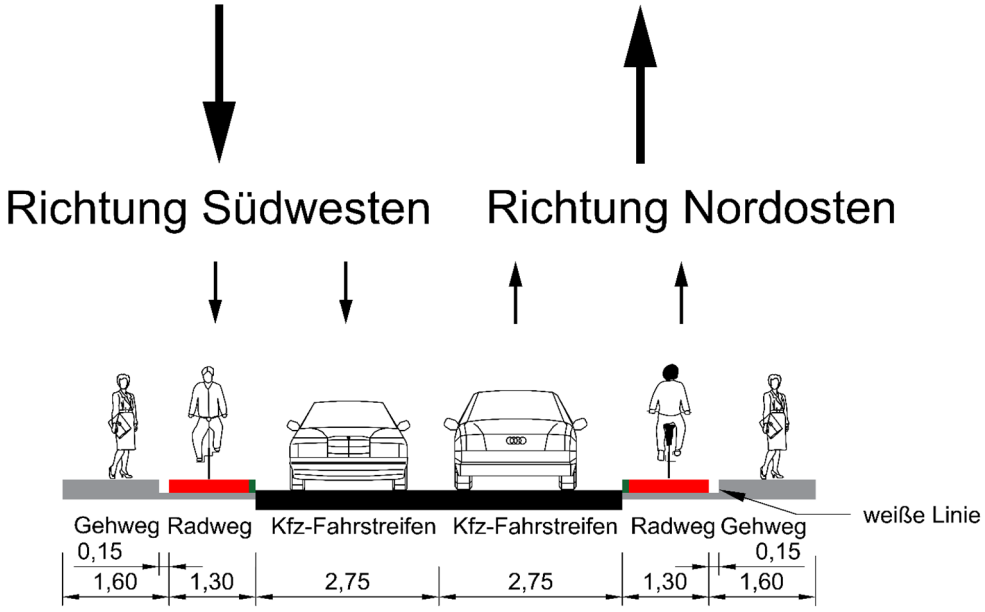
| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 1 | 17 | 224 |
| Pedelec | 0 | 0 | 4 | 30 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | 0 | 1 | 0 | 10 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **5.2 Interaktionsvorgänge: mit ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
| Fahrrad | 17 | 3 | 1 | 0 |
| Pedelec | 2 | 1 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **19** | **4** | **2** | **0** |

## Nr. 7 Strecke Hausener Weg

(zwischen Hattsteiner Straße - Schmittener Straße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 8300 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,30 m breiter Radweg ohne Benutzungspflicht + Mischverkehr mit Piktogramm (Führungsform Vorstrecke: Radweg ohne Benutzungspflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 1,60 m breit mit schwacher-Belastung; Trennung zum Radweg: 0,15 m breite weiße Linie |
| **Angebot ÖPNV** | Buslinie ohne eigenen Busfahrstreifen |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 14.09.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr | 18.09.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

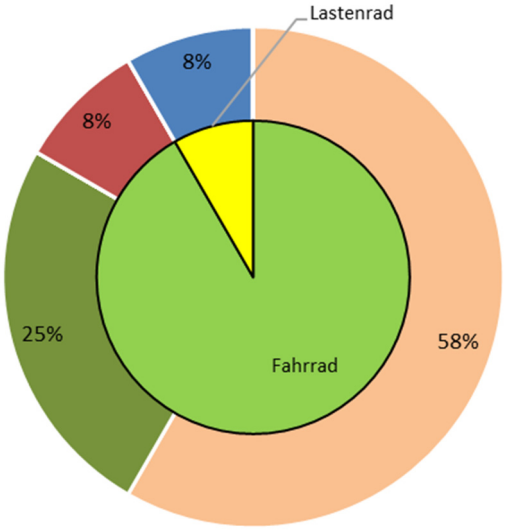
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 686 Kfz/h | 720 Kfz/h | 3,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 53 Fz/h | 80 Fz/h | |
| Fußverkehr | 53 Fuß/h | 71 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 238 (10) | 47 | 1 | 286 | **99,7%** |
| Pedelec | 25 | 10 | 0 | 35 | **100%** |
| Lastenrad | 3 | 0 | 1 | 4 | **75%** |
| E-Tretroller | 2 | 6 | 0 | 8 | **25%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=12

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

**Am Radweg**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=228) | 17,25 | Pedelec | ohne Anhänger (n=25) | 20,93 |
| | mit Anhänger (n=1) | 15,15 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=3) | 20,86 | | E-Tretroller (n=2) | 17,86 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**Auf der Fahrbahn**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=47) | 22,70 | Pedelec | ohne Anhänger (n=10) | 24,37 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=0) | - | E-Tretroller (n=6) | 21,04 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

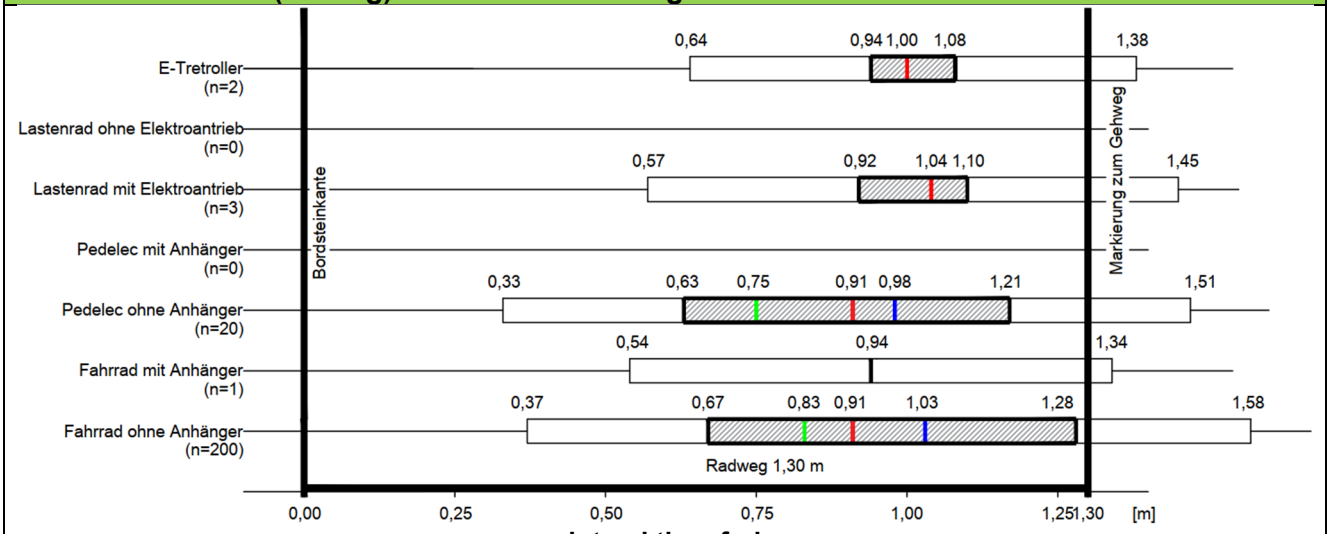
**interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=200) | 0,93 (0,63) | Pedelec | ohne Anhänger (n=20) | 0,95 (0,65) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,94 (0,54) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 1,02 (0,67) | E-Tretroller (n=2) | | 1,01 (0,71) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

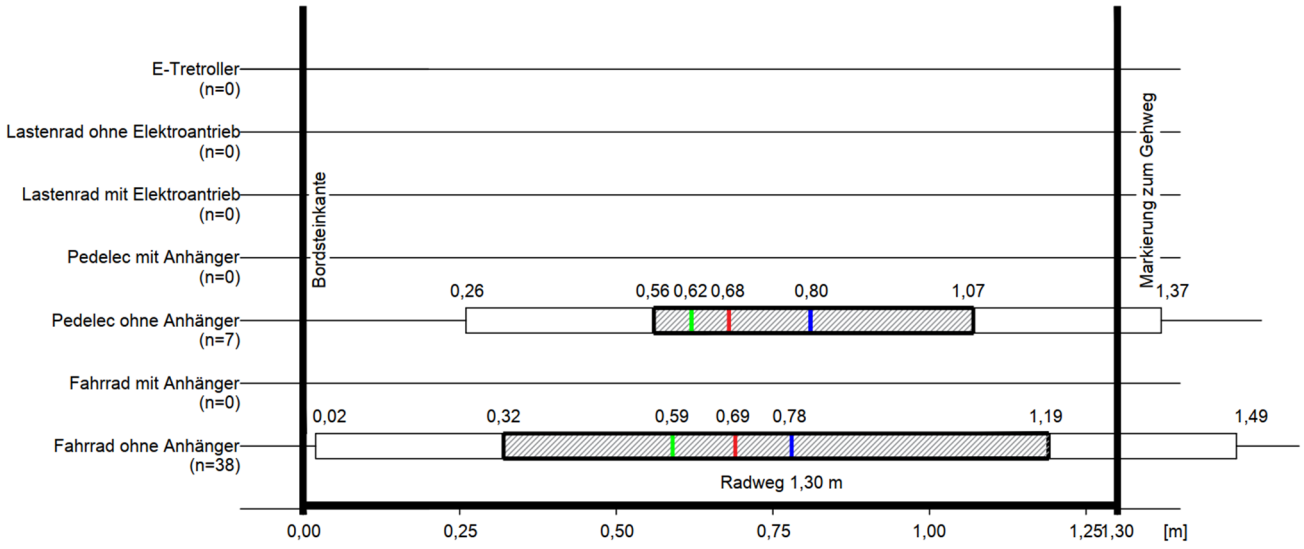
**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=38) | 0,70 (0,40) | Pedelec | ohne Anhänger (n=7) | 0,72 (0,42) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung**




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

**4. Nebeneinanderfahren und Überholen**

**Nebeneinanderfahren**

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | **Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA** | | **Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA** | | **Summe** |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 7 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 8 |

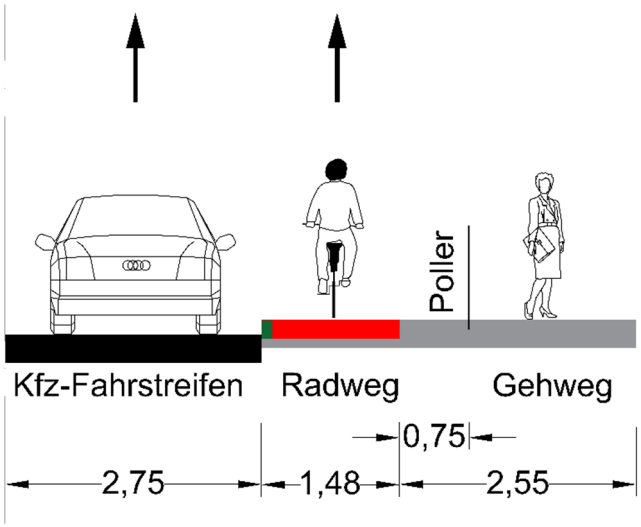
**Überholen**

| Kein Überholen wurde erfasst | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **5.1 Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr (am Radweg)** | | | | | | |
| | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
| Fahrrad | 18 | 11 | 5 | 2 | 5 | 1 |
| Pedelec | 3 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **21** | **11** | **6** | **2** | **8** | **1** |

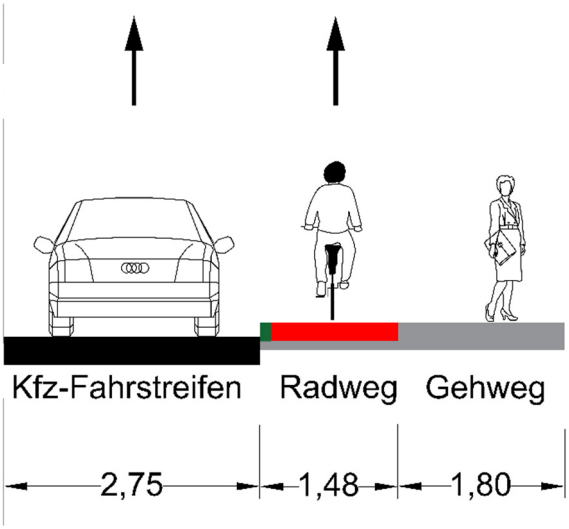
| **5.2 Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand) (auf Fahrbahn)** | | | |
|---|---|---|---|
| | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (≥ 1,00 m und < 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
| Fahrrad | 9 | 1 | 3 |
| Pedelec | 3 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 1 | 0 |
| **Summe** | **13 (72%)** | **2 (11%)** | **3 (17%)** |

## Nr. 8 Strecke Berliner Allee 1 in Richtung Süden

(zwischen Haardtring - Holzhofallee, Darmstadt)




Einheit: [m]




Einheit: [m]

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 10344 Kfz/24h | **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,48 m breiter Radweg ohne Benutzungspflicht + Mischverkehr mit Piktogramm (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht) | | |
| **Angebot Fußverkehr** | 1,80 m - 2,55 m breiter Gehweg mit starker Belastung (vor Corona-Pandemie) / mit schwacher Belastung (während Corona-Pandemie)<br>Trennung zum Radweg: Teilstrecke mit Poller und Teilstrecke mit Farbunterschied | | |
| **Angebot ÖPNV** | Busline ohne eigenen Busfahrstreifen | **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung | **Grundstückein- und aus-fahrt** | ja, mit mittelstarker Frequenz |

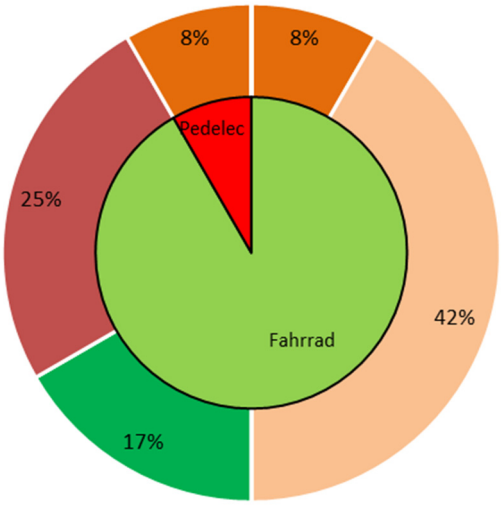
## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 02.07.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr | 15.09.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr |

| 0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | | 408 Kfz/h | 443 Kfz/h | 3,4% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | | 65 Fz/h | 92 Fz/h | |
| Fußverkehr | vor Corona | 29 Fuß/h | 40 Fuß/h | |
| | während Corona | 96 Fuß/h | 132 Fuß/h | |

| 1. Verkehrsflächenwahl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 409 (9) | 11 | 2 | 422 | **99,5%** |
| Pedelec | 41 (1) | 1 | 0 | 42 | **100%** |
| Lastenrad | 7 | 0 | 0 | 7 | **100%** |
| E-Tretroller | 1 | 6 | 0 | 1 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=12

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

| 2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Am Radweg** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=406) | 19,39 | Pedelec | ohne Anhänger (n=40) | 22,19 |
| | mit Anhänger (n=3) | 13,02 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=5) | | 21,15 | E-Tretroller (n=1) | 20,34 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=2) | | 13,27 | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | | - | | |
| **Auf der Fahrbahn** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=10) | 25,20 | Pedelec | ohne Anhänger (n=1) | 24,13 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei, Teilstrecke mit Poller**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=326) | 0,88 (0,58) | Pedelec | ohne Anhänger (n=37) | 0,88 (0,58) |
| | mit Anhänger (n=2) | 0,83 (0,46) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 0,89 (0,54) | E-Tretroller (n=1) | | 1,05 (0,75) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**Interaktionsbezogen, Teilstrecke mit Poller**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=53) | 0,77 (0,47) | Pedelec | ohne Anhänger (n=4) | 0,81 (0,51) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,84 (0,49) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

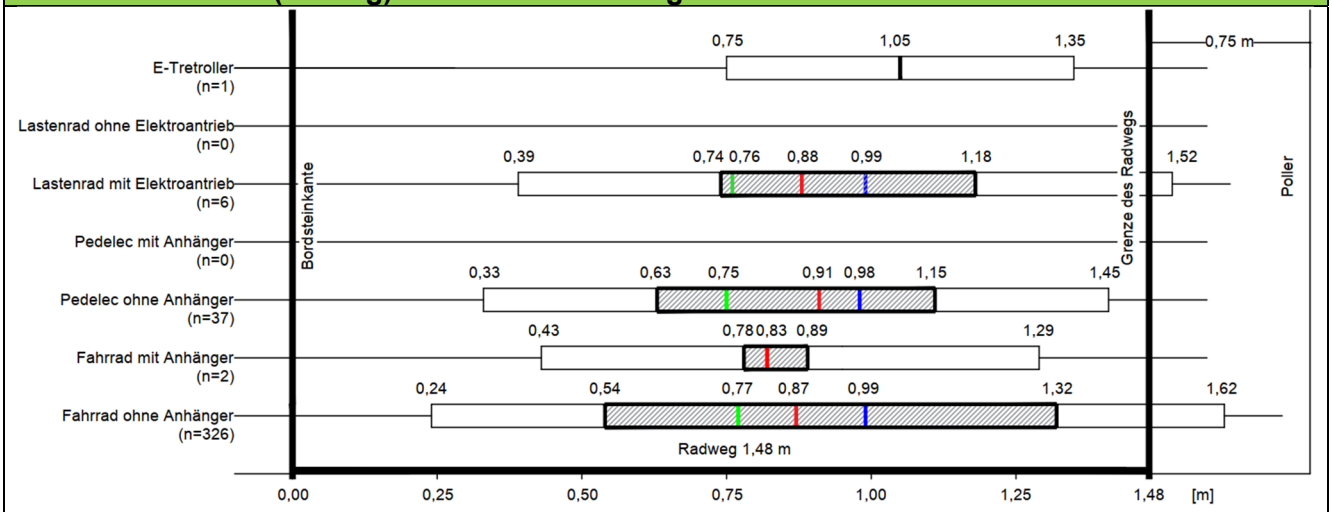
**Interaktionsfrei, Teilstrecke ohne Poller**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=317) | 0,95 (0,63) | Pedelec | ohne Anhänger (n=30) | 0,93 (0,63) |
| | mit Anhänger (n=2) | 1,04 (0,66) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=7) | 1,02 (0,65) | E-Tretroller (n=1) | | 1,04 (0,74) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

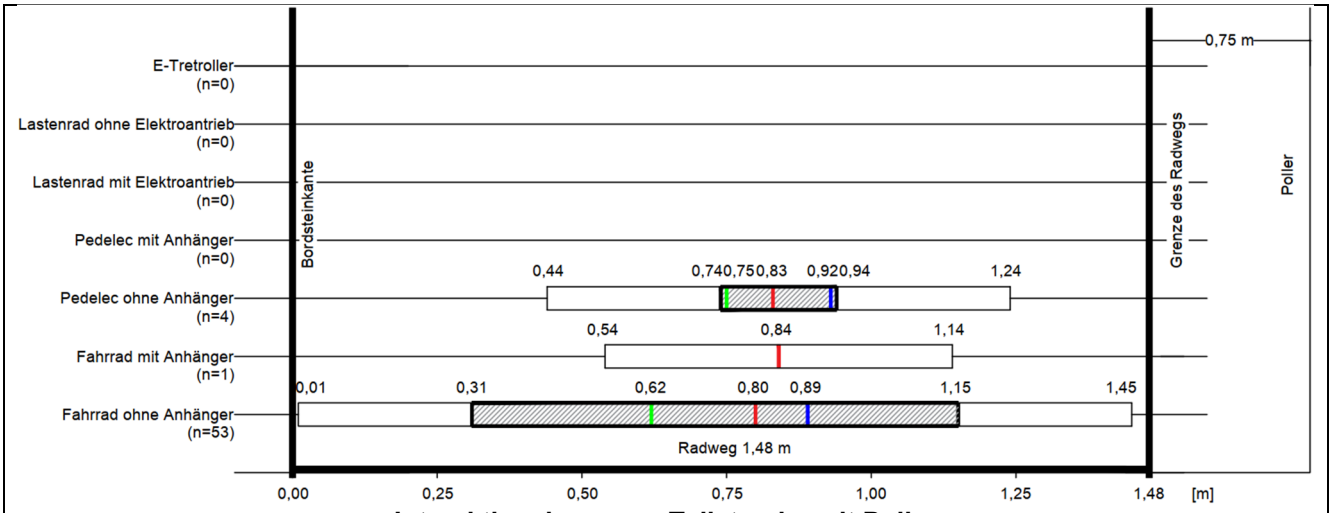
**Interaktionsbezogen, Teilstrecke ohne Poller**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=82) | 0,62 (0,32) | Pedelec | ohne Anhänger (n=12) | 0,69 (0,39) |
| | mit Anhänger (n=2) | 0,68 (0,35) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

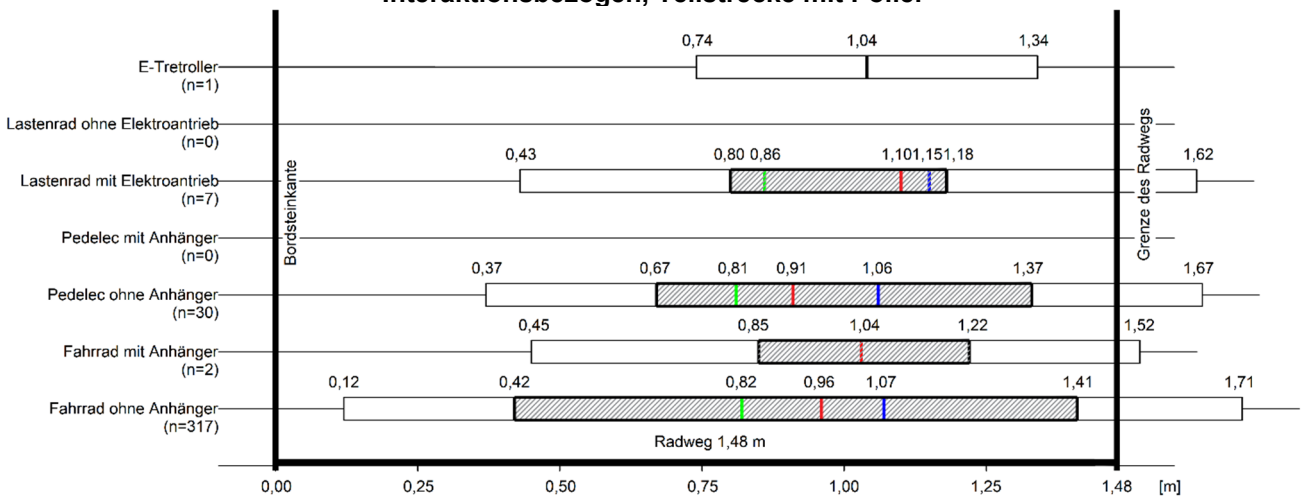
**3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung**



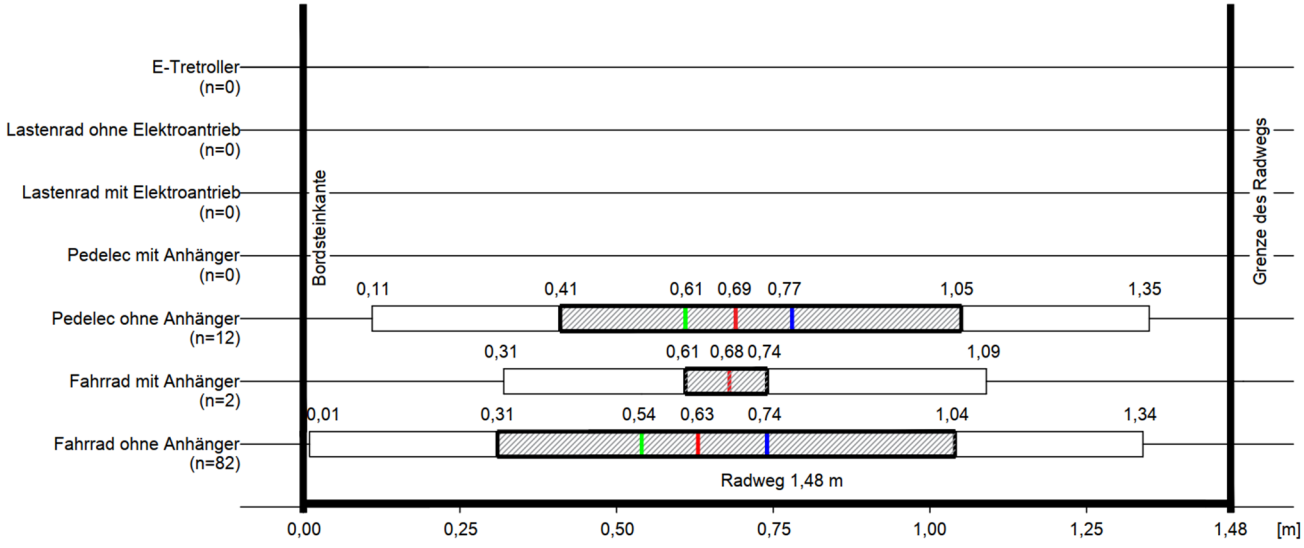

**Interaktionsfrei, Teilstrecke mit Poller**




**Interaktionsbezogen, Teilstrecke mit Poller**




**Interaktionsfrei, Teilstrecke ohne Poller**




**Interaktionsbezogen, Teilstrecke ohne Poller**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 5 | 0 | 2 | **2 (22%)** | 9 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 2 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **2 [/8h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | | | R |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,30 (0,70) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,50 (0,90) (n=1) |

R: Überholen auf der rechten Seite

## 5.1 Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr (am Radweg)

| **Teilstrecke, mit Poller** | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 44 | 1 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| Pedelec | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **50** | **1** | **1** | **0** | **3** | **0** |

| **Teilstrecke, ohne Poller** | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 54 | 6 | 4 | 0 | 8 | 0 |
| Pedelec | 8 | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **62** | **9** | **4** | **0** | **11** | **0** |

## 5.2 Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand) (auf Fahrbahn)

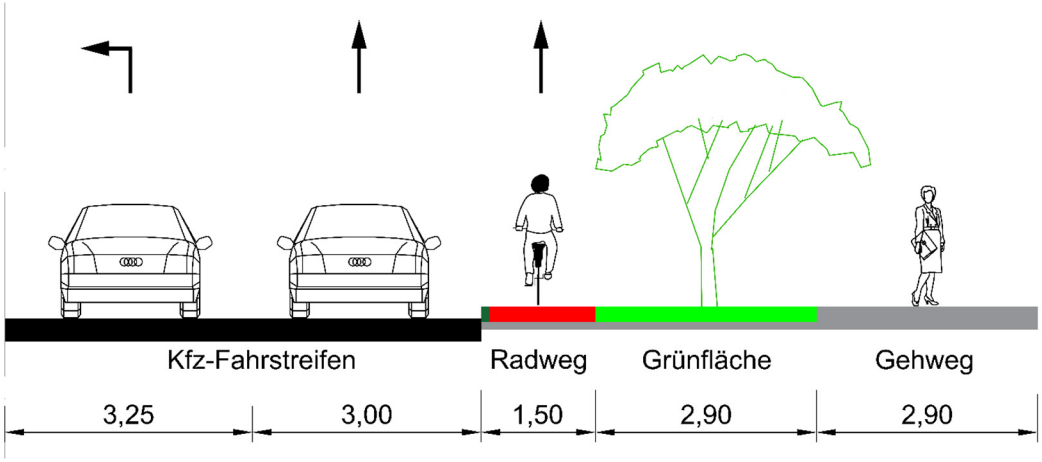
| | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (≥ 1,00 m und < 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
|---|---|---|---|
| Fahrrad | 2 | 0 | 3 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **2 (40%)** | **0** | **3 (60%)** |

## 5.3 Interaktionsvorgänge: mit ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 12 | 0 | 2 | 0 |
| Pedelec | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **13** | **0** | **2** | **0** |

## Nr. 9 Strecke Bockenheimer Landstraße in Richtung Westen

(zwischen Kettenhofweg - Oberlindau, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 11060 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,50 m breiter Radweg ohne Benutzungspflicht + Mischverkehr mit Piktogramm (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,90 m breit mit starker Belastung; Trennung zum Radweg: Grünfläche |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Grundstückzufahrten mit schwacher Frequenz (mit Sondergenehmigung) |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 16.09.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

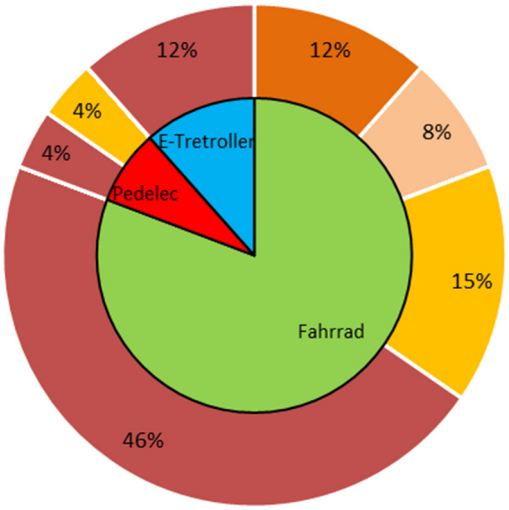
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 389 Kfz/h | 466 Kfz/h | 1,5% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 233 Fz/h | 298 Fz/h | |
| Fußverkehr | 224 Fuß/h | 354 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 703 | 42 | 21 | 766 | **97%** |
| Pedelec | 45 | 11 | 2 | 58 | **97%** |
| Lastenrad | 14 | 3 | 0 | 17 | **100%** |
| E-Tretroller | 27 | 1 | 3 | 31 | **87%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=26

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

**Am Radweg**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=702) | 19,41 | Pedelec | ohne Anhänger (n=44) | 21,95 |
| | mit Anhänger (n=1) | 14.20 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=10) | | 19,81 | E-Tretroller (n=27) | 19,22 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=4) | | 16,60 | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | | - | | |

**Auf der Fahrbahn**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=42) | 26,96 | Pedelec | ohne Anhänger (n=11) | 25,53 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=1) | | 25,21 | E-Tretroller (n=1) | 19,56 |

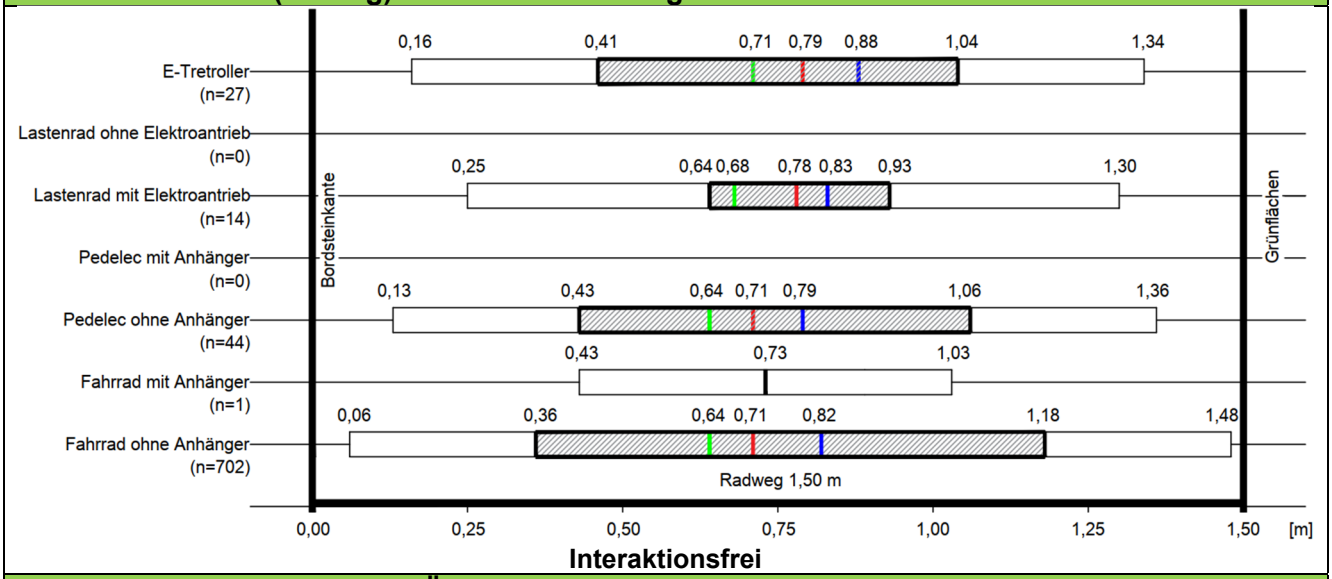
| | | | |
|---|---|---|---|
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=2) | 23,84 | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=702) | 0,73 (0,43) | Pedelec | ohne Anhänger (n=44) | 0,73 (0,43) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,73 (0,43) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=14) | 0,76 (0,38) | E-Tretroller (n=27) | | 0.77 (0,47) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung**




**Interaktionsfrei**

**4. Nebeneinanderfahren und Überholen**

**Nebeneinanderfahren**

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | **Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA** | | **Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA** | | **Summe** |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |

Kein Nebeneinanderfahren wurde erfasst

**Überholen**

Kein Überholen wurde erfasst

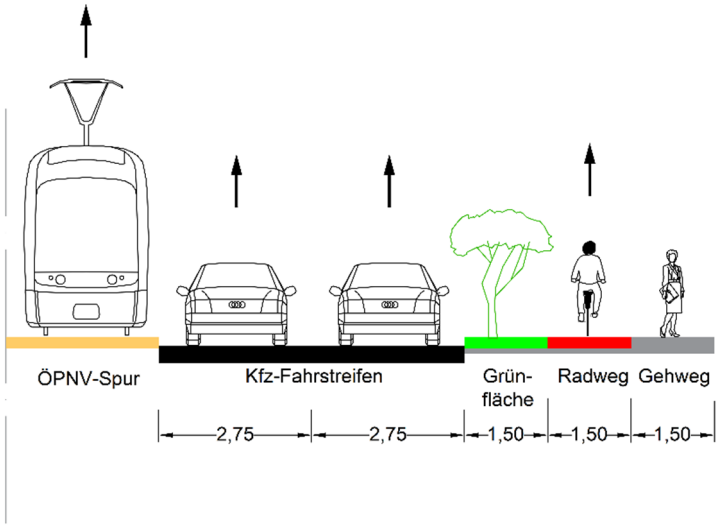
**5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand) (auf Fahrbahn)**

| | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (≥ 1,00 m und < 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
|---|---|---|---|
| Fahrrad | 4 | 0 | 0 |
| Pedelec | 1 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **6 (100%)** | **0 (0%)** | **0 (0%)** |

Es wurden keine kritischen Situationen wegen des engen Überholabstands durch Kfz erfasst. Allerdings wurde ein Beinahunfall mit dem Pedelec beobachtet. Das Pedelec fuhr fast auf ein plötzlich bremsendes Kfz auf. Dies ist auf das schnelle Anfahren eines Pedelecs und fehlende Aufmerksamkeit zurückzuführen.

## Nr. 10 Strecke Heidelberger Straße 3 in Richtung Süden

(zwischen Hügelstraße - Sandstraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 25504 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,50 m breiter Radweg ohne Benutzungspflicht + Mischverkehr (Führungsform Vorstrecke: Radweg ohne Benutzungs-pflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 1,50 m breit mit mittelstar-ker Belastung; Trennung zum Radweg: Fahrbunterschied |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahn auf besonde-rem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längs-neigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 27.07.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

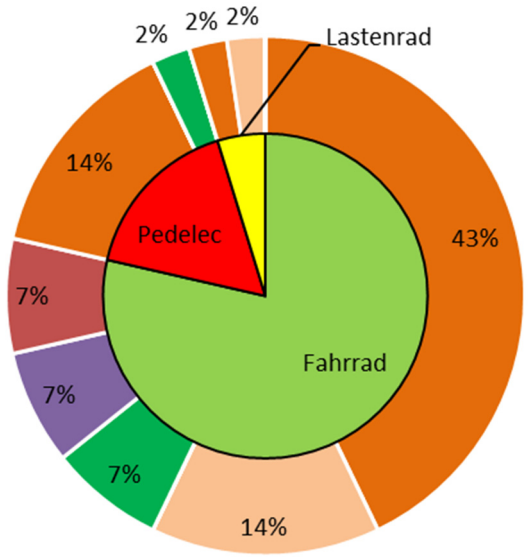
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 835 Kfz/h | 1153 Kfz/h | 1,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 122 Fz/h | 148 Fz/h | |
| Fußverkehr | 80 Fuß/h | 129 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 364 (29) | 10 | 4 | 378 | **99%** |
| Pedelec | 54 (7) | 1 | 0 | 55 | **98%** |
| Lastenrad | 9 (2) | 0 | 0 | 7 | **100%** |
| E-Tretroller | 3 | 6 | 0 | 3 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=42

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| Am Radweg | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=360) | 18,17 | Pedelec | ohne Anhänger (n=52) | 21,41 |
| | mit Anhänger (n=4) | 15,38 | | mit Anhänger (n=2) | 18,42 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=9) | 18,85 | | E-Tretroller (n=3) | 16,70 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

| Auf der Fahrbahn | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=10) | 27,01 | Pedelec | ohne Anhänger (n=1) | 26,99 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

## 3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]

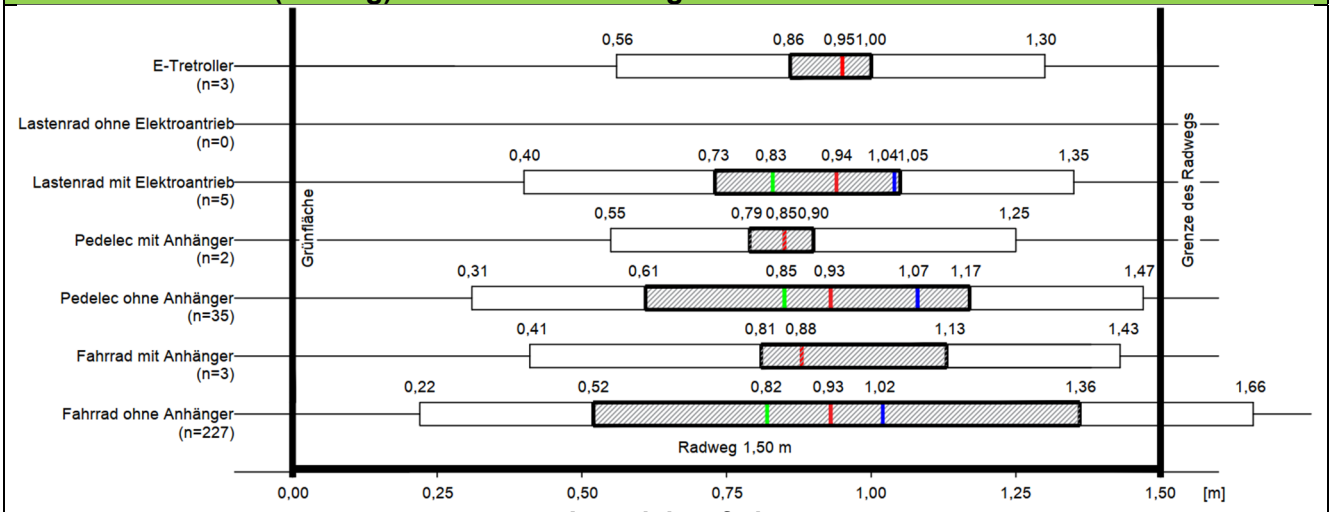
### Interaktionsfrei

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=227) | 0,92 (0,62) | Pedelec | ohne Anhänger (n=35) | 0,93 (0,61) |
| | mit Anhänger (n=3) | 0,94 (0,59) | | mit Anhänger (n=2) | 0,85 (0,47) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=5) | 0,93 (0,63) | E-Tretroller (n=3) | | 0,94 (0,64) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

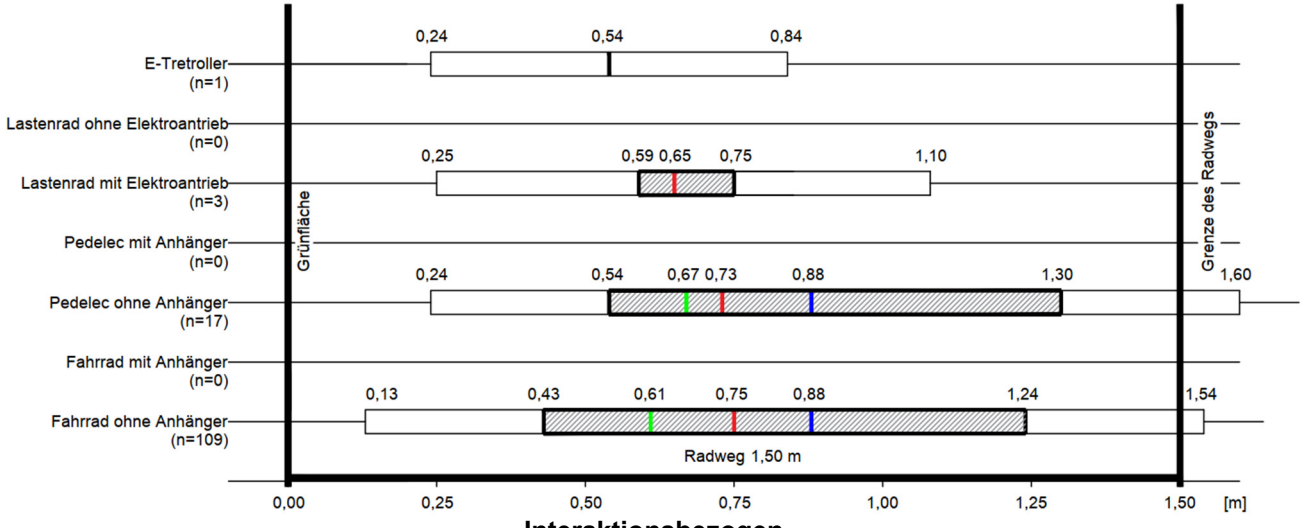
### Interaktionsbezogen

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=109) | 0,76 (0,46) | Pedelec | ohne Anhänger (n=17) | 0,77 (0,47) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 0,66 (0,33) | E-Tretroller (n=1) | | 0,54 (0,24) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**Interaktionsfrei**




**Interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 6 | 0 | 5 (1) | **3 (21%)** | 14 |

() das Nebeneinander mit dem Lastenrad

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 25 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **25 [/4h]** |

| | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | | | R |
| Überholabstand | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,33 (0,73) (n=13) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,58 (0,98) (n=1) |
| | | E-Tretroller | 1,36 (0,76) (n=1) |
| | Fahrrad mit Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,57 (0,94) (n=2) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,35 (0,75) (n=5) |
| | | E-Tretroller | 1,50 (0,90) (n=1) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | 1,57 (0,93) (n=2) |

R: Überholen auf der rechten Seite

**5.1 Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr (am Radweg)**

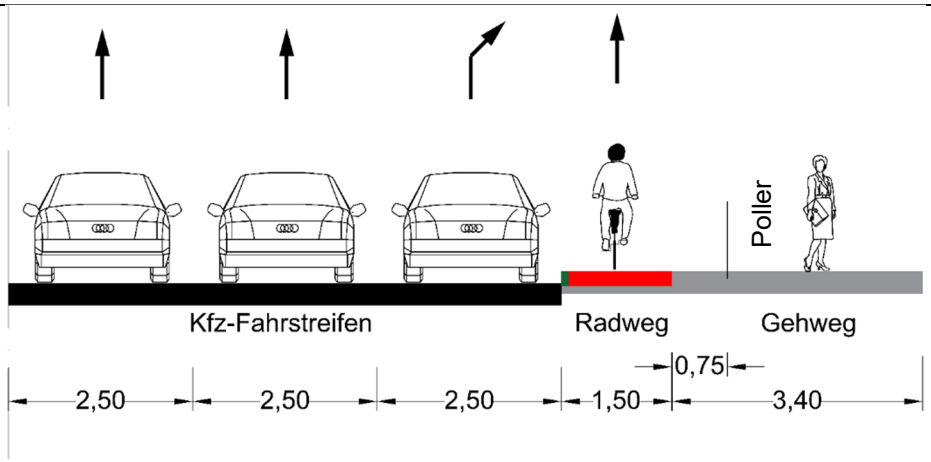
| **Teilstrecke, mit Poller** | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 80 | 14 | 7 | 0 | 11 | 1 |
| Pedelec | 8 | 2 | 3 | 1 | 4 | 0 |
| Lastenrad | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **90** | **17** | **10** | **1** | **15** | **1** |

**5.2 Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand) (auf Fahrbahn)**

| | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (≥ 1,00 m und < 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
|---|---|---|---|
| Fahrrad | 5 | 1 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **5 (83%)** | **1 (17%)** | **0 (0%)** |

## Nr. 11 Strecke Berliner Allee 2 in Richtung Süden

(zwischen Rheinstraße - Haardtring, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 11850 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 3 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,50 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 1,50 m breit mit mittelstarker Belastung; Trennung zum Radweg: Poller |
| **Angebot ÖPNV** | Buslinie mit Busfahrstreifen |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 17.06.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr | 21.09.2020 | 6:30 - 10:30 Uhr |

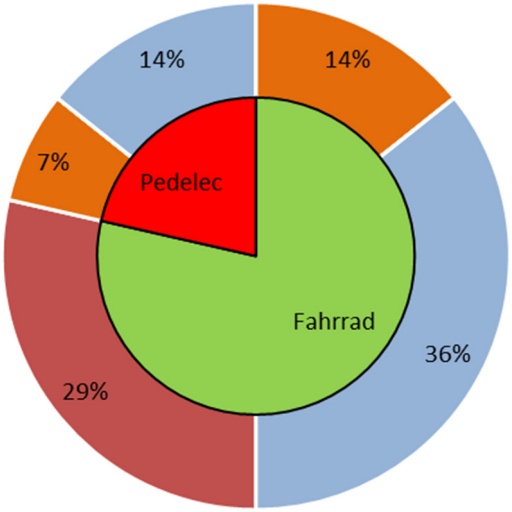
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 713 Kfz/h | 749 Kfz/h | 3,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 69 Fz/h | 109 Fz/h | |
| Fußverkehr | 72 Fuß | 126 Fuß | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

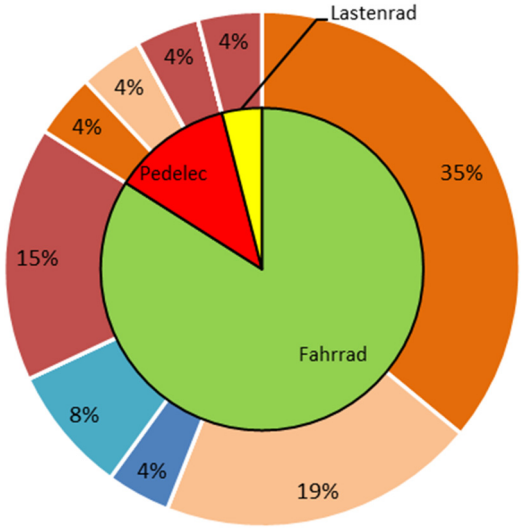
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 408 (3) (1) | 10 | 18 | 436 | **94%** |
| Pedelec | 32 (1) | 3 | 2 | 37 | **86%** |
| Lastenrad | 13 | 0 | 1 | 14 | **93%** |
| E-Tretroller | 5 | 0 | 1 | 6 | **83%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=14

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=26

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=406) | 18,99 | Pedelec | ohne Anhänger (n=32) | 21,43 |
| | mit Anhänger (n=2) | 19,59 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=11) | 21,13 | | E-Tretroller (n=5) | 20,02 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=2) | 18,74 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei**

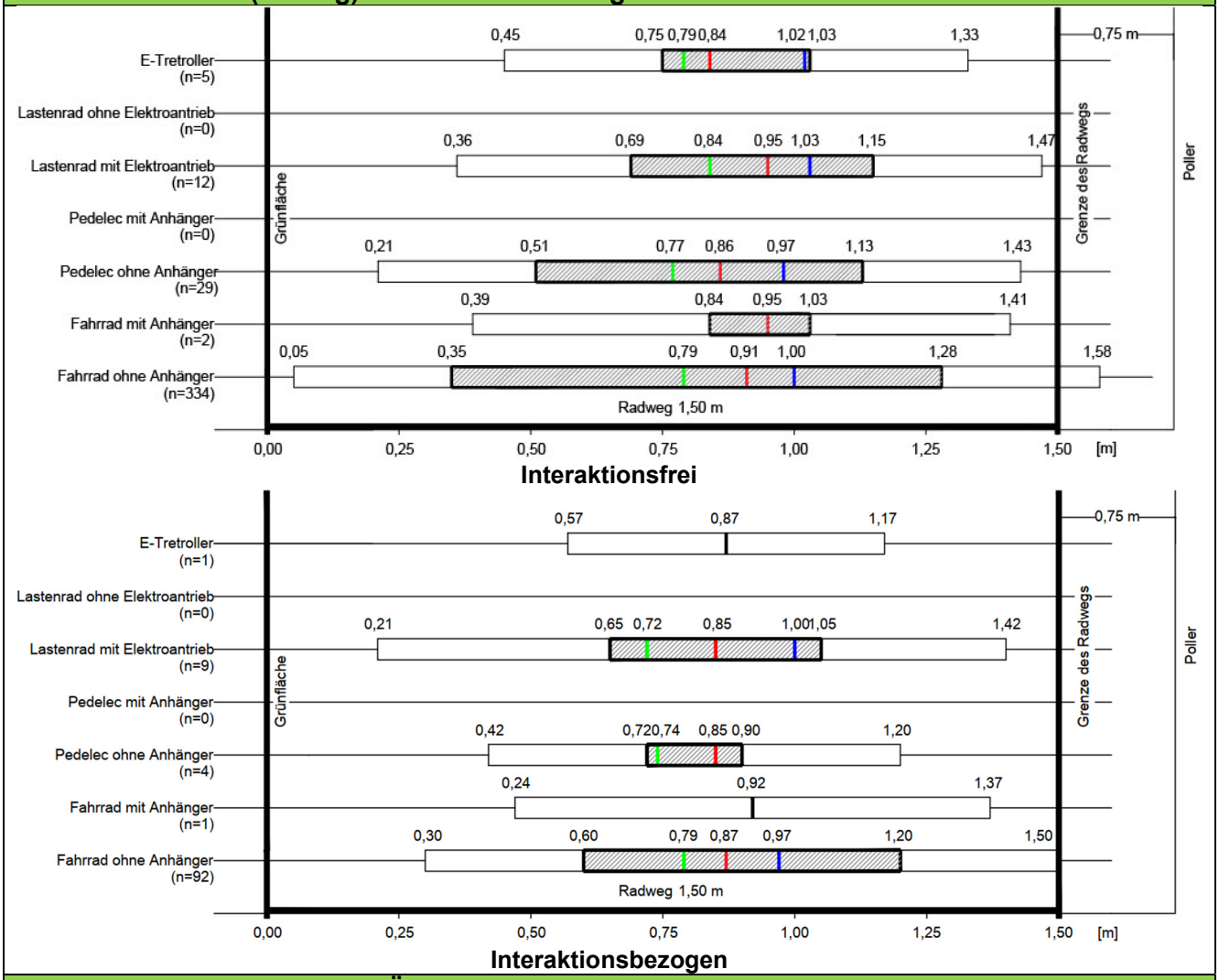
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=334) | 0,89 (0,59) | Pedelec | ohne Anhänger (n=29) | 0,86 (0,56) |
| | mit Anhänger (n=2) | 0,94 (0,53) | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=12) | 0,93 (0,58) | E-Tretroller (n=5) | 0,89 (0,59) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

**Interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=92) | 0,88 (0,58) | Pedelec | ohne Anhänger (n=4) | 0,83 (0,53) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,93 (0,47) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=9) | 0,87 (0,52) | E-Tretroller (n=1) | | 0,87 (0,57) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**Interaktionsfrei**




**Interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

**Nebeneinanderfahren**

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 3 | 1 | 0 | **4 (50%)** | 8 |

**Überholen**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 13 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **13 [/8h]** |

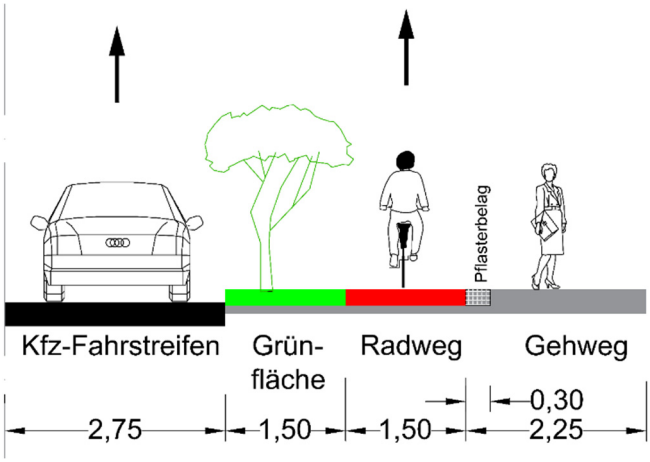
## 5. Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr (am Radweg)

| | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 85 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pedelec | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **99** | **0** | **0** | **0** | **0** | **0** |

## Nr. 12 Strecke Goebelstraße 2 in Richtung Norden

(zwischen Rheinstraße - Mornewegstraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 11008 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,50 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,25 m breit mit schwacher Belastung; Trennung zum Radweg: 0,30 m breiter Pflasterbelag |
| **Angebot ÖPNV** | Buslinien ohne eigenen Busfahrstreifen |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Grundstückzufahrten mit schwacher Frequenz |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 15.09.2020 | 6:30 - 10:30 Uhr |

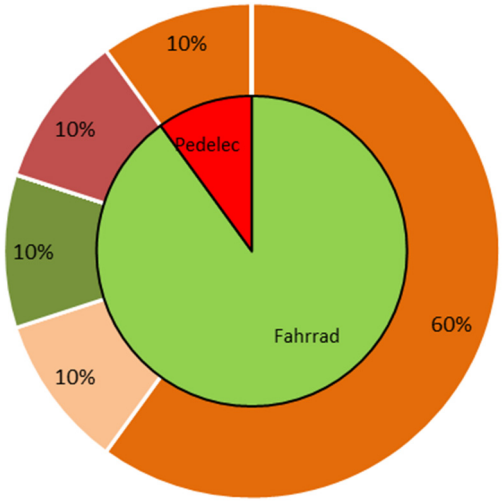
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 450 Kfz/h | 478 Kfz/h | 5,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 41 Fz/h | 67 Fz/h | |
| Fußverkehr | 16 Fuß/h | 21 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 138 (8) | 0 | 1 | 139 | **99%** |
| Pedelec | 19 (1) | 0 | 0 | 19 | **100%** |
| Lastenrad | 6 | 0 | 0 | 6 | **100%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=10

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=137) | 20,77 | Pedelec | ohne Anhänger (n=18) | 22,72 |
| | mit Anhänger (n=1) | 20,64 | | mit Anhänger (n=1) | 23,49 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 21,71 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=2) | 17,21 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

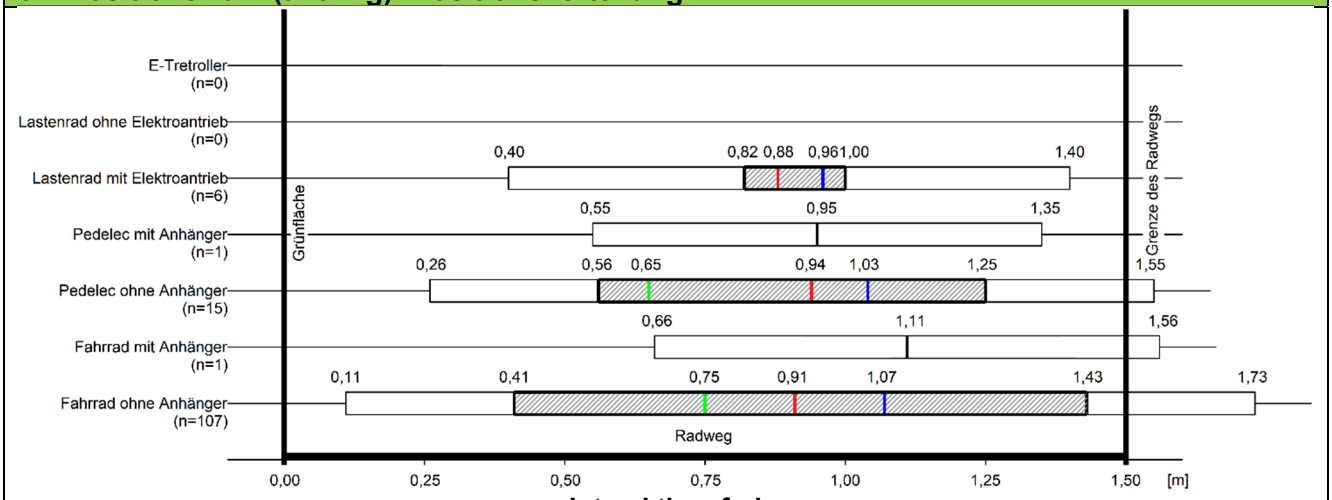
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei**

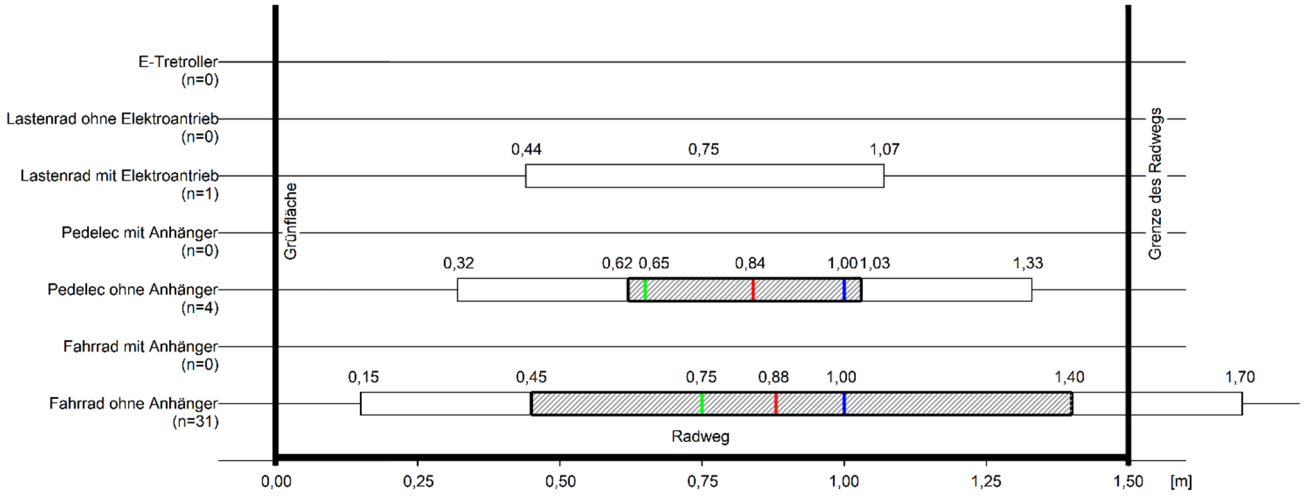
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=107) | 0,91 (0,61) | Pedelec | ohne Anhänger (n=15) | 0,89 (0,59) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,10 (0,66) | | mit Anhänger (n=1) | 0,95 (0,55) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 0,89 (0,54) | E-Tretroller (n=0) | | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=31) | 0,88 (0,58) | Pedelec | ohne Anhänger (n=4) | 0,83 (0,53) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 0,75 (0,44) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**Interaktionsfrei**




**Interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 0 | 0 | **0 (0%)** | 1 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 8 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **8 [/4h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | | | R |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,59 (0,99) (n=2) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,43 (0,83) (n=4) |
| | | Lastenrad | 2,18 (1,43) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,73 (1,13) (n=1) |

R: Überholen auf der rechten Seite

## 5.1 Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr (am Radweg)

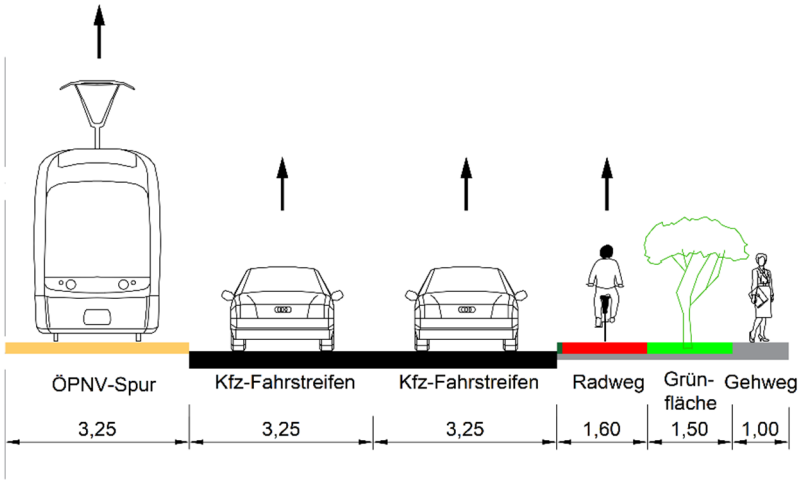
| Teilstrecke, mit Poller | Normalver-halten | Positive Re-aktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 26 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Pedelec | 2 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **29** | **2** | **0** | **0** | **2** | **0** |

**5.2 Interaktionsvorgänge: mit ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten**

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 5 | 1 | 0 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **6** | **1** | **1** | **0** |

## Nr. 13 Strecke Frankfurter Straße in Richtung Süden

(zwischen Carl-Schenck-Ring - Alsfelder Straße)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 22095 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,60 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 1,00 m breit mit schwacher Belastung; Trennung zum Radweg: Grünfläche |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 30.07.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

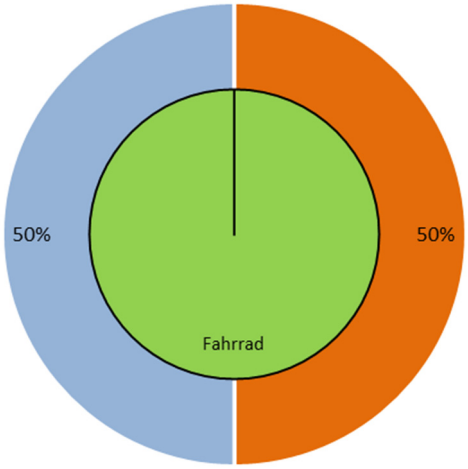
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 806 Kfz/h | 930 Kfz/h | 2,0% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 70 Fz/h | 81 Fz/h | |
| Fußverkehr | 7 Fuß/h | 10 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

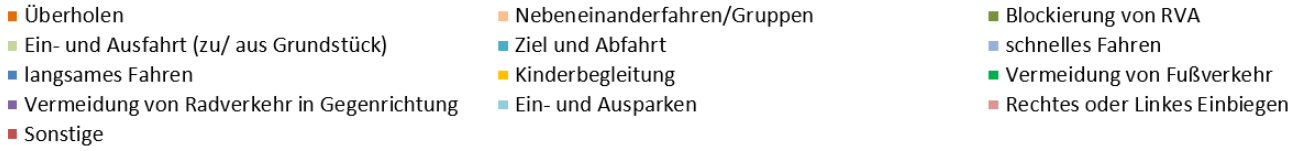
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 232 (2) | 2 | 0 | 234 | **99%** |
| Pedelec | 34 | 0 | 0 | 34 | **100%** |
| Lastenrad | 4 | 0 | 0 | 4 | **100%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=4

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

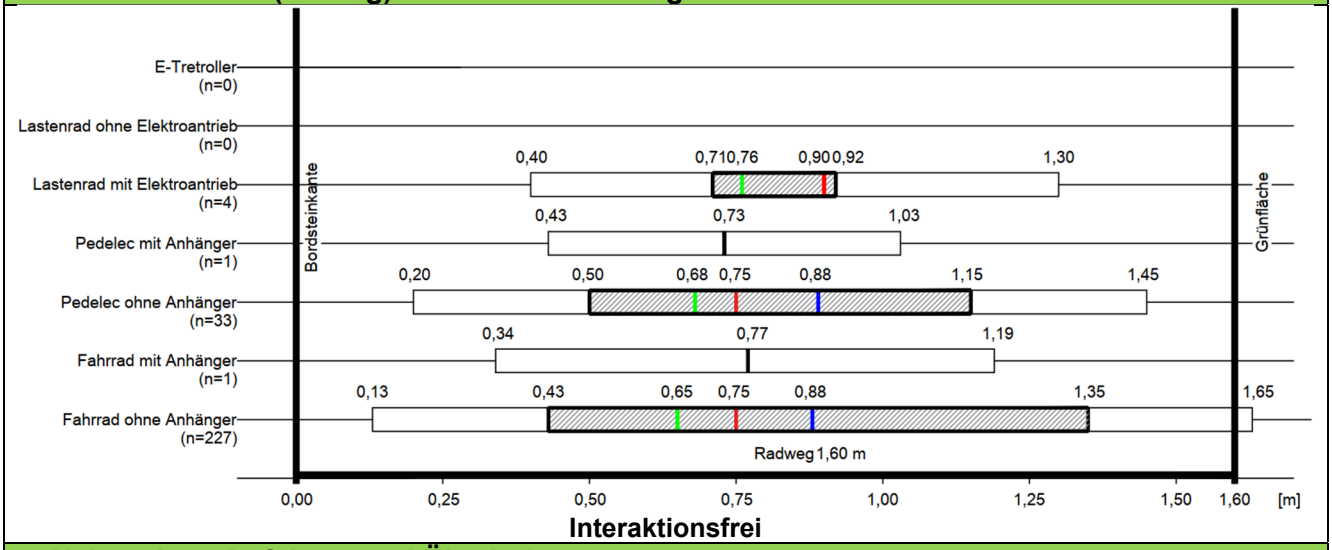
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=231) | 19,78 | Pedelec | ohne Anhänger (n=33) | 23,03 |
| | mit Anhänger (n=1) | 14,48 | | mit Anhänger (n=1) | 17,94 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 23,33 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=227) | 0,76 (0,46) | Pedelec | ohne Anhänger (n=33) | 0,77 (0,47) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,77 (0,34) | | mit Anhänger (n=1) | 0,73 (0,43) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 0,85 (0,54) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**Interaktionsfrei**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **2 (100%)** | 2 |

### Überholen

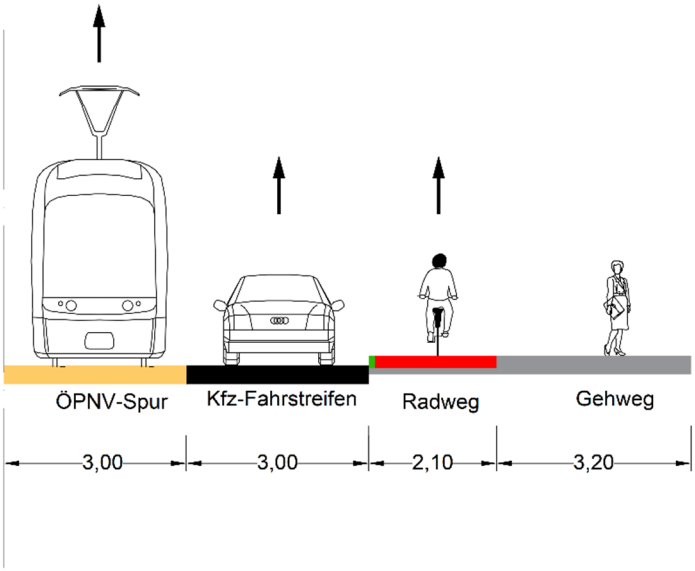
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 1 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 2 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 1 (25%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **4 [/4h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | | | L |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,00 (0,40) (n=1) |

L: Überholen auf der linken Seit;

## Nr. 14 Strecke Heidelberger Straße 4 in Richtng Norden

(zwischen Hermannstraße - Goethestraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 22372 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 2,10 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,20 m breit mit mittelstarker Belastung; Trennung zum Radweg: Farbunterschied |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 10.09.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr |

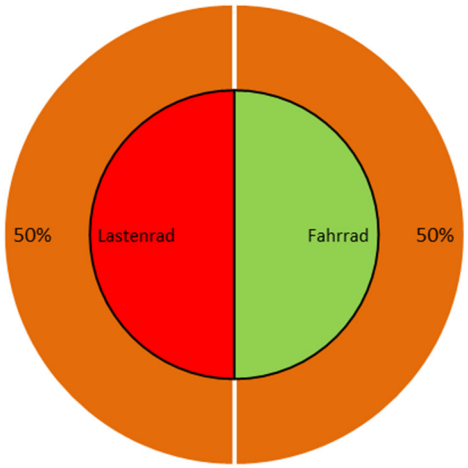
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 708 Kfz/h | 735 Kfz/h | 1,7% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 109 Fz/h | 143 Fz/h | |
| Fußverkehr | 53 Fuß/h | 66 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

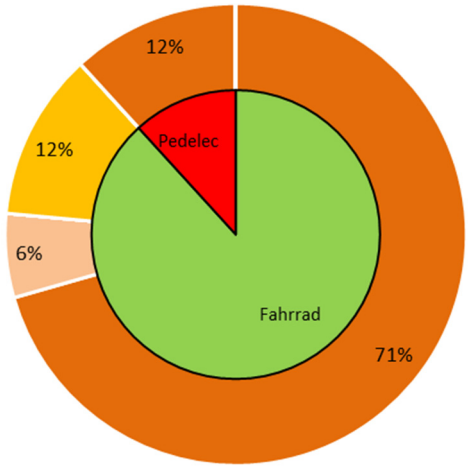
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 345 (13) | 1 | 2 | 348 | **99%** |
| Pedelec | 42 (2) | 0 | 0 | 42 | **100%** |
| Lastenrad | 10 | 1 | 0 | 11 | **91%** |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=2

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=17

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=342) | 21,35 | Pedelec | ohne Anhänger (n=39) | 23,04 |
| | mit Anhänger (n=3) | 17,15 | | mit Anhänger (n=3) | 22,23 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=10) | 24,10 | | E-Tretroller (n=1) | 19,14 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

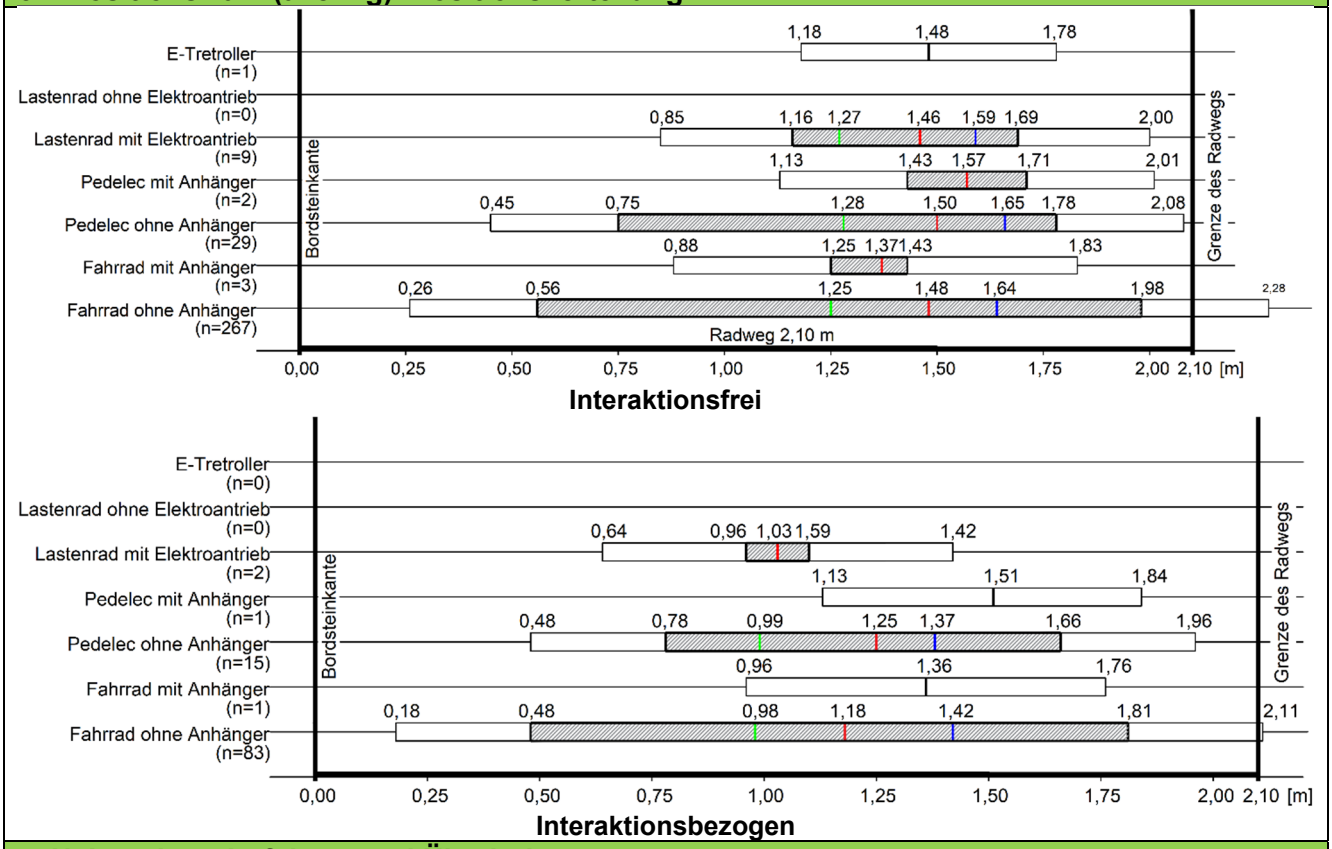
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=267) | 1,44 (1,14) | Pedelec | ohne Anhänger (n=29) | 1,44 (1,14) |
| | mit Anhänger (n=3) | 1,35 (0,96) | | mit Anhänger (n=2) | 1,57 (1,24) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=9) | 1,42 (1,11) | E-Tretroller (n=1) | | 1,48 (1,18) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

| Interaktionsbezogen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=83) | 1,19 (0,89) | Pedelec | ohne Anhänger (n=15) | 1,23 (1,13) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,36 (0,96) | | mit Anhänger (n=1) | 1,51 (1,13) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,03 (0,76) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 0 | 0 | **10 (91%)** | 11 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 15 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 9 (38%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **24 [/4h]** |

| Überholabstand | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] L | R |
|---|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,18 (0,58) (n=5) | 1,66 (1,06) (n=11) |
| | | Fahrrad mit Anhänger | - | 1,80 (1,05) (n=1) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,17 (0,57) (n=2) | 2,00 (1,40) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,22 (0,62) (n=2) | 1,74 (1,14) (n=2) |

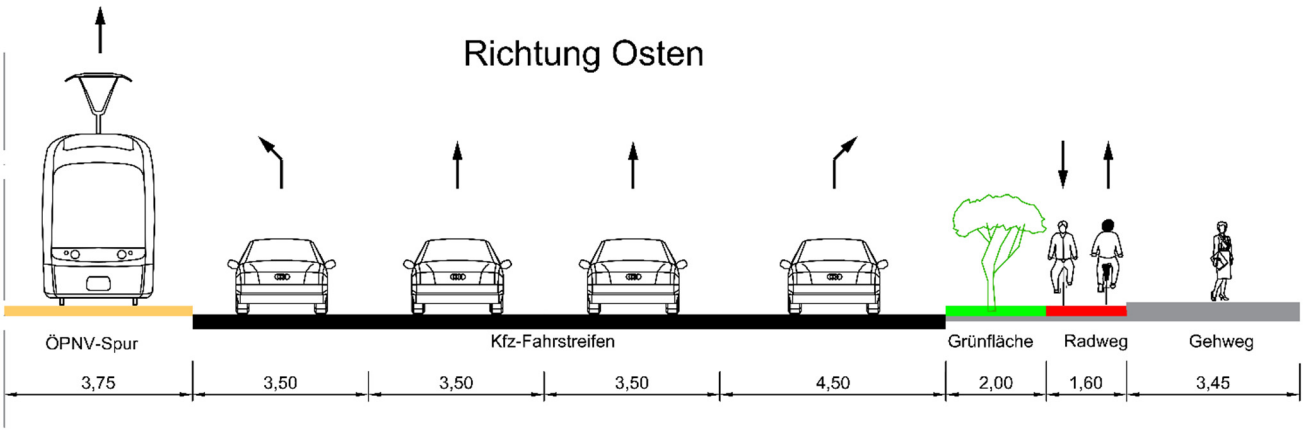
L Überholen auf der linken Seit; R Überholen auf der rechten Seite

## 5.1 Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr (am Radweg)

| **Teilstrecke, mit Poller** | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pedelec | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **7** | **2** | **0** | **0** | **0** | **0** |

## Nr. 15 Strecke Rheinstraße 1 in Richtung Osten

(zwischen Rheinstraßebrücke - Berliner Allee, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 33491 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 4 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,60 m breiter Zweirichtungsradweg (Führungsform Vorstrecke: Zweirichtungsradweg) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,45 m breit mit schwacher Belastung; Trennung zum Radweg: kleiner Bordunterschied |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahn-/ Buslinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 16.07.2021 | 6:30 - 9:30 Uhr |

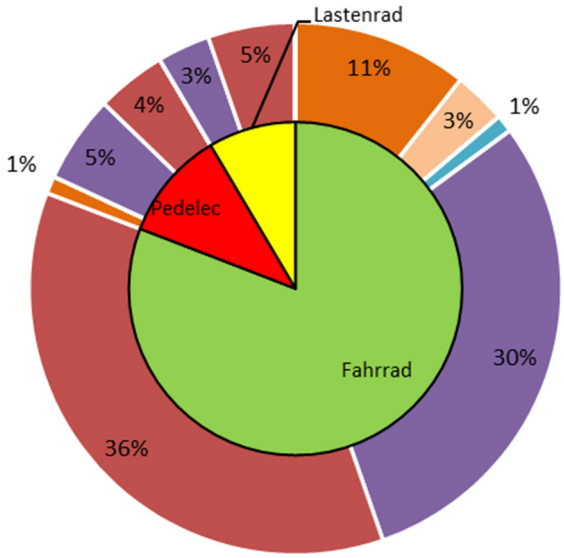
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 1295 Kfz/h | 1527 Kfz/h | 4,8% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 89 Fz/h | 126 Fz/h | |
| Fußverkehr | 40 Fuß/h | 54 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 253 (19) | 0 | 57 | 310 | **82%** |
| Pedelec | 22 (3) | 0 | 7 | 29 | **76%** |
| Lastenrad | 10 (1) | 0 | 7 | 17 | **59%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=94

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

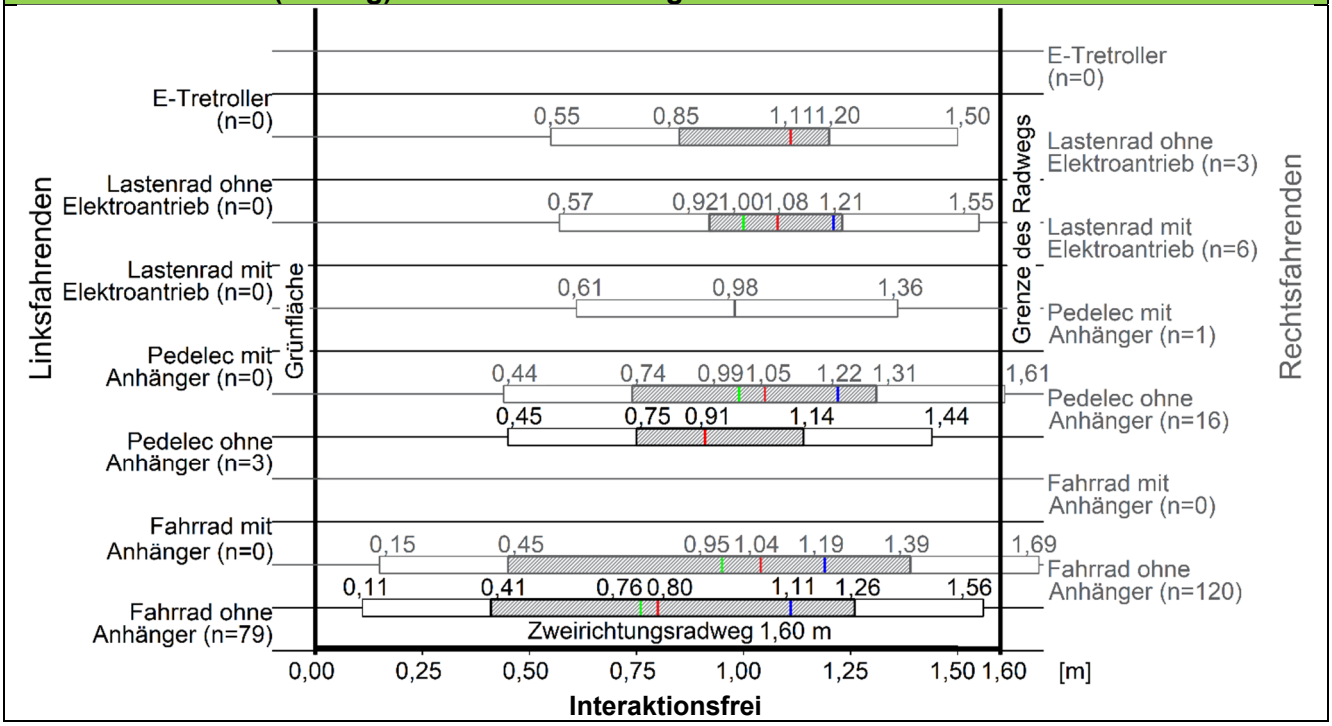
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=253) | 18,87 | Pedelec | ohne Anhänger (n=21) | 20,40 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 20,21 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | | 23,91 | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=3) | | 18,21 | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=3) | | 16,33 | | |

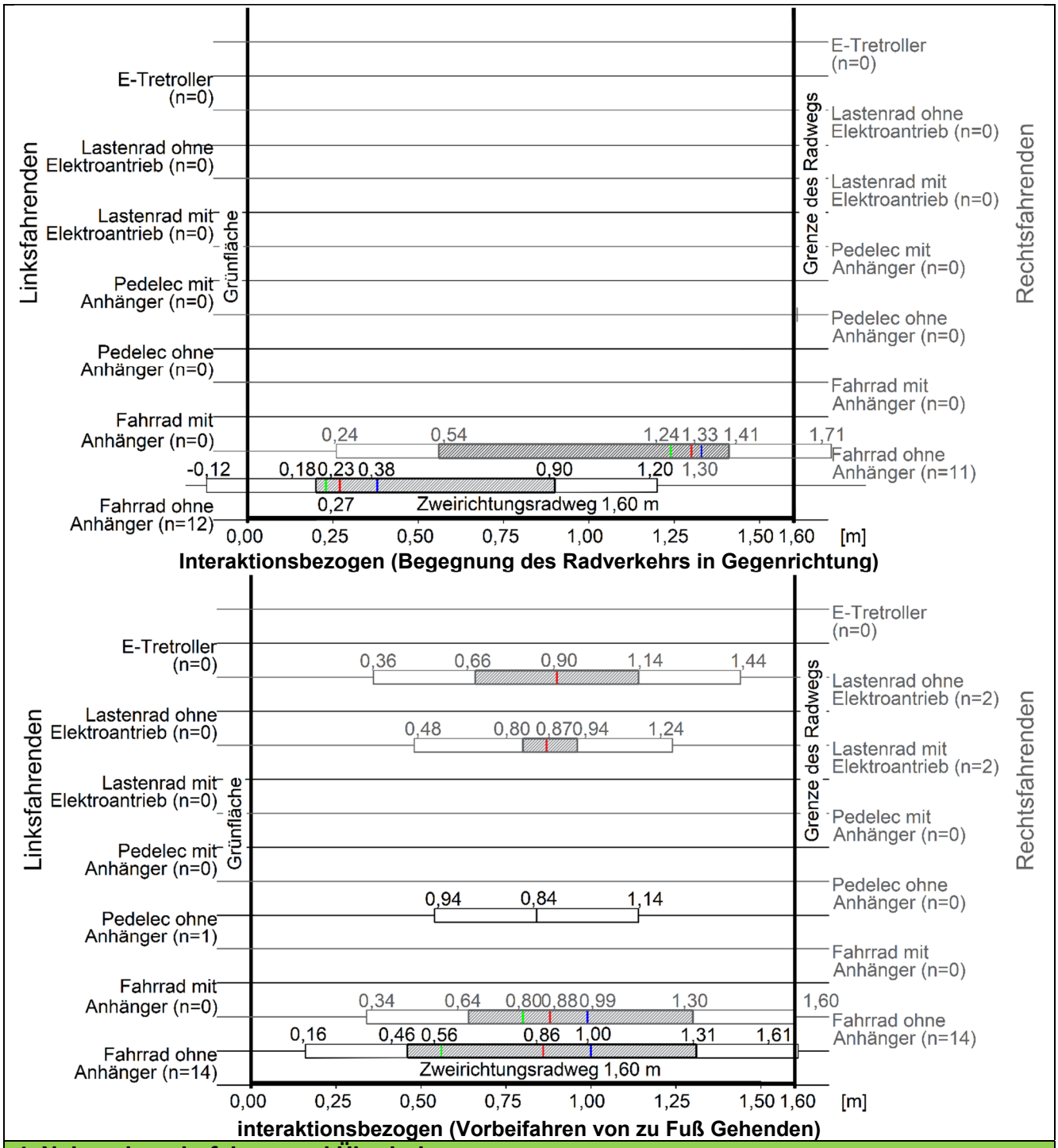
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

| **Interaktionsfrei, rechtsfahrende** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=120) | 1,06 (0,76) | Pedelec | ohne Anhänger (n=16) | 1,07 (0,77) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 0,98 (0,61) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 1,06 (0,75) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=3) | 1,05 (0,75) | | | |
| **Interaktionsfrei, linksfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=79) | 0,88 (0,58) | Pedelec | ohne Anhänger (n=3) | 0,93 (0,63) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen (Begegnung Radverkehr in Gegenrichtung), rechtsfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=11) | 1,20 (0,90) | Pedelec | ohne Anhänger (n=0) | - |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen (Begegnung Radverkehr in Gegenrichtung), linksfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=12) | 0,33 (0,03) | Pedelec | ohne Anhänger (n=0) | - |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen (Vorbeifahren von Fußverkehr), rechtsfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=14) | 0,91 (0,61) | Pedelec | ohne Anhänger (n=2) | 0,87 (0,56) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=2) | 0,90 (0,60) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen (Vorbeifahren von Fußverkehr), linksfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=14) | 0,81 (0,51) | Pedelec | ohne Anhänger (n=1) | 0,84 (0,54) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung






## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 1 | 0 | **2 (50%)** | 4 |

### Überholen

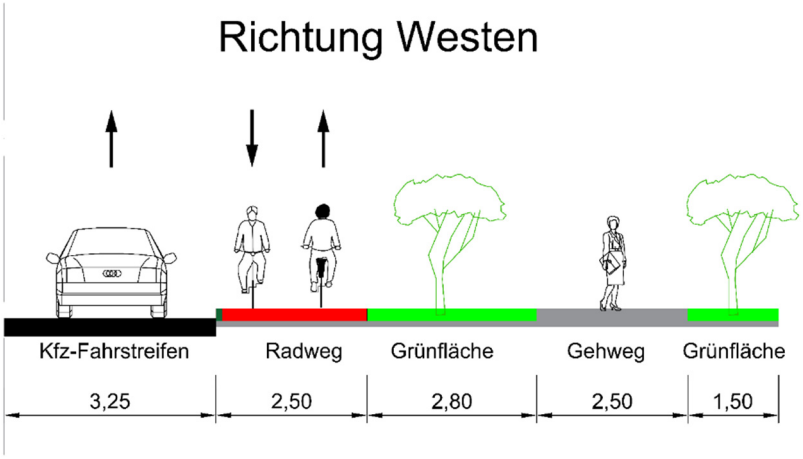
| Anzahl der Überholvorgänge | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholung (außerhalb von RVA) | 11 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholung (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **11 [/4h]** |

## 5. Interaktionsvorgänge: mit Radverkehr in Gegenrichtung

| | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad - Fahrrad | 0 | 1 | 4 | 0 | 13 | 0 |
| Pedelec - Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Lastenrad - Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| E-Tretroller - Fahrrad/ E-Tretroller | | | | | | |
| Nebeneinander Fahrende - Einzelfahrende | | | | | | |
| Überholende - Einzelfahrende | | | | | | |
| **Summe** | **0** | **1** | **4** | **0** | **16** | **0** |

## Nr. 16 Strecke Schaumainkai in Richtung Westen

(zwischen Untermainbrücke - Eiserner Steg, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 18488 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 2,50 m breiter Zweirichtungsradweg (Führungsform Vorstrecke: Zweirichtungsradweg) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,50 m breit mit mittelstarker Belastung; Trennung zum Radweg: Grünfläche |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 14.07.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

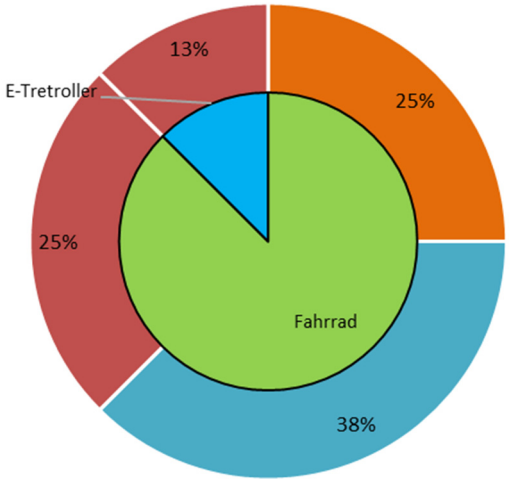
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 595 Kfz/h | 627 Kfz/h | 2,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 225 Fz/h | 298 Fz/h | |
| Fußverkehr | 94 Fuß/h | 100 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

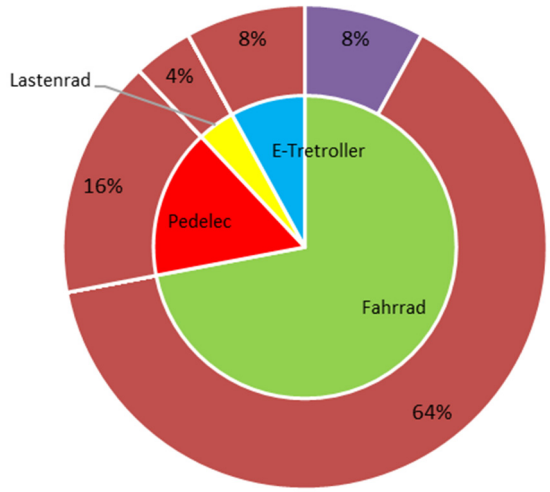
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 770 | 7 | 18 | 795 | **97%** |
| Pedelec | 52 | 0 | 4 | 56 | **93%** |
| Lastenrad | 8 | 0 | 1 | 9 | **89%** |
| E-Tretroller | 37 | 1 | 2 | 40 | **93%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=8

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=25

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=770) | 20,33 | Pedelec | ohne Anhänger (n=52) | 22,37 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=8) | 22,19 | | E-Tretroller (n=37) | 18,90 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

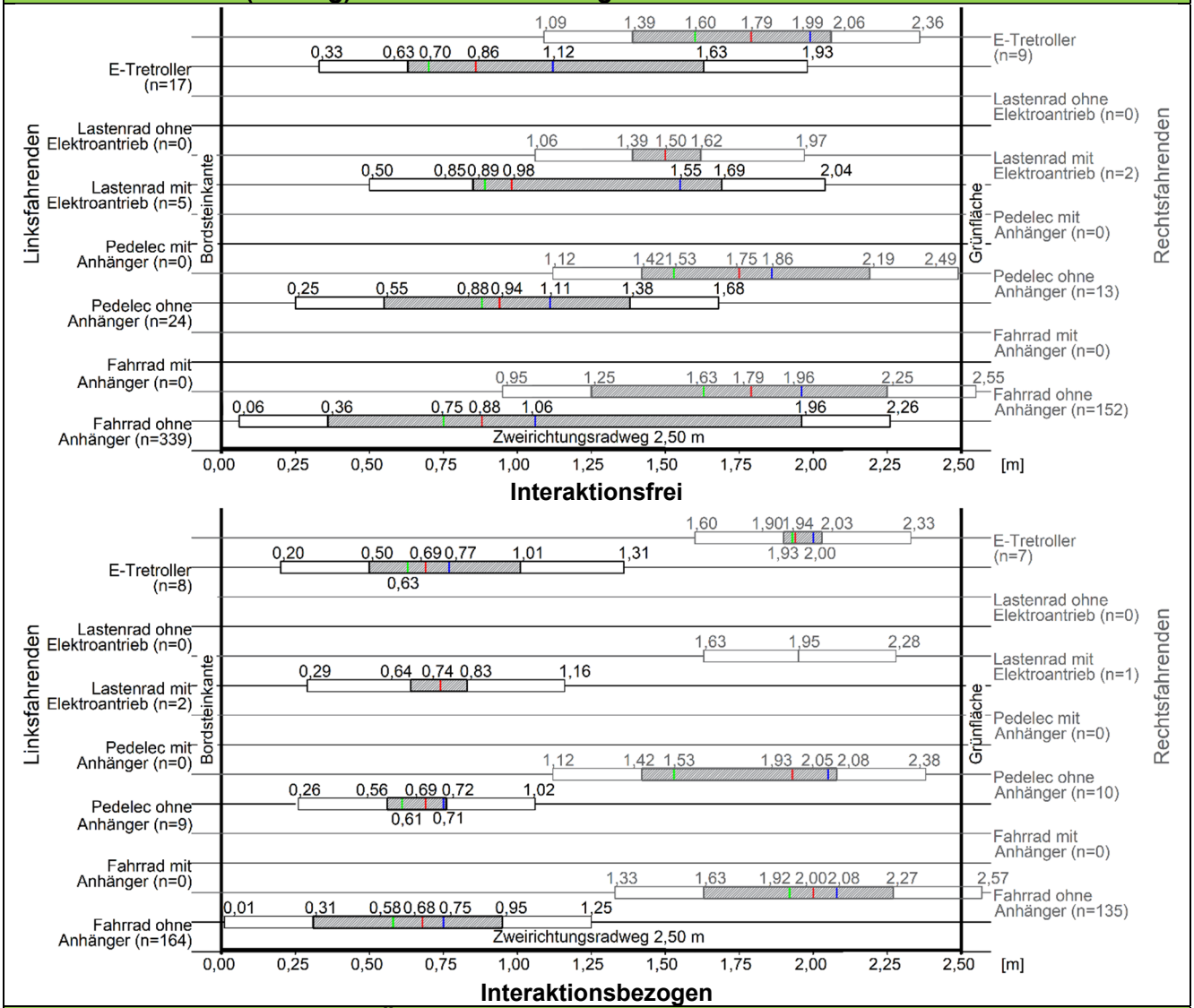
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei, rechtsfahrende**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=152) | 1,78 (1,48) | Pedelec | ohne Anhänger (n=13) | 1,73 (1,43) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=2) | 1,50 (1,17) | E-Tretroller (n=9) | | 1,78 (1,48) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsfrei, linksfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=339) | 0,92 (0,62) | Pedelec | ohne Anhänger (n=24) | 0,98 (0,68) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=5) | 1,18 (0,83) | E-Tretroller (n=17) | | 0,94 (0,64) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen, rechtsfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=135) | 2,00 (1,00) | Pedelec | ohne Anhänger (n=10) | 1,92 (1,62) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,95 (1,63) | E-Tretroller (n=7) | | 1,96 (1,66) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen, linksfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=164) | 0,68 (0,38) | Pedelec | ohne Anhänger (n=9) | 0,66 (0,36) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=2) | 0,74 (0,40) | E-Tretroller (n=8) | | 0,71 (0,41) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **9 (100%)** | 9 |

| Überholen | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 2 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 16 (89%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **18 [/4h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | | | L |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,21 (0,61) (n=12) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,16 (0,56) (n=1) |
| | | E-Tretroller | 1,31 (0,71) (n=2) |
| | Pedelec ohne Anhänger | E-Tretroller | 1,37 (0,77) (n=1) |

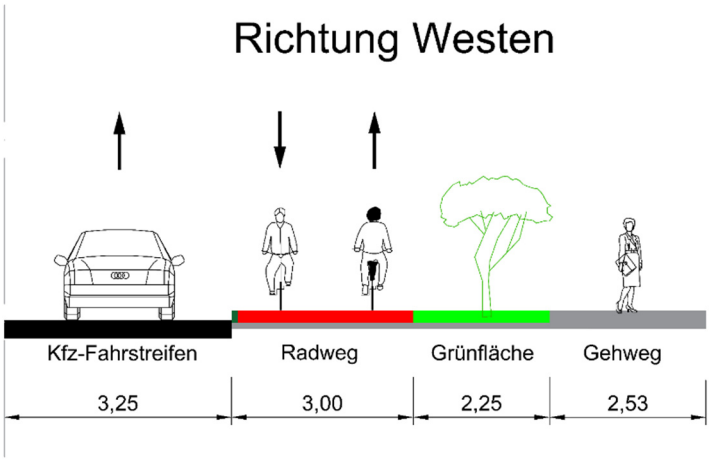
L: Überholen auf der linken Seit;

## 5. Interaktionsvorgänge: mit Radverkehr in Gegenrichtung

| | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad - Fahrrad | 111 | 13 | 10 | 0 | 32 | 0 |
| Pedelec - Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller | 7 | 3 | 2 | 0 | 6 | 0 |
| Lastenrad - Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller | 0 | 1 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| E-Tretroller - Fahrrad/ E-Tretroller | 14 | 2 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Nebeneinander Fahrende - Einzelfahrende | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |
| Überholende - Einzelfahrende | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| **Summe** | **132** | **19** | **12** | **0** | **48** | **0** |

## Nr. 17 Strecke Deutschherrnufer in Richtung Westen

(zwischen Alte Brücke - Frankensteiner Platz, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 19010 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 3,00 m breiter Zweirichtungsradweg (Führungsform Vorstrecke: Zweirichtungsradweg) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,50 m breit mit schwacher Belastung; Trennung zum Radweg: Grünfläche |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 04.09.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

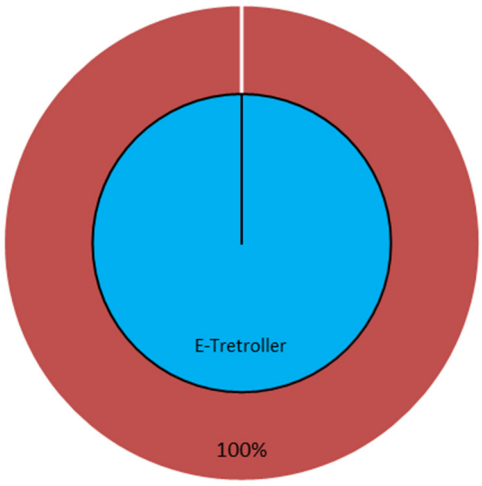
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 587 Kfz/h | 636 Kfz/h | 2,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 260 Fz/h | 348 Fz/h | |
| Fußverkehr | 41 Fuß/h | 50 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

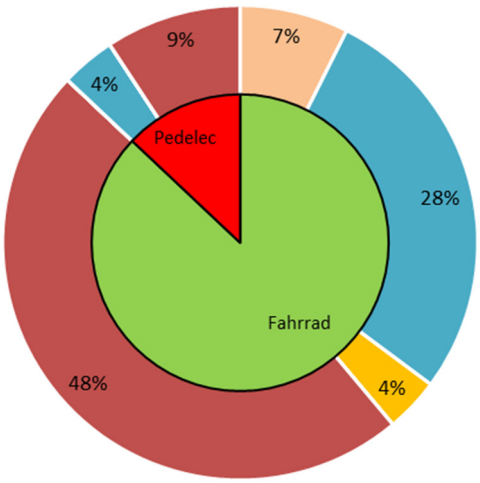
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 865 | 0 | 47 | 912 | **95%** |
| Pedelec | 74 | 0 | 2 | 76 | **97%** |
| Lastenrad | 10 | 0 | 0 | 10 | **100%** |
| E-Tretroller | 36 | 1 | 5 | 42 | **86%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=1

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=54

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=862) | 21,26 | Pedelec | ohne Anhänger (n=74) | 24,02 |
| | mit Anhänger (n=3) | 17,97 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=9) | 23,21 | | E-Tretroller (n=36) | 19,52 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 23,49 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

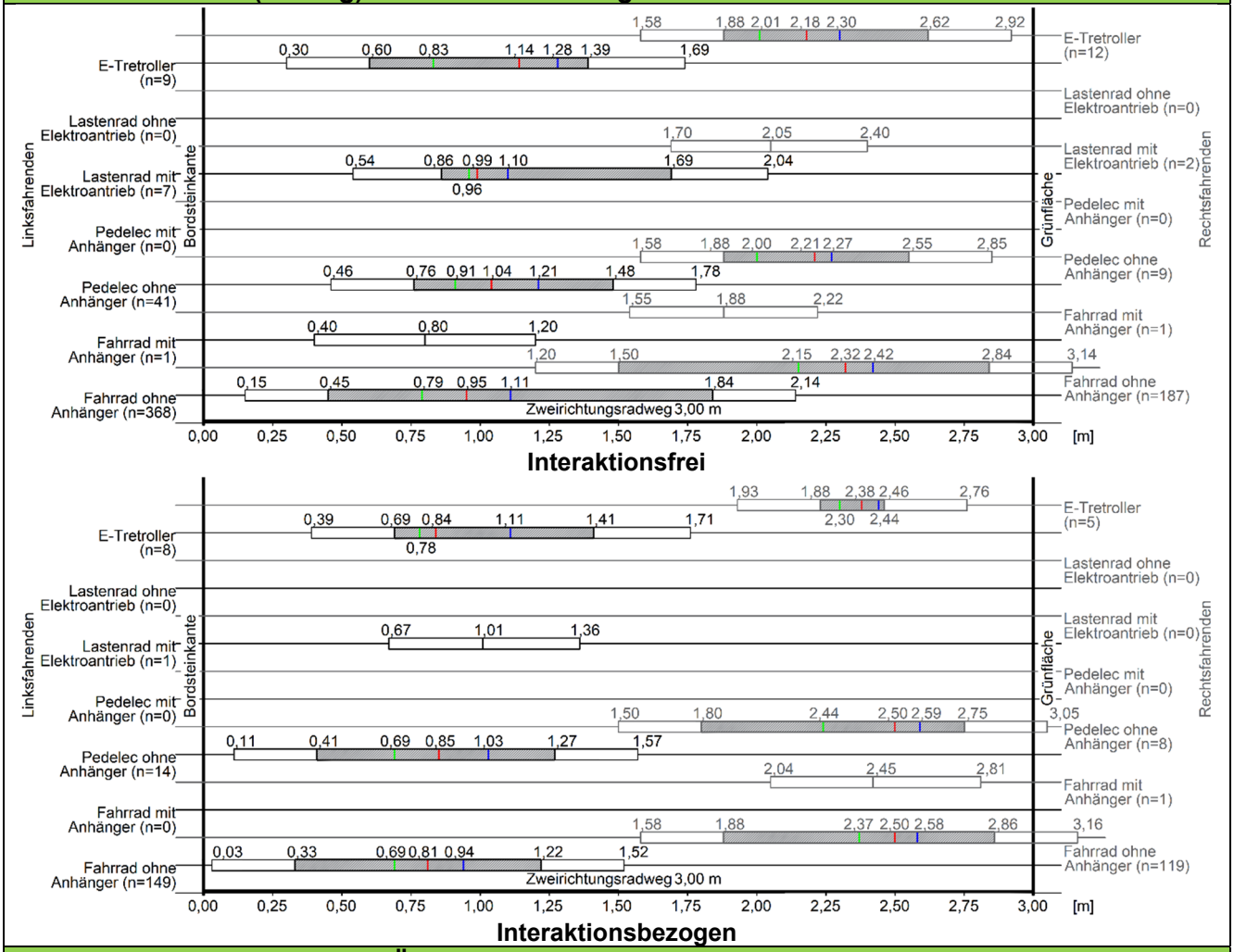
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei, rechtsfahrende**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=187) | 2,27 (1,97) | Pedelec | ohne Anhänger (n=9) | 2,17 (1,87) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,88 (1,54) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=2) | 2,05 (1,73) | E-Tretroller (n=12) | | 2,19 (1,89) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsfrei, linksfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=368) | 0,98 (0,68) | Pedelec | ohne Anhänger (n=41) | 1,05 (0,75) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,80 (0,40) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=7) | 1,04 (0,69) | E-Tretroller (n=9) | | 1,05 (0,75) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen, rechtsfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=119) | 2,45 (2,15) | Pedelec | ohne Anhänger (n=8) | 2,44 (2,14) |
| | mit Anhänger (n=1) | 2,42 (2,04) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=5) | | 2,38 (2,08) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsbezogen, linksfahrende** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=149) | 0,82 (0,52) | Pedelec | ohne Anhänger (n=14) | 0,86 (0,56) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,01 (0,67) | E-Tretroller (n=8) | | 0,87 (0,57) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinander-fahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 1 | 0 | **16 (94%)** | 17 |

### Überholen

| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 0 |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | efolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 42 (100%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **42 [/4h]** |

| | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** ① |
|---|---|---|---|
| Überholabstand | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,48 (0,88) (n=35) |
| | | E-Tretroller | 1,63 (1,03) (n=2) |
| | Pedelec ohne Anhänger | E-Tretroller | 1,50 (0,90) (n=4) |
| | E-Tretroller | Fahrrad ohne Anhänger | 1,44 (0,84) (n=1) |

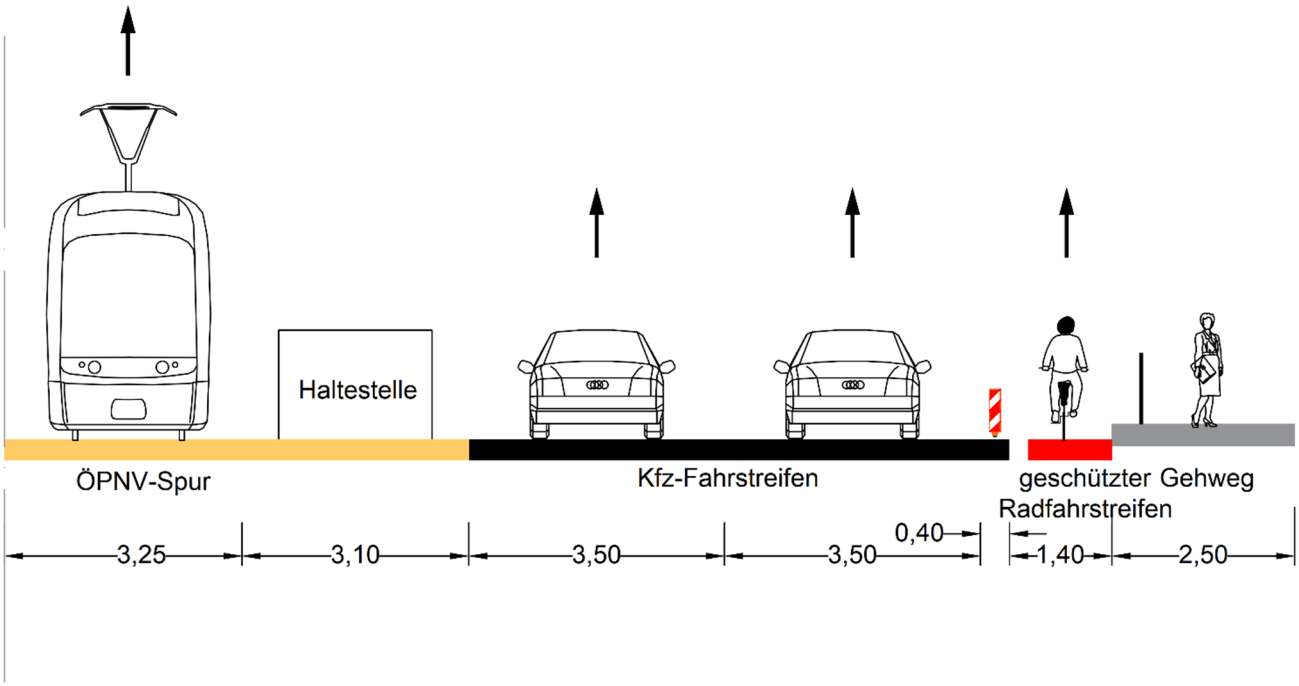
① Überholen auf der linken Seit;

## 5. Interaktionsvorgänge: mit Radverkehr in Gegenrichtung

| | Normalverhalten | Positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad - Fahrrad | 109 | 16 | 0 | 0 | 9 | 0 |
| Pedelec - Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller | 13 | 3 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| Lastenrad - Fahrrad/ Pedelec/ E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller - Fahrrad/ E-Tretroller | 7 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Nebeneinander Fahrende - Einzelfahrende | 2 | 0 | 2 | 0 | 2 | 4 |
| Überholende - Einzelfahrende | 1 | 0 | 4 | 0 | 4 | 7 |
| **Summe** | **133** | **20** | **7** | **0** | **18** | **11** |

## Nr. 18 Strecke Düsseldorfer Straße in Richtung Osten

(zwischen Mainzer Landstraße - Poststraße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 16093 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,40 m breiter geschützter Radfahrstreifen (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,50 m breit mit starker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 12.09.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr | 22.09.2020 | 14:30 - 18:30 Uhr |

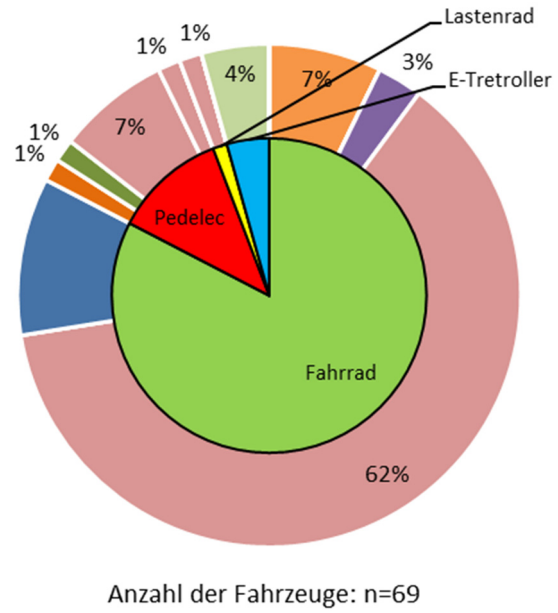
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 670 Kfz/h | 706 Kfz/h | |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 100 Fz/h | 126 Fz/h | |
| Fußverkehr | 391 Fuß/h | 420 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

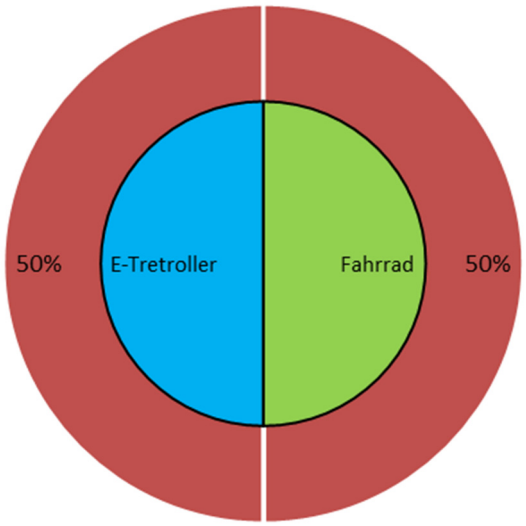
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 588 (1) | 57 | 1 | 646 | **91%** |
| Pedelec | 37 | 8 | 0 | 45 | **82%** |
| Lastenrad | 17 | 1 | 0 | 18 | **94%** |
| E-Tretroller | 44 | 3 | 1 | 48 | **92%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=69

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=2

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=587) | 19,41 | Pedelec | ohne Anhänger (n=37) | 21,68 |
| | mit Anhänger (n=1) | 13,69 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 22,13 | | E-Tretroller (n=44) | 18,94 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=12) | 20,15 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 12,18 | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei**

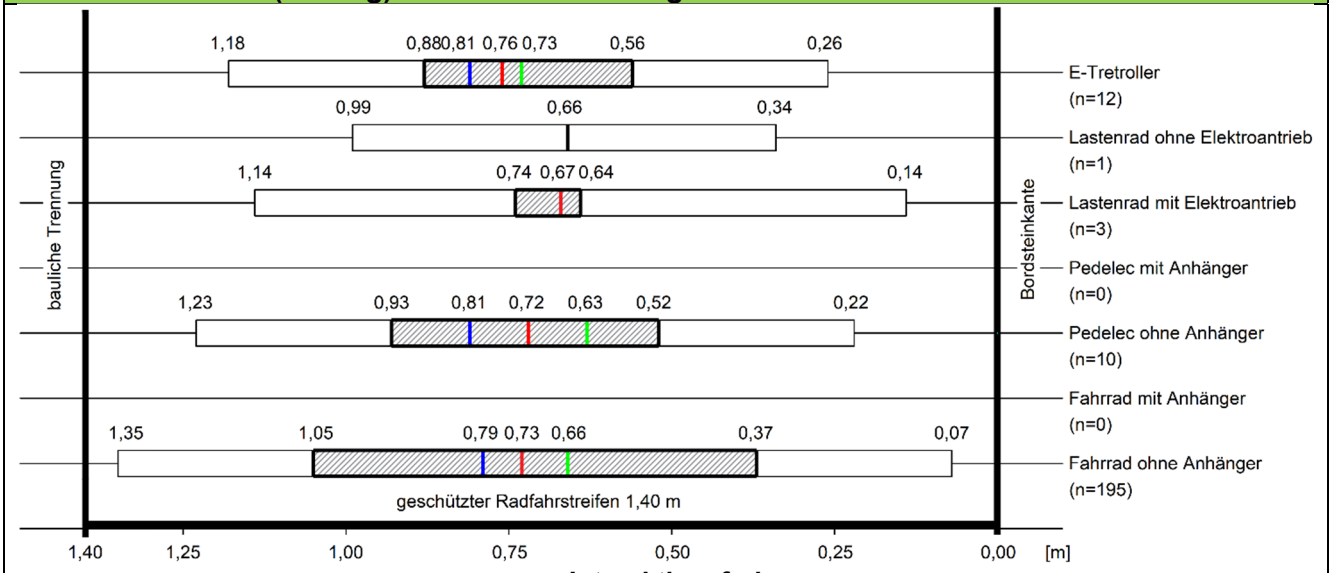
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=195) | 0,72 (0,42) | Pedelec | ohne Anhänger (n=10) | 0,72 (0,42) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 0,68 (0,29) | E-Tretroller (n=12) | | 0,75 (0,45) |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 0,66 (0,34) | | | |

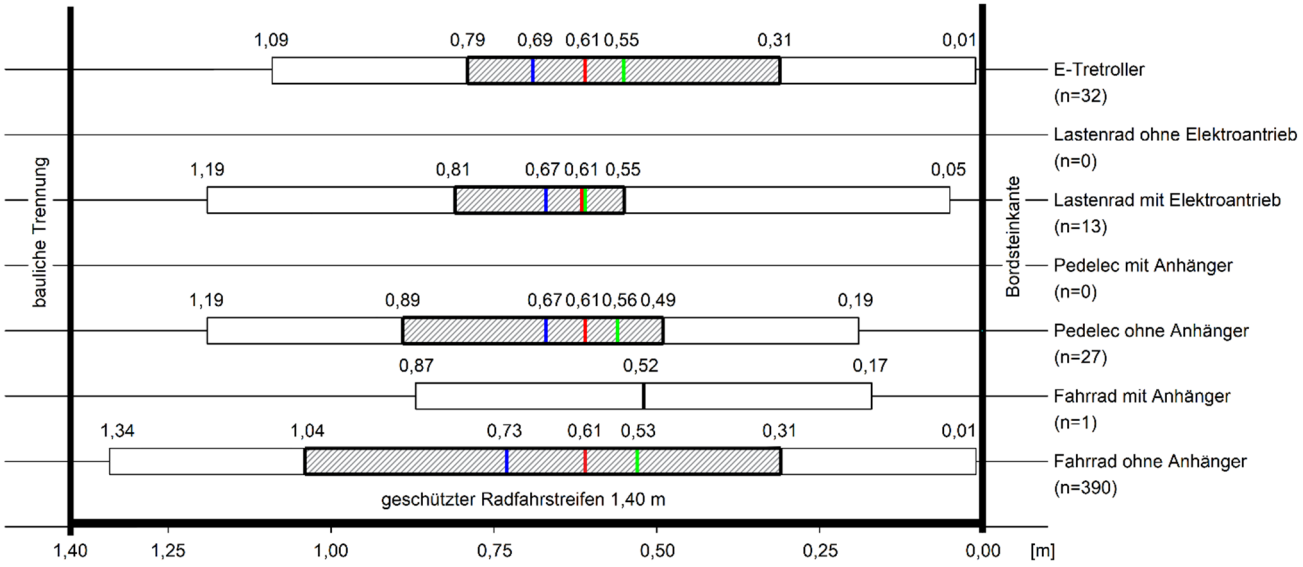
**Interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=390) | 0,63 (0,33) | Pedelec | ohne Anhänger (n=27) | 0,63 (0,33) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,52 (0,17) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=13) | 0,63 (0,33) | E-Tretroller (n=32) | | 0,60 (0,30) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**Interaktionsfrei**




**Interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

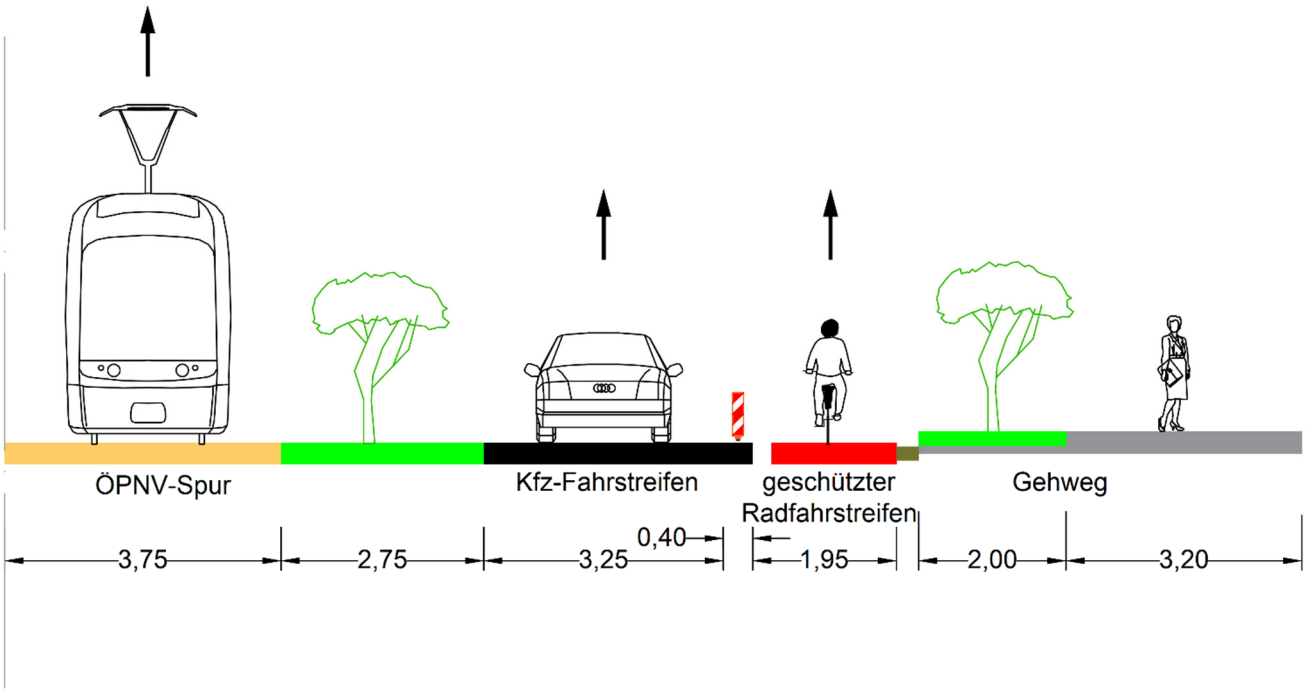
| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 1 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 6 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **6 [/8h]** |

## Nr. 19 Strecke Konrad-Adenauer-Straße in Richtung Norden

(zwischen kleine Freidberger Straße - Vilbeler Straße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 19850 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,95 m breiter geschützter Radfahrstreifen zzgl. 0,30 m breite Rinne (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,20 m breit mit mittelstarker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 30.06.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

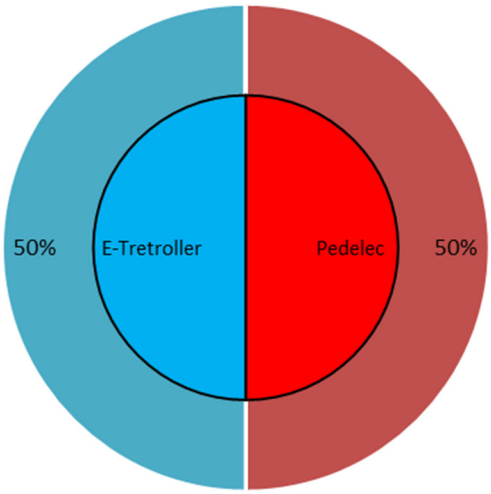
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 827 Kfz/h | 870 Kfz/h | 0,5% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 149 Fz/h | 198 Fz/h | |
| Fußverkehr | 90 Fuß/h | 101 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 495 | 0 | 0 | 495 | **100%** |
| Pedelec | 41 | 0 | 1 | 42 | **98%** |
| Lastenrad | 6 | 0 | 0 | 6 | **100%** |
| E-Tretroller | 13 | 0 | 1 | 14 | **93%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=2

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=493) | 20,31 | Pedelec | ohne Anhänger (n=41) | 22,96 |
| | mit Anhänger (n=2) | 14,64 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=5) | | 22,31 | E-Tretroller (n=13) | 18,40 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | | - | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | | 13,52 | | |

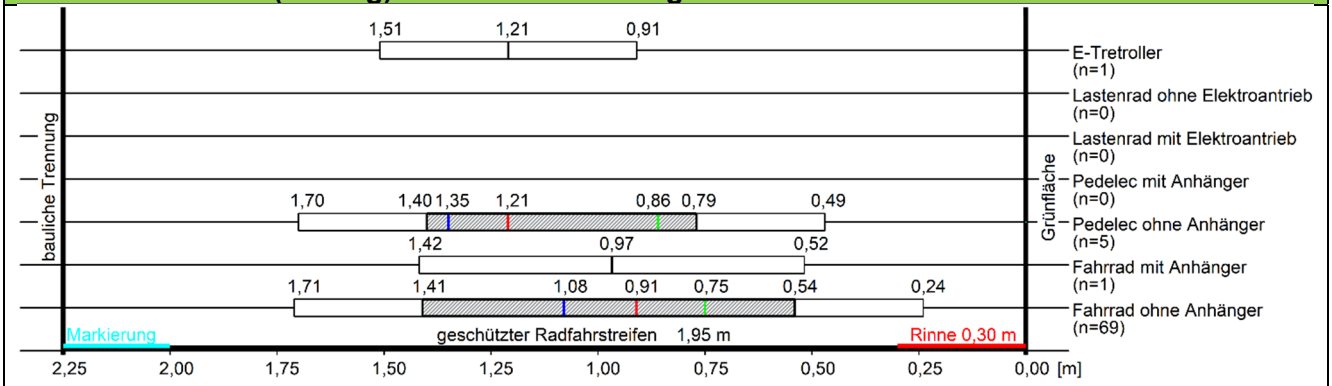
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**Interaktionsfrei**

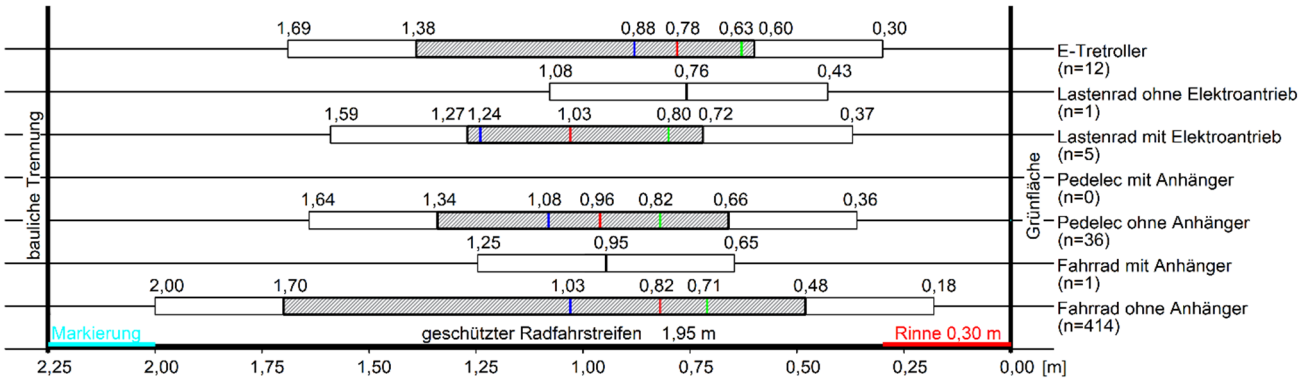
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=69) | 0,93 (0,63) | Pedelec | ohne Anhänger (n=5) | 1,12 (0,82) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,97 (0,52) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=1) | | 1,21 (0,91) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Interaktionsfrei** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=414) | 0,86 (0,56) | Pedelec | ohne Anhänger (n=36) | 0,96 (0,66) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,95 (0,65) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=5) | 1,02 (0,68) | E-Tretroller (n=12) | | 0,82 (0,52) |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 0,75 (0,43) | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**Interaktionsfrei**




**Interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | **Summe** |
| | 0 | 0 | 0 | **3 (100%)** | 3 |

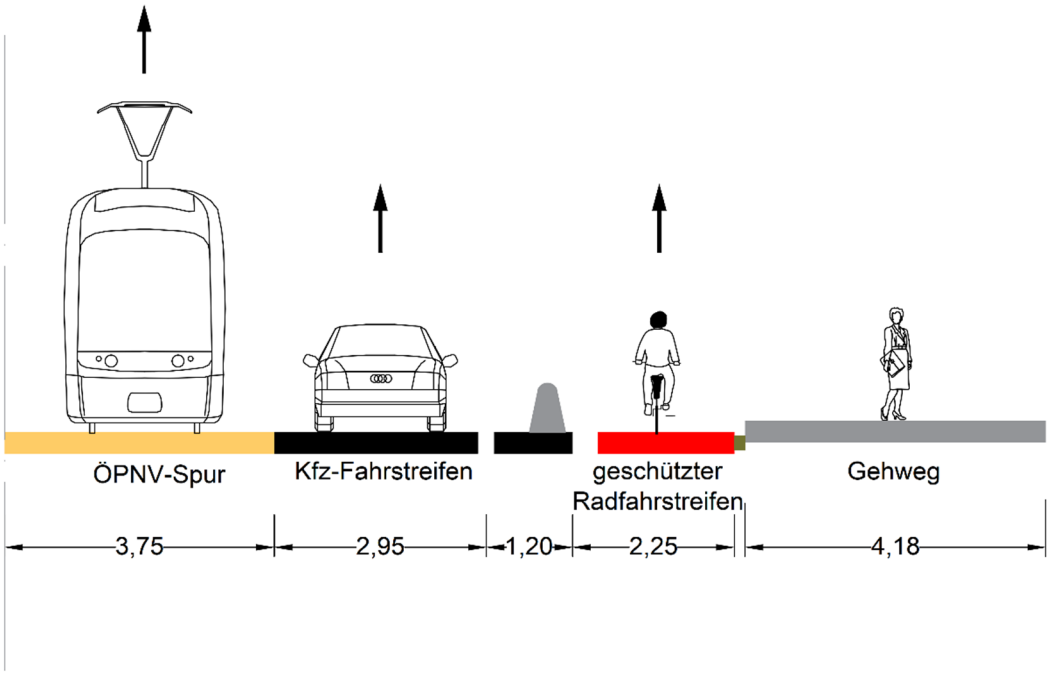
### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 2 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 16 (89%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **18 [/4h]** |

| | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| Überholabstand | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,06 (0,46) (n=10) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 0,88 (0,28) (n=2) |
| | | E-Tretroller | 0,98 (0,38) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,03 (0,43) (n=2) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | 1,34 (0,69) (n=1) |

## Nr. 20 Strecke Rheinstraße in Richtung Osten

(zwischen Neckarstraße - Grafenstraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 10647 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 2,25 m breiter geschützter Radfahrstreifen zzgl. 0,15 m breite Rinne (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 4.18 m breit mit starker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Grundstückzufahrten mit mittelstarker Frequenz |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 23.05.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

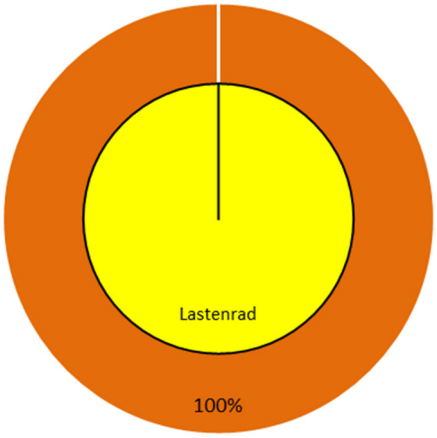
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 645 Kfz/h | 710 Kfz/h | 3,1% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 232 Fz/h | 291 Fz/h | |
| Fußverkehr | 230 Fuß/h | 252 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

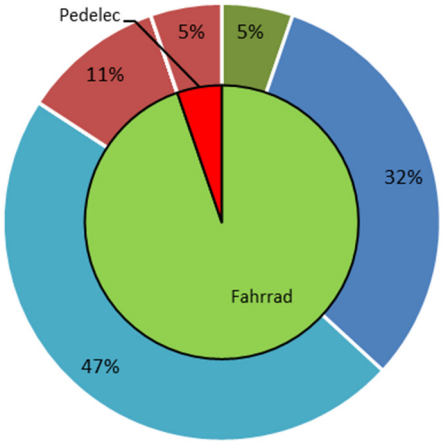
| | Radweg (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 759 (1) | 0 | 17 | 776 | **98%** |
| Pedelec | 43 | 0 | 1 | 44 | **98%** |
| Lastenrad | 13 (1) | 0 | 0 | 13 | **100%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=1

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=19

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Rechtes oder Linkes Einbiegen
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=753) | 20,10 | Pedelec | ohne Anhänger (n=41) | 22,99 |
| | mit Anhänger (n=6) | 18,07 | | mit Anhänger (n=2) | 22,30 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=11) | 23,33 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=2) | 23,02 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 14,02 | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

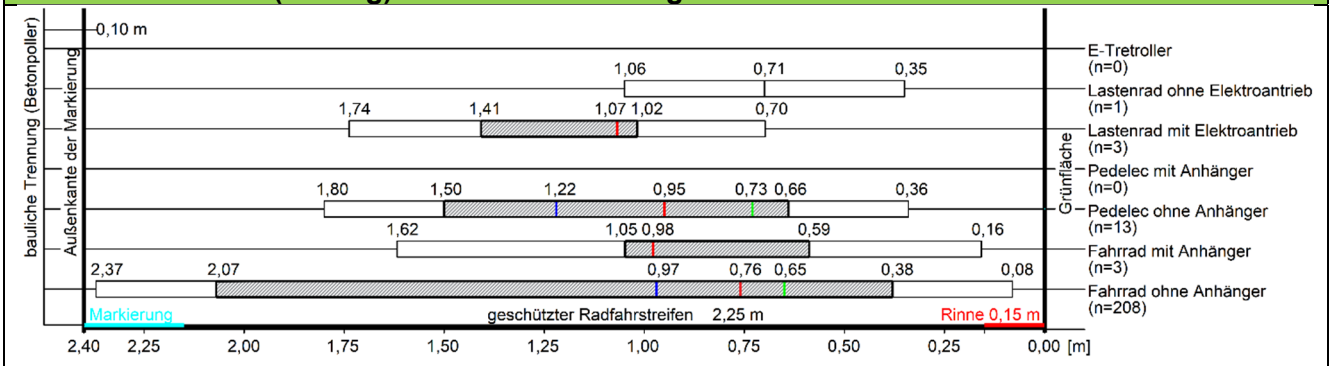
**Interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=208) | 0,85 (0,55) | Pedelec | ohne Anhänger (n=13) | 0,98 (0,68) |
| | mit Anhänger (n=3) | 0,87 (0,46) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 1,17 (0,85) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 0,70 (0,35) | | | |

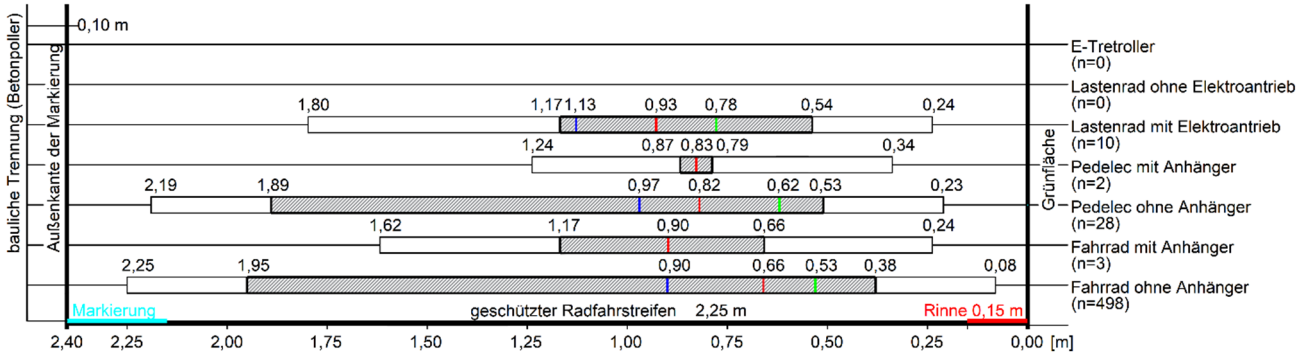
**Interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=498) | 0,75 (0,45) | Pedelec | ohne Anhänger (n=28) | 0,85 (0,55) |
| | mit Anhänger (n=3) | 0,91 (0,49) | | mit Anhänger (n=2) | 0,83 (0,44) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=10) | 0,94 (0,59) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**Interaktionsfrei**




**Interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **15 (100%)** | 15 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 4 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 1 |
| | erfolgreiches Überholung (Überholte gestört) | 1 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 43+4 (89%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **53 [/4h]** |

| | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] |
|---|---|---|---|
| Überholabstand | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,25 (0,65) (n=41) |
| | | Fahrrad mit Anhänger | 1,44 (0,79) (n=1) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,21 (0,61) (n=2) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,35 (0,75) (n=1) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | 1,78 (1,16) (n=3)<br>1,33 (0,59) (n=2) [1)] |

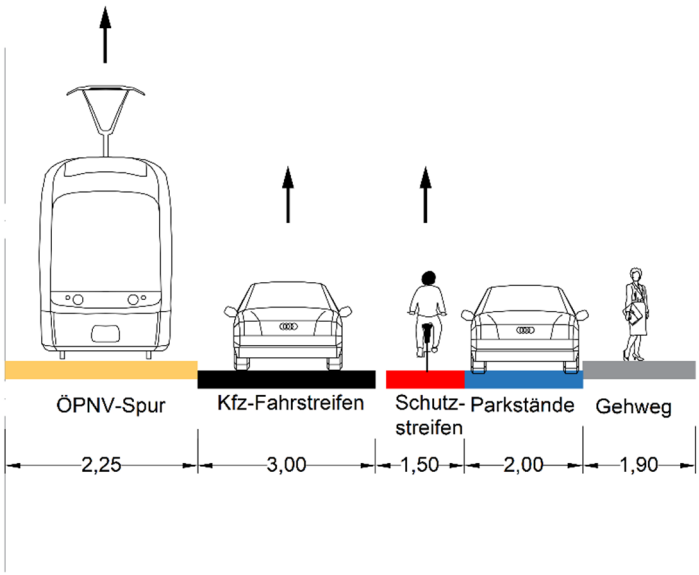
1) Das überholende Lastenrad überholt auf dem Fahrstreifen (außerhalb von Betonpoller) nicht beinhaltet.

## 5 Interaktionsvorgänge: mit ein- und ausbiegenden Kfz von Grundstücksein- und ausfahrten

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 32 | 0 | 1 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **33** | **0** | **1** | **0** |

## Nr. 21 Strecke Bismarckstraße 2 in Richtung Westen

(zwischen Feldbergstraße - Kirschenallee, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 6280 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,50 m breiter Schutzstreifen (Führungsform Vorstrecke: Schutzstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 1,90 m breit mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | ja,mit schwach frequentierten Parkvorgängen |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 23.06.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr |

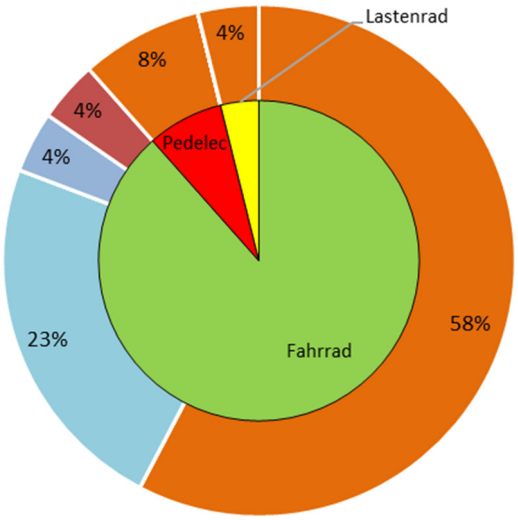
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 157 Kfz/h | 162 Kfz/h | 4,3% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 74 Fz/h | 123 Fz/h | |
| Fußverkehr | 15 Fuß/h | 22 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

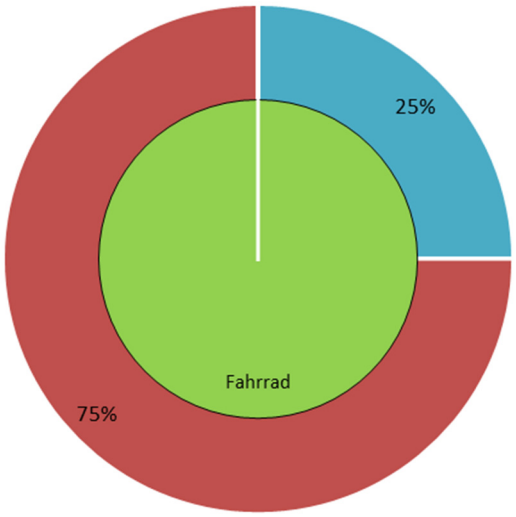
| | Schtzstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 257 (22) | 1 | 4 | 262 | **98%** |
| Pedelec | 23 (2) | 0 | 0 | 23 | **100%** |
| Lastenrad | 5 (1) | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=26

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=4

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=254) | 20,41 | Pedelec | ohne Anhänger (n=23) | 23,00 |
| | mit Anhänger (n=3) | 17,59 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=5) | 22,50 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

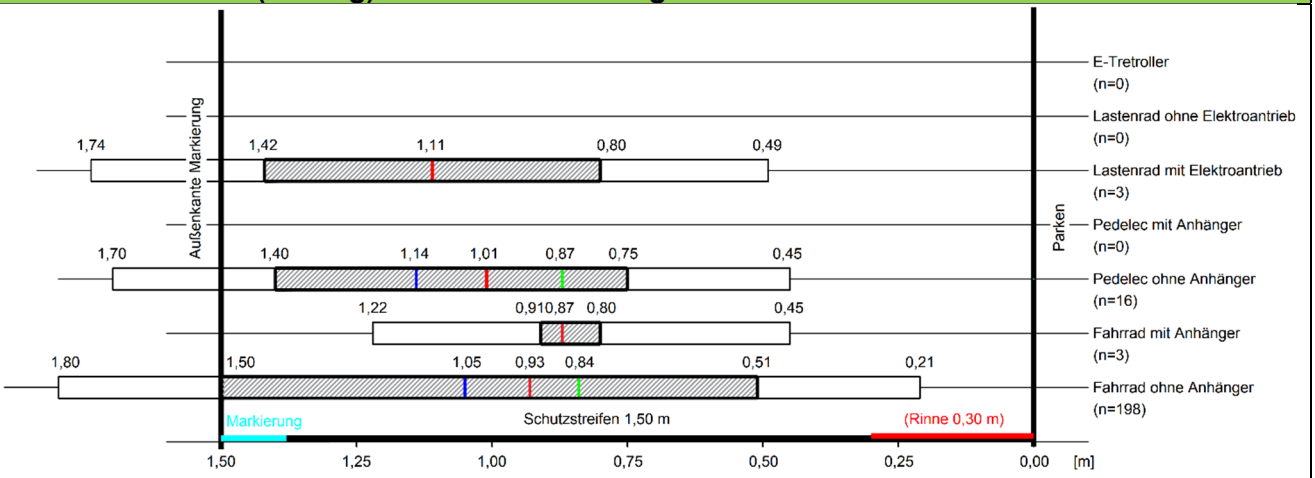
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=198) | 0,95 (0,65) | Pedelec | ohne Anhänger (n=16) | 1,01 (0,71) |
| | mit Anhänger (n=3) | 0,86 (0,53) | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 1,11 (0,80) | E-Tretroller (n=0) | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

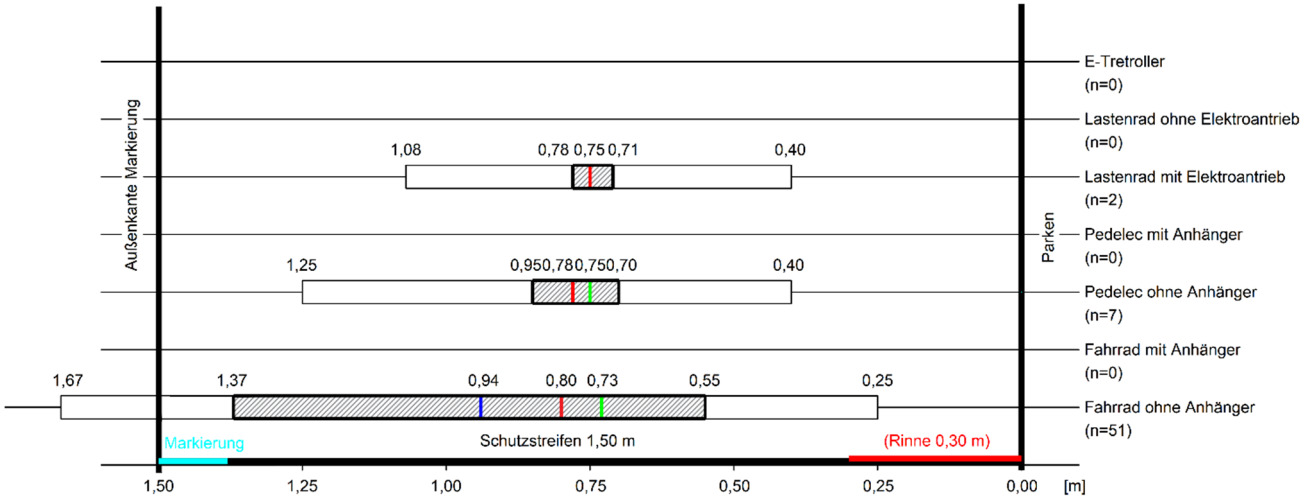
**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=51) | 0,84 (0,54) | Pedelec | ohne Anhänger (n=7) | 0,84 (0,54) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=2) | 0,75 (0,42) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 0 | 0 | **0 (0%)** | 1 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 18 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 2 (10%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **20 [/4h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,30 (0,70) (n=16) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,57 (0,97) (n=3) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | 1,50 (0,85) (n=1) |

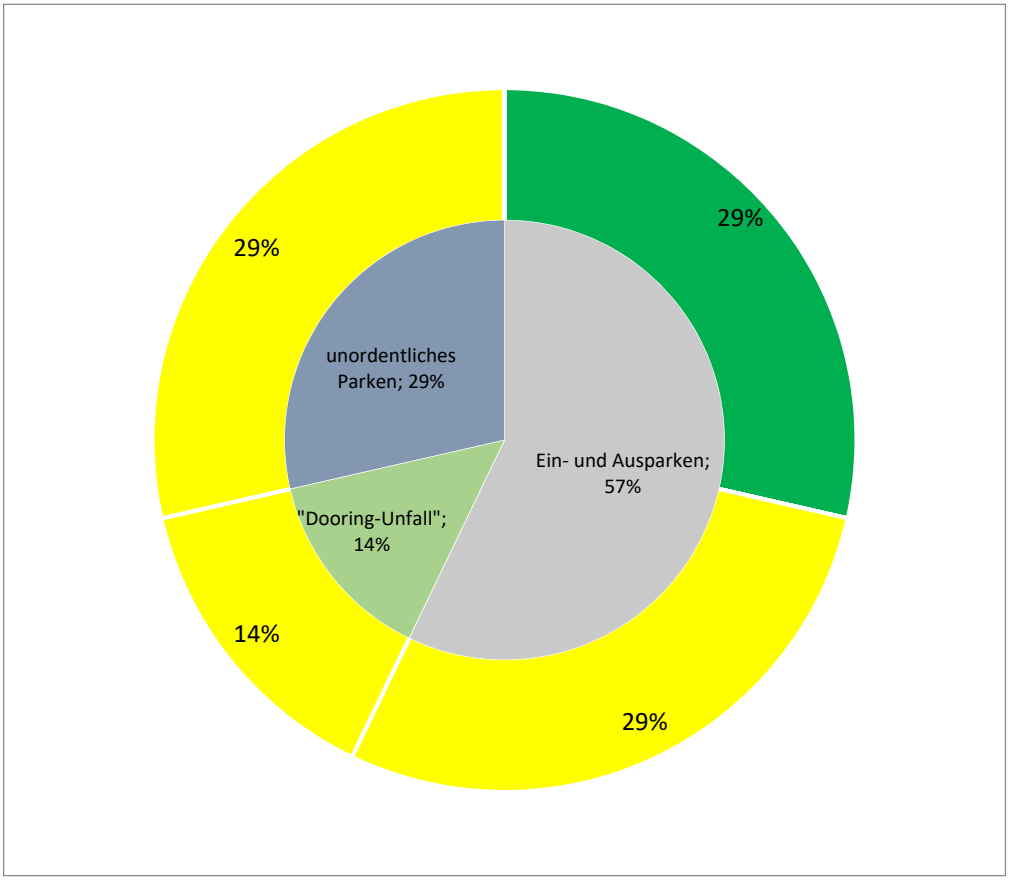
## 5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 2 | 37 | 38 | 6 |
| Pedelec | 0 | 6 | 6 | 1 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 3 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

**6. Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)**

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 2 | 0 | 4 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **2** | **0** | **5** | **0** |



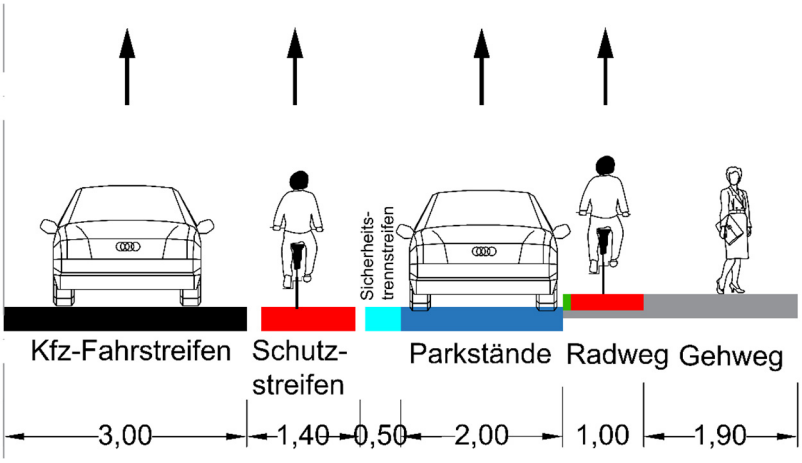

Anzahl der Beeinflussung: n= 7

Normalverhalten "positive" Reaktion B I B II

**Ursachen für die Beeinflussung von Parkständen**

## Nr. 22 Strecke Gutleutstraße in Richtung Osten

(zwischen Hafenstraße - Schleusenstraße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 9392 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,40 m breiter Schutzstreifen + 1,00 m breiter Radweg ohne Benutzungspflicht; (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) 0,50 m breiter Sicherheits-trennstreifen zum Parken |
| **Angebot Fußverkehr** | 1,90 m breit mit starker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | ja,mit stark frequentierten Parkvorgängen |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 10.07.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr | 15.07.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr | 25.08.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr |

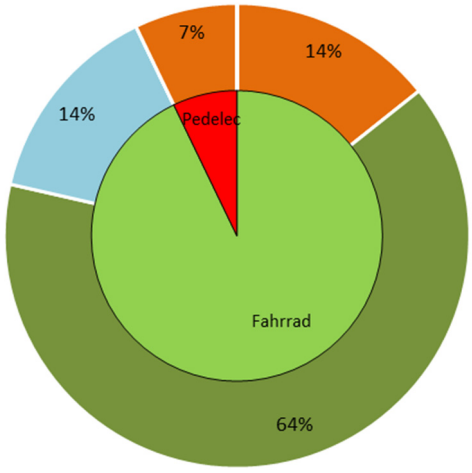
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 436 Kfz/h | 456 Kfz/h | 1,0% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 33 Fz/h | 48 Fz/h | |
| Fußverkehr | 133 Fuß/h | 145 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

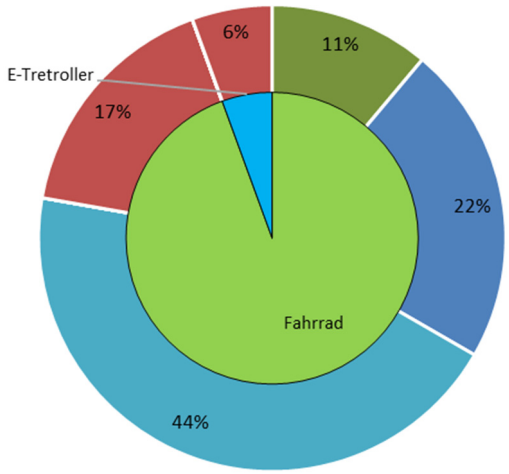
| | Schutz-streifen | Radweg | Fahr-bahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 284 (10) | 11 | 3 | 17 | 314 | **94%** |
| Pedelec | 32 (1) | 1 | 0 | 0 | 33 | **100%** |
| Lastenrad | 5 | 0 | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| E-Tretroller | 9 | 1 | 0 | 1 | 11 | **91%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**



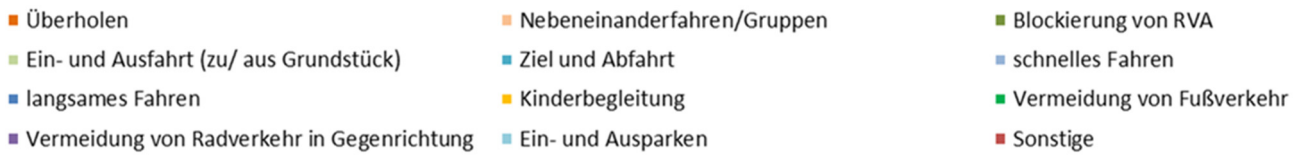

Anzahl der Fahrzeuge: n=14

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=18

**Gründe für Gehwegnutzung**




**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=279) | 19,80 | Pedelec | ohne Anhänger (n=32) | 22,85 |
| | mit Anhänger (n=2) | 19,34 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 22,91 | | E-Tretroller (n=9) | 19.72 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 17,99 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

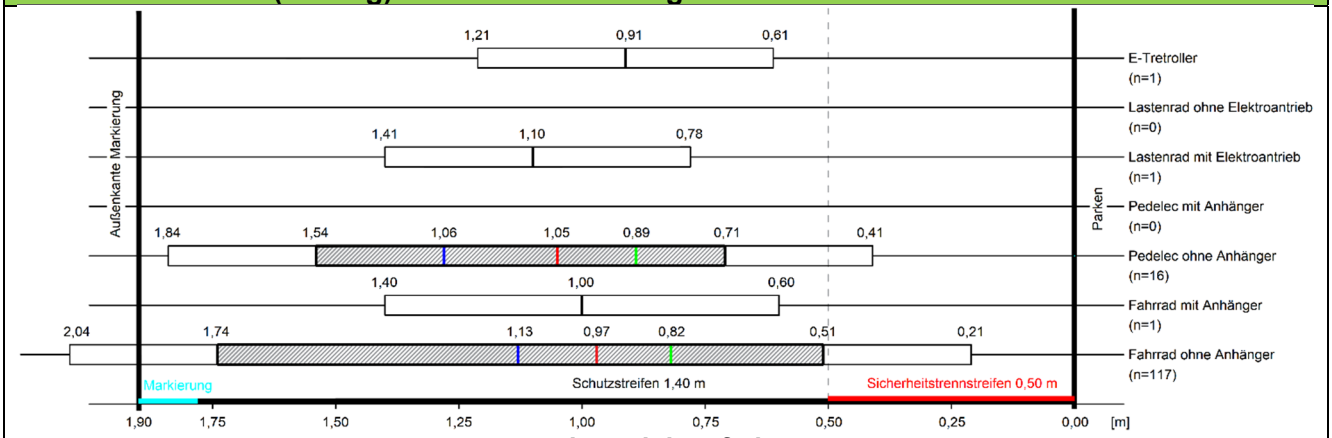
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=117) | 1,00 (0,70) | Pedelec | ohne Anhänger (n=16) | 1,08 (0,78) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,10 (0,60) | | mit Anhänger (n=0) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,10 (0,78) | E-Tretroller (n=1) | 0,91 (0,61) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | |

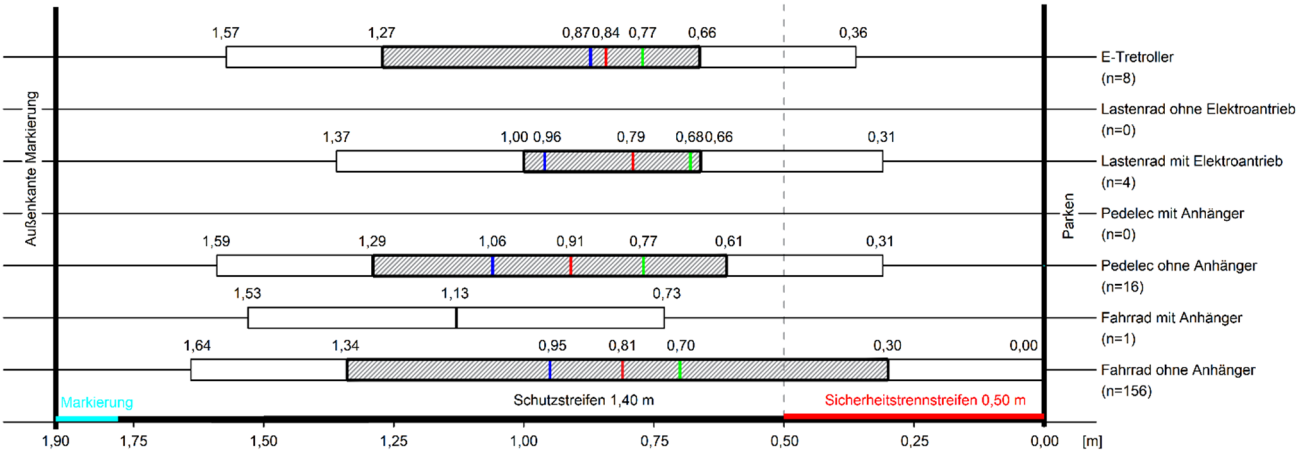
**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=156) | 0,82 (0,52) | Pedelec | ohne Anhänger (n=16) | 0,91 (0,61) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,13 (0,73) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 0,81 (0,47) | E-Tretroller (n=8) | | 0,86 (0,56) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 0 | 0 | **1 (50%)** | 2 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 3 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **3 [/8h]** |

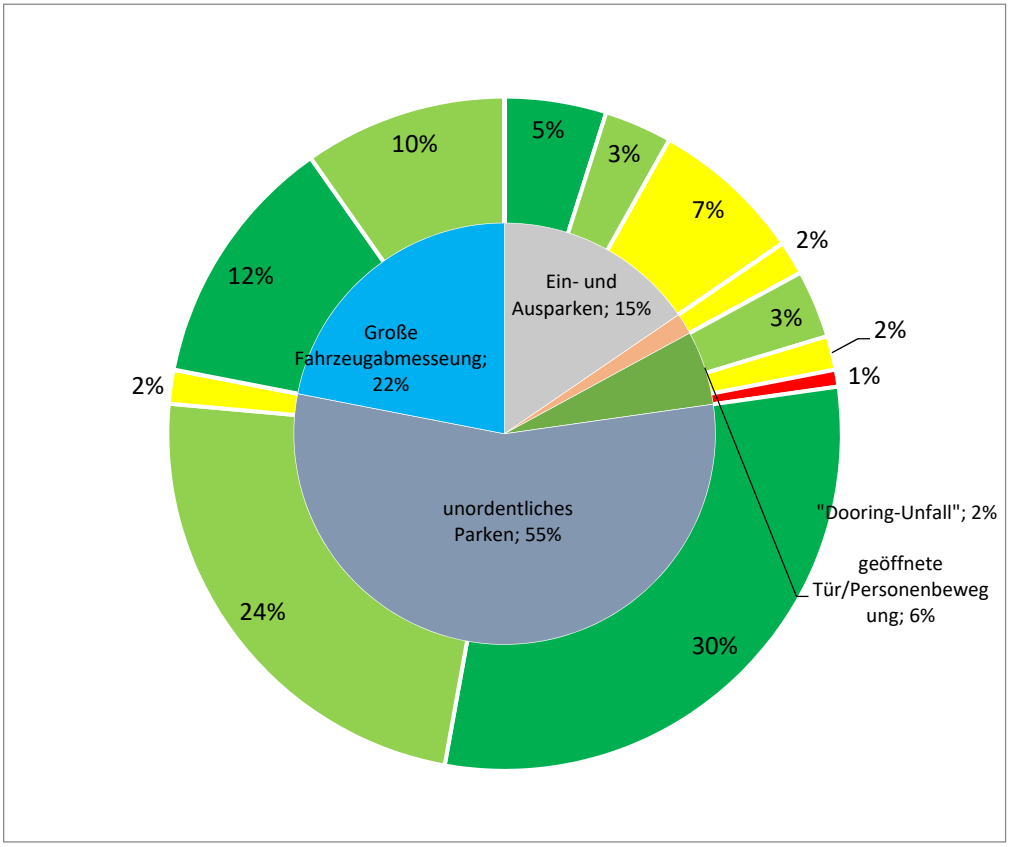
| Überholabstand | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,70 (1,10) (n=1) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,75 (1,15) (n=2) |

## 5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 27 | 128 | 44 |
| Pedelec | 0 | 2 | 18 | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | 0 | 0 | 2 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 4 | 3 | 1 |

| **6. Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
| Fahrrad | 49 | 39 | 12 | 1 |
| Pedelec | 8 | 8 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 2 | 2 | 0 |
| **Summe** | **58** | **49** | **15** | **1** |



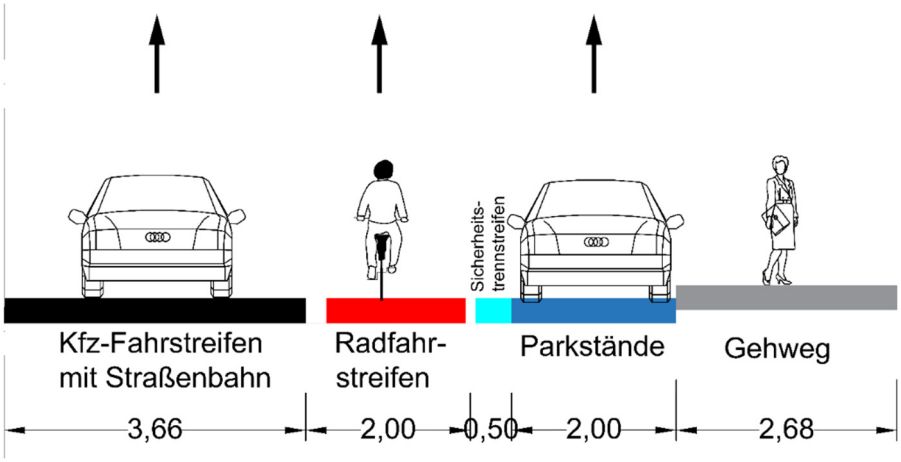

Anzahl der Beeinflussung: n= 123

Normalverhalten "positive" Reaktion B I B II

**Ursachen für die Beeinflussung von Parkständen**

## Nr. 23 Strecke Heidelberger Straße 5 in Richtung Norden

(zwischen Bessunger Straße - Niederstraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 11895 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 2,00 m breiter Radfahrstreifen (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen)<br>0,50 m breiter Sicherheits-trennstreifen zum Parken |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,68 m breit mit mittelstarker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf straßenbündigem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | ja,mit mittelstarken Parkvorgängen |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 19.10.2020 | 14:30 - 18:30 Uhr |

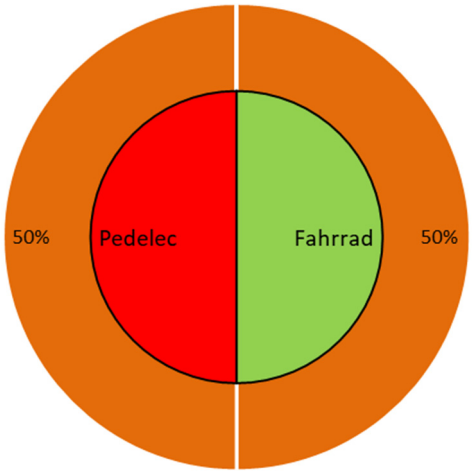
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 317 Kfz/h | 338 Kfz/h | 0,6% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 75 Fz/h | 98 Fz/h | |
| Fußverkehr | 69 Fuß/h | 84 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

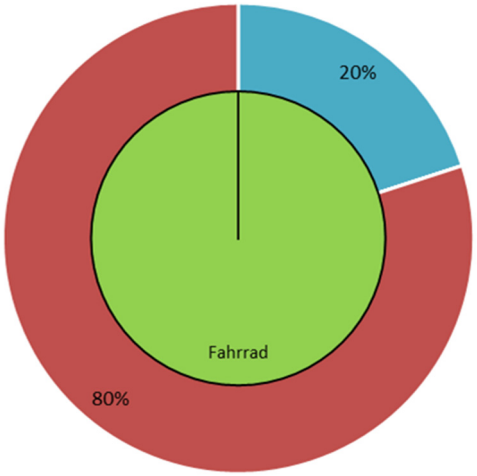
| | Radfahrstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 197 (1) (1) | 0 | 4 | 201 | **98%** |
| Pedelec | 51 (1) | 0 | 0 | 51 | **100%** |
| Lastenrad | 13 | 0 | 0 | 13 | **100%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=2

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=5

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=196) | 20,82 | Pedelec | ohne Anhänger (n=44) | 23,12 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=7) | 22,71 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=10) | 24,95 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=3) | 20,38 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

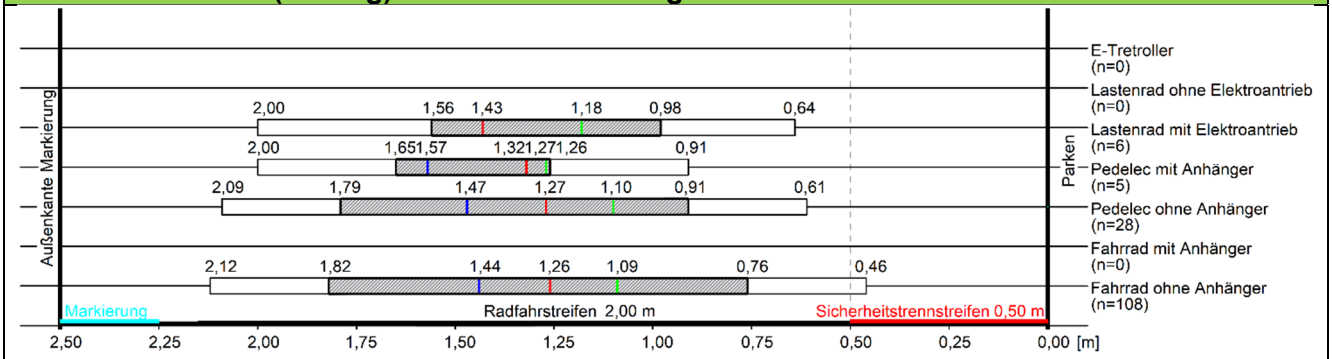
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

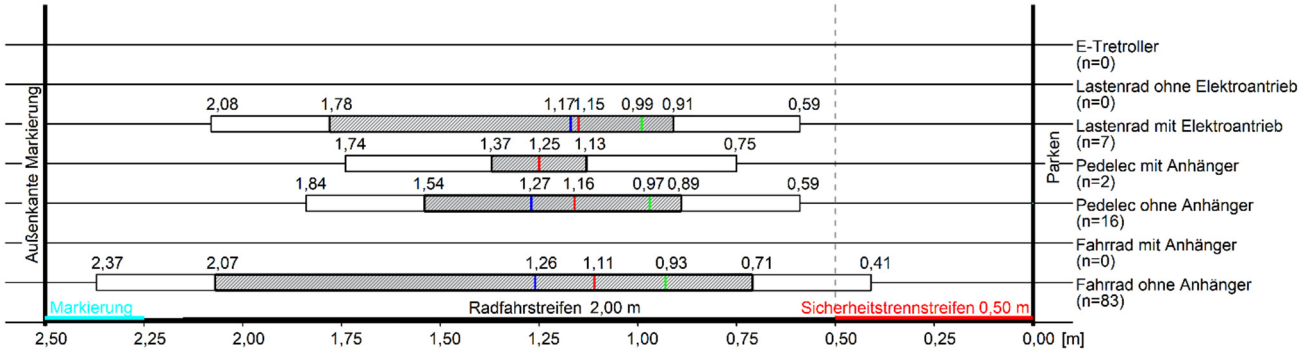
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=108) | 1,26 (0,96) | Pedelec | ohne Anhänger (n=28) | 1,29 (0,99) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=5) | 1,40 (1,03) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 1,36 (1,02) | E-Tretroller (n=0) | | - |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=83) | 1,13 (0,83) | Pedelec | ohne Anhänger (n=16) | 1,17 (0,87) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=2) | 1,25 (0,87) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=7) | 1,18 (0,85) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **3 (100%)** | 3 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 2 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 8 (80%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **10 [/4h]** |

| | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] |
|---|---|---|---|
| Überholabstand | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,18 (0,58) (n=4) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,28 (0,68) (n=2) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,29 (0,69) (n=3) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | 1,30 (0,70) (n=1) |

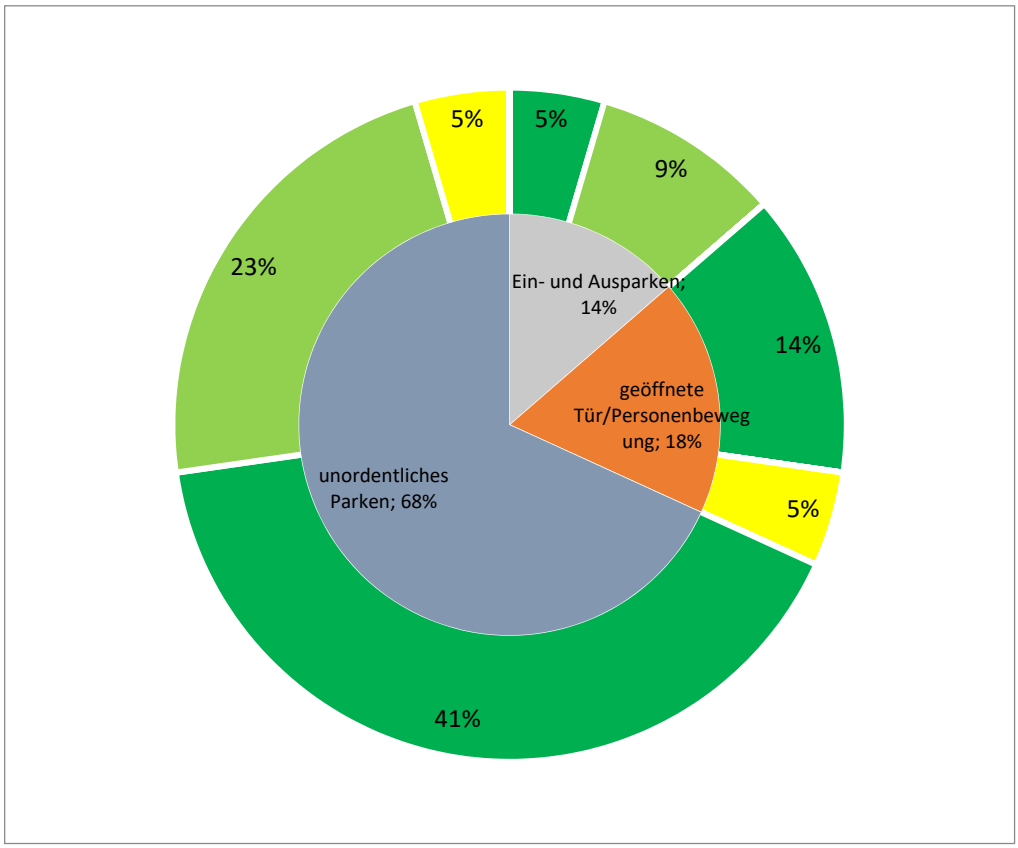
## 5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 1 | 17 | 224 |
| Pedelec | 0 | 0 | 4 | 30 |
| Lastenrad | 0 | 1 | 0 | 10 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

## 6. Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 8 | 4 | 1 | 0 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Pedelec | 5 | 3 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **13** | **7** | **2** | **0** |



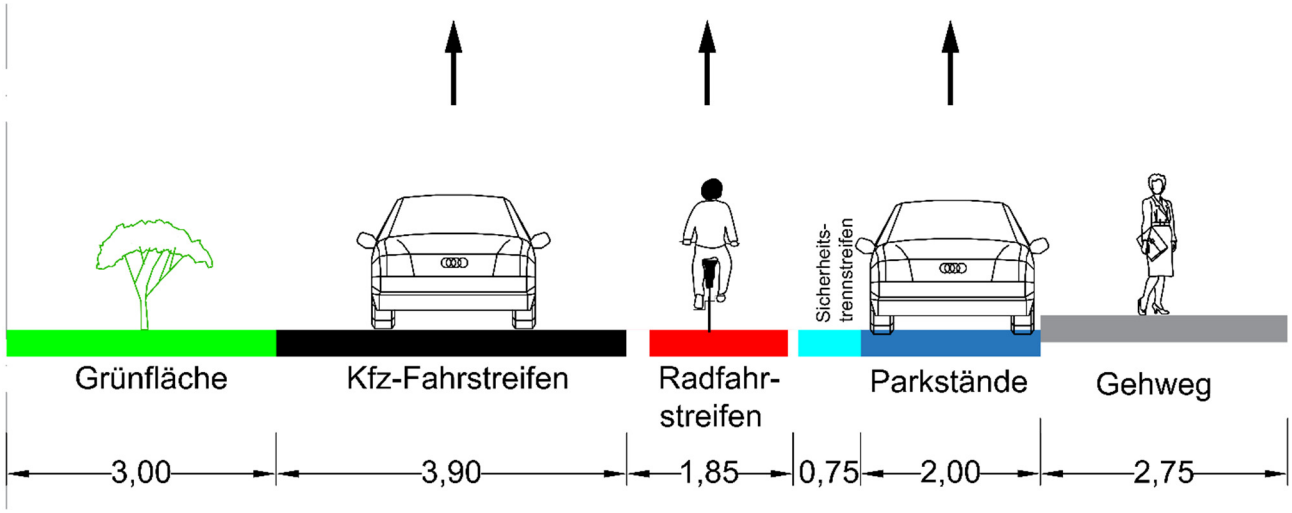

Anzahl der Beeinflussungen: n= 22

Normalverhalten "positive" Reaktion B I B II

**Ursachen für die Beeinflussung von Parkständen**

## Nr. 24 Strecke Gießener Straße in Richtung Norden

(zwischen Friedberger Landstraße - Wetzlarer Straße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 7500 Kfz/h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,85 m breiter Radfahrstreifen (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen)<br>0,75 m breiter Sicherheits-trennstreifen zum Parken |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,75 m breit mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | ja,mit mittelstarken Parkvor-gängen |
| **Längsneigung** | + 0,9% |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

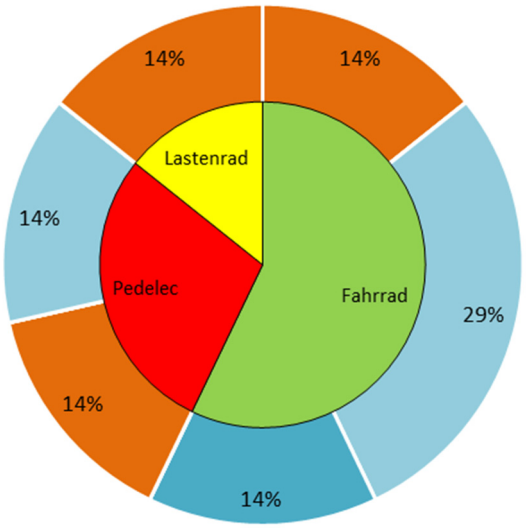
## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 05.09.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr | 01.09.2020 | 15:05 - 19:05 Uhr |

| 0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite) | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 310 Kfz/h | 324 Kfz/h | 1,2% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 36 Fz/h | 59 Fz/h | |
| Fußverkehr | 11 Fuß/h | 16 Fuß/h | |

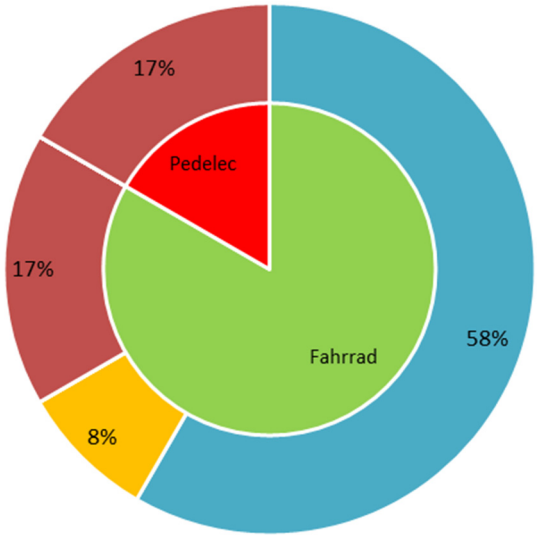
| 1. Verkehrsflächenwahl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Radfahrstreifen (①) (②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 214 (3) | 1 | 10 | 225 | 95% |
| Pedelec | 41 (2) | 0 | 2 | 43 | 95% |
| Lastenrad | 7 (1) | 0 | 0 | 7 | 100% |
| E-Tretroller | 6 | 0 | 0 | 6 | 100% |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=7

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=12

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Sonstige

| 2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=213) | 18,66 | Pedelec | ohne Anhänger (n=41) | 23,50 |
| | mit Anhänger (n=1) | 10,84 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=6) | | 22,74 | E-Tretroller (n=6) | 19,20 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | | 12,36 | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | | - | | |

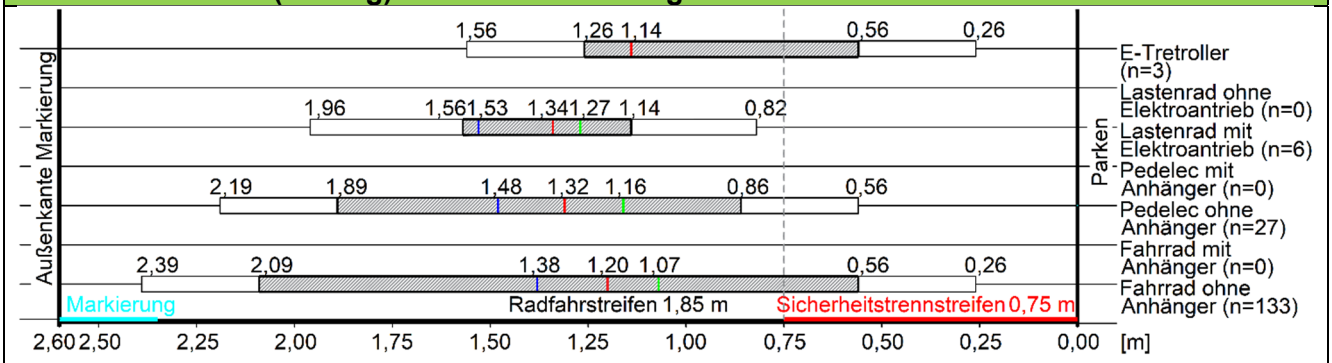
| 3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m] | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **interaktionsfrei** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=133) | 1,25 (0,95) | Pedelec | ohne Anhänger (n=27) | 1,33 (1,03) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 1,37 (1,02) | E-Tretroller (n=3) | | 1,00 (0,70) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

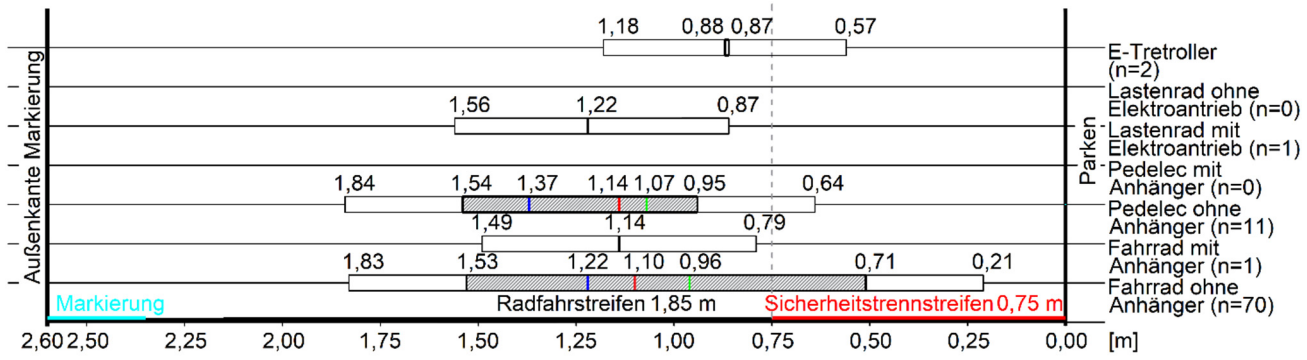
**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=70) | 1,09 (0,79) | Pedelec | ohne Anhänger (n=11) | 1,19 (0,89) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,14 (0,79) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,22 (0,87) | E-Tretroller (n=2) | | 0,88 (0,58) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **6 (100%)** | 6 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 3 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 4 (57%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **7 [/8h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,28 (0,68) (n=4) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,27 (0,67) (n=3) |
| | Lastenrad | Pedelec ohne Anhänger | 1,49 (0,86) (n=1) |

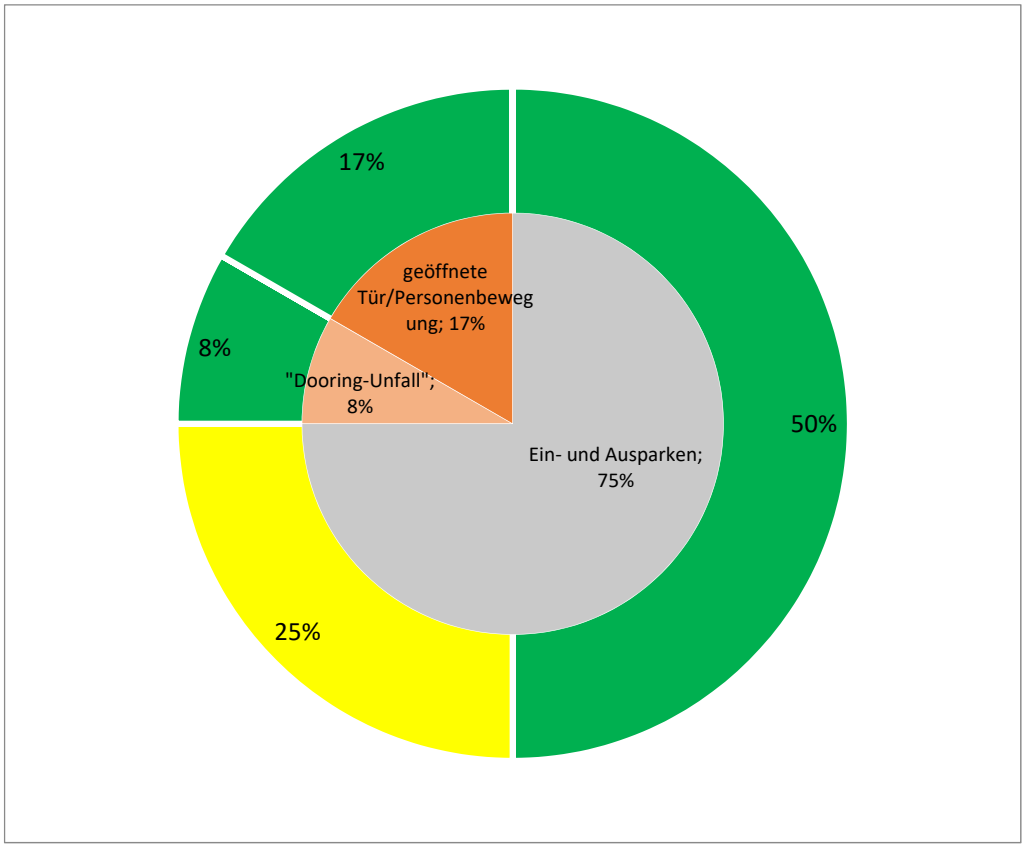
## 5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 1 | 8 | 70 |
| Pedelec | 0 | 0 | 4 | 16 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 2 |

## 6. Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 8 | 0 | 2 | 0 |
| Pedelec | 1 | 0 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **9** | **0** | **3** | **0** |



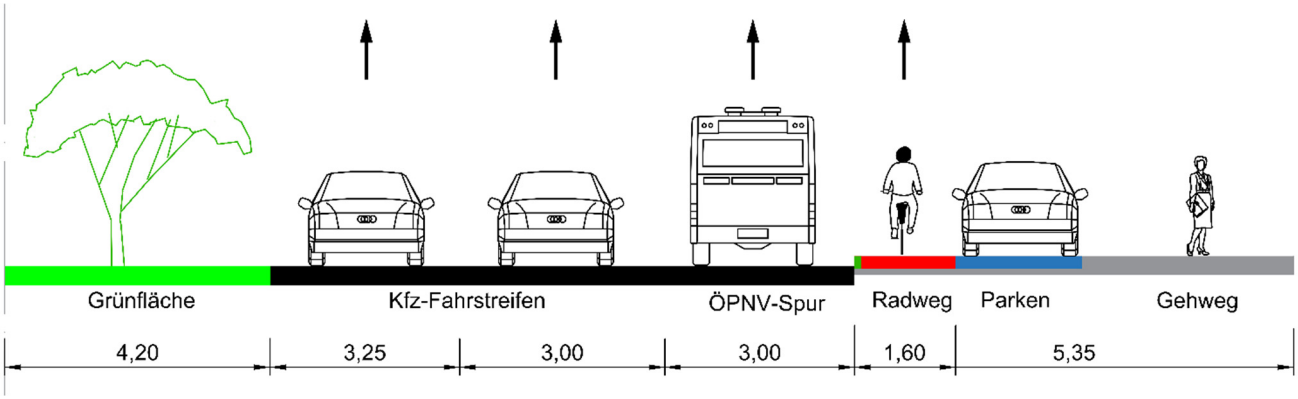

Anzahl der Beeinflussungen: n= 12

Normalverhalten "positive" Reaktion B I B II

**Ursachen für die Beeinflussung von Parkständen**

## Nr. 25 Strecke Berliner Allee 3 in Richtung Norden

(zwischen Haardtring und Spreestraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 11850 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,60 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungs-pflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,00 m breit mit starker Be-lastung |
| **Angebot ÖPNV** | Buslinien mit Busfahrstreifen |
| **Parken Kfz** | ja (zwischen Geh- und Rad-weg),mit schwachen Park-vorgängen |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsnei-gung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

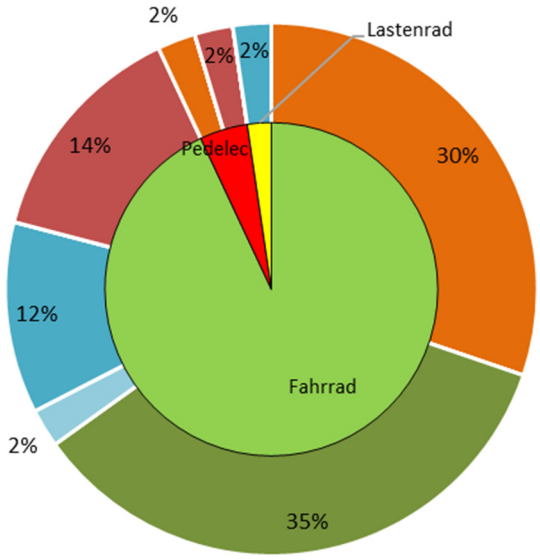
**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | | |
|---|---|---|
| 20.09.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)** | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrs-stärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr (rechtsabbiegen) | 591 Kfz/h | 660 Kfz/h | 4,5% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 62 Fz/h | 120 Fz/h | |
| Fußverkehr | 111 Fuß/h | 145 Fuß/h | |

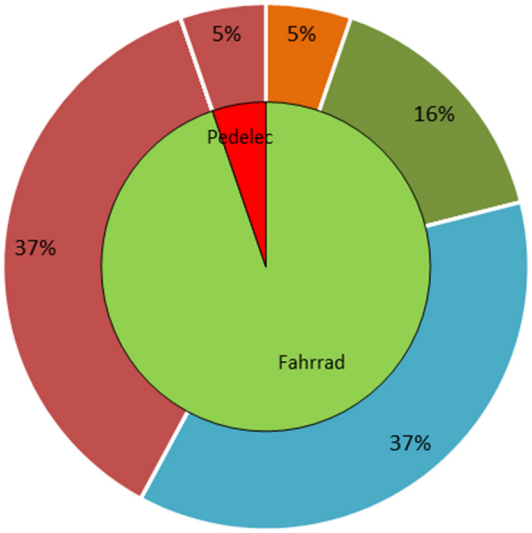
| **1. Verkehrsflächenwahl** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Radweg (①)(②) | Fahrbahn (Busspur) | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 367 (2) | 38 | 18 | 423 | **87%** |
| Pedelec | 21 | 2 | 1 | 24 | **87%** |
| Lastenrad | 6 | 1 | 0 | 7 | **86%** |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 1 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=43

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=19

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Sonstige

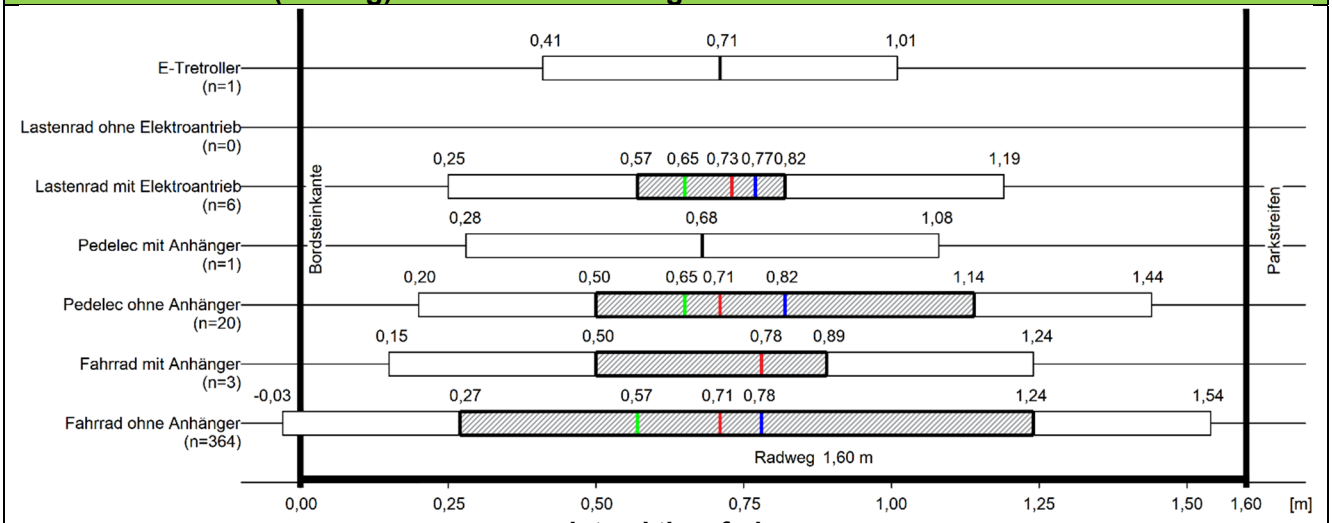
| **2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=364) | 19,60 | Pedelec | ohne Anhänger (n=20) | 20,41 |
| | mit Anhänger (n=3) | 17,57 | | mit Anhänger (n=1) | 19,37 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=5) | 18,38 | | E-Tretroller (n=1) | 20,61 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 16,56 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=364) | 0,69 (0,39) | Pedelec | ohne Anhänger (n=20) | 0,75 (0,45) |
| | mit Anhänger (n=3) | 0,72 (0,37) | | mit Anhänger (n=1) | 0,68 (0,28) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 0,71 (0,35) | E-Tretroller (n=1) | | 0,71 (0,41) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **1 (100%)** | 1 |

### Überholen

| Anzahl der Überholvorgänge | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 15 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 1 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **16 [/8h]** |

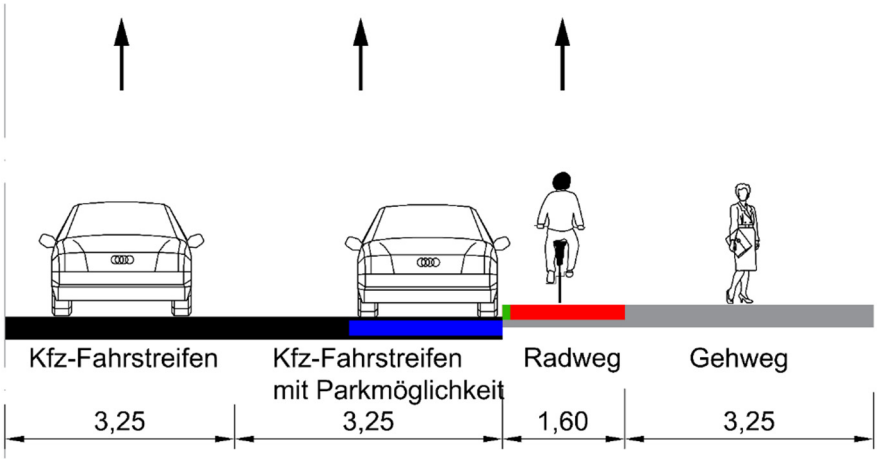
## 5. Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **0** | **0** | **1** | **0** |

Wegen der sehr niedrigen Parkwechselfrequenz und präzisen Parkens wurde nur 1 Beeinflussungsfall durch die geöffnete Tür registriert.

## Nr. 26 Strecke Donnersbergring in Richtung Norden

(zwischen Groß-Gerauer Weg - Goethestraße, Darmstadt)




Einhiet: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 16240 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,60 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,25 m breit mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | ja (zwischen Fahrbahn und Radweg),mit schwachen Parkvorgängen |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 29.07.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr | 30.07.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr |

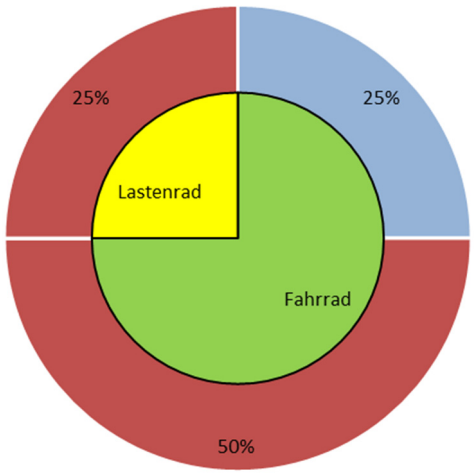
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 424 Kfz/h | 479 Kfz/h | 1,6% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 26 Fz/h | 47 Fz/h | |
| Fußverkehr | 14 Fuß/h | 20 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

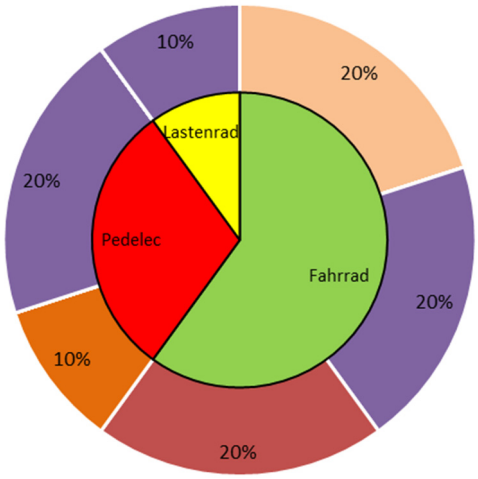
| | Radweg (①)(②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 129 (3) | 3 | 1 | 133 | **97%** |
| Pedelec | 34 (3) | 0 | 0 | 34 | **100%** |
| Lastenrad | 10 (1) | 1 | 0 | 7 | **91%** |
| E-Tretroller | 3 (2) | 0 | 0 | 3 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=4

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=10

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=129) | 18,17 | Pedelec | ohne Anhänger (n=33) | 22,00 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 22,66 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=6) | 20,99 | | E-Tretroller (n=3) | 19,57 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 17,24 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=3) | 14,82 | | | |

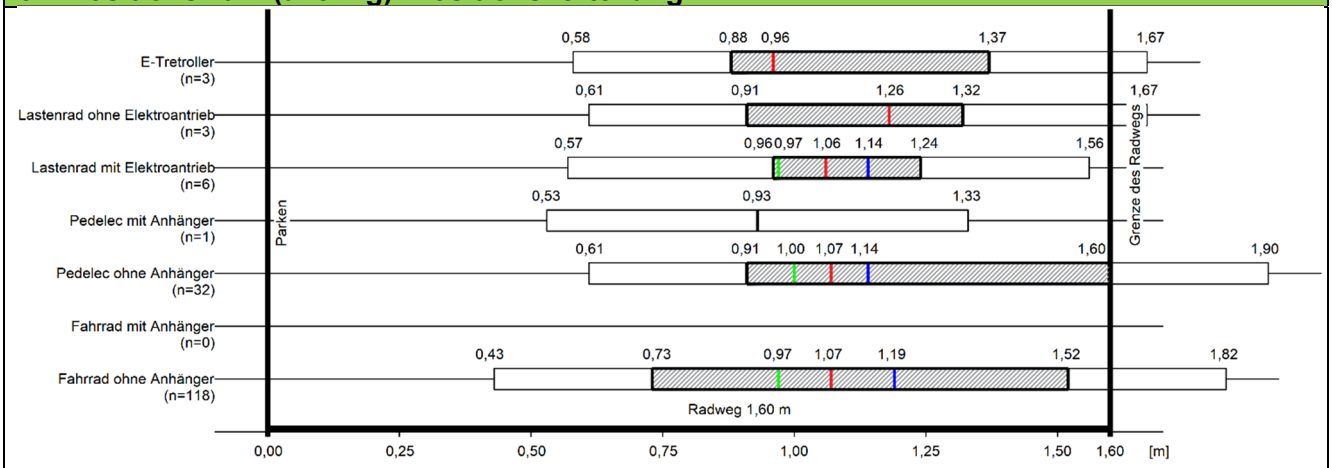
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

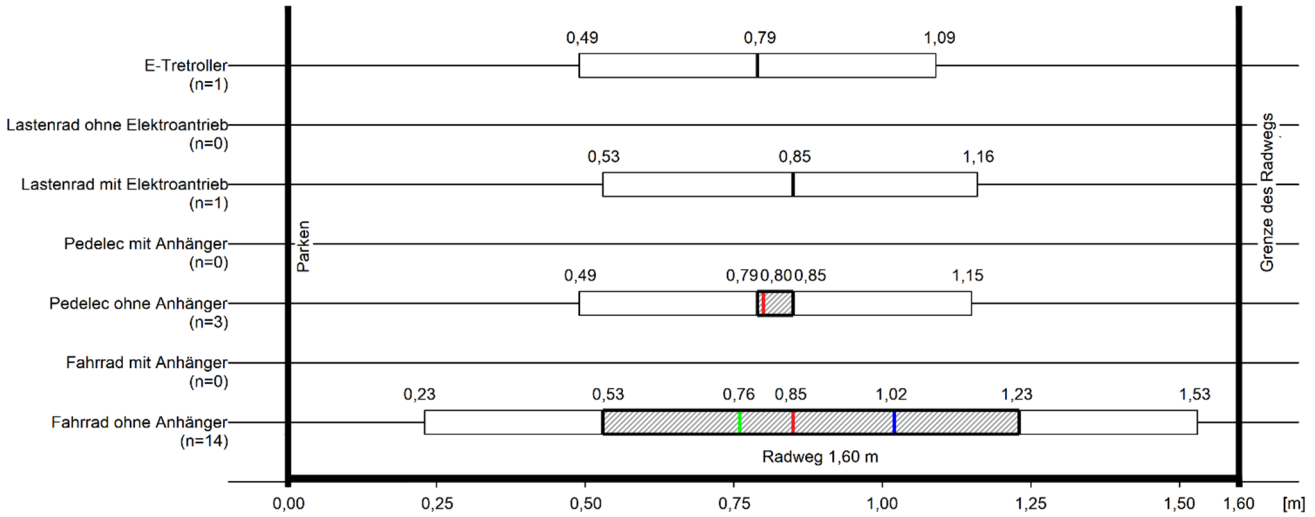
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=118) | 1,08 (0,78) | Pedelec | ohne Anhänger (n=32) | 1,08 (0,78) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 0,93 (0,53) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 1,07 (0,73) | E-Tretroller (n=3) | | 1,07 (0,77) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=3) | 1,16 (0,83) | | | |
| **interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=14) | 0,88 (0,58) | Pedelec | ohne Anhänger (n=3) | 0,81 (0,51) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 0,85 (0,53) | E-Tretroller (n=1) | | 0,79 (0,49) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 2 | 0 | 1 | **0 (0%)** | 3 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 1 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **1 [/8h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,24 (0,64) (n=1) |

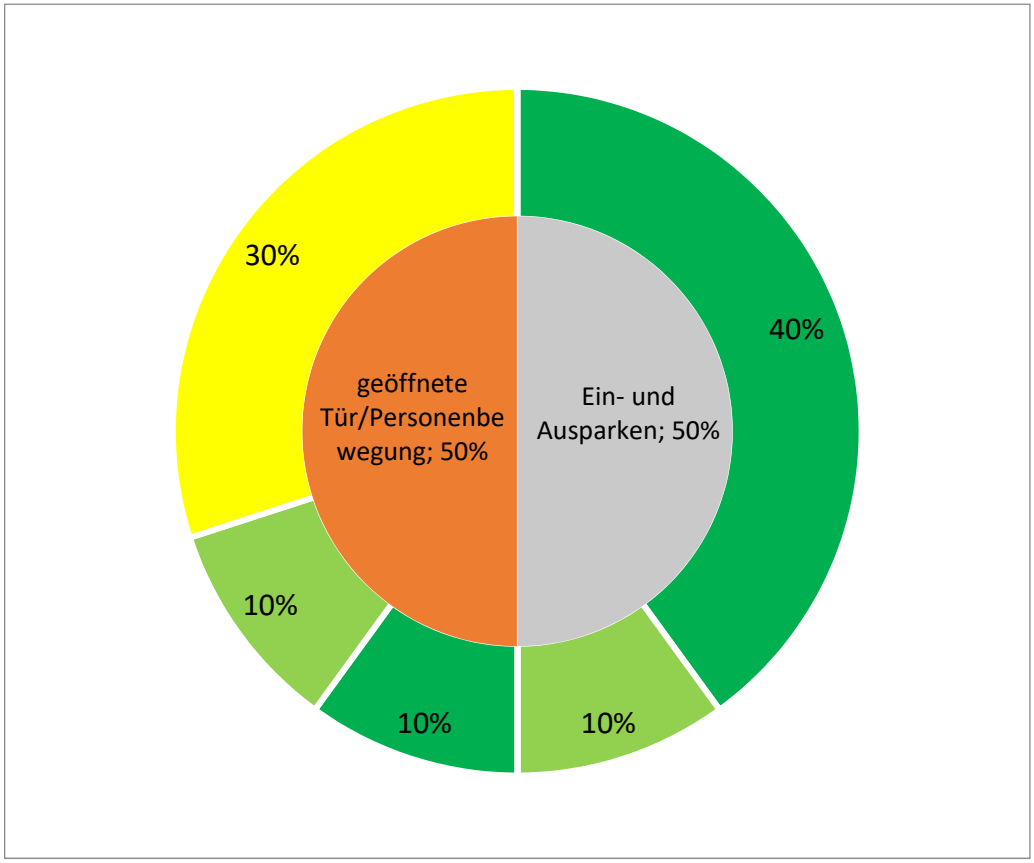
## 5. Interaktion mit Fußverkehr

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 14 | 0 | 3 | 0 | 5 | 0 |
| Pedelec | 2 | 0 | 0 | 0 | 3 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 |

**6. Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)**

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 5 | 1 | 2 | 0 |
| Pedelec | 0 | 1 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **5** | **2** | **3** | **0** |



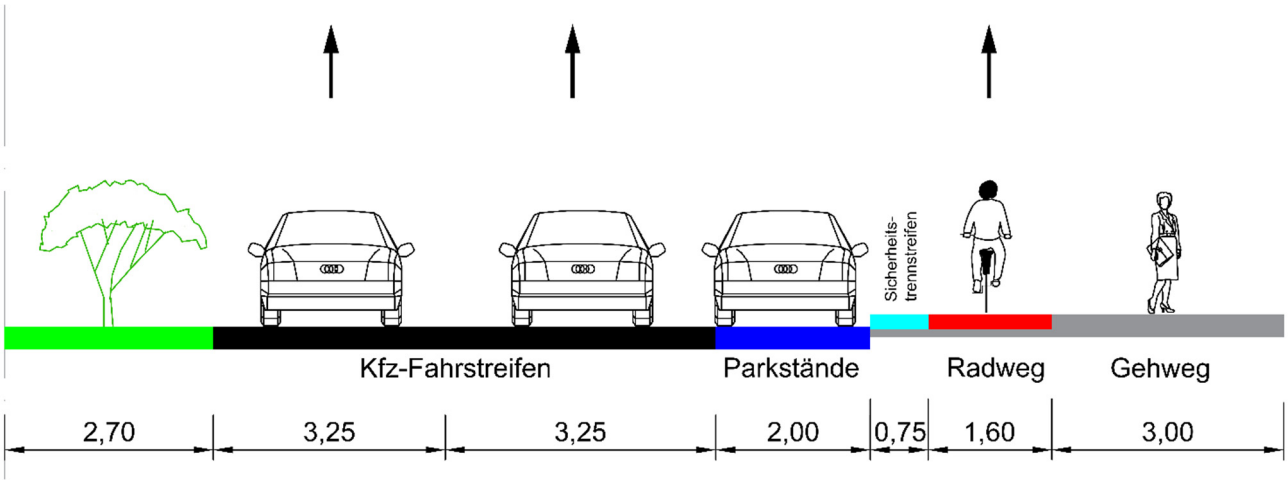

Anzahl der Beeinflussungen: n= 10

Normalverhalten "positive" Reaktion B I B II

**Ursachen für die Beeinflussung von Parkständen**

## Nr. 27 Strecke Sonnemannstraße 1 in Richtung West

(zwischen Rückertstraße - Uhlandstraße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 14790 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,60 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungs-pflicht)<br>0,75 m breiter Sicherheits-trennstreifen zum Parken |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,00 m breit mit schwacher Belastung (vormittags) / star-ker Belastung (nachmittags) |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | ja (zwischen Fahrbahn und Radweg),mit mittelstarken Parkvorgängen |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsnei-gung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 28.08.2020 | 6:40 - 10:40 Uhr | 21.09.2020 | 15:15 - 19:45 Uhr |

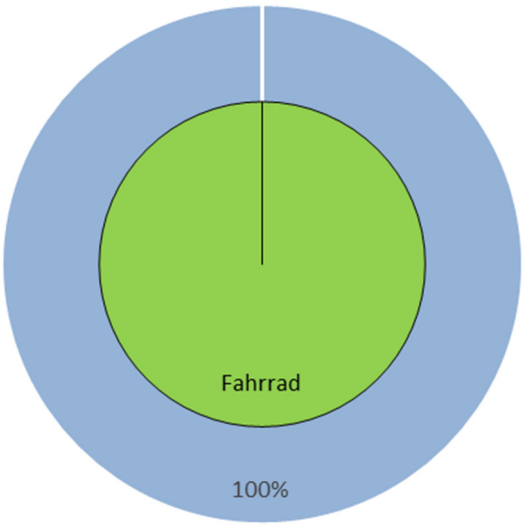
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | | 616 Kfz/h | 676 Kfz/h | 1,2% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | | 70 Fz/h | 110 Fz/h | |
| Fußverkehr | vormittags | 32 Fuß/h | 41 Fuß/h | |
| | nachmittags | 141 Fuß/h | 186 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

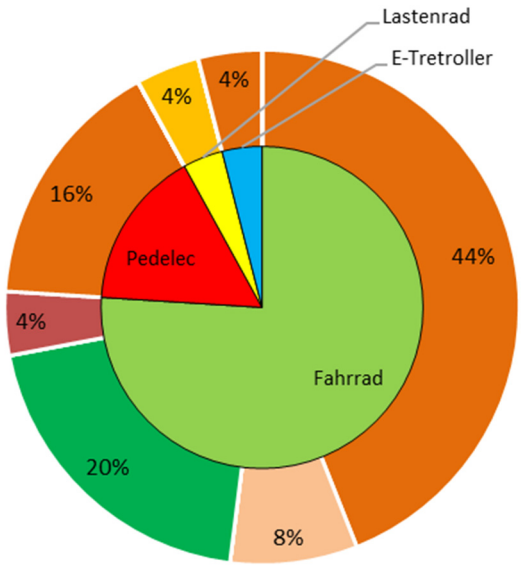
| | Radweg (①)(②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 416 (19) | 5 | 0 | 421 | **99%** |
| Pedelec | 35 (4) | 0 | 0 | 35 | **100%** |
| Lastenrad | 8 (1) | 0 | 0 | 8 | **100%** |
| E-Tretroller | 20 (1) | 0 | 0 | 20 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**



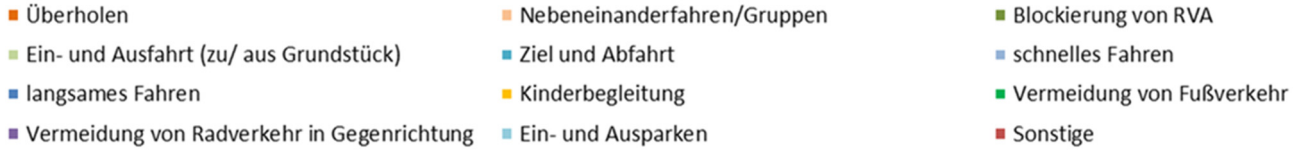

Anzahl der Fahrzeuge: n=5

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=25

**Gründe für Gehwegnutzung**




**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

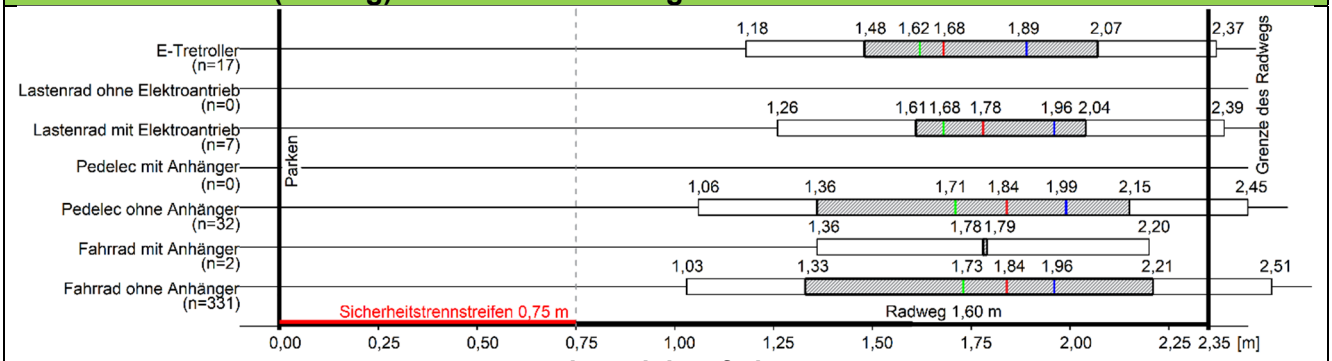
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=414) | 18,82 | Pedelec | ohne Anhänger (n=35) | 23,35 |
| | mit Anhänger (n=2) | 18,23 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=8) | 22,16 | | E-Tretroller (n=20) | 18,92 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

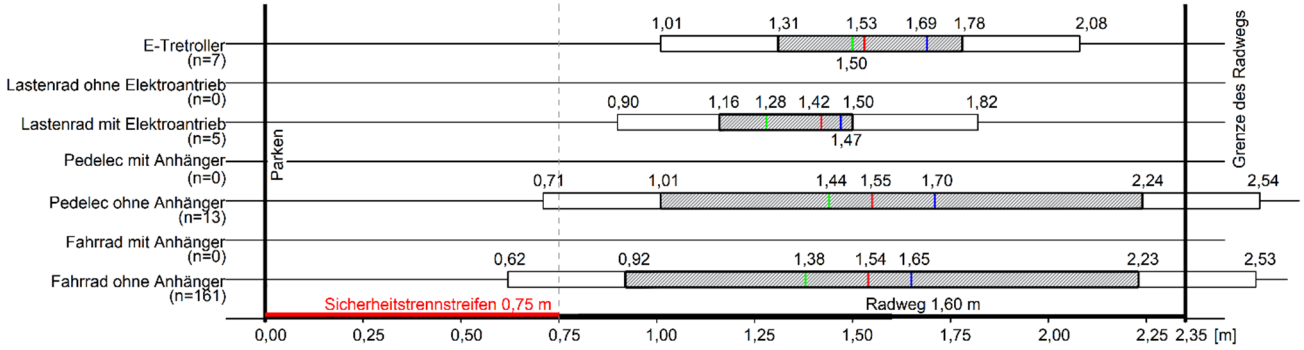
| interaktionsfrei | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=331) | 1,83 (1,52) | Pedelec | ohne Anhänger (n=32) | 1,84 (1,54) |
| | mit Anhänger (n=2) | 1,79 (1,40) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=7) | 1,82 (1,49) | E-Tretroller (n=17) | | 1,74 (1,44) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

| interaktionsbezogen | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=161) | 1,54 (1,21) | Pedelec | ohne Anhänger (n=13) | 1,58 (1,27) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=5) | 1,38 (1,06) | E-Tretroller (n=7) | | 1,56 (1,26) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




interaktionsfrei




interaktionsbezogen

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 1 | 0 | 0 | **12 (92%)** | 13 |

### Überholen

| Anzahl der Überholvorgänge | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 15 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 3+1 (26%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **19 [/8h]** |

| Überholabstand | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] | |
|---|---|---|---|---|
| | | | ① | ② |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,18 (0,59) (n=3) | 1,41 (0,81) (n=11) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | - | 1,42 (0,83) (n=3) |
| | E-Tretroller | Fahrrad ohne Anhänger | 1,31 (0,71) (n=1) | 1,36 (0,76) (n=1) |

+ N: Anzahl der Überholvorgänge mit Nutzung der Sicherheitstrennstreifen

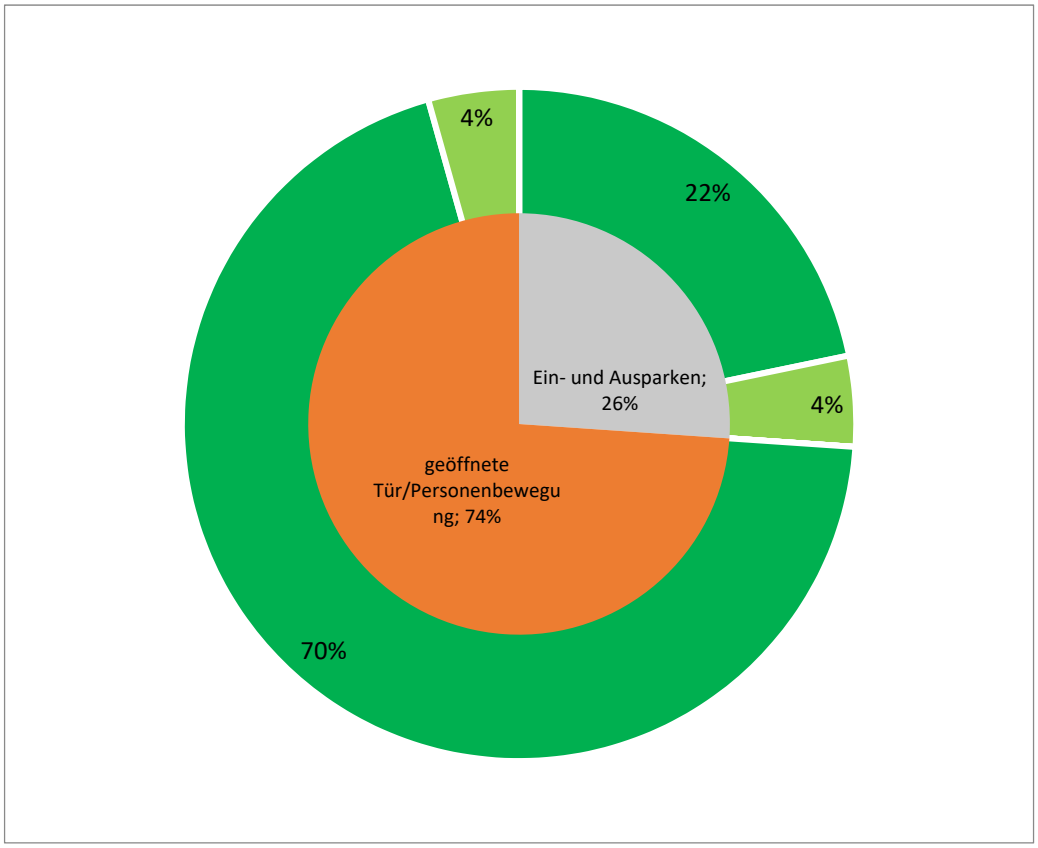
## 5. Interaktion mit Fußverkehr

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 142 | 38 | 15 | 1 | 12 | 1 |
| Pedelec | 9 | 4 | 3 | 0 | 2 | 0 |
| Lastenrad | 2 | 2 | 3 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| E-Tretroller | 13 | 4 | 1 | 0 | 1 | 0 |

**6. Beeinflussung durch ruhenden Verkehr (an Parkständen)**

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | B I | B II |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 18 | 1 | 0 | 0 |
| Pedelec | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 2 | 1 | 0 | 0 |
| Summe | **21** | **2** | **0** | **0** |



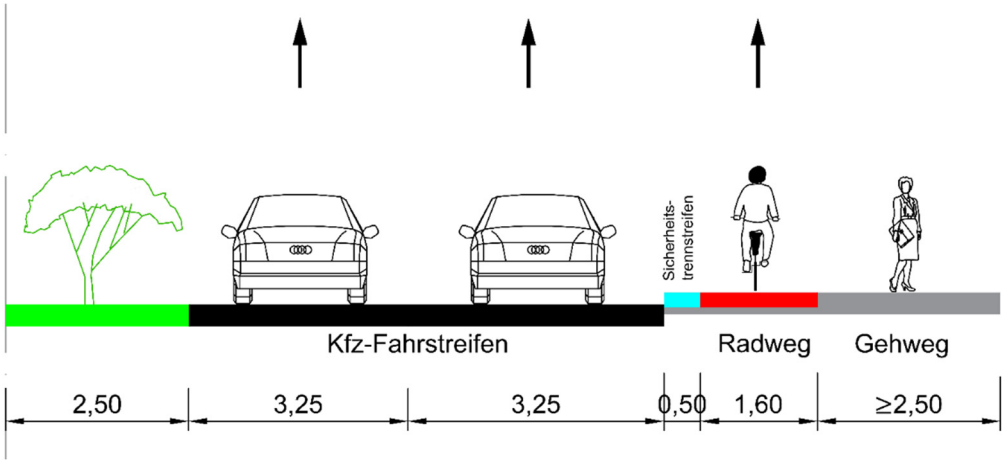

Anzahl der Beeinflussungen: n= 23

Normalverhalten "positive" Reaktion B I B II

**Ursachen für die Beeinflussung von Parkständen**

## Nr. 28 Strecke Sonnemannstraße 2 in Richtung West

(zwischen Uhlandstraße - Obermainstraße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 14790 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,60 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht)<br>0,50 m breiter Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn |
| **Angebot Fußverkehr** | ≥ 2,50 m breit mit mittelstarker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | nein |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 12.09.2020 | 06:40 - 10:40 Uhr |

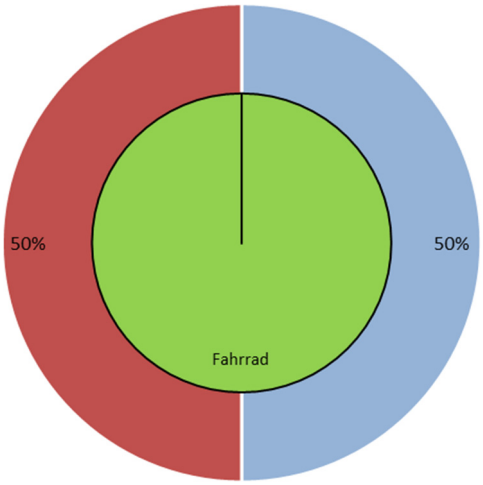
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 626 Kfz/h | 680 Kfz/h | 1,5% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 65 Fz/h | 96 Fz/h | |
| Fußverkehr | 54 Fuß/h | 66 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

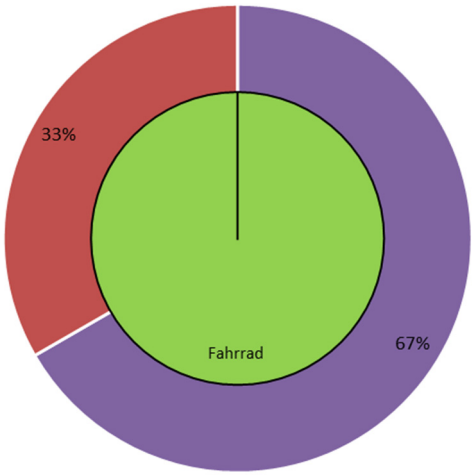
| | Radweg (①)(②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 199 (1) | 4 | 2 | 205 | **97%** |
| Pedelec | 22 | 0 | 0 | 22 | **100%** |
| Lastenrad | 4 | 0 | 0 | 4 | **100%** |
| E-Tretroller | 9 | 0 | 0 | 9 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=4

**Gründe für Fahrbahnnutzung**




Anzahl der Fahrzeuge: n=3

**Gründe für Gehwegnutzung**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- Ein- und Ausparken
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=198) | 20,51 | Pedelec | ohne Anhänger (n=22) | 22,62 |
| | mit Anhänger (n=1) | 15,83 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 23,72 | | E-Tretroller (n=9) | 19,76 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

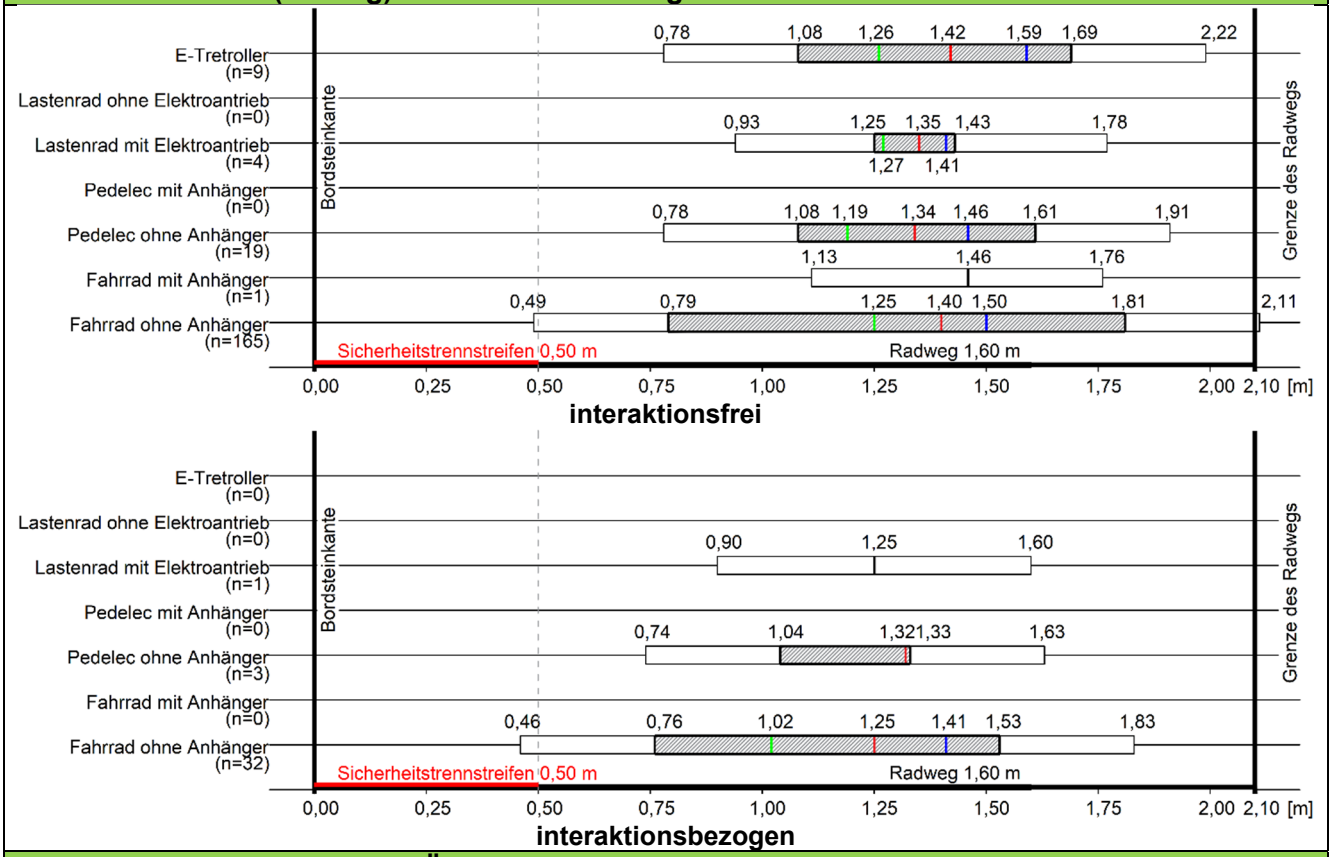
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=165) | 1,37 (1,07) | Pedelec | ohne Anhänger (n=19) | 1,34 (1,04) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,46 (1,13) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 1,34 (1,01) | E-Tretroller (n=9) | | 1,41 (1,11) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=32) | 1,22 (0,92) | Pedelec | ohne Anhänger (n=3) | 1,23 (0,93) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,25 (0,90) | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

kein Nebeneinfander-Fall wurde erfasst

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 1 (100%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **1 [/8h]** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
| | | | ② |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 0,99 (0,39) (n=1) |

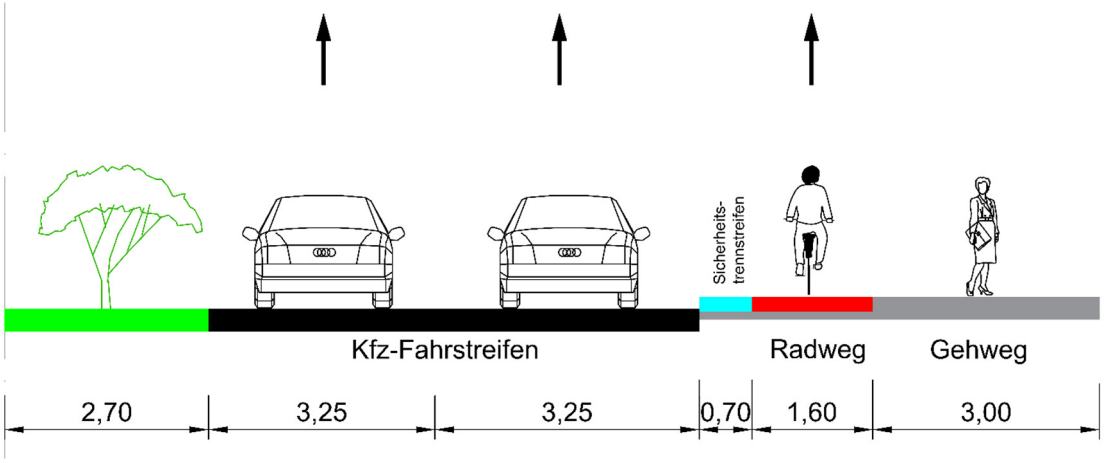
② Überholen auf der rechten Seite

## 5. Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 30 | 1 | 0 | 0 | 3 | 0 |
| Pedelec | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Nr. 29 Strecke Sonnemannstraße 3 in Richtung West

(zwischen Rückertstraße - Uhlandstraße, Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 14790 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,60 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungs-pflicht)<br>0,70 m breiter Sicherheits-trennstreifen zur Fahrbahn |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,00 m breit mit mittelstar-ker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | nein |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längs-neigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | | | |
|---|---|---|---|
| 03.09.2019 | 06:30 - 10:30 Uhr | 18.09.2019 | 14:50 - 18:50 Uhr |

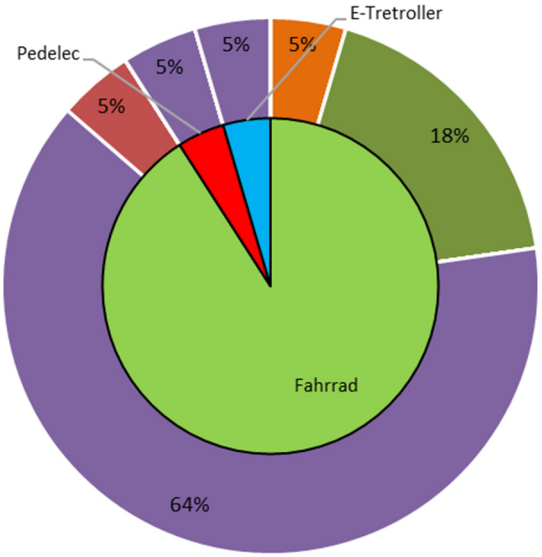
**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 547 Kfz/h | 598 Kfz/h | 5,0% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 94 Fz/h | 145 Fz/h | |
| Fußverkehr | 40 Fuß/h | 68 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

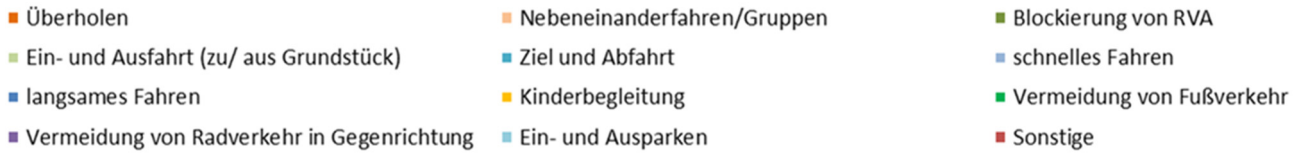
| | Radweg (①)(②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 528 (17) | 0 | 3 | 531 | **99%** |
| Pedelec | 31 (1) | 0 | 0 | 31 | **100%** |
| Lastenrad | 6 | 0 | 0 | 6 | **100%** |
| E-Tretroller | 31 (1) | 0 | 0 | 31 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**




Anzahl der Fahrzeuge: n=22

**Gründe für Gehwegnutzung**




**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=524) | 20,27 | Pedelec | ohne Anhänger (n=31) | 23,52 |
| | mit Anhänger (n=4) | 16,89 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=6) | 21,29 | E-Tretroller (n=31) | | 19,38 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

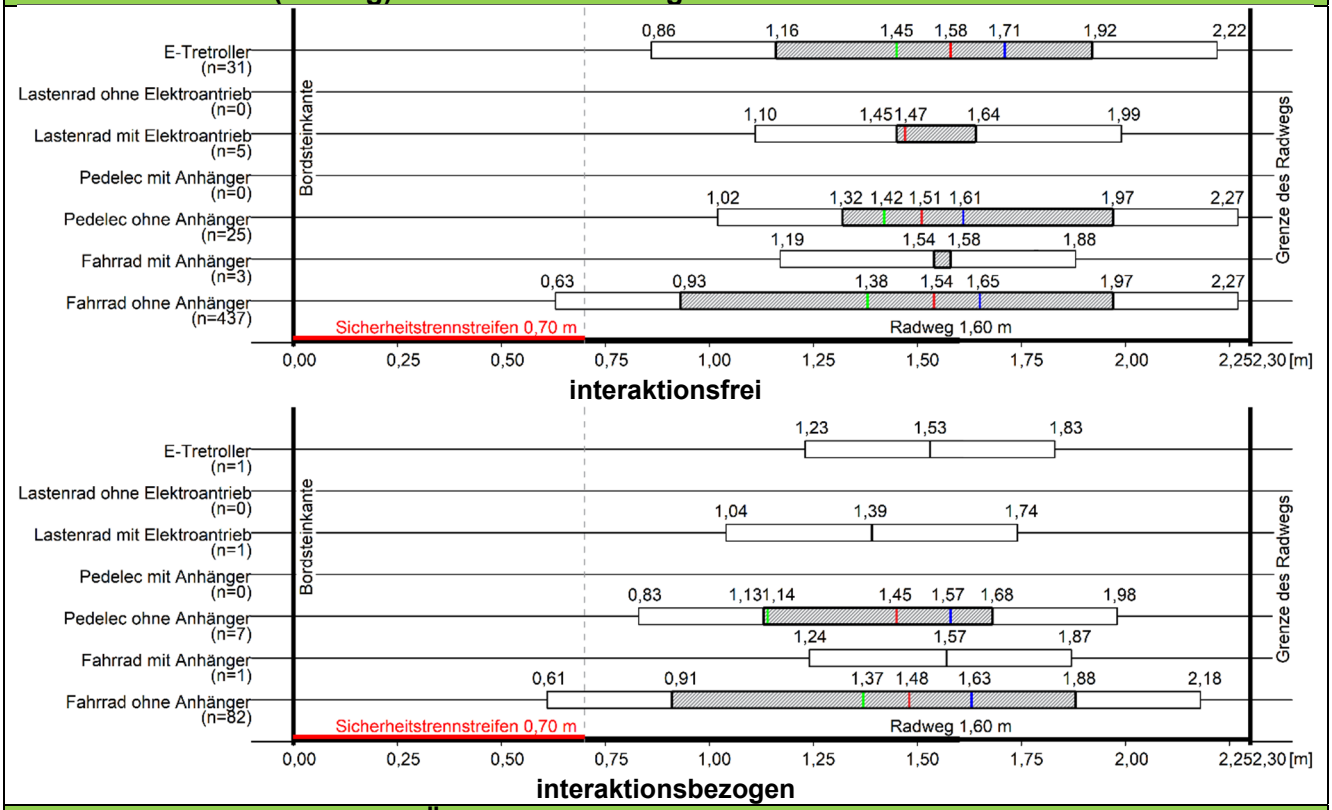
**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

**interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=437) | 1,53 (1,23)) | Pedelec | ohne Anhänger (n=25) | 1,53 (1,23) |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | mit Anhänger (n=3) | 1,57 (1,20) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=5) | 1,52 (1,19) | E-Tretroller (n=31) | | 1,57 (1,27) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=82) | 1,49 (1,19) | Pedelec | ohne Anhänger (n=7) | 1,41 (1,11) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,57 (1,24) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,39 (1,04) | E-Tretroller (n=1) | | 1,53 (1,23) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **8 (100%)** | 8 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 1 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 4+3 (88%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **8 [/8h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** | |
|---|---|---|---|---|
| | | | ① | ② |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,20 (0,90) (n=7) | - |
| | E-Tretroller | Fahrrad ohne Anhänger | - | 1,98 (1,68) (n=1) |

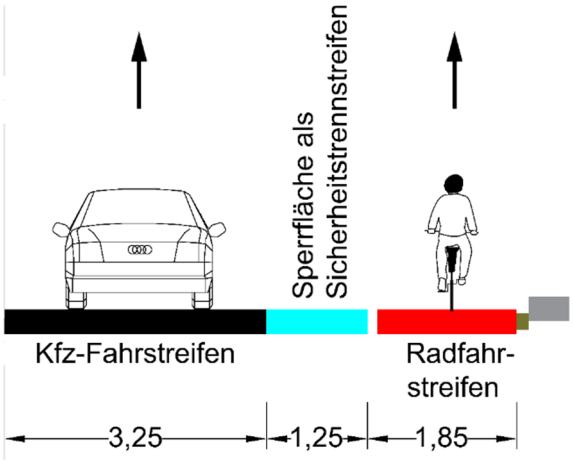
① Überholen auf der linken Seite; ② Überholen auf der rechten Seite; +N: Nutzung des Sicherheitstrennstreifens

## 5. Interaktion mit Fußverkehr

| | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | KS I | KS II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 75 | 5 | 0 | 0 | 5 | 0 |
| Pedelec | 4 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Nr. 30 Strecke Hafenstraße in Richtung Norden

(Hafentunnel, Frankfurt am Main)




Einheit:

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 18590 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,85 m breiter Radfahrstreifen (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen)<br>1,25 m breiter Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn |
| **Angebot Fußverkehr** | Nur Notgehweg vorhanden |
| **Angebot ÖPNV** | kein ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | nein |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | |
|---|---|
| 26.07.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr |

**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 320 Kfz/h | 382 Kfz/h | 8,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 26 Fz/h | 42 Fz/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| | Radfahrstreifen | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 78 | 0 | 0 | 78 | **100%** |
| Pedelec | 18 | 0 | 0 | 18 | **100%** |
| Lastenrad | 5 | 0 | 0 | 5 | **100%** |
| E-Tretroller | 5 | 0 | 0 | 5 | **100%** |

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=78) | 19,88 | Pedelec | ohne Anhänger (n=18) | 24,68 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=4) | 23,85 | | E-Tretroller (n=5) | 19,28 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 20,86 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

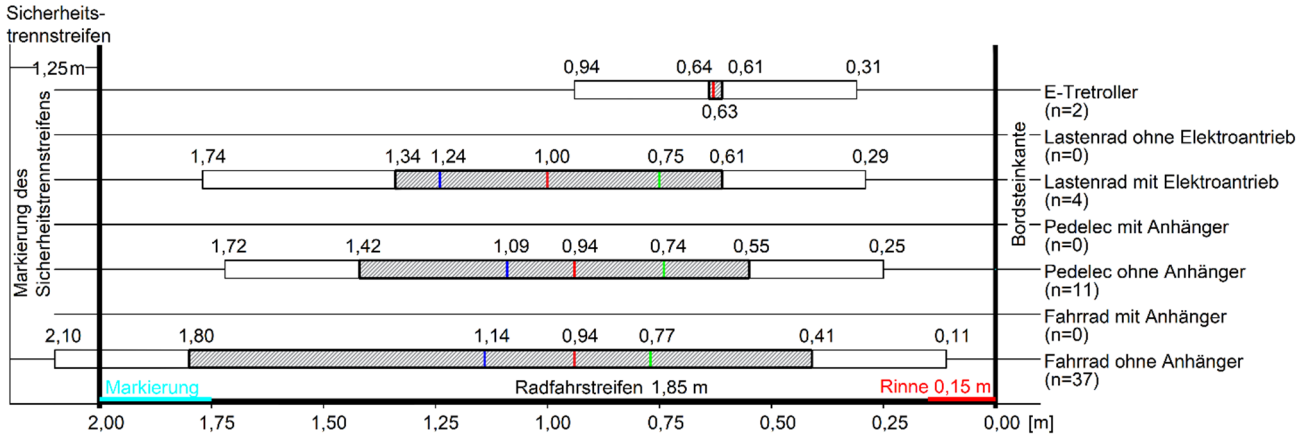
**interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=37) | 0,92 (0,62) | Pedelec | ohne Anhänger (n=11) | 0,96 (0,66) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 0,96 (0,62) | E-Tretroller (n=2) | | 0,63 (0,33) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

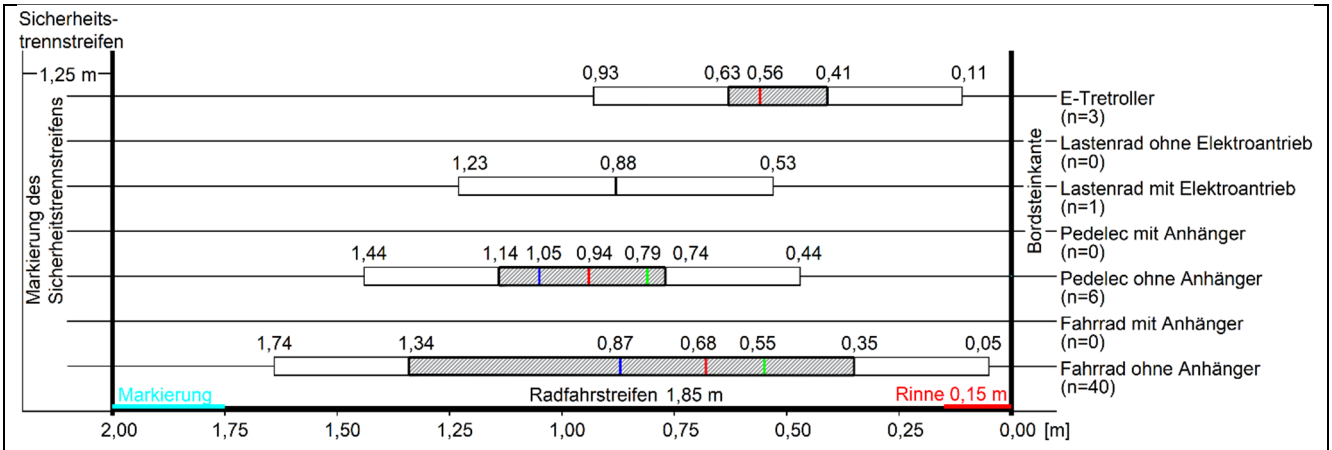
**interaktionsbezogen**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=40) | 0,66 (0,36) | Pedelec | ohne Anhänger (n=6) | 0,93 (0,63) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 0,88 (0,54) | E-Tretroller (n=3) | | 0,53 (0,23) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung**




**interaktionsfrei**




**interaktionsbezogen**

## 4. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| | 0 | 0 | 0 | **4 (100%)** | 4 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 0 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 3+6 (33%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **9 [/4h]** |

| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,35 (0,75) (n=8) |
| | | Lastenrad | 1,13 (0,51) (n=1) |

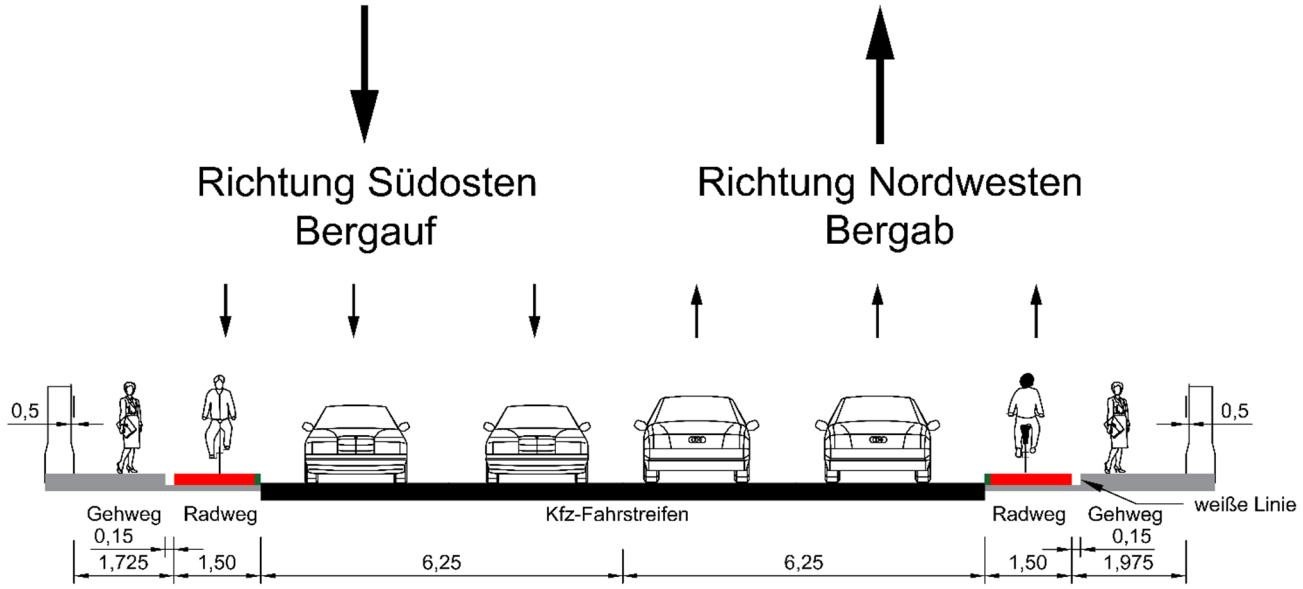
+N: Anzahl der Überholvorgänge mit Nutzung der Sicherheitstrennstreifen

## 5. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand)

| | < 0,50 m | ≥ 0,50 m und < 1,00 m | ≥ 1,00 m und < 1,50 m | ≥ 1,50 m |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 0 | 3 | 73 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 4 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 2 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 4 |

## Nr. 31 Strecke Untermainbrücke, Frankfurt am Main

(Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

bergauf

bergab

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 15590 Kfz/24h | **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen jeder Fahrrichtung |
| **Angebot Radverkehr** | Bergauf/ Bergab: Radweg mit Benutzungspflicht, 1,50 m breit | | |
| **Angebot Fußverkehr** | Bergauf: 1,975 m breit, 0,15 m breiter weiße Linie als Trennung zum Radweg<br>Bergab: 1,725 m breit, 0,15 m breiter weiße Linie als Trennung zum Radweg | | |
| **Längsneigung** | ± 3,1% | | |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| bergauf | 09.09.2019 | 14:50 - 18:50 Uhr | bergab | 11.09.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

**0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)**

| **Bergauf** | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 744 Kfz/h | 810 Kfz/h | 3,6% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 179 Fz/h | 307 Fz/h | |
| Fußverkehr | 122 Fuß/h | 146 Fuß/h | |

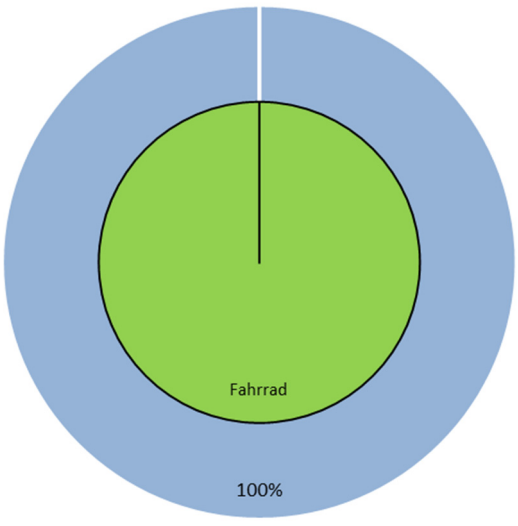
| **Bergab** | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
|---|---|---|---|
| Kfz-Verkehr | 670 Kfz/h | 740 Kfz/h | 5,1% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 183 Fz/h | 235 fz/h | |
| Fußverkehr | 109 Fuß/h | 136 Fuß/h | |

**1. Verkehrsflächenwahl**

| **Bergauf** | Radweg (①)(②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 575 (42) | 3 | 25 | 603 | **95%** |
| Pedelec | 45 (6) | 0 | 1 | 46 | **98%** |
| Lastenrad | 23 (1) | 0 | 0 | 23 | **100%** |
| E-Tretroller | 29 (2) | 0 | 0 | 29 | **100%** |

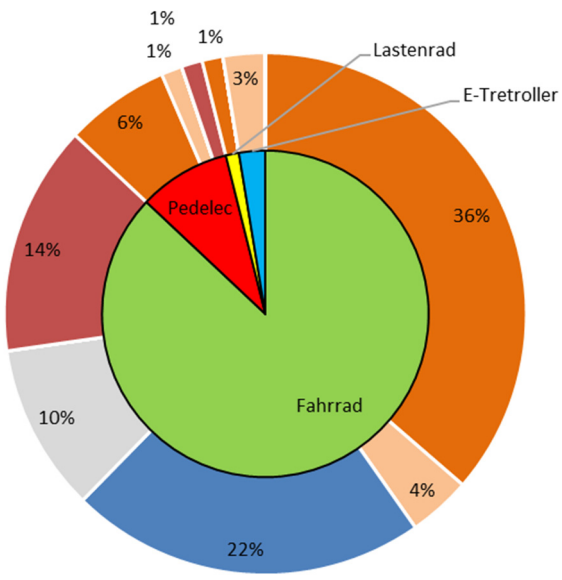
| **Bergab** | Radweg | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 583 (10) | 1 | 5 | 589 | **99%** |
| Pedelec | 58 (2) | 0 | 1 | 59 | **98%** |
| Lastenrad | 10 | 0 | 0 | 10 | **100%** |
| E-Tretroller | 28 (2) | 0 | 0 | 28 | **100%** |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**



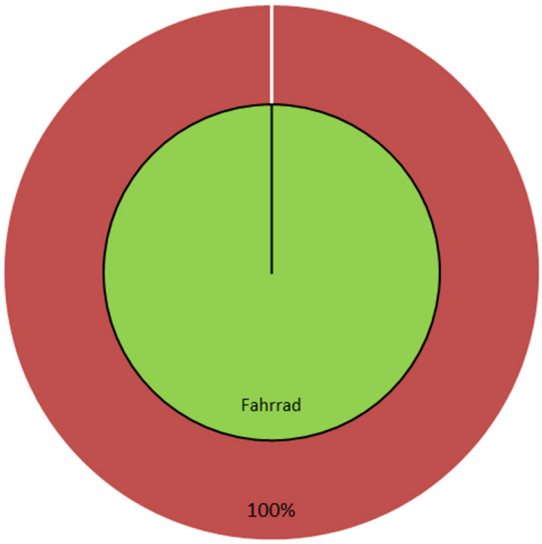

Anzahl der Fahrzeuge: n=3

**Gründe für Fahrbahnnutzung bergauf**



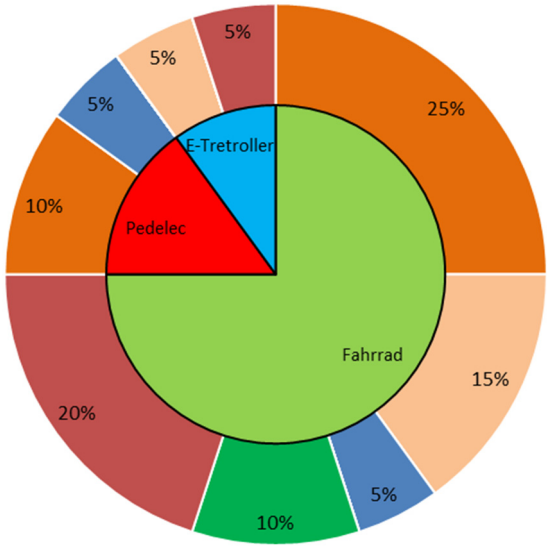

Anzahl der Fahrzeuge: n=77

**Gründe für Gehwegnutzung bergauf**




Anzahl der Fahrzeuge: n=1

**Gründe für Fahrbahnnutzung bergab**




Anzahl der Fahrzeuge: n=20

**Gründe für Gehwegnutzung bergab**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren (teilweise Schieben)
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- seitliche Schwankung
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

**Bergauf am Radweg**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=575) | 16,27 | Pedelec | ohne Anhänger (n=44) | 20,79 |
| | mit Anhänger (n=1) | 11,76 | | mit Anhänger (n=1) | 13,43 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=11) | 19,34 | | E-Tretroller (n=29) | 17,61 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=11) | 16,23 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 16,11 | | | |

**Bergab am Radweg**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=582) | 21,14 | Pedelec | ohne Anhänger (n=58) | 24,00 |
| | mit Anhänger (n=1) | 19,60 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=9) | 21,57 | | E-Tretroller (n=28) | 19,45 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 16,28 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

**3. Seitlicher Schwankung (bergauf)**

| | ≤0.30 m | ≥ 0.30 m und < 0.60 m | ≥ 0.60 m und < 0.90 m | ≥ 0.90 m und < 1.20 m | > 1.2 m (mit Gehwegnutzung) |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 462 | 93 | 19 | 2 | 0 |
| Pedelec | 43 | 2 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 19 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 28 | 1 | 0 | 0 | 0 |

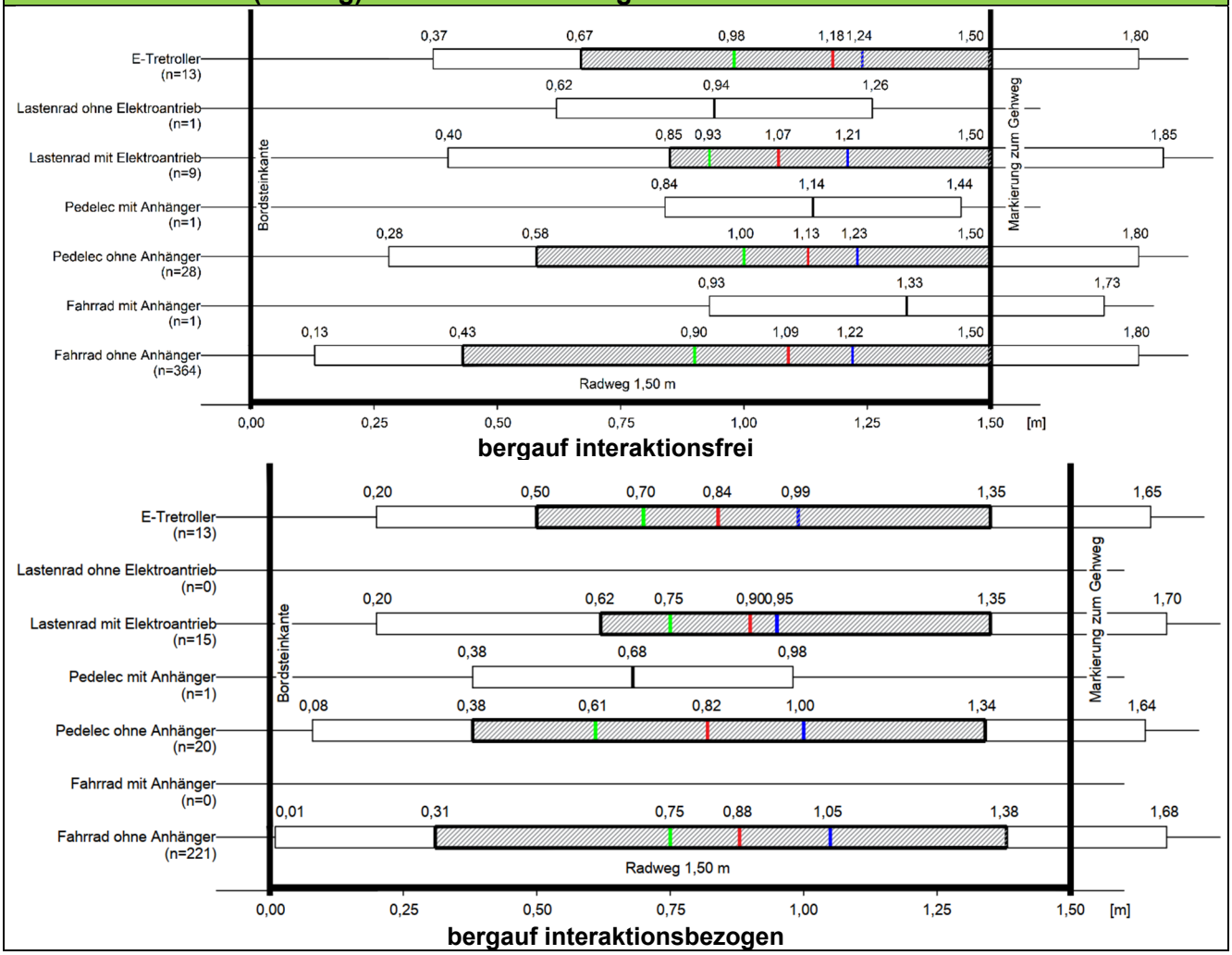
**4.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

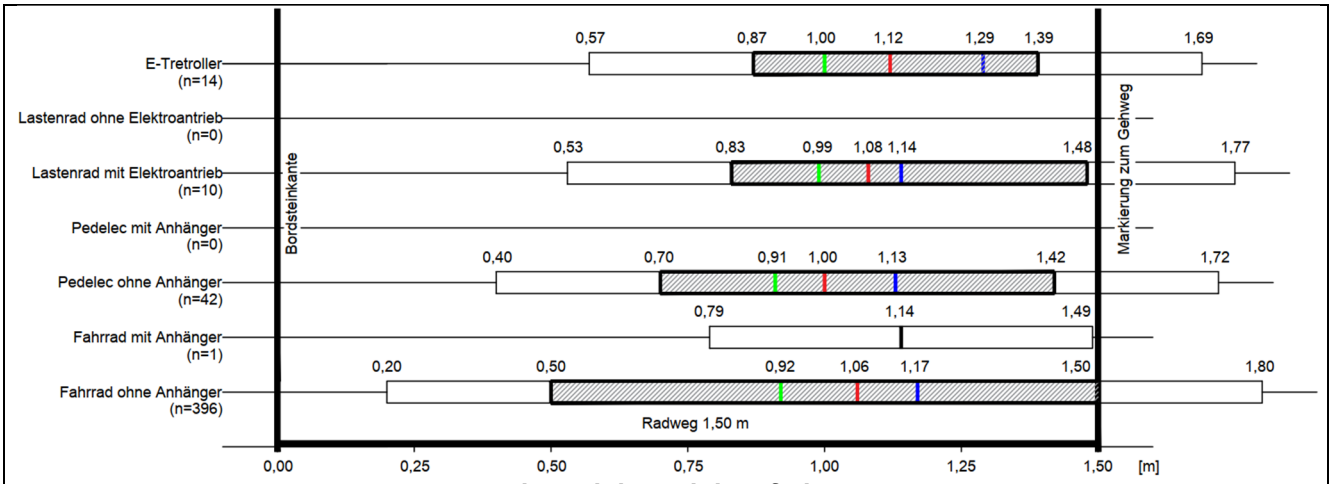
**Bergauf interaktionsfrei**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=364) | 1,05 (0,75) | Pedelec | ohne Anhänger (n=28) | 1,13 (0,83) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,33 (0,93) | | mit Anhänger (n=1) | 1,14 (0,84) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=9) | 1,09 (0,71) | E-Tretroller (n=13) | | 1,13 (0,83) |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 0,94 (0,62) | | | |

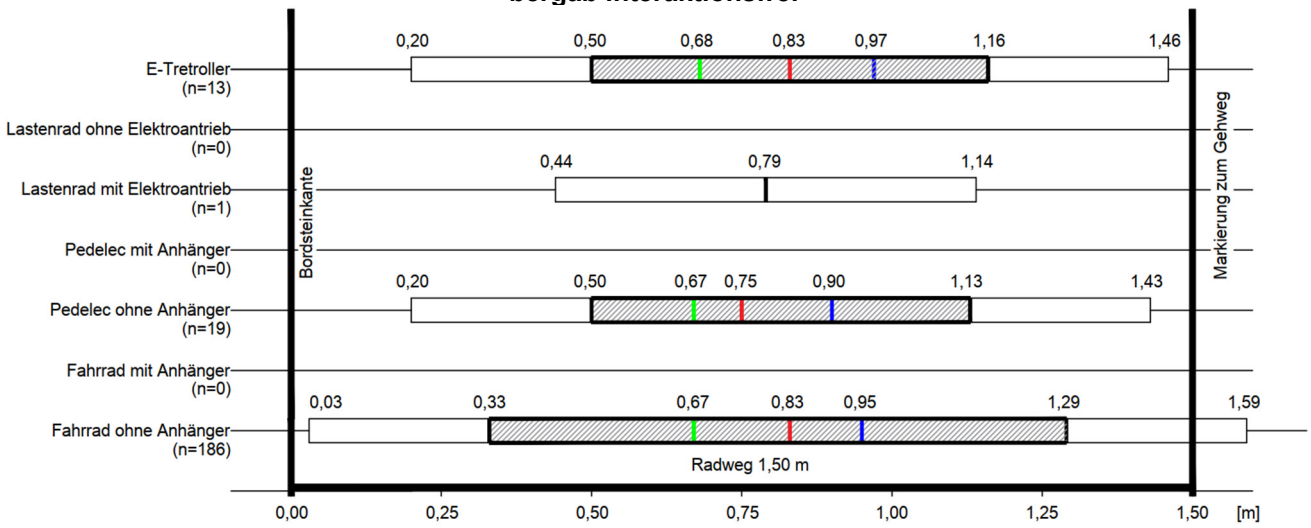
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bergauf interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=221) | 0,88 (0,58) | Pedelec | ohne Anhänger (n=20) | 0,81 (0,51) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 0,68 (0,27) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=15) | 0,92 (0,48) | E-Tretroller (n=13) | | 0,87 (0,57) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergab interaktionsfrei** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=396) | 1,04 (0,74) | Pedelec | ohne Anhänger (n=42) | 1,02 (0,72) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,14 (0,79) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=10) | 1,08 (0.82) | E-Tretroller (n=14) | | 1,12 (0,82) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergab interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=186) | 0,82 (0,52) | Pedelec | ohne Anhänger (n=19) | 0,79 (0,49) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 0,79 (0,44) | E-Tretroller (n=13) | | 0,83 (0,53) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 4.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung






**bergab interaktionsfrei**




**bergab interaktionsbezogen**

## 5. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| bergauf | 6 | 0 | 0 | **2 (25%)** | 8 |
| bergab | 3 | 0 | 0 | **2 (40%)** | 5 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge (bergauf) | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 37 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 1 (3%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **38 [/12h]** |

| Überholabstand (bergauf) | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] L | R |
|---|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,26 (0,66) (n=8) | 1,38 (0,78) (n=21) |
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,28 (0,68) (n=1) | 1,50 (0,90) (n=6) |
| | | Pedelec ohne Anhänger | - | 1,50 (0,90) (n=1) |
| | Lastenrad | Fahrrad ohne Anhänger | - | 1,30 (0,65) (n=1) |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge (bergab) | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 8 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 1 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | 9 [/4h] |

| Überholabstand (bergab) | Überholende | Überholte | Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m] L | R |
|---|---|---|---|---|
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 0,99 (0,39) (n=3) | 1,20 (0,60) (n=3) |
| | | Lastenrad | - | 1,16 (0,51) (n=1) |
| | | E-Tretroller | 1,25 (0,65) (n=1) | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Pedelec ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,10 (0,80) (n=1) | - |

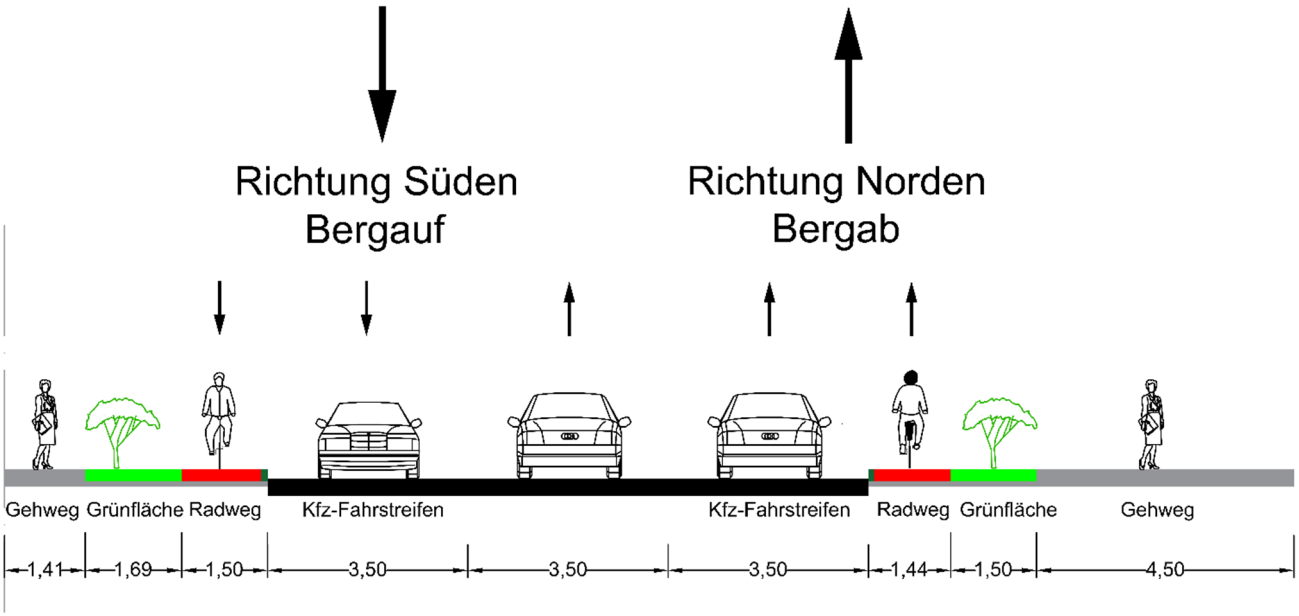
L: Überholen auf der linken Seite; R: Überholen auf der rechten Seite

**6. Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr**

| **Bergauf** | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | K I | K II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 205 | 6 | 5 | 0 | 20 | 0 |
| Pedelec | 12 | 3 | 2 | 0 | 4 | 0 |
| Lastenrad | 10 | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 8 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| **Summe** | **235** | **10** | **11** | **0** | **27** | **0** |
| **Bergab** | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | K I | K II | B I | B II |
| Fahrrad | 131 | 10 | 15 | 0 | 21 | 0 |
| Pedelec | 9 | 1 | 4 | 0 | 4 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 7 | 1 | 0 | 0 | 4 | 0 |
| **Summe** | **147** | **12** | **20** | **0** | **29** | **0** |

## Nr. 32 Strecke Pützer Straße

(zwischen Dieburger Straße - Erich-Ollenhauer-Promenade, Darmstadt)




Einheit: [m]

bergauf

bergab

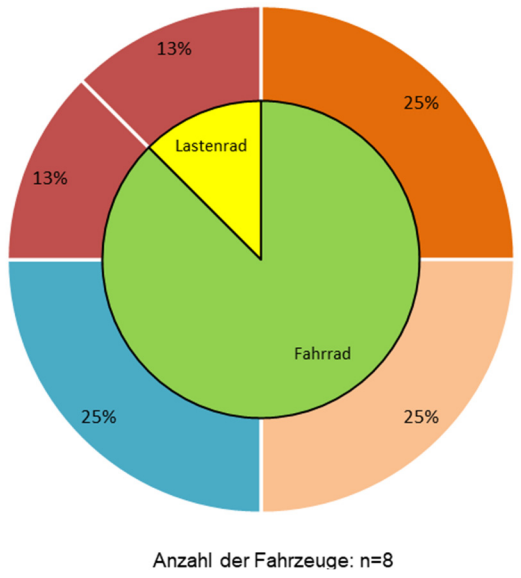
| | | | |
|---|---|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 13911 Kfz/24h | **Angebot Kfz-Verkehr** | Bergauf:1 Fahrstreifen<br>Bergab: 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Bergauf: Radweg ohne Benutzungspflicht, 1,50 m breit<br>Bergab: Radweg ohne Benutzungspflicht, 1,44 m breit | | Piktogramm auf Fahrbahn |
| **Angebot Fußverkehr** | Bergauf: 1,41 m breit, Grünfläche als Trennelement zum Radweg<br>Bergab: 4,50 m breit, Grünfläche als Trennelement zum Radweg | | |
| **Längsneigung** | ± 4,2% | | |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | |
|---|---|---|---|
| 23.09.2020 | 6:30 - 10:30 Uhr | 17.09.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

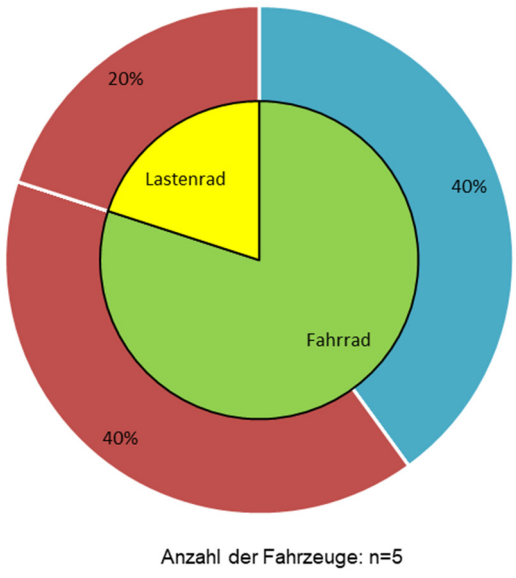
| 0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite) | | | |
|---|---|---|---|
| **Bergauf** | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 540 Kfz/h | 576 Kfz/h | 1,7% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 62 Fz/h | 109 Fz/h | |
| Fußverkehr | 41 Fuß/h | 49 Fuß/h | |
| **Bergab** | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 472 Kfz/h | 600 Kfz/h | 2,4% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 50 Fz/h | 88 Fz/h | |
| Fußverkehr | 73 Fuß/h | 80 Fuß/h | |

| 1. Verkehrsflächenwahl (Routen beim Rechtsabbiegen) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bergauf** | Radweg | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 190 | 8 | 7 | 205 | **97%** |
| Pedelec | 26 | 1 | 0 | 27 | **100%** |
| Lastenrad | 10 | 0 | 1 | 11 | **91%** |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | - |
| **Bergab** | Radweg | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 311 | 5 | 4 | 320 | **99%** |
| Pedelec | 38 | 5 | 0 | 43 | **100%** |
| Lastenrad | 21 | 1 | 0 | 22 | **100%** |
| E-Tretroller | 3 | 0 | 1 | 4 | **75%** |




Anzahl der Fahrzeuge: n=8

**Gründe für Gehwegnutzung bergauf**




Anzahl der Fahrzeuge: n=5

**Gründe für Gehwegnutzung bergab**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren (teilweise Schieben)
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- seitliche Schwankung
- Sonstige

## 2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bergauf am Radweg** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=189) | 14,83 | Pedelec | ohne Anhänger (n=25) | 19,56 |
| | mit Anhänger (n=1) | 14,26 | | mit Anhänger (n=1) | 16,28 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=10) | 20,46 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergauf auf der Fahrbahn** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=8) | 24,49 | Pedelec | ohne Anhänger (n=1) | 29,44 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=0) | - | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergab am Radweg*** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=113) | 24,35 | Pedelec | ohne Anhänger (n=20) | 26,24 |
| | mit Anhänger (n=3) | 20,88 | | mit Anhänger (n=1) | 20,48 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=7) | 26,74 | | E-Tretroller (n=3) | 21,27 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=1) | 15,15 | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergab auf der Fahrbahn*** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=1) | 22,66 | Pedelec | ohne Anhänger (n=2) | 30,28 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=1) | 31,38 | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | - | | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

* Die Strecke erstreckt sich bis zum Knotenpunkt, dabei wurde die Geschwindigkeit der in der Freigabezeit ankommenden Fahrzeuge erfasst.

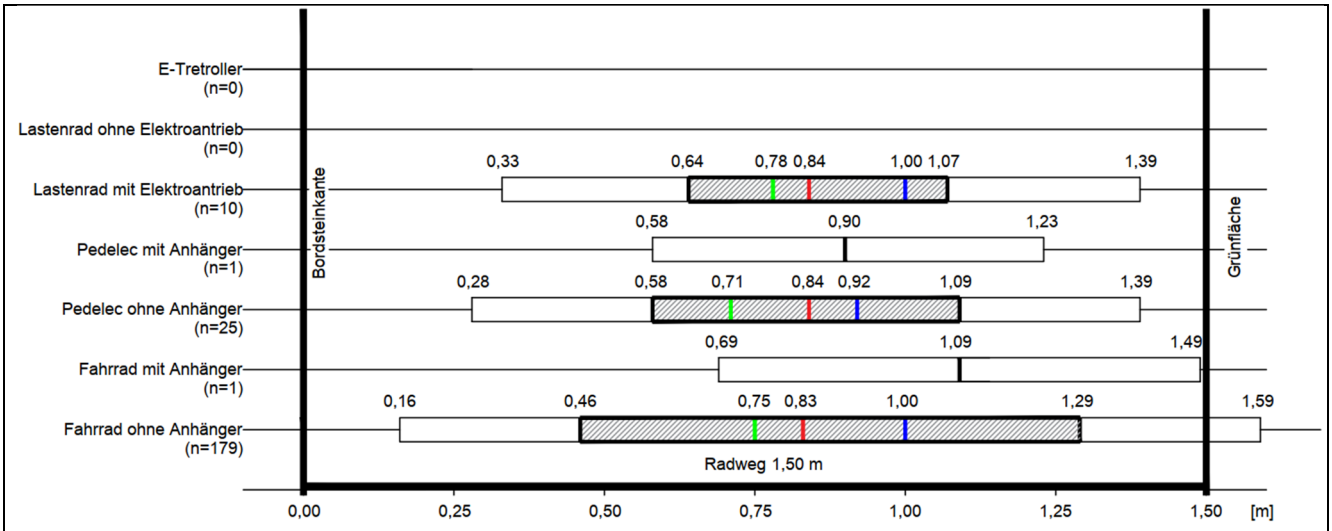
## 3. Seitlicher Schwankung (bergauf)

| | ≤0.30 m | ≥ 0.30 m und < 0.60 m | ≥ 0.60 m und < 0.90 m | ≥ 0.90 m und < 1.20 m | > 1.2 m (mit Gehwegnutzung) |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 118 | 52 | 18 | 2 | 0 |
| Pedelec | 20 | 6 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 7 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

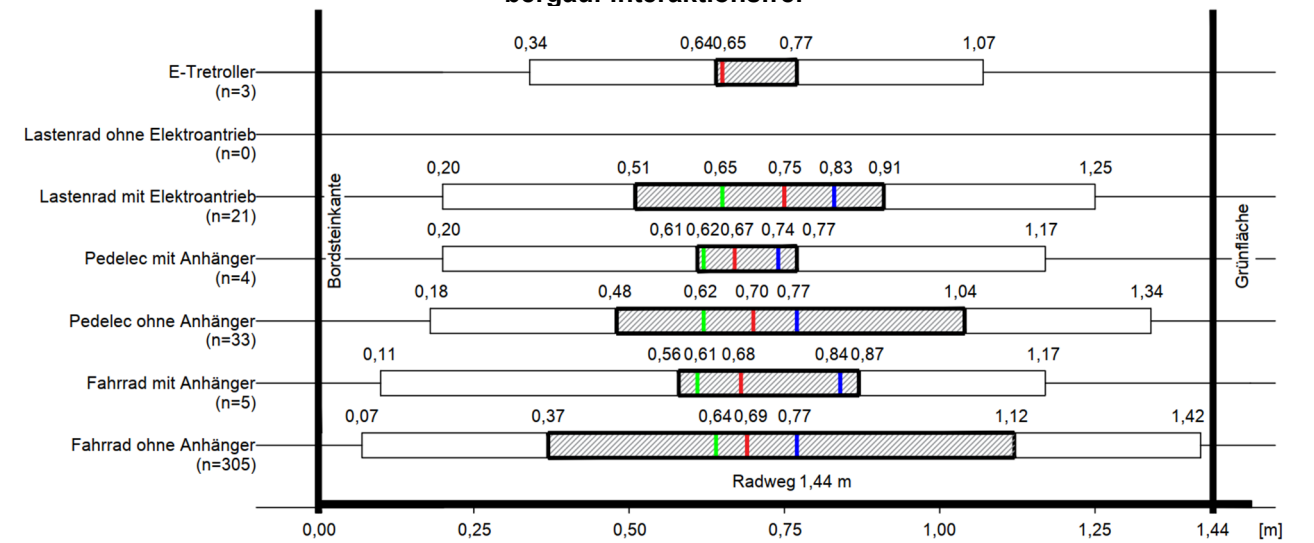
## 4.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bergauf interaktionsfrei** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=179) | 0,86 (0,56) | Pedelec | ohne Anhänger (n=25) | 0,82 (0,52) |
| | mit Anhänger (n=1) | 1,09 (0,69) | | mit Anhänger (n=1) | 0,90 (0,58) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=10) | 0,87 (0,55) | | E-Tretroller (n=0) | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergab interaktionsfrei** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=305) | 0,70 (0,40) | Pedelec | ohne Anhänger (n=33) | 0,70 (0,40) |
| | mit Anhänger (n=5) | 0,71 (0,36) | | mit Anhänger (n=4) | 0,68 (0,38) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=21) | 0,74 (0,44) | | E-Tretroller (n=3) | 0,67 (0,37) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 4.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung




**bergauf interaktionsfrei**




**bergab interaktionsfrei**

## 5. Nebeneinanderfahren und Überholen

| **Bergauf** | **Nebeneinanderfahren** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Anzahl von Nebeneinanderfahren | **Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA** | | **Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA** | | **Summe** |
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| bergauf | 3 | 0 | 0 | **2 (40%)** | 5 |
| bergab | Kein Nebeneinanderfahren wurde erfasst | | | | |

| **Bergab** | **Überholen** | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge (bergauf) | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 2 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **2 [/4h]** |

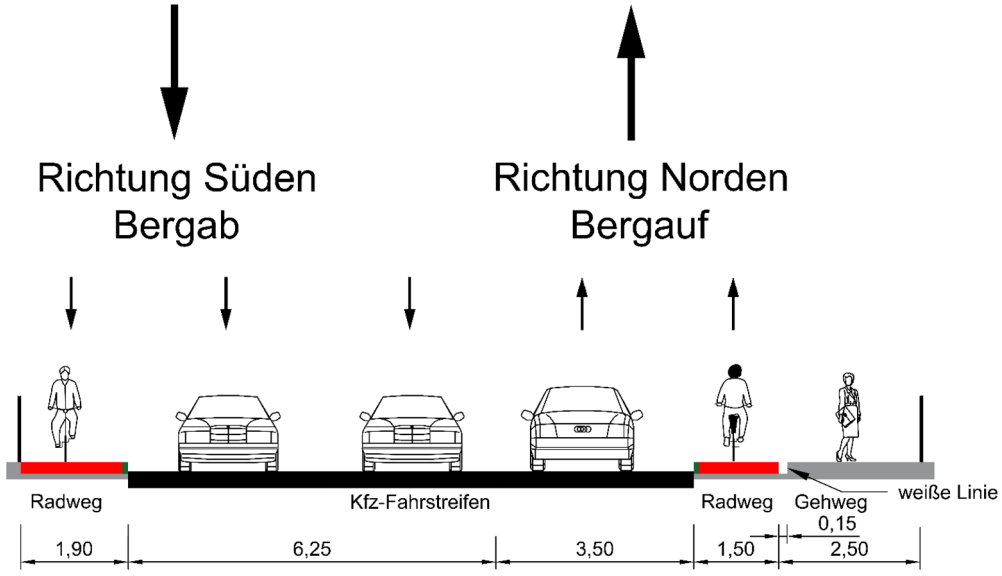
## 6. Interaktionsvorgänge: mit Kfz-Verkehr im Längsverkehr (Überholabstand) (auf Fahrbahn)

| Bergauf | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (1,00 – 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
|---|---|---|---|
| Fahrrad | 2 | 0 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **2 (100%)** | **0 (0%)** | **0 (0%)** |
| Bergab | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (1,00 – 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
| Fahrrad | 2 | 0 | 0 |
| Pedelec | 1 | 0 | 0 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **4 (100%)** | **0 (0%)** | **0 (0%)** |

## Nr. 33 Strecke Emser Brücke Rampe

(Frankfurt am Main)




Einheit: [m]

bergauf

bergab

| | | | |
|---|---|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 9390 Kfz/24h | **Angebot Kfz-Verkehr** | Bergauf: 1 Fahrstreifen<br>Bergauf: 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Bergauf: Radweg mit benutzungspflicht, 1,50 m breite<br>Bergab: Radweg mit Benutzungspflicht, 1,90 m breite | | |
| **Angebot Fußverkehr** | Bergauf: 2,50 m, 0,15 m breite weiße Linie als Trennelement zum Radweg<br>Bergab: kein Gehweg vorhanden | | |
| **Längsneigung** | ± 6,2 – 6,5% | | |

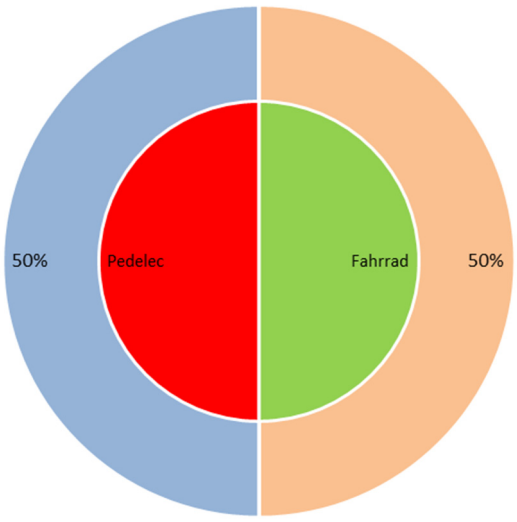
## Ergebnisse der Videoerfassung

| Zeitbereich der Videoerfassung | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 16.09.2019 | 06:30 - 10:30 Uhr | 18.09.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr | 10.09.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr |

| 0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Bergauf** | | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | | 253 Kfz/h | 292 Kfz/h | 3,9% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | | 24 Fz/h | 28 Fz/h | |
| Fußverkehr | während Messe | 178 Fuß/h | 187 Fuß/h | |
| | ohne Messe | 39 Fuß/h | 60 Fuß/h | |
| **Bergab** | | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | | 334 Kfz/h | 404 Kfz/h | 1,8% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | | 9 Fz/h | 17 Fz/h | |
| Fußverkehr (regelwidrig) | | 36 Fuß/h | 50 Fuß/h | |

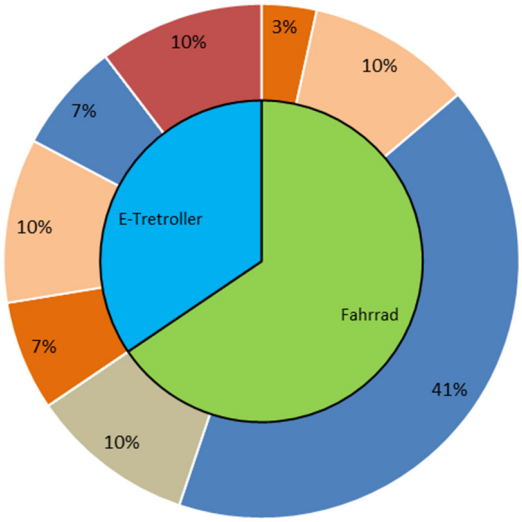
| 1. Verkehrsflächenwahl | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bergauf** | Radweg (①)(②) | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 166 (9) | 1 | 10 | 177 | 94% |
| Pedelec | 23 | 1 | 0 | 24 | 96% |
| Lastenrad | 3 | 0 | 0 | 3 | 100% |
| E-Tretroller | 34 (5) | 0 | 5 | 39 | 87% |
| **Bergab** | Radweg | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vor-geschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 53 | 14 | 0 | 67 | 79% |
| Pedelec | 9 | 4 | 0 | 13 | 69% |
| Lastenrad | 1 | 2 | 0 | 3 | 33% |
| E-Tretroller | 7 | 2 | 0 | 9 | 78% |

**davon ① kurze Gehwegnutzung + Nebeneinander 1; ② kurze Fahrbahnnutzung + Nebeneinanderfahren 1**



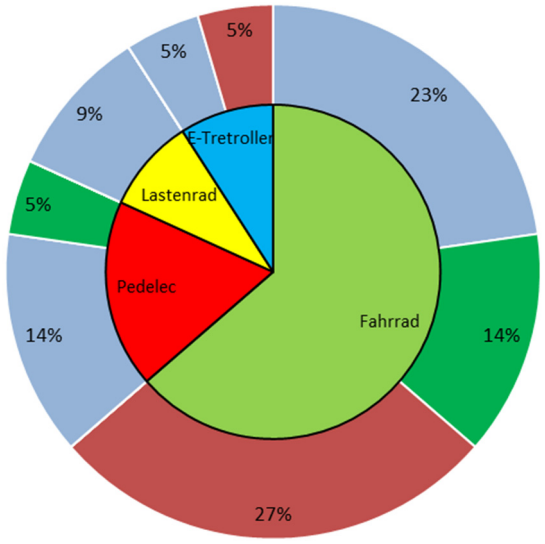

Anzahl der Fahrzeuge: n=2

**Gründe für Fahrbahnnutzung bergauf**




Anzahl der Fahrzeuge: n=29

**Gründe für Gehwegnutzung bergauf**




Anzahl der Fahrzeuge: n=22

**Gründe für Fahrbahnnutzung bergab**

- Überholen
- Nebeneinanderfahren/Gruppen
- Blockierung von RVA
- Ein- und Ausfahrt (zu/ aus Grundstück)
- Ziel und Abfahrt
- schnelles Fahren
- langsames Fahren (teilweise Schieben)
- Kinderbegleitung
- Vermeidung von Fußverkehr
- Vermeidung von Radverkehr in Gegenrichtung
- seitliche Schwankung
- Sonstige

**2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]**

| **Bergauf** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=165) | 13,78 | Pedelec | ohne Anhänger (n=22) | 18,55 |
| | mit Anhänger (n=1) | 9,23 | | mit Anhänger (n=1) | 18,28 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=3) | | 16,86 | E-Tretroller (n=34) | 14,81 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | | - | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | | - | | |
| **Bergab am Radweg** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=53) | 25,09 | Pedelec | ohne Anhänger (n=9) | 27,30 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=1) | | 17,94 | E-Tretroller (n=7) | 21,29 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | | - | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | | - | | |
| **Bergab auf der Fahrbahn** (regelswidrig) | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=13) | 26,49 | Pedelec | ohne Anhänger (n=4) | 29,88 |
| | mit Anhänger (n=1) | 24,56 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb Zweiräder (n=2) | | 30,46 | E-Tretroller (n=2) | 21,30 |
| | mit Elektroantrieb Dreiräder (n=0) | | - | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | | - | | |

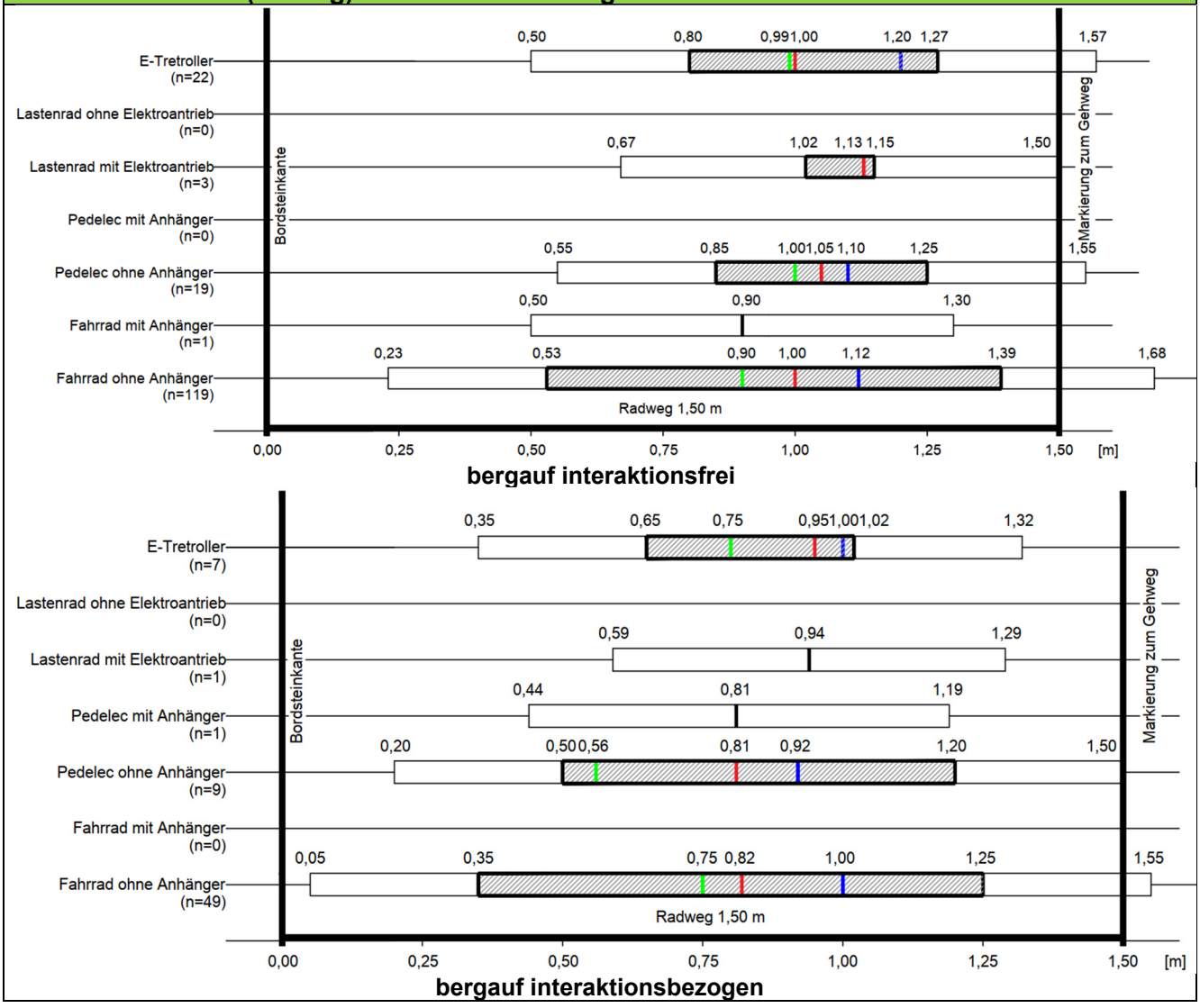
**3. Seitlicher Schwankung (bergauf)**

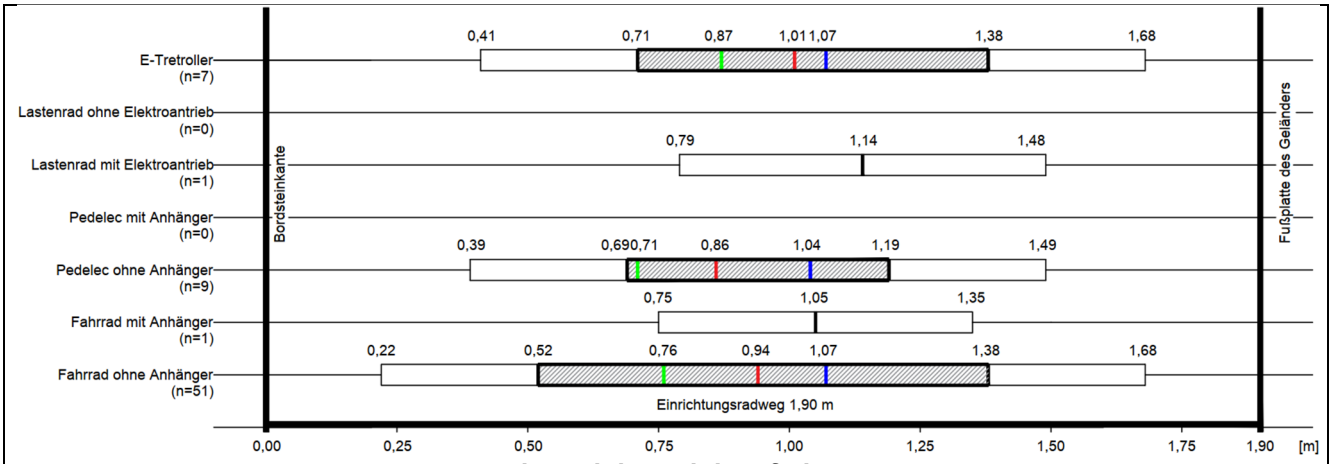
| | ≤0.30 m | ≥ 0.30 m und < 0.60 m | ≥ 0.60 m und < 0.90 m | ≥ 0.90 m und < 1.20 m | > 1.2 m (mit Gehwegnutzung) |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 63 | 52 | 41 | 7 | 3 |
| Pedelec | 19 | 3 | 1 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 2 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 28 | 4 | 2 | 0 | 0 |

**4.1 Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf die Mittelachse (bezogen auf den zur Bordsteinkante zugewandten Fahrzeugüberhang) [m]**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Bergauf interaktionsfrei** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=119) | 0,99 (0,69) | Pedelec | ohne Anhänger (n=19) | 1,04 (0,74) |
| | mit Anhänger (n=1) | 0,90 (0,50) | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 1,10 (0,75) | E-Tretroller (n=22) | | 1,07 (0,77) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergauf interaktionsbezogen** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=49) | 0,85 (0,55) | Pedelec | ohne Anhänger (n=9) | 0,77 (0,47) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 0,81 (0,59) |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 0,82 (0,59) | E-Tretroller (n=7) | | 0,87 (0,57) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Bergab interaktionsfrei** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=51) | 0,93 (0,63) | Pedelec | ohne Anhänger (n=9) | 0,89 (0,59) |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 1,14 (0,89) | E-Tretroller (n=7) | | 1,01 (0,71) |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## 4.2 Positionswahl (alleinig): Positionsverteilung






**bergab interaktionsfrei**

## 5. Nebeneinanderfahren und Überholen

### Nebeneinanderfahren

| Anzahl von Nebeneinanderfahren | Nebeneinanderfahren außerhalb von RVA | | Nebeneinanderfahren innerhalb von RVA | | Summe |
|---|---|---|---|---|---|
| | zum Teil außerhalb von RVA | komplett außerhalb von RVA | innerhalb von RVA versetzt | **innerhalb von RVA nicht versetzt(Anteil)** | |
| bergauf | 6 | 1 | 0 | **0 (0%)** | 7 |

### Überholen

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Anzahl der Überholvorgänge | abgebrochenes Überholen | 0 | erfolgreiches Überholen (außerhalb von RVA) | 3 |
| | erfolgreiches Überholen (Überholte gestört) | 0 | erfolgreiches Überholen (sonstige) | 0 (0%) |
| | **Summe Überholbedarf** | | | **3 [/12h]** |

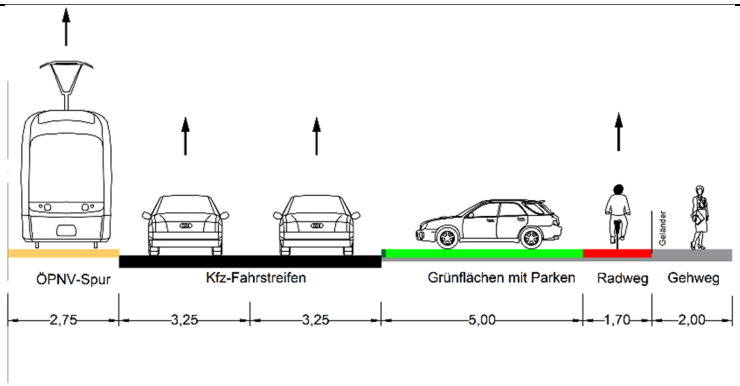
| Überholabstand | **Überholende** | **Überholte** | **Brutto-Überholabstand (Netto-Überholabstand) [m]** |
|---|---|---|---|
| | | | ② |
| | Fahrrad ohne Anhänger | Fahrrad ohne Anhänger | 1,50 (0,90) (n=1) |
| | E-Tretroller | Fahrrad ohne Anhänger | 1,76 (1,16) (n=2) |

## 6. Interaktionsvorgänge: mit Fußverkehr

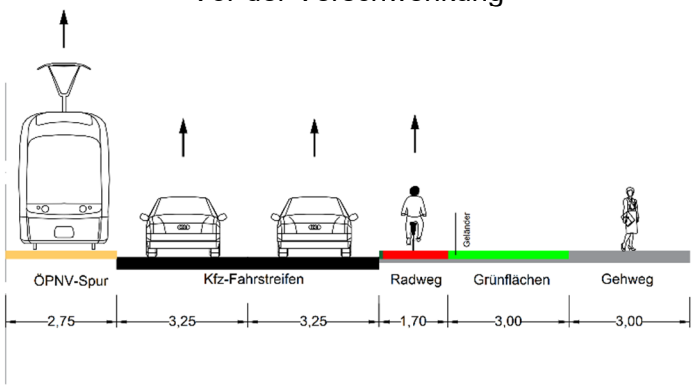
| **Bergauf** | Normalverhalten | positive Reaktion (B 0) | K I | K II | B I | B II |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 42 | 2 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Pedelec | 8 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 5 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **56** | **4** | **5** | **0** | **0** | **0** |

## Nr. 34 Strecke Eckenheimer Landstraße - Radweg mit Verschwenkung

(zwischen Adickesallee - Malapertstraße, Frankfurt am Main)




Vor der Verschwenkung




Nach der Verschwenkung
Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 28400 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | 1,70 m breiter Radweg mit Benutzungspflicht (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungs-pflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,20 m breit mit mittelstarker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahnlinien auf be-sonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | ja (zwischen Geh- und Rad-weg),mit schwachen Park-vorgängen |
| **Längsneigung** | -1,5% |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |
| **Radius** | kleiner Radius |
| **Winkel** | stumpfer Winkel |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 24.09.2020 | 6:30 – 10:30 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)** | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 589 Kfz/h | 617 Kfz/h | 2,8% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 160 Fz/h | 244 Fz/h | |
| Fußverkehr | 28 Fuß/h | 35 Fuß/h | |

| **1. Verkehrsflächenwahl** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Radweg | Fahrbahn | Gehweg | Summe | Anteil der Annahme von vorgeschriebenen Flächen |
| Fahrrad | 499 | 12 | 8 | 519 | 96% |
| Pedelec | 64 | 2 | 0 | 66 | 97% |
| Lastenrad | 15 | 0 | 0 | 15 | 100% |
| E-Tretroller | 9 | 0 | 0 | 9 | 100% |

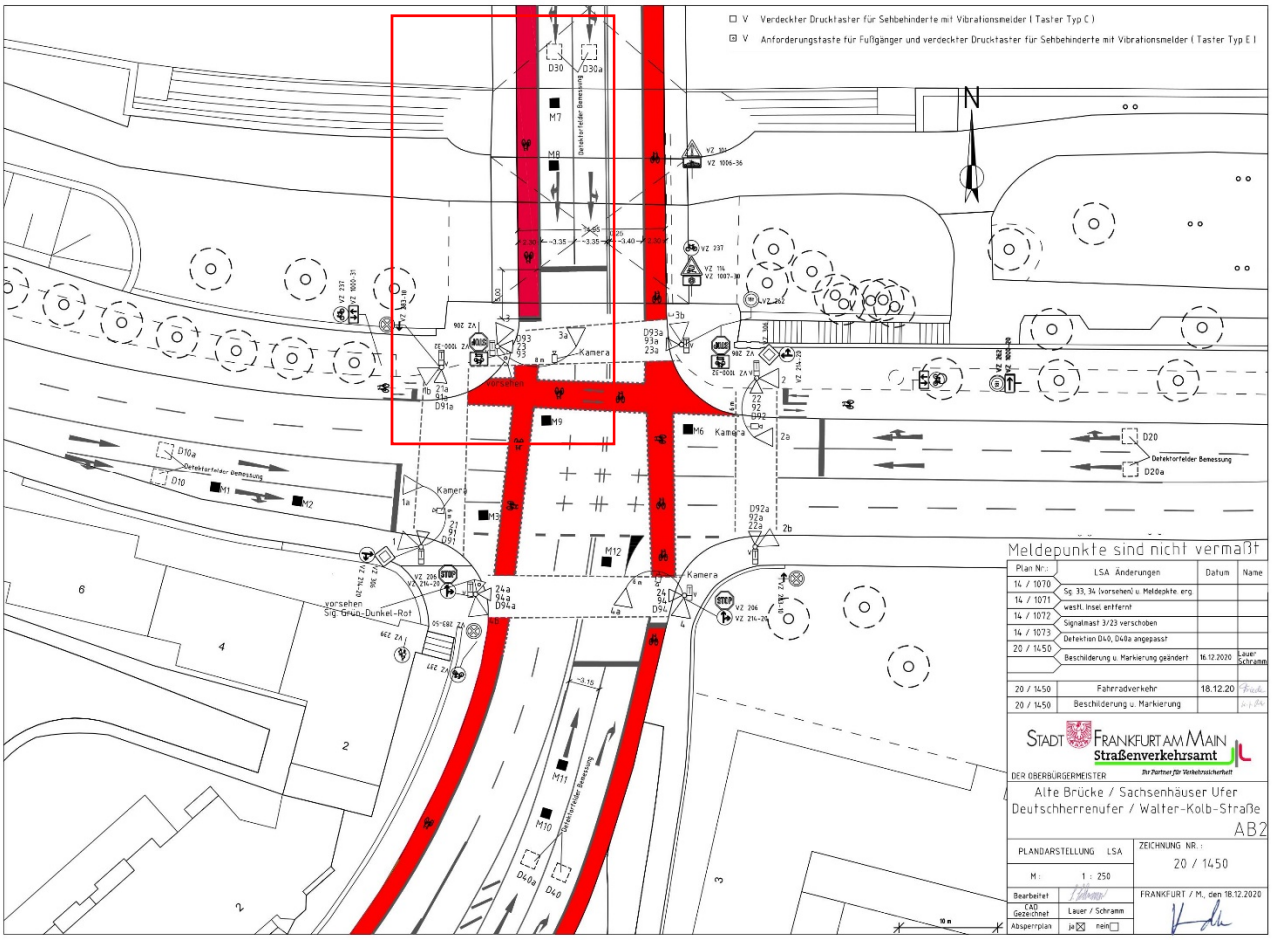
| **2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=495) | 22,22 | Pedelec | ohne Anhänger (n=63) | 23,05 |
| | mit Anhänger (n=4) | 18,72 | | mit Anhänger (n=1) | 17,51 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=15) | 20,38 | E-Tretroller (n=9) | | 21,50 |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

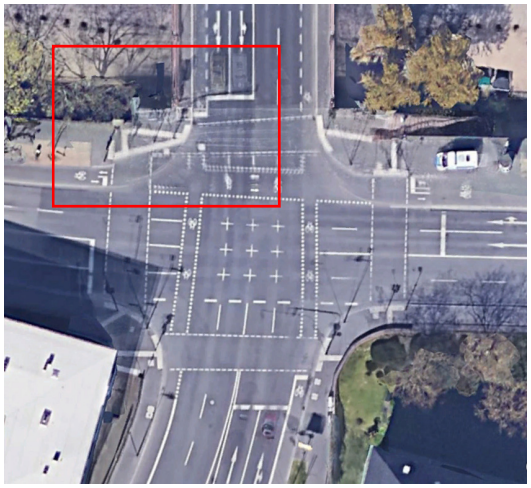
| **3. Positionswahl (alleinig): durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf Mittelachse [m]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=495) | 1,10 | Pedelec | ohne Anhänger (n=63) | 1,08 |
| | mit Anhänger (n=4) | 1,10 | | mit Anhänger (n=1) | 0,95 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=15) | 1,02 | E-Tretroller (n=9) | | 1,02 |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

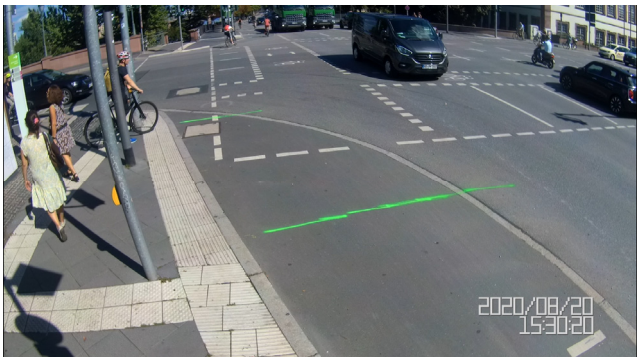
| Geschwin-digkeit | durchschnittlicher Abstand zur Bordsteinkante bezogen auf Mittelachse in Abhängigkeit von Geschwindigkeitsniveau [m] | | | |
|---|---|---|---|---|
| 17-20 km/h | Fahrrad ohne Anhänger (n=102) | 1,12 | Pedelec ohne Anhänger (n=12) | 1,09 |
| | Lastenrad mit Elektroantrieb (n=6) | 1,12 | E-Tretroller (n=2) | 0,98 |
| 20-23 km/h | Fahrrad ohne Anhänger (n=152) | 1,11 | Pedelec ohne Anhänger (n=14) | 1,13 |
| | Lastenrad mit Elektroantrieb (n=6) | 0,99 | E-Tretroller (n=6) | 1,11 |
| 23-26 km/h | Fahrrad ohne Anhänger (n=127) | 1,11 | Pedelec ohne Anhänger (n=17) | 1,15 |
| | Lastenrad mit Elektroantrieb (n=2) | 0,62 | E-Tretroller (n=1) | 0.61 |

## Nr. 35 Knotenpunkt Alte Brücke Rechtsabbiegen

(Knotenpunkt Alte Brücke - Sachsenhäuser Ufer - Walter-Kolb-Straße - Deutschherrnufer, Frankfurt am Main)






| | | | |
|---|---|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 7907 Kfz/24h | **Angebot Kfz** | 1 Mischfahrstreifen (geradeaus + rechtsabbiegen)<br>1 Mischfahrstreifen (geradeaus + linksabbiegen) |
| **Angebot Radverkehr** | vom Schutzstreifen zum nicht abgesetzten Zweirichtungsradweg | | |
| **Radius** | großzügiger (5 - 8 m nach Routen des Radverkehrs) | **Winkel** | rechter Winkel |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 20.08.2020 | 15:00 -19:00 Uhr | 24.08.2020 | 15:00 -19:00 Uhr | 07.09.2020 | 15:00 -19:00 Uhr |

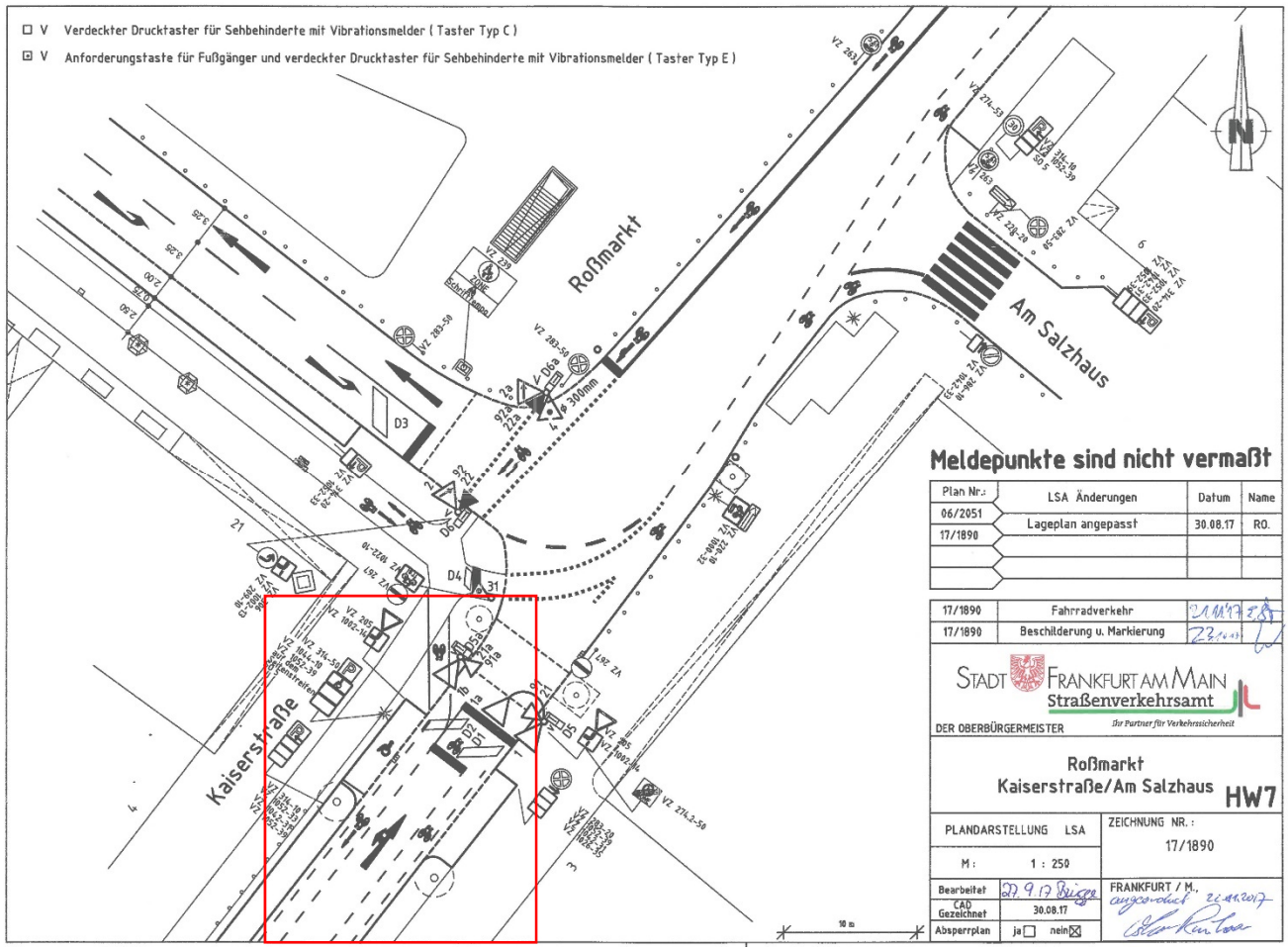
| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr | 645 Kfz/h | 588 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 40 Fz/h | 48 Fz/h |

| **1. Verkehrsflächenwahl (Routen beim Rechtsabbiegen)** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Route 1 | Route 2 | Route 3 | Summe | Anteil der Route 1 |
| Fahrrad | 320 | 84 | 9 | 413 | 77% |
| Pedelec | 19 | 5 | 3 | 27 | 70% |
| Lastenrad | 4 | 2 | 0 | 6 | 67% |
| E-Tretroller | 16 | 5 | 0 | 21 | 76% |

| **2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** (in Abhängigkeit von Routen) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=339) | 17,79 | Pedelec | ohne Anhänger (n=19) | 17,46 |
| | mit Anhänger (n=2) | 17,55 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=6) | 16,59 | E-Tretroller (n=16) | | 14,80 |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| Route 1 | | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=260) | 17,33 | Pedelec | ohne Anhänger (n=14) | 15,78 |
| | mit Anhänger (n=2) | 17,55 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 14,86 | E-Tretroller (n=13) | | 14,86 |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| Route 2 | | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=75) | 18,97 | Pedelec | ohne Anhänger (n=3) | 20,44 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=2) | 18,62 | E-Tretroller (n=3) | | 14,59 |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| Route 3 | | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=4) | 24,82 | Pedelec | ohne Anhänger (n=2) | 24,74 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=0) | - | E-Tretroller (n=0) | | - |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

## Nr. 36 Knotenpunktzufahrt Kaiserstraße von Westen

(Knotenpunkt: Kaiserstraße - Roßmarkt, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 3056 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Mischfahrstreifen (geradeaus + linksabbiegen) |
| **Aufgeweiteten Radaufstellstreifen** | |
| Länge | 4,0 m |
| Breite | über einen Fahrstreifen (ca. 5,00 m) |
| **zuführender Radverkehrsstreifen** | |
| Länge | ca. 25 m |
| Breite | 1,25 m + 0,50 m Sicherheitstrennstreifen |
| **Parkstände** | Ja, mit häufigen Ein- und Ausparkvorgängen |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 22.06.2020 | 15:00 - 17:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr | 188 Kfz/h | 221 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 281 Fz/h | 353 Fz/h |

| **1. Allgemeines Aufstellverhalten** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 397 | 35 | 29 |
| Pedelec | 30 | 7 | 0 |
| Lastenrad | 6 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 14 | 0 | 3 |
| **Summe** | **447** | **43** | **32** |

| **Sonderauswertung: Allgemeines Aufstellverhalten ohne erste in der Sperrzeit ankommende Nutzende** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 397 | 15 | 29 |
| Pedelec | 30 | 3 | 0 |
| Lastenrad | 6 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 14 | 0 | 3 |
| **Summe** | **447** | **19** | **32** |

| **2. Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen** (N: Anzahl der Umlaufzeit) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Schlangenlänge / Belegung in Querrichtung | innerhalb von ARAS | bis zu 5 m | bis zu 10 m | bis zu 15 m |
| 1 m | 49 | 41 | 14 | 1 |
| 2 m | 10 | 17 | 5 | 0 |
| 3 m | 2 | 1 | 2 | 1 |
| 4 m | 0 | 0 | 0 | 1 |

| **3. Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden** | | | |
|---|---|---|---|
| | Aufstellen vorran an ARAS | Aufstellen hinten an ARAS | Aufstellen an zuführenden Radverkehrsstreifen |
| Fahrrad | 53 | 36 | 206 |
| Pedelec | 5 | 2 | 20 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 3 |
| E-Tretroller | 3 | 1 | 7 |
| Summe | **62** | **39** | **236** |

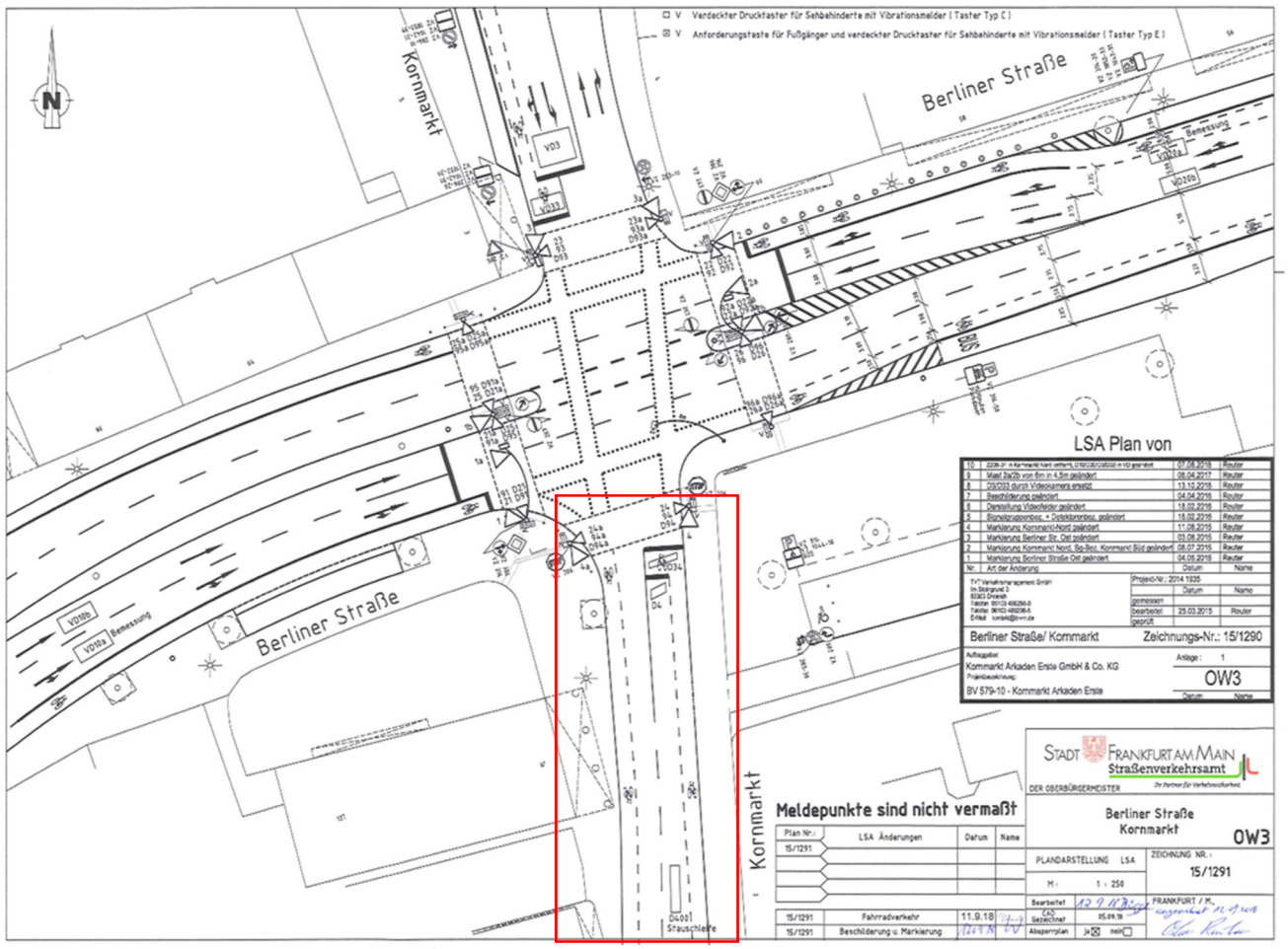
| **Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollernutzenden in Abhängigkeit von den „Bedingungen“** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | reibungsloses erreichen | kanalisieren zwischen abgestellten Fahrzeugen | schwierig zu erreichen |
| Aufstellen vorran an ARAS | Fahrrad | 29 | 15 | 9 |
| | Pedelec | 2 | 2 | 1 |
| | Lastenrad | 0 | 0 | 1 |
| | E-Tretroller | 0 | 2 | 1 |
| Aufstellen an zuführenden | Fahrrad | 62 | 51 | 91 |
| | Pedelec | 2 | 3 | 14 |
| | Lastenrad | 1 | 1 | 1 |
| | E-Tretroller | 1 | 2 | 4 |

**4. Zugänglichkeit zum aufgeweiteten Radaufstellstreifen**

| | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe I | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe I | andere Konflikte Stufe I | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe II | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe II | andere Konflikte Stufe II | B I | B II | BR | BQ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 159 | 19 | 5 | 19 | 14 | 2 | 80% | 15% | 95% | 21,9 |
| Pedelec | 9 | 3 | 0 | 1 | 1 | 0 | 80% | 20% | 100% | 20,8 |
| Lastenrad | 2 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 60% | 40% | 100% | 35,7 |
| E-Tretroller | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 88% | 13% | 100% | 21,1 |
| **Summe** | **176** | **24** | **5** | **22** | **15** | **3** | 79% | 16% | 95% | 21,9 |

## Nr. 37 Knotenpunktzufahrt Kornmarkt von Süden

(Knotenpunkt: Berliner Straße - Kornmarkt, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 2060 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Mischfahrstreifen für alle Richtungen |
| **Aufgeweiteten Radaufstellstreifen** | |
| Länge | 3,0 m |
| Breite | über einen Fahrstreifen (ca. 4,50 m) |
| **zuführender Radverkehrsstreifen** | |
| Länge | durchgehend |
| Breite | 1,50 m |
| **Parkstände** | Nein |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 24.06.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr | 147 Kfz/h | 150 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 39 Fz/h | 43 Fz/h |

| **1. Allgemeines Aufstellverhalten** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 59 | 28 | 12 |
| Pedelec | 6 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 3 | 2 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 2 | 2 |
| **Summe** | **68** | **33** | **14** |

| **Sonderauswertung: Allgemeines Aufstellverhalten ohne erste in der Sperrzeit ankommende Nutzende** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 59 | 3 | 12 |
| Pedelec | 6 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 3 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 2 |
| **Summe** | **68** | **3** | **14** |

| **2. Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen** (N:Anzahl der Umlaufzeit) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Schlangenlänge / Belegung in Querrichtung | innerhalb von ARAS | bis zu 5 m | bis zu 10 m | bis zu 15 m |
| 1 m | 50 | 9 | 0 | 0 |
| 2 m | 1 | 0 | 2 | 0 |
| 3 m | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 m | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **3. Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden** | | | |
|---|---|---|---|
| | Aufstellen vorran an ARAS | Aufstellen hinten an ARAS | Aufstellen an zuführenden Radverkehrsstreifen |
| Fahrrad | 2 | 11 | 10 |
| Pedelec | 0 | 3 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| Summe | **2** | **14** | **11** |

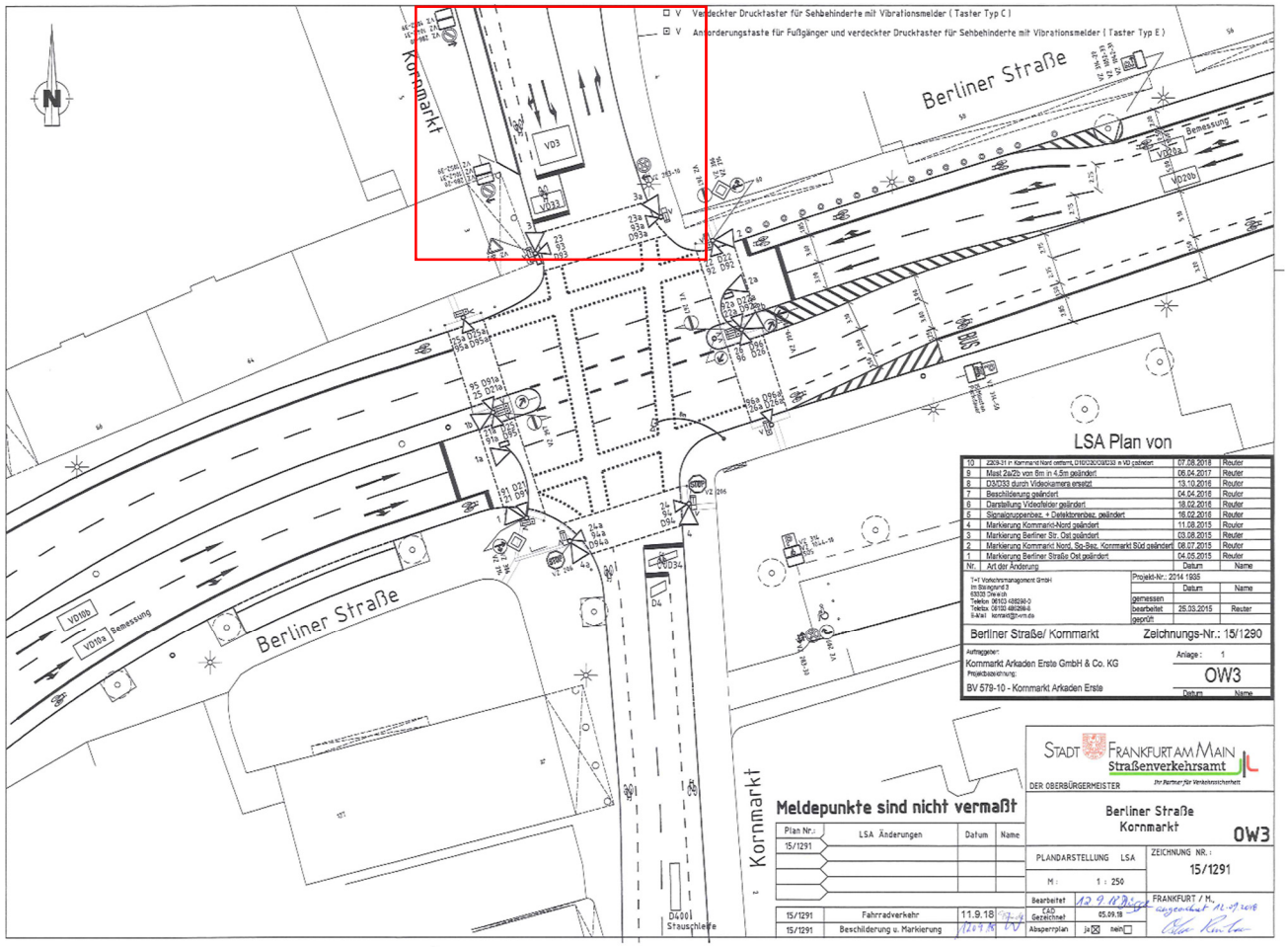
| **Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollernutzenden in Abhängigkeit von den „Bedingungen“** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | reibungsloses erreichen | kanalisieren zwischen abgestellten Fahrzeugen | schwierig zu erreichen |
| Aufstellen vorran an ARAS | Fahrrad | 2 | 0 | 0 |
| | Pedelec | 0 | 0 | 0 |
| | Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| | E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| Aufstellen an zuführenden | Fahrrad | 4 | 3 | 3 |
| | Pedelec | 2 | 1 | 1 |
| | Lastenrad | 0 | 0 | 1 |
| | E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |

| **4. Zugänglichkeit zum aufgeweiteten Radaufstellstreifen** |
|---|

| | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe I | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe I | andere Konflikte Stufe I | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe II | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe II | andere Konflikte Stufe II | B I | B II | BR | BQ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 75% | 25% | 100% | 2,9 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| **Summe** | **3** | **0** | **0** | **1** | **0** | **0** | 75% | 25% | 100% | 2,6 |

## Nr. 38 Knotenpunktzufahrt Kornmarkt von Norden

(Knotenpunkt: Berliner Straße - Kornmarkt, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 4850 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Mischfahrstreifen (gerade-aus + rechtsabbiegen)<br>1 Linksabbiegestreifen |
| **Aufgeweiteten Radaufstellstreifen** | |
| Länge | 5,0 m |
| Breite | über einen Teil des Kfz-Fahrstreifens (ca. 4,25 m) |
| **zuführender Radverkehrsstreifen** | |
| Länge | ca. 40 m |
| Breite | 1,50 m + 0,50 m Sicherheitstrennstreifen |
| **Parkstände** | Ja, mit geringeren Ein- und Ausparkvorgängen |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 23.06.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr | 383 Kfz/h | 448 Kfz/h |
| Kfz-Verkehr (geradeaus) | 191 Kfz/h | 228 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 80 Fz/h | 104 Fz/h |

| **1. Allgemeines Aufstellverhalten** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 141 | 24 | 6 |
| Pedelec | 8 | 1 | 1 |
| Lastenrad | 3 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 10 | 5 | 9 |
| **Summe** | **162** | **31** | **16** |

| **Sonderauswertung: Allgemeines Aufstellverhalten ohne erste in der Sperrzeit ankommende Nutzende** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 140 | 6 | 6 |
| Pedelec | 8 | 0 | 1 |
| Lastenrad | 3 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 10 | 1 | 9 |
| **Summe** | **161** | **7** | **16** |

| **2. Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen** (N: Anzahl der Umlaufzeit) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Schlangenlänge / Belegung in Querrichtung | innerhalb von ARAS | bis zu 5 m | bis zu 10 m | bis zu 15 m |
| 1 m | 49 | 0 | 8 | 1 |
| 2 m | 14 | 0 | 1 | 1 |
| 3 m | 2 | 0 | 2 | 0 |
| 4 m | 1 | 0 | 0 | 0 |

| **3. Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden** | | | |
|---|---|---|---|
| | Aufstellen vorran an ARAS | Aufstellen hinten an ARAS | Aufstellen an zuführenden Radverkehrsstreifen |
| Fahrrad | 22 | 20 | 25 |
| Pedelec | 0 | 1 | 1 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 6 | 2 | 1 |
| Summe | **28** | **23** | **27** |

| **Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollernutzenden in Abhängigkeit von den „Bedingungen“** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | reibungsloses erreichen | kanalisieren zwischen abgestellten Fahrzeugen | schwierig zu erreichen |
| Aufstellen vorran an ARAS | Fahrrad | 16 | 4 | 2 |
| | Pedelec | 0 | 0 | 0 |
| | Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| | E-Tretroller | 3 | 3 | 0 |
| Aufstellen an zuführenden | Fahrrad | 6 | 2 | 17 |
| | Pedelec | 0 | 0 | 1 |
| | Lastenrad | 0 | 0 | 1 |
| | E-Tretroller | 0 | 1 | 0 |

**4. Zugänglichkeit zum aufgeweiteten Radaufstellstreifen**

| | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe I | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe I | andere Konflikte Stufe I | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe II | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe II | andere Konflikte Stufe II | B I | B II | BR | BQ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 13 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0 | 67% | 13% | 79% | 7,1 |
| Pedelec | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100% | 0% | 100% | 11,8 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100% | 0% | 100% | 3,3 |
| **Summe** | **16** | **3** | **0** | **3** | **0** | **0** | 69% | 12% | 81% | 6,9 |

**5. Routenwahl des Linksabbiegen**

| | Direktes Linksabbiegen | Direktes Linksabbiegen mit Nutzung von ARAS | indirektes Linksabbiegen | Nutzung der Fußgängerfurt quer zur Knotenpunktzufahrt | Nutzung der Fußgängerfurt parallel zur Knotenpunktzufahrt |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 37 | 7 | 1 | 8 | 0 |
| Pedelec | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |

**6. Zeitlücke**

| | ≤ 1 s | 1-2 s | 2-3 s | 3-4 s | 4-5 s |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Pedelec | 0 | 2 | 0 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**7. Position der Einordnung**

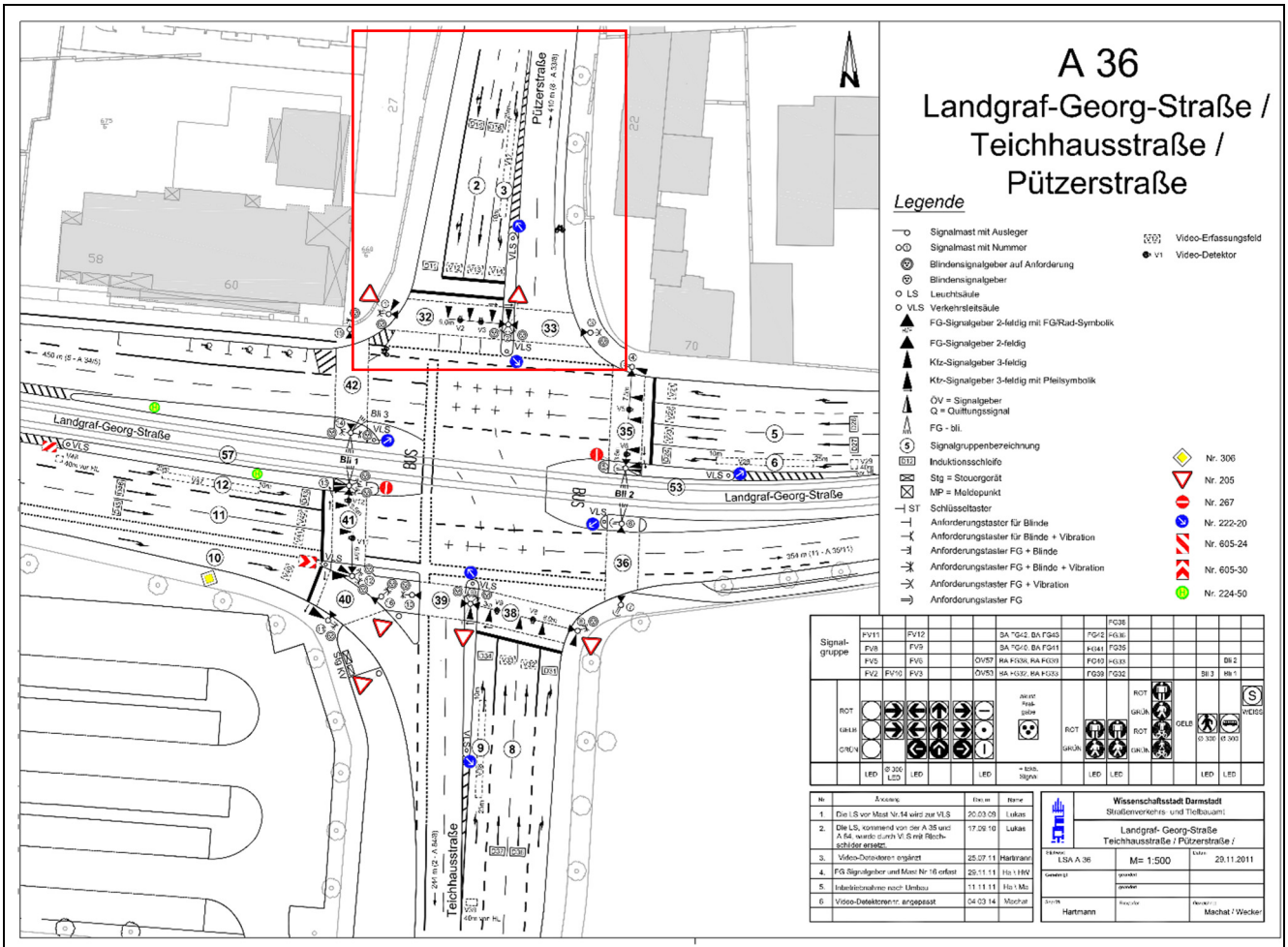
| | ≤ 20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | > 100 m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 5 | 17 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pedelec | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

**8. Verhalten beim Einordnen**

| | nichts | nur Handzeiger | nur Umsehen | Handzeiger und Umsehen |
|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | 0 | 0 | 18 | 1 |
| Pedelec | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Nr. 39 Knotenpunktzufahrt Pützer Straße von Norden

(Knotenpunkt: Landgraf-Georg-Straße - Pützer Straße - Teichhausstraße, Darmstadt)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 5744 Kfz/24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsignalanlagen |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Mischfahrstreifen (geradeaus + rechtsabbiegen)<br>1 Geradeausfahrstreifen<br>1 Linksabbiegestreifen |
| **Aufgeweiteten Radaufstellstreifen** | |
| Länge | 2,5 m |
| Breite | über alle Richtungsfahrstreifen (ca. 15 m) |
| **zuführender Radverkehrsstreifen** | |
| Länge | durchgehend |
| Breite | 2,0 - 2,5 m |
| **Parkstände** | Nein |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 28.05.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr | 524 Kfz/h | 649 Kfz/h |
| Kfz-Verkehr (geradeaus) | 376 Kfz/h | 449 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 56 Fz/h | 61 Fz/h |

| **1. Allgemeines Aufstellverhalten** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 90 | 9 | 6 |
| Pedelec | 15 | 3 | 1 |
| Lastenrad | 4 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **109** | **13** | **7** |

| **Sonderauswertung: Allgemeines Aufstellverhalten ohne erste in der Sperrzeit ankommende Nutzende** | | | |
|---|---|---|---|
| | innerhalb von ARAS oder auf den zuführenden Radverkehrsstreifen | deutlich außerhalb von ARAS (mehr als 1 m) | Nutzung von Gehweg/ Fußgängerfurt |
| Fahrrad | 90 | 5 | 6 |
| Pedelec | 15 | 3 | 1 |
| Lastenrad | 4 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **109** | **8** | **7** |

| **2. Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen** (N: Anzahl der Umlaufzeit) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Schlangenlänge / Belegung in Querrichtung | innerhalb von ARAS | bis zu 5 m | bis zu 10 m | bis zu 15 m |
| 1 m | 5 | 2 | 0 | 0 |
| 2 m | 19 | 11 | 0 | 0 |
| 3 m | 10 | 6 | 0 | 0 |
| 4 m | 0 | 0 | 0 | 0 |

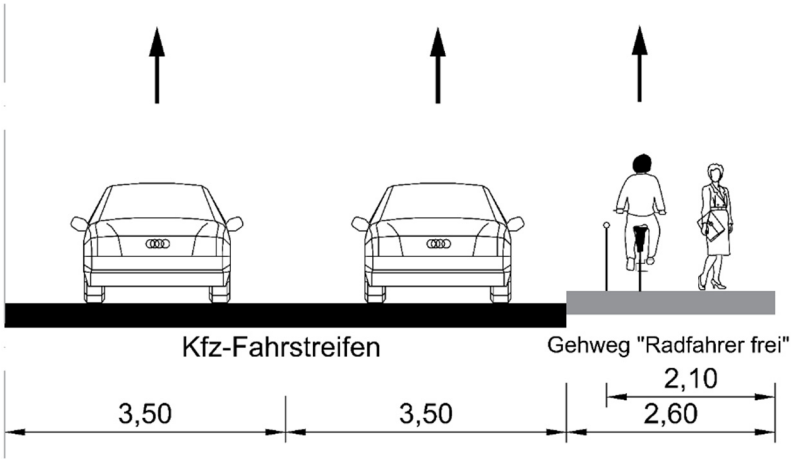
| **3. Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden** | | | |
|---|---|---|---|
| | Aufstellen vorran an ARAS | Aufstellen hinten an ARAS | Aufstellen an zuführenden Radverkehrsstreifen |
| Fahrrad | 12 | 0 | 22 |
| Pedelec | 5 | 1 | 4 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 2 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| Summe | **17** | **1** | **28** |

| **Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollernutzenden in Abhängigkeit von den „Bedingungen“** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | reibungsloses erreichen | kanalisieren zwischen abgestellten Fahrzeugen | schwierig zu erreichen |
| Aufstellen vorran an ARAS | Fahrrad | 10 | 0 | 0 |
| | Pedelec | 5 | 0 | 0 |
| | Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| | E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| Aufstellen an zuführenden | Fahrrad | 19 | 0 | 2 |
| | Pedelec | 1 | 3 | 0 |
| | Lastenrad | 0 | 1 | 1 |
| | E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |

| 4. Zugänglichkeit zum aufgeweiteten Radaufstellstreifen | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe I | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe I | andere Konflikte Stufe I | Beeinflusst durch ruhenden Verkehr Stufe II | Beeinflusst durch fließenden Verkehr im Stau Stufe II | andere Konflikte Stufe II | B I | B II | BR | BQ |
| Fahrrad | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100% | 0% | 100% | 2,9 |
| Pedelec | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100% | 0% | 100% | 2,4 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Summe | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100% | 0% | 100% | 2,7 |

## Nr. 40 Strecke Kasinostraße von Norden

(zwischen Bismarckstraße und Friedrichstraße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 20226 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Gehweg „Radfahrer frei“ + Mischverkehr mit Piktogramm; (Führungsform Vorstrecke: Radweg mit Benutzungspflicht) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,60 m breit (2,10 m netto breit) mit mittelstarker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | keine ÖPNV vorhanden |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 17.07.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)** | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 680 Kfz/h | 751 Kfz/h | 2,5% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 59 Fz/h | 75 Fz/h | |
| Fußverkehr | 77 Fuß/h | 103 Fuß/h | |

| Erhobene Gehwegnutzende | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uhrzeit | Anzahl der Radfah-renden (inkl. E-Tret-rollerfahrenden) | Anzahl der zu Fuß Gehenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden |
| 15:00-16:00 | 41 | 64 | 105 | 39% |
| 16:00-17:00 | 57 | 97 | 154 | 37% |
| 17:00-18:00 | 53 | 85 | 138 | 38% |
| 18:00-19:00 | 51 | 61 | 112 | 46% |

| **1. Verkehrsflächenwahl** | | |
|---|---|---|
| | Fahrbahn (Mischverkehr) | Gehweg „Radfahrer frei“ |
| Fahrrad | 34 | 135 |
| Pedelec | 8 | 29 |
| Lastenrad | 4 | 3 |
| E-Tretroller | 0 | 0 |

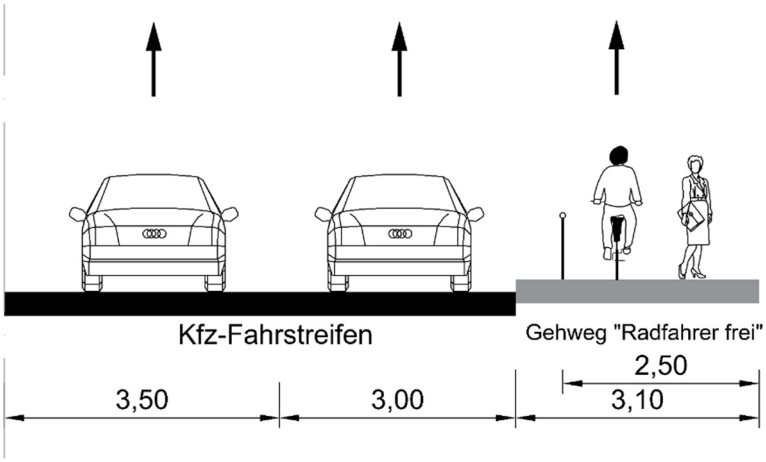
| **2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Am Gehweg** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=132) | 17,50 | Pedelec | ohne Anhänger (n=27) | 21,67 |
| | mit Anhänger (n=0) | | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 23,35 | E-Tretroller | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Auf der Fahrbahn** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=33) | 23,08 | Pedelec | ohne Anhänger (n=8) | 26,50 |
| | mit Anhänger (n=1) | 16,01 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=3) | 27,01 | E-Tretroller | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=1) | 19,29 | | | |

| **3.1 Interaktion mit Fußverkehr** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Normalver-halten | Positive Re-aktion (B 0) | KS I | B I | KS II | B II |
| Fahrrad | 44 | 6 | 17 | 8 | 1 | 1 |
| Pedelec | 2 | 0 | 12 | 1 | 0 | 2 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **47** | **6** | **29** | **10** | **1** | **3** |

| **3.2 Interaktion mit Kfz im Längsverkehr (Überholabstand)** | | | |
|---|---|---|---|
| | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (≥ 1,00 m und < 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
| Fahrrad | 8 | 1 | 0 |
| Pedelec | 5 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **13 (93%)** | **1 (7%)** | **0 (0%)** |

## Nr. 41 Strecke Groß-Gerauer Weg in Richtung Nordosten

(zwischen Holzhofallee und Eschollbrücker Straße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 11690 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Gehweg „Radfahrer frei“ + Mischverkehr mit Piktogramm; (Führungsform Vorstrecke: Radfahrstreifen) |
| **Angebot Fußverkehr** | 3,10 m breit (2,50 m netto breit) mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Buslinie hat keine eigene Busspur |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | Keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | Keine (im Betrachtungsbereich) |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 25.07.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)** | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{ax}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 756 Kfz/h | 823 Kfz/h | 3,2% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 78 Fz/h | 107 Fz/h | |
| Fußverkehr | 30 Fuß/h | 39 Fuß/h | |

| Erhobene Gehwegnutzende | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uhrzeit | Anzahl der Radfah-renden (inkl. E-Tret-rollerfahrenden) | Anzahl der zu Fuß Gehenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden |
| 15:00-16:00 | 51 | 39 | 90 | 57% |
| 16:00-17:00 | 48 | 22 | 70 | 69% |
| 17:00-18:00 | 97 | 38 | 135 | 72% |
| 18:00-19:00 | 80 | 22 | 102 | 78% |

| **1. Verkehrsflächenwahl** | | |
|---|---|---|
| | Fahrbahn (Mischverkehr) | Gehweg „Rad-fahrer frei“ |
| Fahrrad | 34 | 135 |
| Pedelec | 8 | 29 |
| Lastenrad | 4 | 3 |
| E-Tretroller | 0 | 0 |

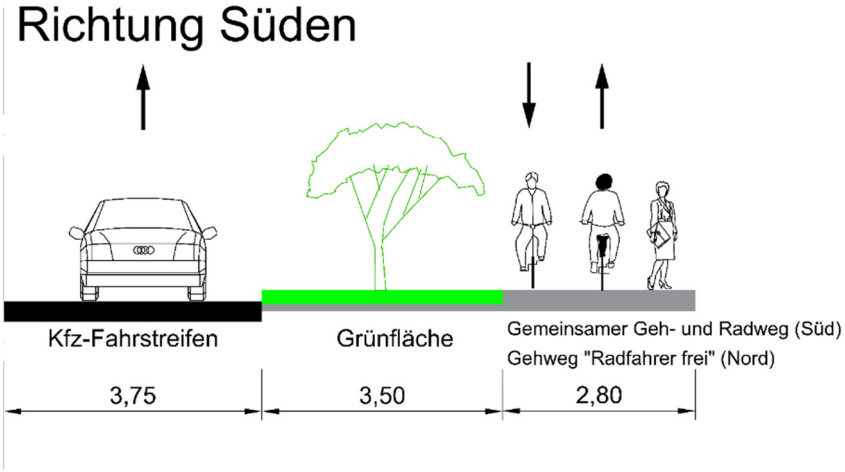
| **2. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Am Gehweg** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=224) | 17,85 | Pedelec | ohne Anhänger (n=32) | 20,53 |
| | mit Anhänger (n=1) | 15,46 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 20,56 | E-Tretroller | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |
| **Auf der Fahrbahn** | | | | | |
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=30) | 21,26 | Pedelec | ohne Anhänger (n=2) | 25,62 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=1) | 22,19 | E-Tretroller | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=0) | - | | | |

| **3.1 Interaktion mit Fußverkehr** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Normalver-halten | Positive Re-aktion (B 0) | KS I | B I | KS II | B II |
| Fahrrad | 20 | 2 | 3 | 2 | 1 | 3 |
| Pedelec | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **25** | **2** | **4** | **2** | **1** | **3** |

| **3.2 Interaktion mit Kfz im Längsverkehr (Überholabstand)** | | | |
|---|---|---|---|
| | nicht kritisch (≥ 1,50 m) | KS I (≥ 1,00 m und < 1,50 m) | KS II (< 1,00 m) |
| Fahrrad | 7 | 0 | 3 |
| Pedelec | 1 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **9 (75%)** | **0 (0%)** | **3 (25%)** |

## Nr. 42 Strecke Kavalleriesand von Norden

(zwischen Rheinstraße und Mina-Rees-Straße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 13778 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Ri Süd: gemeinsamer Geh- und Radweg<br>Ri Nord: Gehweg „Radfahrer frei“<br>(Führungsform Vorstrecke: gemeinsamer Geh- und Radweg (Süd); Gehweg „Radfahrer frei“ (Nord)) |
| **Angebot Fußverkehr** | 2,80 m breit mit starker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Buslinie hat keine eigene Busspur |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 07.05.2019 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)** | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 390 Kfz/h | 393 Kfz/h | 6,4% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 60 Fz/h | 74 Fz/h | |
| Fußverkehr | 288 Fuß/h | 376 Fuß/h | |

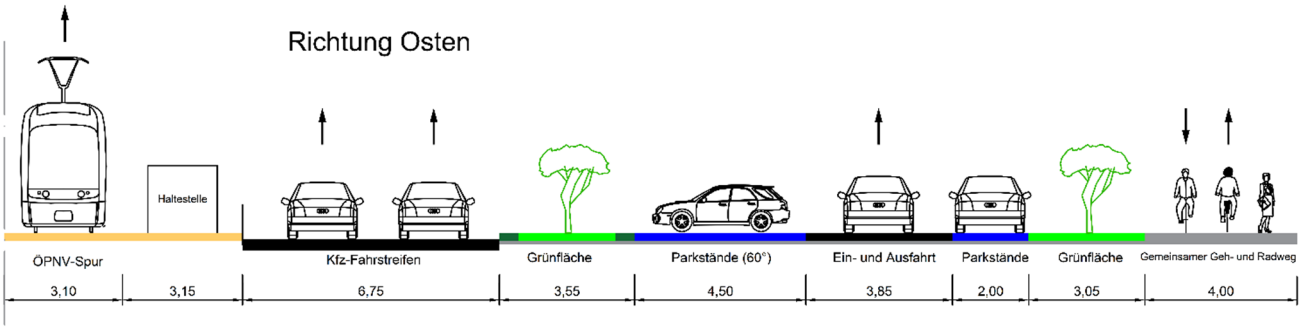
| Erhobene Gehwegnutzende | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uhrzeit | Anzahl der Radfah-renden (inkl. E-Tret-rollerfahrenden) | Anzahl der zu Fuß Gehenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden |
| 15:00-16:00 | 42 | 187 | 229 | 18% |
| 16:00-17:00 | 56 | 318 | 374 | 15% |
| 17:00-18:00 | 81 | 376 | 457 | 18% |
| 18:00-19:00 | 60 | 269 | 329 | 18% |

| **1. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=194) | 15,42 | Pedelec | ohne Anhänger (n=15) | 19,41 |
| | mit Anhänger (n=0) | - | | mit Anhänger (n=1) | 16,28 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=5) | 17,24 | E-Tretroller | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=3) | 13,29 | | | |

| **2. Interaktion mit Fußverkehr** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Normalver-halten | Positive Re-aktion (B 0) | KS I | B I | KS II | B II |
| Fahrrad | 143 | 8 | 19 | 18 | 1 | 5 |
| Pedelec | 11 | 2 | 5 | 2 | 1 | 2 |
| Lastenrad | 3 | 0 | 4 | 2 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **157** | **10** | **28** | **22** | **2** | **7** |

## Nr. 43 Strecke Rheinstraße 3 von Westen

(zwischen Berliner Allee und Hindenburger Straße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 26099 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | gemeinsamer Geh- und Radweg (zwei Richtung) (Führungsform Vorstrecke: gemeinsamer Geh- und Radweg) |
| **Angebot Fußverkehr** | 4,00 m breit mit starker Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahn-/ Buslinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 24.05.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)** | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 789 Kfz/h | 1905 Kfz/h | 4,3% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 89 Fz/h | 136 Fz/h | |
| Fußverkehr | 189 Fuß/h | 259 Fuß/h | |

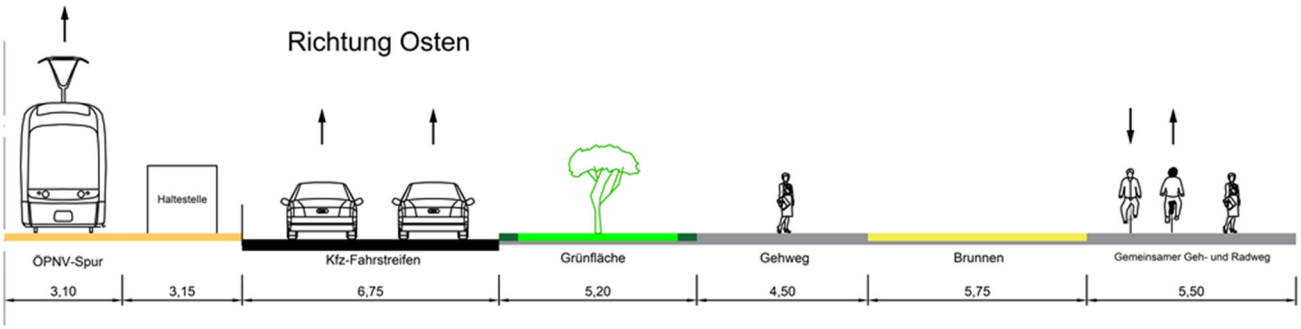
| Erhobene Gehwegnutzende | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uhrzeit | Anzahl der Radfah-renden (inkl. E-Tret-rollerfahrenden) | Anzahl der zu Fuß Gehenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden |
| 6:30-7:00 | 24 | 30 | 54 | 44% |
| 7:00-8:00 | 79 | 186 | 265 | 30% |
| 8:00-9:00 | 136 | 259 | 395 | 34% |
| 9:00-10:00 | 97 | 190 | 287 | 51% |
| 10:00-10:30 | 18 | 92 | 110 | 16% |

| **1. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=304) | 18,06 | Pedelec | ohne Anhänger (n=30) | 20,26 |
| | mit Anhänger (n=2) | 15,86 | | mit Anhänger (n=0) | - |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=12) | 20,68 | E-Tretroller | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=3) | 14,34 | | | |

| **2. Interaktion mit Fußverkehr** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Normalver-halten | Positive Re-aktion (B 0) | KS I | B I | KS II | B II |
| Fahrrad | 64 | 7 | 7 | 15 | 0 | 1 |
| Pedelec | 9 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 3 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **76** | **9** | **9** | **18** | **0** | **1** |

## Nr. 44 Strecken Rheinstraße 4 von Westen

(zwischen Berliner Allee und Hindenburger Straße, Darmstadt)




Einheit: [m]

| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (DTV)** | 26099 Kfz/24h |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | gemeinsamer Geh- und Radweg (zwei Richtung); (Führungsform Vorstrecke: gemeinsamer Geh- und Radweg) |
| **Angebot Fußverkehr** | 5,50 m breit mit schwacher Belastung |
| **Angebot ÖPNV** | Straßenbahn-/ Buslinien auf besonderem Bahnkörper |
| **Parken Kfz** | keine |
| **Längsneigung** | keine bemerkbare Längsneigung |
| **Grundstückein- und ausfahrt** | keine |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 10.05.2019 | 6:30 - 10:30 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Betrachtungsstraßenseite)** | | | |
|---|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstunden-werte $Q_{max}$ | SV-Anteil |
| Kfz-Verkehr | 837 Kfz/h | 942 Kfz/h | 3,5% |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) | 71 Fz/h | 111 Fz/h | |
| Fußverkehr | 38 Fuß/h | 50 Fuß/h | |

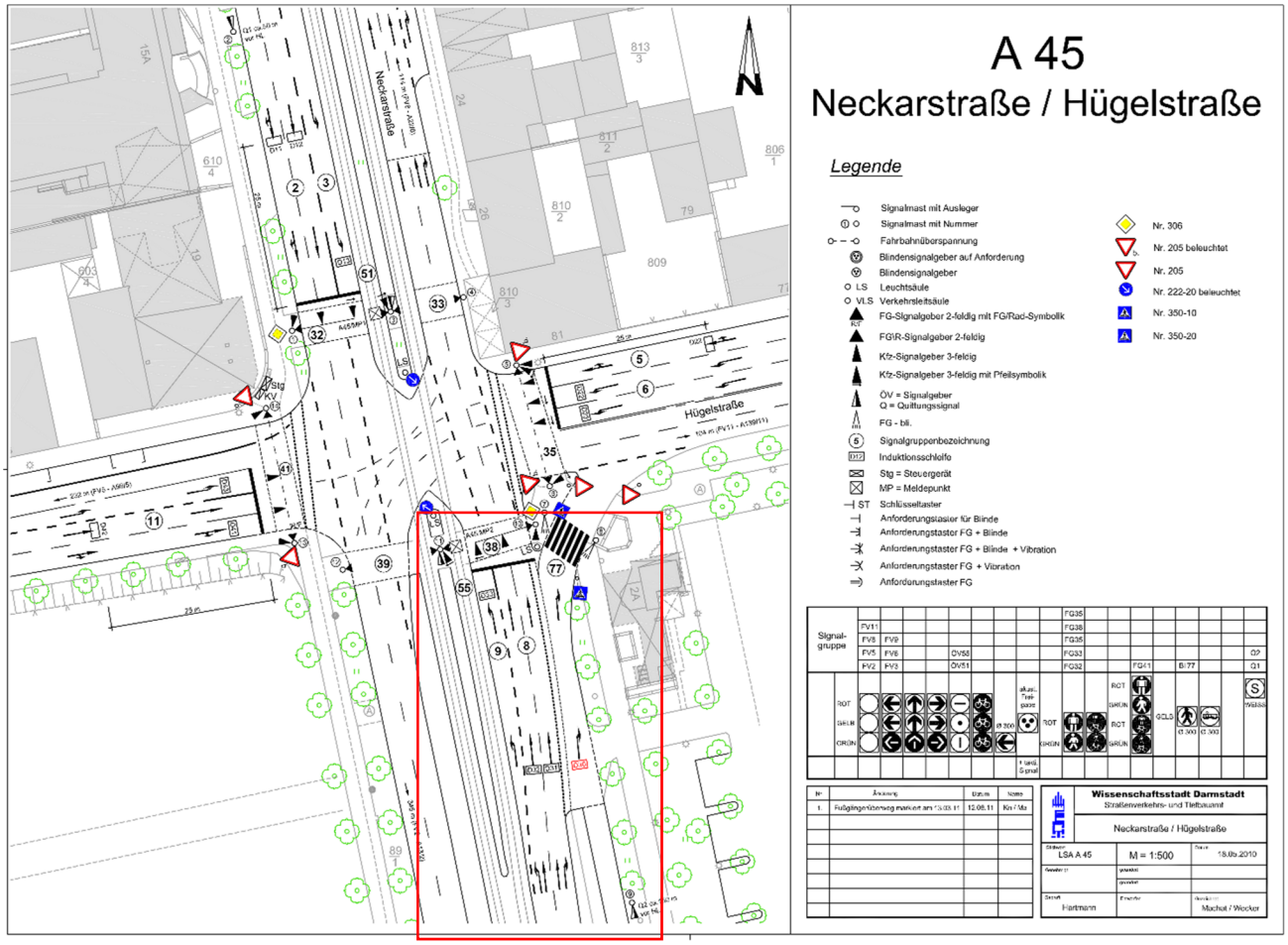
| Erhobene Gehwegnutzende | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Uhrzeit | Anzahl der Radfah-renden (inkl. E-Tret-rollerfahrenden) | Anzahl der zu Fuß Gehenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden | Anteil der Radfah-renden zu Gesamt-gehwegnutzenden |
| 6:30-7:00 | 13 | 5 | 18 | 72% |
| 7:00-8:00 | 85 | 45 | 130 | 65% |
| 8:00-9:00 | 111 | 43 | 154 | 72% |
| 9:00-10:00 | 60 | 40 | 100 | 60% |
| 10:00-10:30 | 12 | 19 | 31 | 39% |

| **1. Durchschnittliche Geschwindigkeit [km/h]** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Fahrrad | ohne Anhänger (n=260) | 19,09 | Pedelec | ohne Anhänger (n=12) | 22,16 |
| | mit Anhänger (n=1) | 12,11 | | mit Anhänger (n=2) | 20,62 |
| Lastenrad | mit Elektroantrieb (n=4) | 16,57 | E-Tretroller | | |
| | ohne Elektroantrieb (n=4) | 12,91 | | | |

| **2. Interaktion mit Fußverkehr** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Normalver-halten | Positive Re-aktion (B 0) | KS I | B I | KS II | B II |
| Fahrrad | 40 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Pedelec | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **45** | **2** | **1** | **1** | **0** | **0** |

## Nr. 45 Knotenpunktzufahrt Heidelberger Straße von Süden

(Knotenpunkt: Neckarstraße - Hügelstraße - Heidelberger Straße, Darmstadt)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 8663 Kfz/24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsigan-lanlage |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Rechtsabbiegestreifen<br>2 Geradeausfahrstreifen<br>1 Linksaabbiegestreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen (in Mittel-lage) mit Dreiecksinsel |
| **Breite des Rad-fahrstreifens** | 1,50 m (inkl. Markierung) |
| **Länge des Rad-fahrstreifens** | ca. 40 m |

## Ergebnisse der Videoerfassung

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 31.08.2020 | 06:30 - 10:30 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (rechtsabbiegen) | 173 Kfz/h | 200 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (geradeaus) | 85 Fz/h | 120 Fz/h |

| **1. $V_{85}$-Geschwindigkeit [km/h]**[1)] | | | |
|---|---|---|---|
| Fahrrad ohne Anhänger (n= 116) | 22,79 | Pedelec ohne Anhänger (n=22) | 25,46 |
| Summe (n=144)[2)] | 23,54 | Anteil der neuen Fahrzeuge | 18% |

[1)] $V_{85}$-Geschwindigkeit dient zur Auswertung der Einfahrgeschwindigkeit, daher werden nur die in der Freigabezeit ankommenden Fahrzeug erfasst. [2)] „Summe“ beinhaltet alle Fahrzeuge, die an Radverkehrsanlagen benutzen dürfen.

| **2. Vorfahrtgewähren** | | |
|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
| Fahrrad | 61 | 44 |
| Pedelec | 8 | 5 |
| Lastenrad | 1 | 1 |
| E-Tretroller | 1 | 0 |
| **Summe** | **71** | **50** |

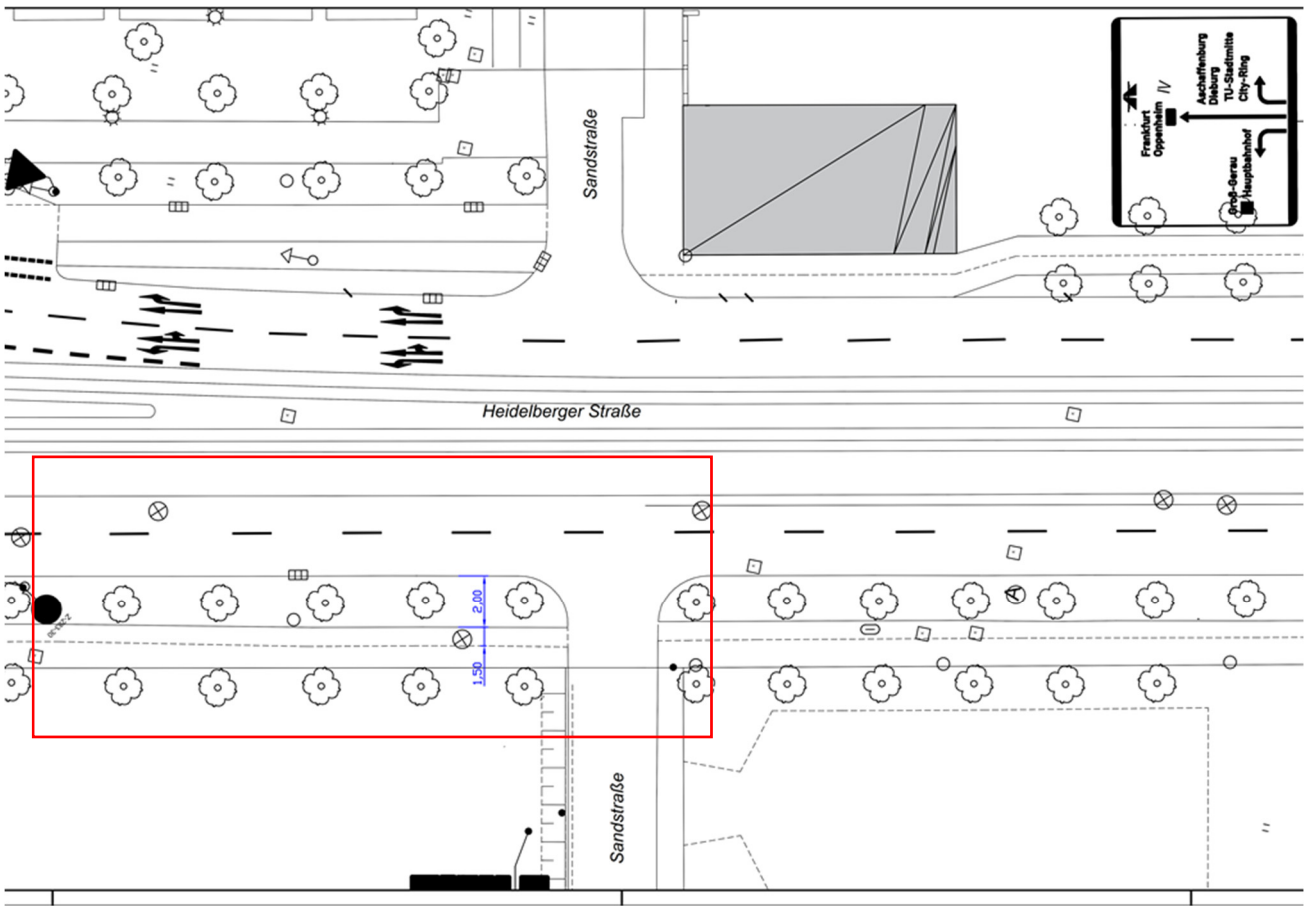
| **3. PET-Wert** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s |
| Fahrrad | 23 | 27 | 2 | 5 | 10 | 17 |
| Pedelec | 3 | 3 | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **26** | **31** | **2** | **6** | **12** | **17** |

| **4.1 Interaktion: mit rechtsabbiegenden Kfz** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | Normal-verhalten | B I | B II | Normal-verhalten | B I | B II |
| Fahrrad | 55 | 5 | 1 | 40 | 3 | 1 |
| Pedelec | 6 | 2 | 0 | 4 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **63** | **7** | **1** | **45** | **4** | **1** |

| **4.2 Interaktion: mit Kfz im Längsverkehr (Überholabstand)** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 0,50 m | 0,50 - 1,00 m | 1,00 - 1,50 m | ≥ 1,50 m |
| Fahrrad | 2 | 8 | 1 | 3 |
| Pedelec | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 1 | 9 |
| **Summe** | **2** | **9** | **1** | **3** |

## Nr. 46 Knotenpunktzufahrt Heidelberger Straße von Norden

(Knotenpunkt: Heidelberger Straße - Sandstraße)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 8454 Kfz/24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Vorfahrtsregeln |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Kfz-Fahrstreifen |
| **Angebot Radverkehr** | abgesetzter Radweg ohne Benutzungspflicht |
| **Breite des zuführenden Radwegs** | 1,50 m |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | | | |
|---|---|---|---|
| 25.06.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr | 28.05.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (rechtsabbiegen) | 22 Kfz/h | 24 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (geradeaus) | 80 Fz/h | 117 Fz/h |

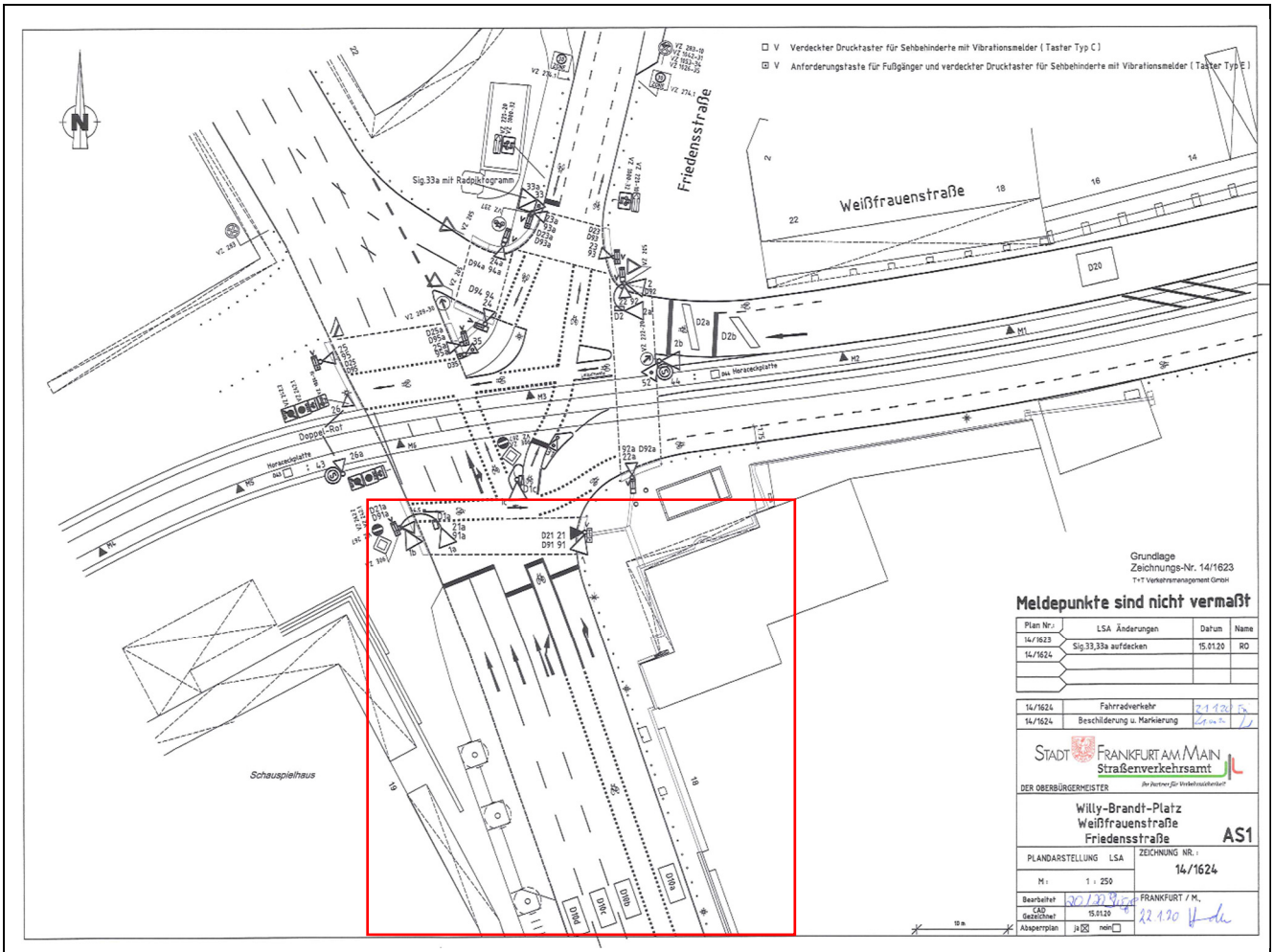
| **1. Vorfahrtgewähren** | | |
|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
| Fahrrad | 42 | 17 |
| Pedelec | 6 | 4 |
| Lastenrad | 1 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 0 |
| **Summe** | **49** | **22** |

| **2. PET-Wert** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s |
| Fahrrad | 1 | 19 | 10 | 4 | 5 | 5 |
| Pedelec | 0 | 1 | 2 | 0 | 1 | 2 |
| Lastenrad | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **1** | **21** | **12** | **4** | **6** | **7** |

| **3. Interaktion: mit rechtsabbiegenden Kfz** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | Normal-verhalten | B I | B II | Normal-verhalten | B I | B II |
| Fahrrad | 40 | 2 | 0 | 13 | 4 | 0 |
| Pedelec | 6 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **47** | **2** | **0** | **17** | **5** | **0** |

## Nr. 47 Knotenpunktzufahrt Neue Mainzer Straße von Süden

(Knotenpunkt: Willy-Brandt-Platz, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 17500 Kfz/24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsig-anlanlage |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Geradeausfahrstreifen<br>1 Mischfahrstreifen (gera-deaus+ rechtsabbiegen)<br>1 Rechtsabbiegestreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen in Mittel-lage |
| **Breite des Rad-fahrstreifens** | 2,10 m (inkl. Markierung) |
| **Länge des Rad-fahrstreifens** | ca. 100 m |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 23.07.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (rechtsabbiegen) | 302 Kfz/h | 331 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (geradeaus) | 180 Fz/h | 241 Fz/h |

| **1. Vorfahrtgewähren** | | |
|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
| Fahrrad | 161 | 167 |
| Pedelec | 11 | 12 |
| Lastenrad | 5 | 3 |
| E-Tretroller | 7 | 11 |
| **Summe** | **184** | **193** |

| **2. PET-Wert** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s |
| Fahrrad | 62 | 52 | 30 | 14 | 61 | 59 |
| Pedelec | 4 | 4 | 1 | 1 | 6 | 3 |
| Lastenrad | 2 | 2 | 1 | 0 | 2 | 1 |
| E-Tretroller | 3 | 0 | 4 | 0 | 6 | 4 |
| **Summe** | **71** | **58** | **36** | **15** | **75** | **67** |

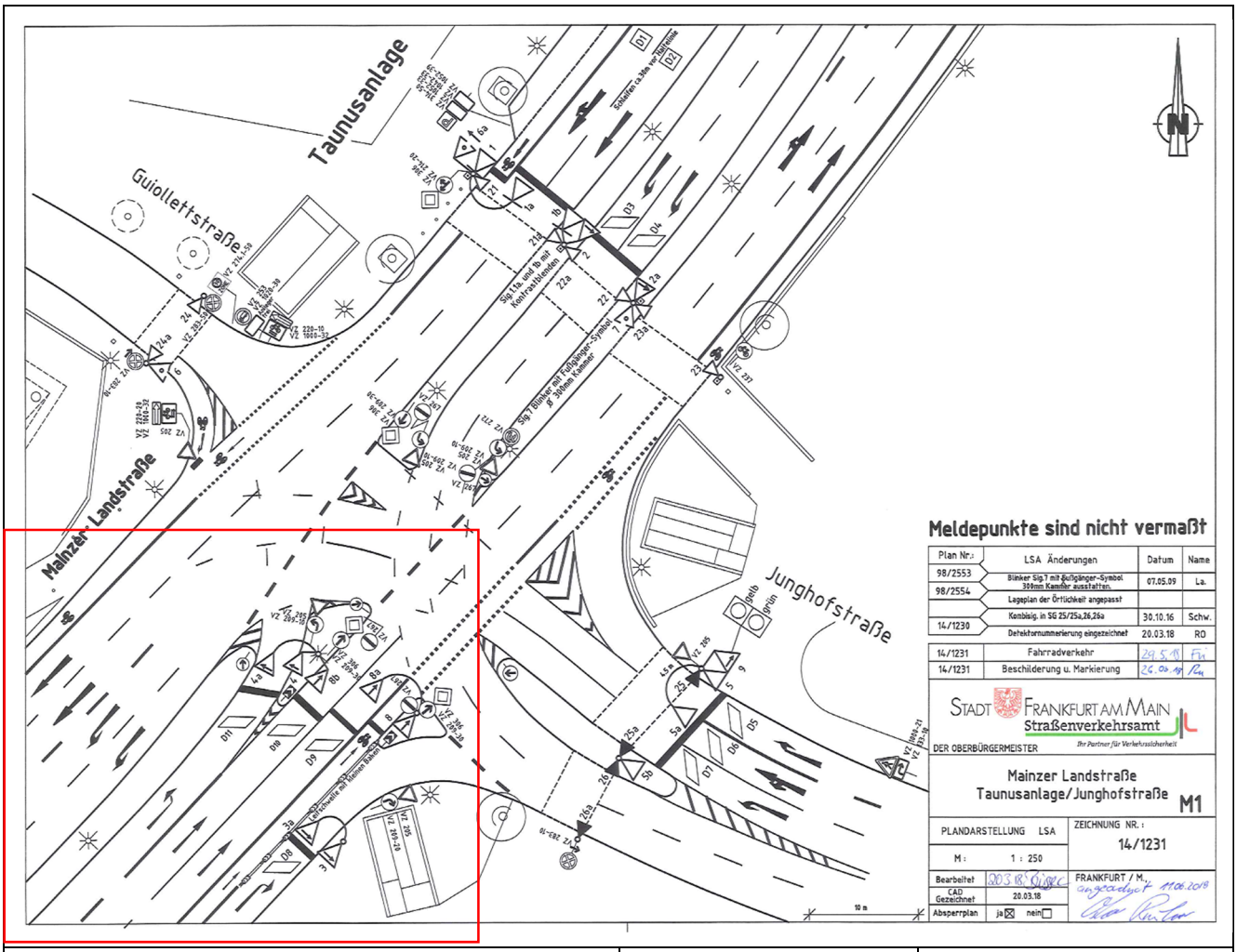
| **3. Interaktion: mit rechtsabbiegenden Kfz** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | Normal-verhalten | B I | B II | Normal-verhalten | B I | B II |
| Fahrrad | 155 | 6 | 0 | 152 | 15 | 0 |
| Pedelec | 10 | 1 | 0 | 9 | 3 | 0 |
| Lastenrad | 4 | 1 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 7 | 0 | 0 | 11 | 0 | 0 |
| **Summe** | **176** | **8** | **0** | **175** | **18** | **0** |

| **4. Überholabstand** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 0,50 m | 0,50 - 1,00 m | 1,00 - 1,50 m | ≥ 1,50 m |
| Fahrrad | 4 | 19 | 32 | 95 |
| Pedelec | 0 | 1 | 1 | 4 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 1 | 9 |
| **Summe** | **5** | **20** | **34** | **108** |

| **Sonderauswertung-Überholabstand in Abhängigkeit von der Überholseite** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 0,50 m | 0,50 - 1,00 m | 1,00 - 1,50 m | ≥ 1,50 m |
| Überholen auf linker Seite (n=140) | 1 | 6 | 27 | 106 |
| Überholen auf rechter Seite (n=27) | 3 | 14 | 7 | 3 |

## Nr. 48 Knotenpunktzufahrt Taunusanlage von Südwesten

(Knotenpunkt: Taunuslanlage - Junghofstraße, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 15000 Kfz/24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsig-anlanlage |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Rechtsabbiegestreifen<br>2 Geradeausfahrstreifen<br>1 Linksabbiegestreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen in Mittel-lage mit Dreiecksinsel mit Lichtsignalanlage |
| **Breite des Rad-fahrstreifens** | 2,10 m (inkl. Markierung) |
| **Länge des Rad-fahrstreifens** | ca. 110 m |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 22.07.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (rechtsabbiegen) | 255 Kfz/h | 273 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (geradeaus) | 144 Fz/h | 192 Fz/h |

| **1. Vorfahrtgewähren** | | |
|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
| Fahrrad | 176 | 166 |
| Pedelec | 10 | 10 |
| Lastenrad | 3 | 3 |
| E-Tretroller | 7 | 14 |
| **Summe** | **196** | **193** |

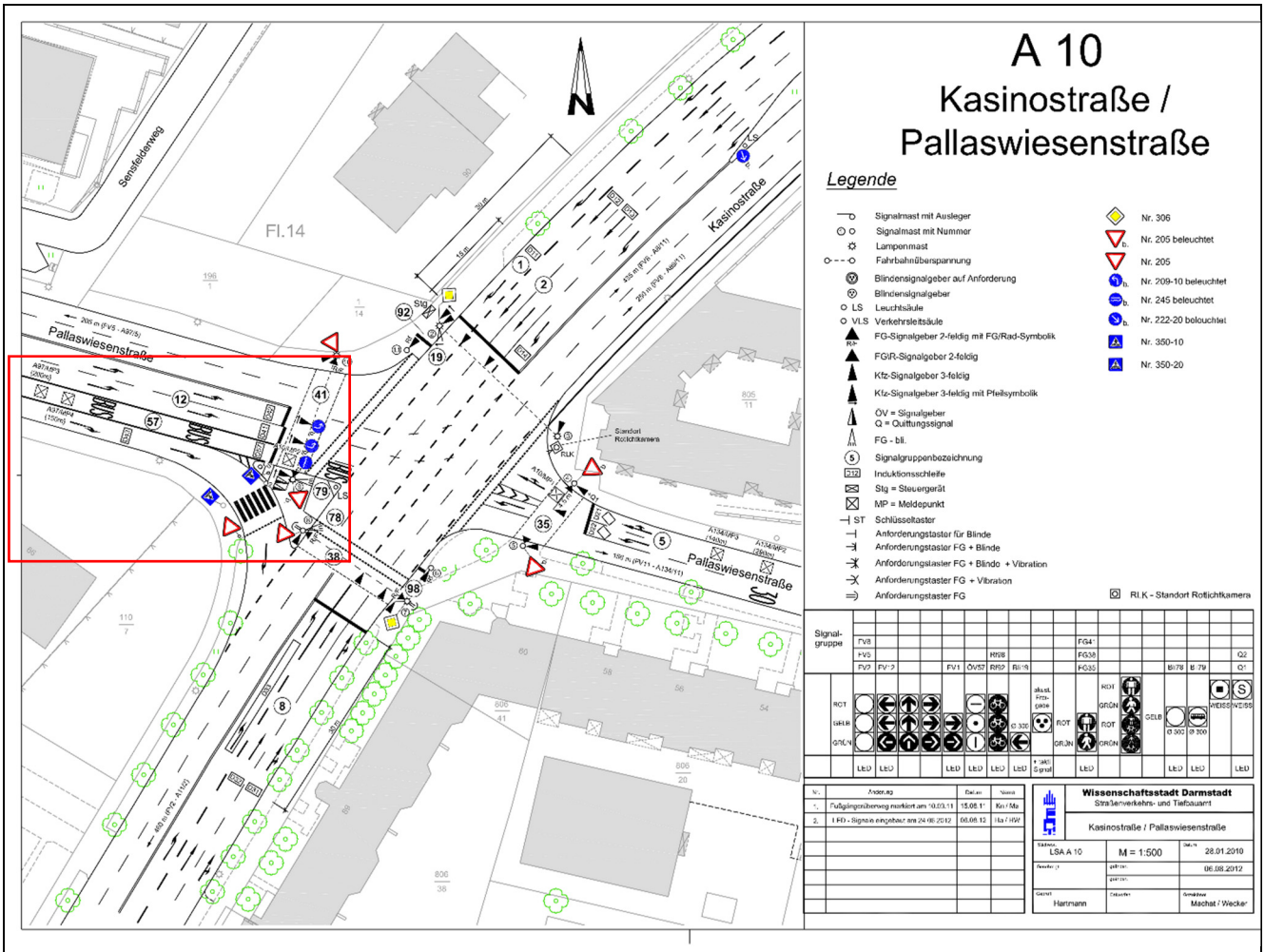
| **2. PET-Wert** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s |
| Fahrrad | 114 | 33 | 7 | 14 | 78 | 61 |
| Pedelec | 7 | 2 | 1 | 1 | 6 | 3 |
| Lastenrad | 2 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| E-Tretroller | 5 | 2 | 0 | 2 | 4 | 7 |
| **Summe** | **128** | **37** | **8** | **18** | **88** | **72** |

| **3. Interaktion: mit rechtsabbiegenden Kfz** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | Normal-verhalten | B I | B II | Normal-verhalten | B I | B II |
| Fahrrad | 167 | 9 | 0 | 154 | 12 | 0 |
| Pedelec | 9 | 1 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 3 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 7 | 0 | 0 | 13 | 1 | 0 |
| **Summe** | **186** | **10** | **0** | **180** | **13** | **0** |

| **4. Überholabstand** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | < 0,50 m | 0,50 - 1,00 m | 1,00 - 1,50 m | ≥ 1,50 m |
| Fahrrad | 2 | 12 | 43 | 20 |
| Pedelec | 0 | 1 | 2 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 2 | 2 |
| **Summe** | **2** | **13** | **48** | **22** |

## Nr. 49 Knotenpunktzufahrt Pallaswiesenstraße von Westen

(Knotenpunktarm: Pallaswiesenstraße - Kasinostraße, Darmstadt)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 13644 Kfz/24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsigan-lanlage |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 2 Geradeausfahrstreifen<br>1 Busfahrstreifen<br>1 Rechtsabbiegestreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Zusammenführung von (abgesetzter) Radverkehrsfurt und Fußgängerüberweg mit Dreiecksinsel |
| **Breite des zuführenden Radwegs** | 2,00 m (gemeinsam mit Fußverkehr) |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 04.09.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (rechtsabbiegen) | 687 Kfz/h | 709 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (geradeaus) | 43 Fz/h | 70 Fz/h |

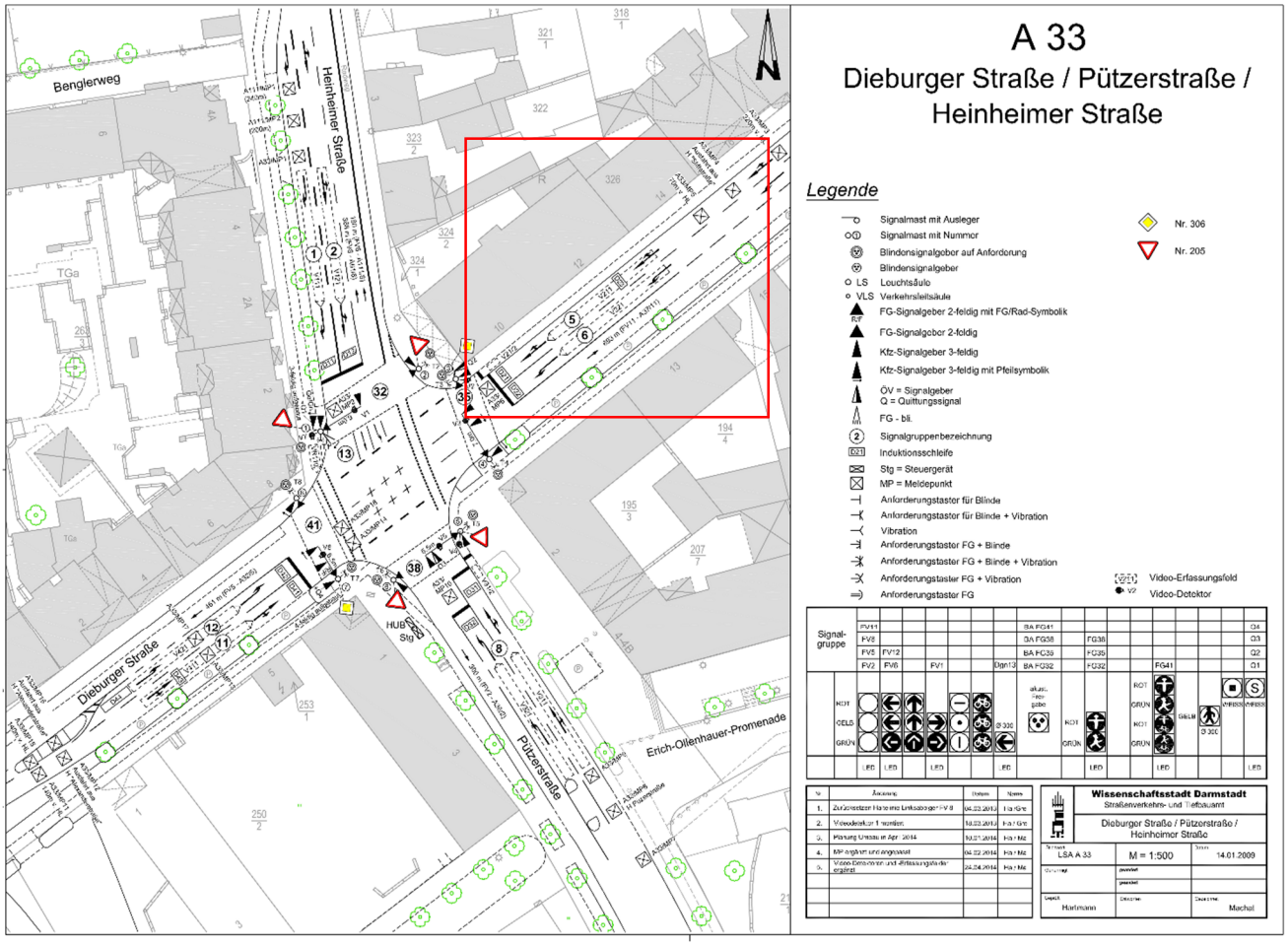
| **1. Vorfahrtgewähren** | | |
|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
| Fahrrad | 75 | 18 |
| Pedelec | 13 | 9 |
| Lastenrad | 4 | 2 |
| E-Tretroller | 1 | 0 |
| **Summe** | **93** | **29** |

| **2. PET-Wert** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s |
| Fahrrad | 18 | 25 | 10 | 7 | 7 | 3 |
| Pedelec | 1 | 10 | 0 | 2 | 6 | 1 |
| Lastenrad | 2 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **21** | **36** | **12** | **9** | **14** | **5** |

| **3. Interaktion: mit rechtsabbiegenden Kfz** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | Normalver-halten | B I | B II | Normal-verhalten | B I | B II |
| Fahrrad | 70 | 3 | 2 | 8 | 5 | 5 |
| Pedelec | 10 | 2 | 1 | 6 | 3 | 0 |
| Lastenrad | 3 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 |
| E-Tretroller | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **84** | **5** | **4** | **14** | **10** | **5** |

## Nr. 50 Knotenpunktzufahrt Dieburger Straße von Nordosten

(Knotenpunkt: Dieburger Straße - Pützer Straße - Heinheimer Straße, Darmstadt)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 6273 Kfz/ 24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsig-anlanlage |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Mischfahrstreifen (ge-rade + rechtsabbiegen)<br>1 Linksabbiegestreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Nicht abgesetzter Rad-weg ohne Benutzungs-pflicht |
| **Breite des zuführenden Radwegs** | 1,50 m |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | | | |
|---|---|---|---|
| 23.09.2020 | 06:30 - 10:00 Uhr | 28.09.2020 | 06:40 - 10:40 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (rechtsabbiegen) | 24 Kfz/h | 29 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (geradeaus) | 39 Fz/h | 46 Fz/h |

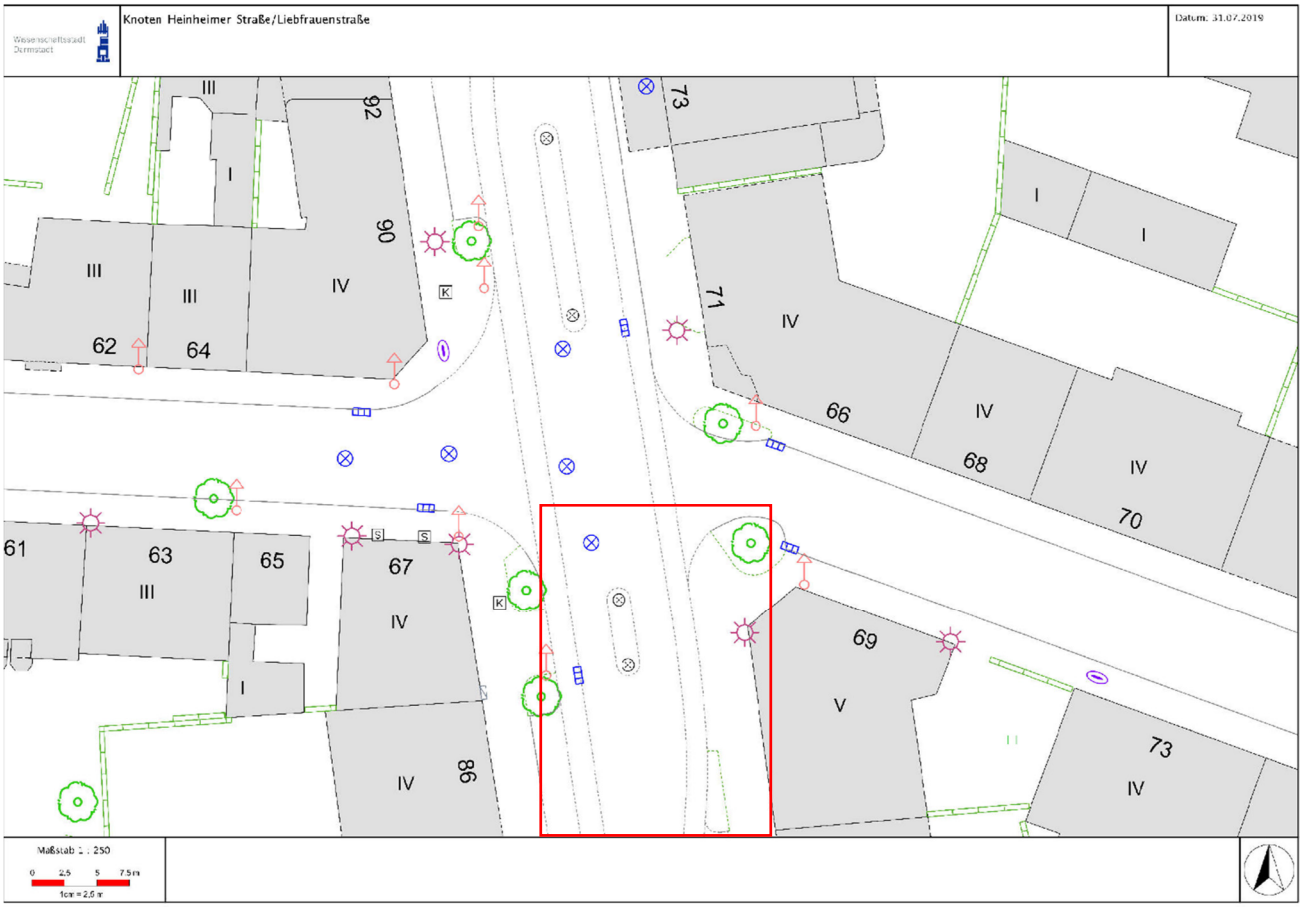
| **1. Vorfahrtgewähren** | | |
|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | Vorfahrt nicht gewährt |
| Fahrrad | 32 | 11 |
| Pedelec | 8 | 1 |
| Lastenrad | 0 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 0 |
| **Summe** | **40** | **13** |

| **2. PET-Wert** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s | ≤1,5 s | 1,5 - 3.0 s | 3,0 - 5,0 s |
| Fahrrad | 6 | 17 | 6 | 1 | 4 | 4 |
| Pedelec | 0 | 1 | 7 | 0 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **6** | **18** | **13** | **1** | **6** | **4** |

| **3. Interaktion: mit rechtsabbiegenden Kfz** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Vorfahrt gewährt | | | Vorfahrt **nicht** gewährt | | |
| | Normal-verhalten | B I | B II | Normalver-halten | B I | B II |
| Fahrrad | 26 | 5 | 1 | 7 | 2 | 2 |
| Pedelec | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| **Summe** | **34** | **5** | **1** | **7** | **3** | **3** |

## Nr. 51 Knotenpunktzufahrt Heinheimer Straße von Süden

(Knotenpunkt: Heinheimer Straße - Liebfrauenstraße, Darmstadt)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 3045 Kfz/ 24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Vorfahrts-regeln |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Kfz-Fahrstreifen für alle Richtungen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen (für Rad-verkehr geradeaus)<br>Keine Radverkehrsanlage für linksabbiegenden Rad-verkehr |
| **Bemerkungen** | Verschwenkung des Rad-wegs ca. 25 m vor Knoten-punkt |

* zu überquerende Kfz-Fahrstreifen

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | | | |
|---|---|---|---|
| 19.08.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr | 27.08.2020 | 14:50 - 18:50 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (geradeaus) | 204 Kfz/h | 227 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (linksabbiegen) | 19 Fz/h | 33 Fz/h |

| **1. Routenwahl des Linksabbiegen** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Direktes Links-abbiegen | Direktes Linksab-biegen mit Nut-zung von ARAS | indirektes Links-abbiegen | Nutzung der Fußgängerfurt quer zur Kno-tenpunktzufahrt | Nutzung der Fußgängerfurt parallel zur Kno-tenpunktzufahrt |
| Fahrrad | 97 | 0 | 18 | 4 | 0 |
| Pedelec | 15 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |

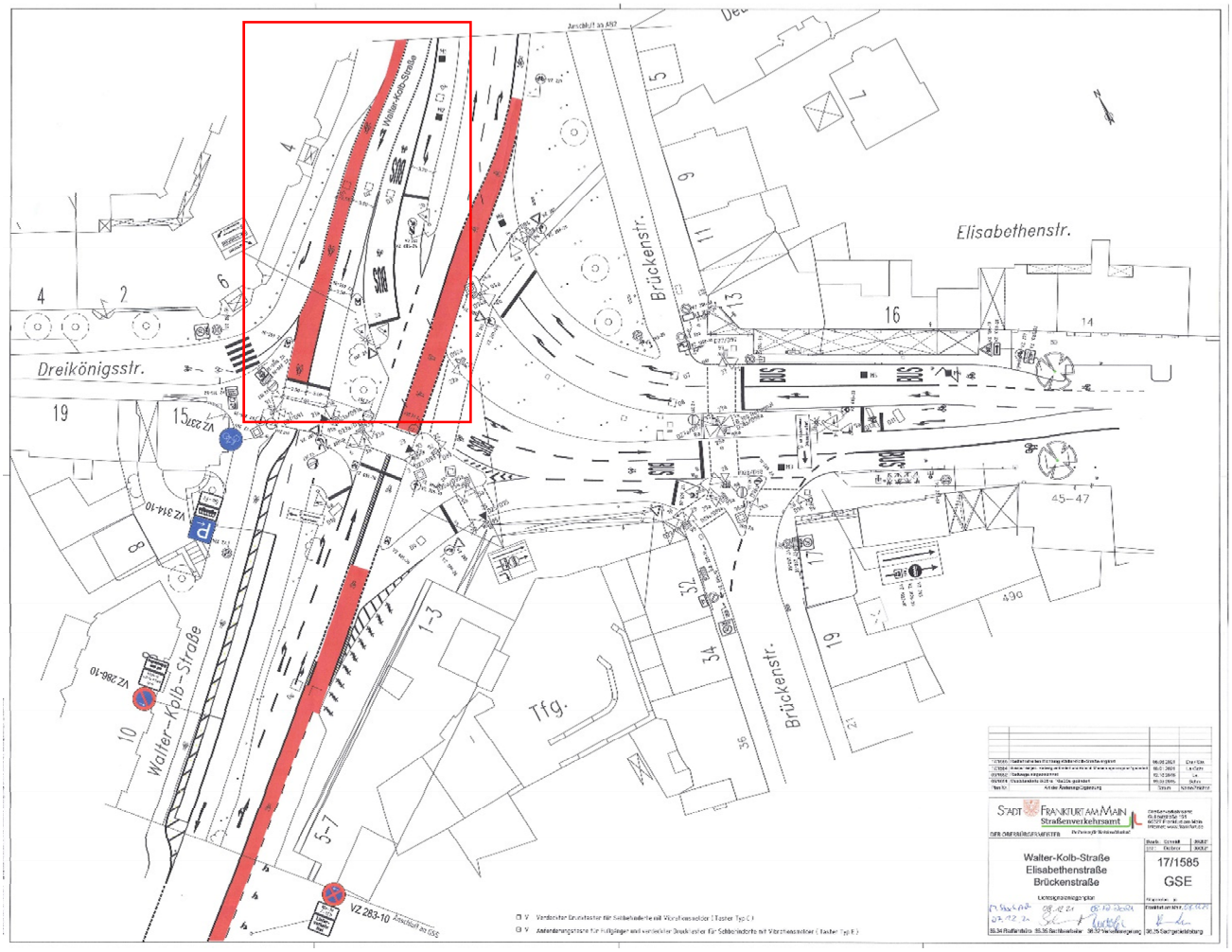
| **2. Zeitlücke beim Einordnung** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 1 s | 1-2 s | 2-3 s | 3-4 s | 4-5 s |
| Fahrrad | 2 | 3 | 4 | 5 | 4 |
| Pedelec | 0 | 0 | 2 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **3. Position der Einordnung** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | > 100 m |
| Fahrrad | 49 | 14 | 28 | 6 | 6 | 6 |
| Pedelec | 5 | 1 | 4 | 1 | 2 | 1 |
| Lastenrad | 3 | 2 | 1 | 0 | 2 | 3 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **4. Verhalten beim Einordnen** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | nichts | nur Handzeiger | nur Umsehen | Handzeiger und Umsehen |
| Fahrrad | 3 | 20 | 34 | 35 |
| Pedelec | 1 | 1 | 7 | 5 |
| Lastenrad | 0 | 1 | 5 | 2 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Nr. 52 Knotenpunktzufahrt Walter-Kolb-Straße von Norden

(Knotenpunkt: Walter-Kolb-Straße - Elisabethenstraße - Dreikönigsstraße, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 8057 Kfz/ 24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsig-anlanlage |
| **Angebot Kfz-Verkehr** | 1 Rechtsabbiegestreifen<br>1 Geradeausfahrstreifen*<br>2 Linksabbiegestreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen (für Rad-verkehr geradeaus)<br>Keine Radverkehrsan-lage für linksabbiegenden Radverkehr |
| **Bemerkungen** | ca.100 m zum vorgehen-den Knotenpunkt |
| * zu überquerdende Kfz-Fahrstreifen | |

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 28.08.2020 | 15:00 - 19:00 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (geradeaus) | 188 Kfz/h | 204 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (linksabbiegen) | 83 Fz/h | 106 Fz/h |

| **1. Routenwahl des Linksabbiegen** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Direktes Linksabbiegen | Direktes Linksabbiegen mit Nutzung von ARAS | indirektes Linksabbiegen | Nutzung der Fußgängerfurt quer zur Knotenpunktzufahrt | Nutzung der Fußgängerfurt parallel zur Knotenpunktzufahrt |
| Fahrrad | 261 | 0 | 26 | 0 | 0 |
| Pedelec | 21 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 7 | 0 | 7 | 0 | 0 |

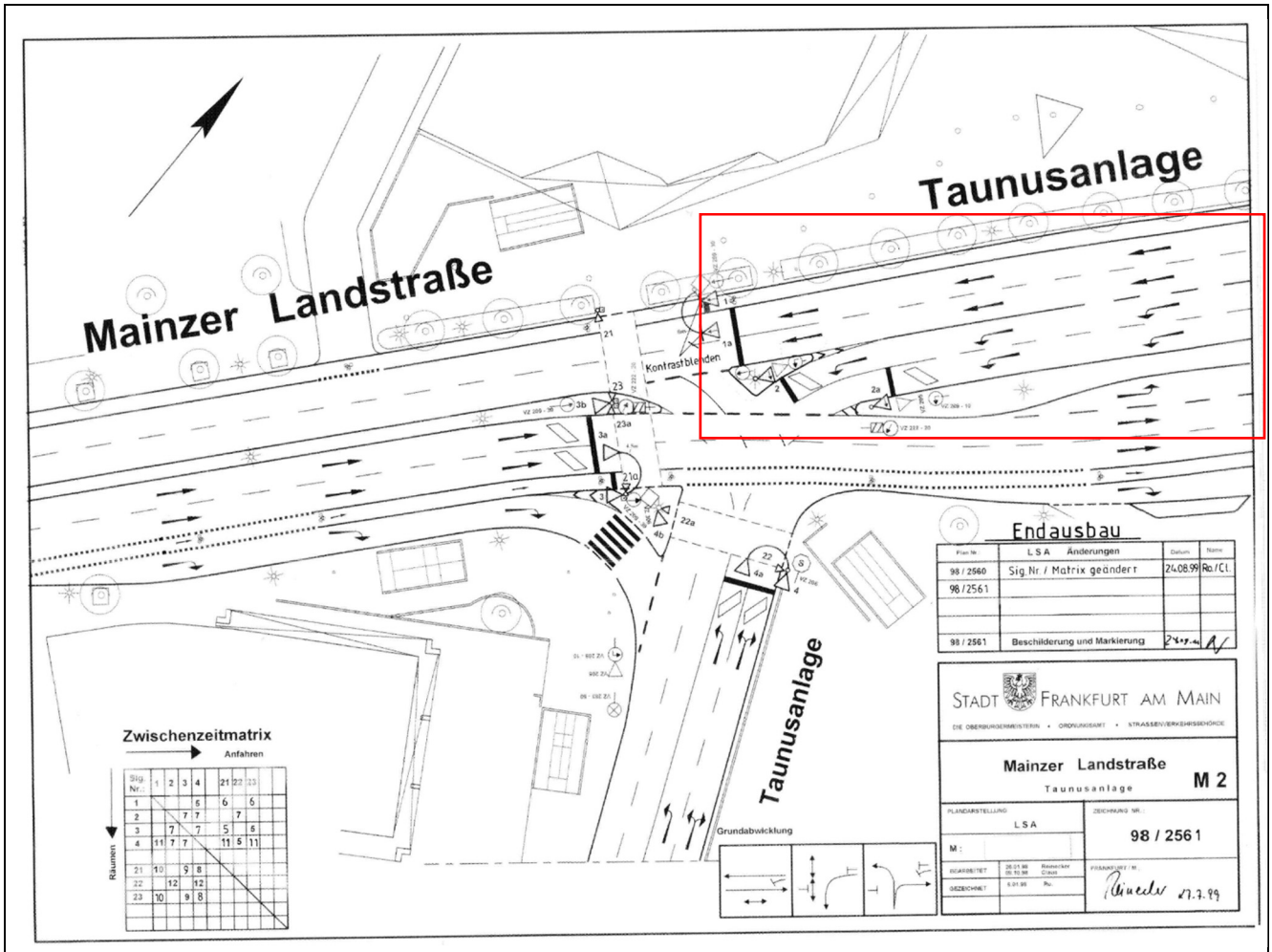
| **2. Zeitlücke beim Einordnung** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 1 s | 1-2 s | 2-3 s | 3-4 s | 4-5 s |
| Fahrrad | 5 | 23 | 18 | 6 | 5 |
| Pedelec | 2 | 5 | 1 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **3. Position der Einordnung** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | am vorgehenden Knotenpunkt | am Aufstellbereich des vorgehenden Knotenpunkts | an der Zufahrt des vorgehenden Knotenpunkts |
| Fahrrad | 0 | 2 | 44 | 54 | 74 | 45 | 11 | 27 |
| Pedelec | 0 | 0 | 2 | 7 | 8 | 2 | 1 | 1 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 2 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |

| **4. Verhalten beim Einordnen** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | nichts | nur Handzeiger | nur Umsehen | Handzeiger und Umsehen |
| Fahrrad | 3 | 18 | 100 | 97 |
| Pedelec | 1 | 4 | 9 | 5 |
| Lastenrad | 0 | 1 | 1 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 7 | 0 |

## Nr. 53 Knotenpunktzufahrt Taunusanlage von Osten

(Knotenpunkt: Taunusanlage - Mainzer Landstraße, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 14500 Kfz/ 24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsig-anlanlage |
| **Angebot Radverkehr** | 2 Geradeausfahrstreifen*<br>2 Linksabbiegestreifen |
| **Angebot Radverkehr** | Radfahrstreifen (für Rad-verkehr geradeaus)<br>Keine Radverkehrsanlage für linksabbiegenden Radverkehr |
| **Bemerkungen** | ca.110 m zum vorgehen-den Knotenpunkt |

* zu überquerende Kfz-Fahrstreifen

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | |
|---|---|
| 06.08.2020 | 15:10 - 19:10 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (geradeaus) | 346 Kfz/h | 386 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (linksabbiegen) | 27 Fz/h | 65 Fz/h |

| **1. Routenwahl des Linksabbiegen** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Direktes Linksabbiegen | Direktes Linksabbiegen mit Nutzung von ARAS | indirektes Linksabbiegen | Nutzung der Fußgängerfurt quer zur Knotenpunktzufahrt | Nutzung der Fußgängerfurt parallel zur Knotenpunktzufahrt |
| Fahrrad | 41 | 0 | 39 | 0 | 0 |
| Pedelec | 11 | 0 | 3 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 2 | 0 | 8 | 0 | 0 |

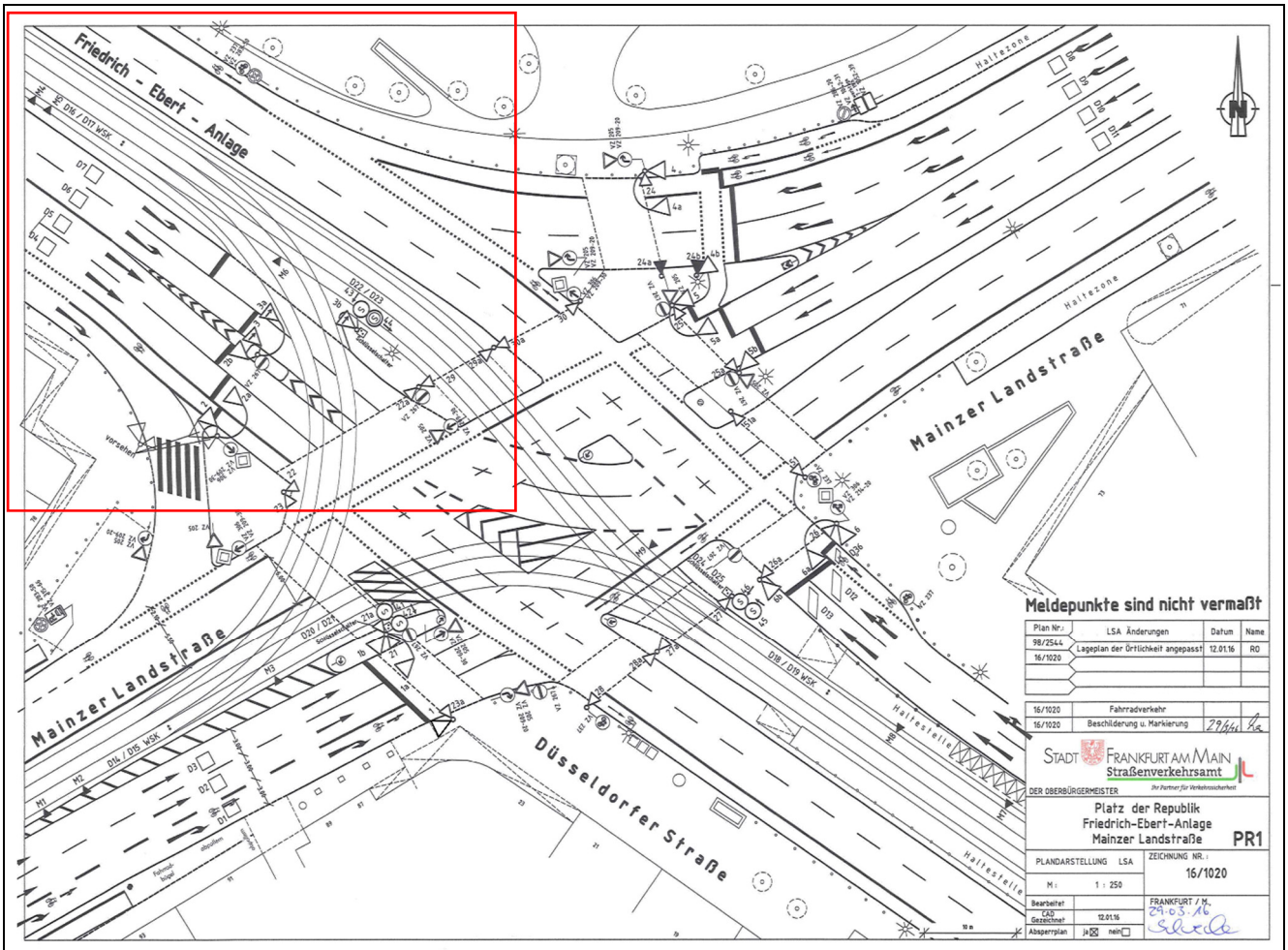
| **2. Zeitlücke beim Einordnung** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 1 s | 1-2 s | 2-3 s | 3-4 s | 4-5 s |
| Fahrrad | 0 | 5 | 1 | 2 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **3. Position der Einordnung** | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | am vorgehenden Knotenpunkt | am Aufstellbereich des vorgehenden Knotenpunkts | an der Zufahrt des vorgehenden Knotenpunkts |
| Fahrrad | 2 | 1 | 4 | 11 | 4 | 9 | 0 | 11 |
| Pedelec | 0 | 0 | 1 | 1 | 4 | 1 | 1 | 2 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 0 | 0 |

| **4. Verhalten beim Einordnen** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | nichts | nur Handzeiger | nur Umsehen | Handzeiger und Umsehen |
| Fahrrad | 0 | 2 | 18 | 7 |
| Pedelec | 0 | 1 | 4 | 2 |
| Lastenrad | 0 | 1 | 1 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 2 | 0 |

## Nr. 54 Knotenpunktzufahrt Friedrich-Ebert-Anlagen von Westen

(KP: Platz der Republik, Frankfurt am Main)



| | |
|---|---|
| **Verkehrsbelastung Kfz (Knotenpunktzufahrt)** | 22250 Kfz/ 24h |
| **Knotenpunktart** | Knotenpunkt mit Lichtsig-anlanlage |
| **Anzahl der Kfz-Fahr-streifen** | 1 Rechtsabbiegestreifen<br>1 Geradeausfahrstreifen*<br>2 Linksabbiegestreifen |
| **Angebot des Radver-kehrs** | Radfahrstreifen (für Rad-verkehr geradeaus)<br>Keine Radverkehrsanlage für linksabbiegenden Rad-verkehr |
| **Bemerkungen** | Aufweitung der Knoten-punktzufahrt ca. 100 m vor Knotenpunkt |

* zu überquerende Kfz-Fahrstreifen

**Ergebnisse der Videoerfassung**

| **Zeitbereich der Videoerfassung** | | | |
|---|---|---|---|
| 21.08.2020 | 06:30 - 10:30 Uhr | 26.08.2020 | 15:15 - 19:15 Uhr |

| **0. Erhobene verkehrliche Rahmendaten (Knotenpunktzufahrt)** | | |
|---|---|---|
| | Durchschnittliche Verkehrsstärke $\bar{Q}$ | Spitzenstundenwerte $Q_{max}$ |
| Kfz-Verkehr (geradeaus) | 662 Kfz/h | 637 Kfz/h |
| Radverkehr (inkl. E-Tretroller) (linksabbiegen) | 22 Fz/h | 44 Fz/h |

| **1. Routenwahl des Linksabbiegen** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Direktes Links-abbiegen | Direktes Links-abbiegen mit Nutzung von A-RAS | indirektes Links-abbiegen | Nutzung der Fußgängerfurt quer zur Kno-tenpunktzufahrt | Nutzung der Fußgängerfurt parallel zur Kno-tenpunktzufahrt |
| Fahrrad | 21 | 0 | 23 | 98 | 6 |
| Pedelec | 4 | 0 | 3 | 9 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 4 | 7 | 1 |

| **2. Zeitlücke beim Einordnung** | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 1 s | 1-2 s | 2-3 s | 3-4 s | 4-5 s |
| Fahrrad | 1 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **3. Position der Einordnung** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | ≤ 20 m | 20-40 m | 40-60 m | 60-80 m | 80-100 m | > 100 m |
| Fahrrad | 0 | 4 | 3 | 4 | 6 | 4 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 2 | 1 | 1 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| **4. Verhalten beim Einordnen** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | nichts | nur Handzeiger | nur Umsehen | Handzeiger und Umsehen |
| Fahrrad | 0 | 1 | 8 | 9 |
| Pedelec | 0 | 0 | 0 | 3 |
| Lastenrad | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-Tretroller | 0 | 0 | 0 | 0 |

## Abbildungsverzeichnis (Anhänge)


Abbildung A1.1: Konfiguration des Motors (Jellinek et al. Februar, 2013) ... A1

Abbildung A1.2: Anordnung von Akkus (Jellinek et al. Februar, 2013) ... A1

Abbildung A1.3: Unterstützung und Abschaltgeschwindigkeit (Gressmann und Retzbach 2018) ... A1

Abbildung A1.4: Unterstützung je nach Motortyp (Gressmann und Retzbach 2018) ... A1

Abbildung A1.5: Beispiele von Pedelecs von verschiedenen Bautypen mit technischen Daten ... A2

Abbildung A1.6: Detailübersicht eines Long John ... A3

Abbildung A1.7: Detailübersicht eines Longtail Bike ... A3

Abbildung A1.8: Detailübersicht eines Postfahrrads ... A4

Abbildung A1.9: Detailübersicht eines Trike ... A4

Abbildung A1.10: Detailübersicht eines Rikscha ... A5

Abbildung A1.11: Detailübersicht eines Schwertransporters ... A5

Abbildung A1.12: Lenkungssysteme für Achsschenkellenkung (links), Drehschemellenkung (mittig) und Neigetechnik (rechts) (eLastenrad) ... A5

Abbildung A1.13: Die Hüllkurven und Fahrkurven bei 15 km/h (oben) und 25 km/h (unten) (Braun 2017a) ... A6

Abbildung A1.14: Vergleich der gemessenen und angegebenen Reichweite (Kroher 2020) ... A7

Abbildung A1.15: Technische Daten der exemplarisch zugelassenen E-Tretroller-Modelle ... A7

Abbildung A3.1: Verletzungsschwere bei Unfällen mit Fahrrädern und Pedelecs in Deutschland 2014- 2020 [nach (StBA 2015-2021)] (n: Anzahl der Verunglückten) ... A9

Abbildung A3.2: Anteil der getöteten und schwer verletzten Nutzenden von Pedelecs (links) und Fahrrädern (rechts) (2014-217) nach Alter und Geschlecht (Panwinkler und Holz-Rau 2019) ... A9

Abbildung A4.1: physische Trennelemente im amerikanischen Regelwerk [nach (FHWA-HEP-15-025)] ... A13

Abbildung A4.2: Geschwindigkeit in Abhängigkeit von Längsneigung (SN 640 060) und Breitenzuschlag in Abhängigkeit von der Steigung (SN 640 060) im schweizerischen Regelwerk ... A13

Abbildung A4.3: Gestaltung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Österreich (RVS 03.02.13) ... A14

Abbildung A4.4: Verkehrszeichen für den Radweg ohne Benutzungspflicht in Österreich (links) und den Niederlanden (rechts) (§ 53 Abs 27, StVO) (RVV 1990 01.01/2020) ... A15

Abbildung A5.1: Darstellung von Verkehrssituationen und Interaktionen [nach (Alrutz und Stellmacher-Hein 1997; Eger 1985)] ... A18

Abbildung A5.2: Diagramm zur Einstufung der kritischen Situationen nach dem Schwergrad für Interaktionen zwischen Rad- und Fußverkehr im Parallelverkehr (Angenendt und Wilken 1997) ... A20

Abbildung A7.1: Darstellung der Positionsverteilung im Querschnitt der Radverkehrsanlagen ... A49

Abbildung A8.1: Beispiel für die Geschwindigkeitsberechnung ... A50

Abbildung A8.2: Messung der seitlichen Schwankung durch „Raster“ ... A50

Abbildung A8.3: Darstellung der Trajektorie-Verfolgung und Setzen der Markierung von Konfliktpunkten ... A51

Abbildung A8.4: Messmethode für abstandsbezogene Messgrößen ... A51

Abbildung A9.1: Verkehrsflächen zum Unfallgeschehen (N: Anzahl der Unfälle) ... A52

Abbildung A9.2: Regelwidrige Verkehrsflächennutzung zum Unfallgeschehen (N: Anzahl der Unfälle) ... A52

Abbildung A9.3: Verletzungsart der Fahrrad- und Pedelecfahrenden (n: Anzahl der Verkehrsbeteiligten mit Fahrrad/ Pedelec) ... A54

Abbildung A9.4: Unfallfolge in Abhängigkeit von den Verkehrsflächen der Unfallstelle (N: Anzahl der Unfälle) ..... A54
Abbildung A9.5: Unfallfolge in Abhängigkeit der Altersgruppen (n: Anzahl der Verkehrsbeteiligten mit Fahrrad/ Pedelec) ..... A54
Abbildung A9.6: Unfallfolge in Abhängigkeit vom Geschlecht (n: Anzahl der Verkehrsbeteiligten mit Fahrrad/ Pedelec) ..... A55
Abbildung A9.7: Unfallfolge in Abhängigkeit der Helmnutzung (n: Anzahl der Unfallbeteiligten mit dem Fahrrad/ Pedelec) ..... A55
Abbildung A9.8: Unfallfolge der Unfallstelle in verkehrsberuhigtem Bereich oder Tempo 30-Zone (n: Anzahl der Unfallbeteiligten mit dem Fahrrad/ Pedelec) ..... A55
Abbildung A9.9: Anzahl der Unfallbeteiligten (N: Anzahl der Unfälle) ..... A56
Abbildung A9.10: Unfallfolge beim Alleinunfall (n: Anzahl der Unfallbeteitligten mit dem Fahrrad/ Pedelec) ..... A56
Abbildung A9.11: Art der Unfallbeteiligten (N: Anzahl der Unfälle) ..... A56
Abbildung A9.12: Unfalltypen mit dem Fahrrad (links) und Pedelec (rechts) (N: Anzahl der Unfälle) ..... A57
Abbildung A9.13: Häufigste fünf (dreistellige) Unfalltypen mit dem Fahrrad und Pedelec (N: Anzahl der Unfälle) ... A57
Abbildung A9.14: Häufigste dreistellige Unfalltypen der gesamten Unfalltypen (N: Anzahl der Unfälle) ..... A58
Abbildung A9.15: Einstellige Unfalltypen in Abhängigkeit von Verkehrsflächen der Unfallstelle (N: Anzahl der Unfälle) ..... A59
Abbildung A9.16: Sonderauswertung der Unfalltypen 232/ 243 (links) und Unfalltypen 301/ 341 (rechts) in Abhängigkeit von Verkehrsflächen der Unfallstelle (N: Anzahl der Unfälle) ..... A59
Abbildung A10.1: Geschlechterverteilung der Rad- und E-Tretrollerfahrenden (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A61
Abbildung A10.2: Altersverteilung der Nutzenden (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A61
Abbildung A10.3: Verteilung der Erwerbstätigkeit (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A61
Abbildung A10.4: Verteilung der Nettoeinkommen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A62
Abbildung A10.5: Verteilung der Raumtypen über die Wohnorte der Nutzenden (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A62
Abbildung A10.6: Verteilung der Haushalte mit Rädern und E-Tretrollern nach Raumtypen (n/N: Anzahl der Haushalte) ..... A63
Abbildung A10.7: Verkehrsmittelwahl der Wegeaufkommen nach den Wegezwecken (n: Anzahl der Wege) ..... A64
Abbildung A10.8: Verteilung der Wegezwecke je nach Fahrzeugtyp (n: Anzahl der Wege) ..... A64
Abbildung A10.9: Nutzungshäufigkeit in Abhängigkeit vom Wegezweck (n: Anzahl der Wege) ..... A65
Abbildung A10.10: Nutzungshäufigkeit im Sommer und Winter (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A65
Abbildung A10.11: Maximal zurückgelegte Wegelänge mit verschiedenen Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A65
Abbildung A10.12: Reichweite des Akkus je Saison (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A66
Abbildung A10.13: Wegenutzung mit verschiedenen Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A66
Abbildung A10.14: Substitutive Verkehrsmittel für die Wegekette (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A67
Abbildung A10.15: Gründe für die Nutzung (Vorteile) der neuen Fahrzeuge (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A67
Abbildung A10.16: Gründe für die Nicht-Nutzung (Nachteile) der neuen Fahrzeuge (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A68
Abbildung A10.17: Verteilung der Lastenradtypen (n: Anzahl der Fahrzeuge) ..... A68
Abbildung A10.18: Spezifisches Fahrverhalten mit elektrounterstützten Fahrzeugen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A69
Abbildung A10.19: Regelwidriges Verhalten der Nutzenden (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A69
Abbildung A10.20: Subjektive Sicherheit von Rad- und E-Tretrollerfahren (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A70

Abbildung A10.21: Relevanz der Kriterien für die Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A70
Abbildung A10.22: Aussagen über die Breite von Radverkehrsanlagen und Führungsformen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A70
Abbildung A10.23: Wahrnehmung der Breite von Radverkehrsanlagen (n: Anzahl der Nutzenden) - Schutzstreifen.. A71
Abbildung A10.24: Sicherheitsempfinden für Sicherheitstrennstreifen zum ruhenden Verkehr (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A73
Abbildung A10.25: Wahrnehmung des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radweg und Fahrbahn (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A74
Abbildung A10.26: Wahrnehmung des Sicherheitstrennstreifens zwischen Radfahrstreifen und Fahrbahn (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A74
Abbildung A10.27: Einschätzung der Auswirkung der Längsneigung (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A75
Abbildung A10.28: Einschätzung der Auswirkung der Kurvenbereich (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A75
Abbildung A10.29: Sicherheitsempfinden für die Führung mit Fußverkehr und auf der Fahrbahn (im Mischverkehr) (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A76
Abbildung A10.30: Verkehrsflächenwahl (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A76
Abbildung A10.31: Sicherheitsempfinden bei Führung des geradausfahrenden Radverkehrs/ E-Tretrollers (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A77
Abbildung A10.32: Routenwahl beim Linksabbiegen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A77
Abbildung A12.1: Einstufung der Überholabstände in Abhängigkeit von den Breiten der Radverkehrsstreifen (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A85
Abbildung A12.2: Überholabstände durch Kfz-Verkehr je nach dem Vorhandensein von Parkständen und der Breite von Sicherheitstrennstreifen auf den Radverkehrsstreifen (n: Anzahl der Interaktionen) .. A86
Abbildung A12.3: Überholabstände durch Kfz bei allen Rad- und E-Tretrollerfahrenden (oben) und nur bei Überholenden oder links Fahrenden des Nebeneinanderfahrens (unten) auf Radfahrstreifen (mit Sicherheitstrennstrfeifen zur Fahrbahn) (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A87
Abbildung A12.4: Einstufung der Überholabstände an den Knotenpunktzufahrten mit Radfahrstreifen (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A88
Abbildung A12.5: Einstufung der Überholabstände je nach der Seite des Überholens an der Knotenpunktzufahrt (47) (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A88
Abbildung A12.6: Gewähren der Vorfahrt (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A90
Abbildung A12.7: Stufe der PET-Werte (n:Anzahl der Interaktionen) ..... A91
Abbildung A12.8: Behinderungen zwischen geradausfahrenden Rad- und E-Tretrollernutzenden und rechts abbiegenden Kfz-Führenden (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A92
Abbildung A12.9: Begegnungen von Rad- oder E-Tretrollernutzenden an den Zweirichtungsradwegen in Abhängigkeit von der Breite (n: Anzahl der Begegnungsfälle) ..... A95
Abbildung A12.10: Interaktionen (Begegnungen) mit der regelwidrig entgegenkommenden Nutzenden am Radweg (Strecke (29)) mit dem Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A95
Abbildung A13.1: Beeinflussungsstufe je nach Fahrzeugtypen (n: Anzahl der Beeinflussungen) ..... A96
Abbildung A13.2: Pedelec- und E-Tretrollerfahrende bei in den Schutzstreifen ragenden parkenden Fahrzeugen an der Strecke (22) [eigene Aufnahme] ..... A96
Abbildung A13.3: Art der Beeinflussung mit der Beeinflussungsstufe ..... A97
Abbildung A14.1: Allgemeines Aufstellverhalten von Nutzenden der verschiedenen Fahrzeuge (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A98
Abbildung A14.2: Allgemeines Aufstellverhalten von Nutzenden der verschiedenen Fahrzeuge ohne als erste in der Sperrzeit ankommende Nutzende (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A98

Abbildung A14.3: Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A99
Abbildung A14.4: Rückstaulänge auf zuführenden Radverkehrsstreifen in Abhängigkeit der Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Querrichtung (N: Anzahl der Umlaufzeit) ..... A100
Abbildung A14.5: Belegung von aufgeweiteten Radaufstellstreifen in Querrichtung und Rückstau auf zuführenden Radaufstellstreifen bei derselben Umlaufzeit [eigene Aufnahme] ..... A100
Abbildung A14.6: Art der Beeinflussung durch den ruhenden Verkehr auf dem Weg zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen ..... A101
Abbildung A14.7: Blockieren des Schutzstreifens durch einparkende Kfz [eigene Aufnahme] ..... A102
Abbildung A14.8: Unpräzises Parken und Mitbenutzung des Schutzstreifen durch Kfz verengten Platz für Radfahrenden [eigene Aufnahme] ..... A102
Abbildung A14.9: Kanalisierung der Lastenradfahrenden zwischen den Kfz [eigene Aufnahme] ..... A102
Abbildung A15.1: Routenauswahl beim Linksabbiegen an der Knotenpunktzufahrt ohne aufgeweiteten Radaufstellstreifen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A103
Abbildung A15.2: Routenauswahl beim Linksabbiegen an Knotenpunktzufahrt ohne aufgeweiteten Radaufstellstreifen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A103
Abbildung A15.3: Entfernung für Einordnungsvorgänge an den vorherigen Knotenpunkte weiter als 100 m (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A104
Abbildung A15.4: Entfernung für Einordnungsvorgänge an den vorherigen Knotenpunkten weiter als 100 m (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A104
Abbildung A15.5: Verhalten bewertbarer Rad- oder E-Tretrollerfahrenden bei Einordnungsvorgängen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A105
Abbildung A15.6: Vergleich der Zeitlücke zwischen Fahrrädern und Pedelecs bei Einordnungsvorgängen (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A105
Abbildung A16.1: Empfehlung für Breite von Radverkehrsanlagen mit Darstellung der Licht- und Verkehrsräume A106
Abbildung A16.2: Poller am Anfang von 4,50 m breiten geschützten Radaufstellstreifen in China (Yu. XC 2019) ... A106
Abbildung A16.3: Darstellung der geplante Fahrkurve des rechtsabbiegenden Radverkehrs je nach der Lage der Radverkehrsanlagen an der Knotenpunktausfahrt ..... A107
Abbildung A16.4: „Bypass“ von rechtsabbiegenden Rad- und E-Tretrollerfahrenden in den Niederlanden (links) und Großbritannien (rechts) (Bicycle Dutch 29.04.2020; Nottinghamshire County Council 2006) ..... A107
Abbildung A16.5: Bemessungslogik der aufgeweiteten Radaufstellstreifen je nach Qualitätsstandard ..... A108
Abbildung A16.6: Verkehrszeichen „STOP HERE ON RED“ in USA (NACTO 2014) ..... A109
Abbildung A16.7: Doppelthaltlinie mit aufgeweitetem Radaufstellstreifen in USA (NACTO 2014) ..... A109
Abbildung A16.8: Empfehlung für (nutzbare) Gehwegbreite freigegeben für den Radverkehr ..... A110
Abbildung A16.9: Verkehrszeichen Gehweg „Radfahrer frei“ mit „Langsam fahren“ (StVO) ..... A110
Abbildung A16.10: Verkehrszeichen „Lastenradverbot“ (cargobike.jetzt 07.10.2020) ..... A110
Abbildung A16.11: nutzungsabhängige Einsatzbereiche für den Gehweg mit gemeinsamer Führung ..... A110
Abbildung A16.12: Wechsel der Führungsform vom Radweg mit Benutzungspflicht zum Radweg ohne Benutzungspflicht am Knotenpunkt (RadKULTUR Baden-Württemberg 2017) ..... A111
Abbildung A16.13: Wechsel der Führungsform von der Benutzungspflicht zu keiner Benutzungspflicht an der Strecke [eigene Aufnahme] ..... A111
Abbildung A16.14: Hinweiszeichen für 1,50 m Überholabstand in der Stadt Düren (links) (radpendler düren 07.2020) und Überholverbot - Zweirad (VZ 277.1) nach StVO (rechts) (Anlage 2 54.4, StVO) ..... A111

Abbildung A16.15: Fahrradweiche für direkt linksabbiegende Rad- und E-Tretrollernutzende ..... A112

Abbildung A16.16: Beispiel für die Verschwenkung des Radfahrstreifens infolge der Aufweitung der Knotenpunktzufahrt zur Anordnung der Fahrradweiche (google map)..... A112

Abbildung A16.17: Führung des linksabbiegenden Kfz- und Radverkehrs in gleicher Phase ohne Einordnen in der Skizze (links) und in der Praxis (rechts) in China (Huang et al. 2020; Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security 22.07.2020)..... A112

Abbildung A16.18: Markierung zur Differenzierung der geradeaus und linksabbiegenden Radfahrenden in China (Guilin News 12.04.2021; Zhou und Pei 2020)..... A112

## Tabellenverzeichnis (Anhänge)


Tabelle A1.1: Reichweite in Abhängigkeit von der Leistung eines Elektromotors und eins Akkus [nach (Schlichtholz 2020)] ... A7

Tabelle A2.1: Geschwindigkeit der Fahrräder und Pedelecs mit Darstellung der Messverfahren und Altersstruktur ... A8

Tabelle A2.2: Geschwindigkeit der Fahrräder und Pedelecs nach den Altersgruppen ... A8

Tabelle A2.3: Geschwindigkeit der Fahrräder und Pedelecs in Abhängigkeit von der Längsneigung in der schweizerischen Studie [nach (Fleury 2018)] ... A8

Tabelle A4.1: Internationale technische Regelwerke für Radverkehrsanlagen (RVA) ... A10

Tabelle A4.2: Breitenmaße von Radverkehrsanlagen in ausländischen Regelwerken [Übermaß] und (Mindestmaß) ... A11

Tabelle A4.3: Breitenmaß der Radwege und Rad-/Mofawege bei verschiedener Verkehrsstärke des Radverkehrs [nach (CROW 1998, 2016; IAN 195/16)] ... A11

Tabelle A4.4: Vorgaben für Radweg- und Gehwegbreite in den internationalen Regelwerken ... A12

Tabelle A4.5: Vorgaben für die Trennung zwischen Geh- und Radwegen in den internationalen Regelwerken ... A12

Tabelle A4.6: Breite der Sicherheitstrennstreifen in den internationalen Regelwerken ... A12

Tabelle A4.7: Kurvenradius in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit ... A14

Tabelle A4.8: Minimalkurvenradius nach Fahrradtypen [Einheit: mm] [nach (LTN 2/08)] ... A14

Tabelle A4.9: Vergleich der Gestaltung der Aufstellbereiche für Radverkehr in den ausländischen Regelwerken ... A14

Tabelle A4.10: Einsatzkriterien für Führung mit Fußverkehr in den ausländischen Regelwerken (Mindestmaß in Klammern) ... A15

Tabelle A4.11: Radwegbenutzungspflicht und Regel „Gehweg/ Radfahrer frei“ im Ausland ... A15

Tabelle A4.12: Berechnung der Zwischenzeit mit der Einfahrgeschwindigkeit des Radverkehrs ... A16

Tabelle A4.13: Maßnahmen für geradeausfahrenden Radverkehr im Zuge der übergeordneten Straßen ... A16

Tabelle A4.14: Entwurfselemente für die Führung des links abbiegenden Radverkehrs in den internationalen Regelwerken ... A17

Tabelle A5.1: Einstufung der kritischen Situationen nach Überholabstand zwischen Kfz- und Radverkehr ... A20

Tabelle A9.1: Vergleich der Charakteristik der Unfallstelle (Mehrfachnennung möglich) ... A53

Tabelle A9.2: Charakteristik der Unfallstelle in Abhängigkeit der Verkehrsflächen (N: Anzahl der Unfälle) ... A53

Tabelle A9.3: Unfallursachen der Unfälle an Knotenpunkten (N: Anzahl der Unfälle) (Mehrfachnennung möglich) ... A60

Tabelle A9.4: Unfallursachen der Unfällen an Strecken (N: Anzahl der Unfälle) (Mehrfachnennung möglich) ... A60

Tabelle A11.1: Zusammenführung der Fälle von Nebeneinanderfahren in Abhängigkeit von der Breite von Radverkehrsanlagen (Anzahl der Fälle von Nebeneinanderfahren) ... A78

Tabelle A11.2: Vergleich der berechneten Überholungsrate aus der Videoerfassung mit der Überholungsrate gemäß HBS ... A78

Tabelle A11.3: Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstände an Radverkehrsstreifen und geschützten Radfahrstreifen (n: Anzahl der Überholvorgänge) ... A79

Tabelle A11.4: Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstände an Radwegen (n: Anzahl der Überholvorgänge) ... A80

Tabelle A11.5: Zusammenführung der Fälle von Nebeneinanderfahren an den Strecken mit Längsparken (in Abhängigkeit von der Breite von Sicherheitstrennstreifen) ... A81

Tabelle A11.6: Anzahl der Überholvorgänge und Überholabstände an den Strecken mit Längsparken (n: Anzahl der Überholvorgänge) ..... A82

Tabelle A11.7: Zusammenführung der Fälle des Nebeneinanderfahrens an den Strecken mit Sicherheitstrennstreifen zwischen Radweg und Fahrbahn ..... A83

Tabelle A11.8: Anzahl der Übervorgänge und Überholabstände an den Radverkehrsanlagen mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (n: Anzahl der Überholvorgänge) ..... A83

Tabelle A11.9: Gegenüberstellung der Fälle von Nebeneinanderfahren an den Strecken mit Längsneigung ..... A84

Tabelle A11.10: Überholbedarf und Überholabstände an den Strecken mit Längsneigung (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A84

Tabelle A12.1: kritische Überholabstände im Mischverkehr bei dualer Führungsform (n: Anzahl der Interaktionsvorgänge) ..... A87

Tabelle A12.2: Interaktionsvorgänge mit den ein- und ausbiegenden Kfz aus Grundstücksein- und ausfahrt (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A89

Tabelle A12.3: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden je nach der Trennungsform zwischen Geh- und Radweg (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A93

Tabelle A12.4: Vergleich der Interaktionsvorgänge mit Fahrrad oder Pedelec je nach Anzahl oder Status des Fußverkehrs an der Strecke (7) (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A93

Tabelle A12.5: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden an den Radwegen mit Parkständen in Abhängigkeit von Vorhandensein und Breite von Sicherheitstrennstreifen (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A93

Tabelle A12.6: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden an den Radwegen mit Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A94

Tabelle A12.7: Interaktionen mit zu Fuß Gehenden an den Radwegen mit Längsneigung (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A94

Tabelle A12.8: Behinderungen und kritische Situationen bei Interaktionen mit zu Fuß Gehenden bei der gemeinsamen Führung (n: Anzahl der Interaktionen) ..... A94

Tabelle A14.1: Aufstellverhalten der nachkommenden Rad- und E-Tretrollernutzenden in Abhängigkeit von den „Bedingungen“ (n: Anzahl der Nutzenden) ..... A99

Tabelle A14.2: Beeinflussungen und Beeinträchtigungen auf dem Weg zu aufgeweiteten Radaufstellstreifen (n: Anzahl der Beeinflussungen und Beeinträchtigungen) ..... A101

Tabelle A14.3: Art der Beeinflussung und Behinderungen auf dem Weg zur aufgeweiteten Radaufstellstreifen an der Knotenpunktzufahrt (36) (n: Anzahl der Beeinflussungen und Behinderungen) ..... A101

## Literaturverzeichnis (Anhänge)


AASHTO-GBF-4, 2012: Guide for the Development of Bicycle Facilities.

AGRD06A-17, 06.2017: Guide to Road Design Part 6 A: Paths for Walking and Cycling.

AGTM09-16, 11.2016: Guide to Traffic Management Part 9: Traffic Operations.

Alrutz, D.; Stellmacher-Hein, J. (1997): Sicherheit des Radverkehrs auf Erschließungsstraßen. Unter Mitarbeit von D. Gründel, H. Müller und R. SCHMIDT. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW (Heft V 37).

Alrutz, Dankmar; Maier, Reinhold; Schreiber, Marcel (2015b): Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen. Unfallforschung der Versicherer.Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

Angenendt, Wilhelm; Bader, J.; Butz, T.; Cieslik, B.; DRAGER, W.; Friese, H. et al. (1994): Verkehrssichere Anlage und Gestaltung von Radwegen. Bremerhaven: Wirtschaftsverlag NW.

Angenendt, Wilhelm; Wilken, Markus (1997): Gehwege mit Benutzungsmöglichkeiten für Radfahrer. In: *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* (737).

AP-G88-17, 06. 2017: Cycling Aspects of Austroads Guides.

Bicycle Dutch (29.04.2020): A huge transformation in ’s-Hertogenbosch. Online verfügbar unter https://bicycledutch.wordpress.com/2020/04/29/a-huge-transformaton-in-%CA%BCs-hertogenbosch/.

Braun, L. (2017a): Auswirkungen der steigenden Bedeutung des Lastenrades auf die Planung von Radverkehrsanlagen im urbanen Raum. Masterarbeit. TU Berlin, Berlin. Institut für Land- und Seeverkehr Straßenplanung und Straßenbetrieb.

cargobike.jetzt (07.10.2020): Vorteile oder Verbote: Was bringt neues Cargobike-Symbol der StVO? Online verfügbar unter https://www.cargobike.jetzt/was-bringt-das-neue-cargobike-symbol-der-stvo/.

CROW (1994): Radverkehrsplanung von A bis Z.

CROW (1998): ASVV recommendations for traffic provisions in built-up areas: Author Ede,, The Netherlands.

CROW (2016): Design Manual for Bicycle Traffic. Ede: CROW (28).

CROW 343, 11.2014: Handboek verkeerslichten-regelingen 2014.

Czowalla, L. (2016): Nutzungs- und Akzeptanzkriterien von Elektrofahrrädern im beruflichen Pendelverkehr. Abschlussbericht der wissenschaftlichen Begleitforschung. EBikePendeln. Hg. v. Institut für Transportation Design (ITD). Hochschule für Bildende Künste Braunschweig.

Eger, Rudolf (1985): Gemeinsame Verkehrsflächen für Fußgänger und Radfahrer: Fachbereich Wasser u. Verkehr, Techn. Hochsch.

eLastenrad (Hg.): Abmessung verschiedener Transporträder. Online verfügbar unter https://www.e-lastenrad.de/lastenrad-anhaenger-technik.

FHWA-HEP-15-025, 05.2015: Separated Bike Lane Planning and Design Guide. Online verfügbar unter https://nacto.org/wp-content/uploads/2016/05/2-4_FHWA-Separated-Bike-Lane-Guide-ch-5_2014.pdf.

FHWA-HOP-08-024, 06.2008: Traffic Signal Timing Manual. Online verfügbar unter https://nacto.org/docs/usdg/signal_timing_manual_fhwa.pdf.

Fleury, J. (2018): Die rasante Verbreitung der Elektrovelos. In: *Zeitschrif der Velokonferenz Schweiz* (01), S. 6–9.

Gressmann, M.; Retzbach, L. (2018): Fachwissen E-Bike. Technik der Leicht-Elektrofahrzeuge. Unter Mitarbeit von A. Barth. 3. Aufl. Haan-Gruiten: Verlag Europa-Lehrmittel (Europa-Fachbuchreihe für Kraftfahrzeugtechnik).

Guilin News (12.04.2021): 重磅！桂林交警全城启动！电动车，电三轮，非机动车都注意了. Guilin. Online verfügbar unter https://www.163.com/dy/article/G7BH1DS60545A529.html.

Huang, XL.; Yang, LS.; Qiu, M.; Zhang, WH. (2020): Design method for left-turn traffic organization of non-motor vehicles at road intersections. In: *Auto & Safety* (6), S. 76–84.

IAN 195/16, 10.2016: Cycle traffic and the strategic road network. Online verfügbar unter http://programme-officers.co.uk/Preston/CoreDocuments/LCC057.pdf.

Jellinek, R.; Hildebrandt, B.; Pfaffenbichler, P.; Lemmerer, H. (Februar, 2013): Auswirkungen der Entwicklung des Marktes für E-MERKUR-Auswirkungen der Entwicklung des Marktes für E-Fahrräder auf Risiken, Konflikte und Unfälle auf Radinfrastrukturen. Hg. v. Österreichische Energieagentur. Wien (Band 19).

Koch, F.; Pez, P. (2013): Stadtverkehrsrevolution Pedelec. Ergebnisse eines Reisezeitexperiments in Lüneburg. In: *Raumplanung* 167 (2), 51-55.

Kroher, T. (2020): E-Scooter-Test: Große Unterschiede bei Qualität und Reichweite. Unter Mitarbeit von M. Zimmermann und R. Kaessmann. Hg. v. ADAC. Online verfügbar unter https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/elektromobilitaet/e-scooter-test/.

Landau, M. (2011): Bericht Technische Begleitforschung Nutzung von Pedelecs im Projekt Bike Business 2.0. Unter Mitarbeit von P. Ackermann, R. Gaber, F. Gerner und O. Schömann. Hg. v. Frauenhofer-IWES. Kassel.

LTN 1/12, 09.2012: Shared Use Routes for Pedestrians and Cyclists. Online verfügbar unter https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/9179/shared-use-routes-for-pedestrians-and-cyclists.pdf.

LTN 2/08, 10.2008: Cycle Infrastructure Design.

Meyer, E.; Blass, P.; Robatsch, K.; Senitschnig, N.; Soteropoulos, A. (2020): Elektromobilität auf zwei Rädern - Herausforderungen an die Infrastruktur. In: *Straßenverkehrstechnik* 64.

NACTO (2014): Urban bikeway design guide. Washington: Island Press.

Nottinghamshire County Council (Hg.) (2006): Cycling Design Guide 2006. Nottinghamshire. Online verfügbar unter https://nacto.org/wp-content/uploads/2011/03/Nottinghamshire-Cycling-Design-Guide-2006.pdf.

Panwinkler, T.; Holz-Rau, C. (2019): Unfallgeschehen von Pedelecs und konventionellen Fahrrädern im Vergleich. In: *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 65 (336-347).

Pez, P.: Reisezeiten in Städten und ihre Implikation für die Verkehrspolitik/-planung. Leuphana Universität Lüneburg.

RadKULTUR Baden-Württemberg (Hg.) (2017): Musterlösung für Radverkehrsanlagen in Baden-Württemberg. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg. Online verfügbar unter https://www.fahrradland-bw.de/fileadmin/user_upload_fahrradlandbw/Downloads/Musterloesungen_RadNETZ.pdf.

Renard, A. (2017): Elektrovelos-Auswirkungen auf das Verkehrssystem. SVI. Schweizerische Vereinigung der Verkehrsingenieure und Verkehrsexperten (SVI), 11.2017.

Riel, J. (2002): Modellierung von Störungen des Verkehrsablaufs durch Ein- und Ausparken am Fahrbahnrand. Universität Kaiserslautern, Kaiserslautern. Fachgebiet Verkehrswesen.

RVS 03.02.13, 01.02.2014: Merkblatt Radverkehr.

RVS 05.04.32, 28.10.1998: Verkehrslichtsignalanlagen Einsatzkriterien.

RVV 1990: Reglement verkeersregels en verkeerstekens 1990, vom 05.05.2022. Minister van Verkeer en Waterstaat.

Schleinitz, Katja; Franke-Bartholdt, Luise; Petzoldt, Tibor; Schwanitz, Stefan; Gehlert, Tina; Kühn, Matthias (2014): Pedelec-naturalistic cycling study. In: *Berlin: GDV UdV*.

Schlichtholz, R. (2020): E-Scooter - Der ultimative Ratgeber für die Mobilität der Zukunft. 2. Aufl. Berlin: epubli.

SN 640 060, 11/2014: Leichter Zweiradverkehr: Grundlagen.

SN 640 201, 10/1992: Geometrisches Normalprofil.

StBA (2015-2021): Verkehrsunfälle. Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2015-2021. Wiesbaden. Online verfügbar unter https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-zweirad-5462408187004.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 13.Nov.2021.

StVO: Straßenverkehrsordnung, vom 01.06.2019. Das Bundesgesetzblatt (BGBl). Online verfügbar unter https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10011336.

StVO: Straßenverkehrs-Ordnung, vom 12.07.2021. Bundesamt für Justiz (BfJ), §21 Absatz (3). Online verfügbar unter https://www.gesetze-im-internet.de/stvo_2013/BJNR036710013.html.

TBA, Fachgruppe Velo-& Fussverkehr (2018): Anlagen für den Veloverkehr des Kantons Bern. Hg. v. Tiefbauamt des Kantons Bern. Tiefbauamt des Kantons Bern. Bern.

Traffic Management Research Institute of the Ministry of Public Security (22.07.2020): 交叉口非机动车左转交通组织设计方法及适用性. Online verfügbar unter https://baijiahao.baidu.com/s?id=1672816956060672412&wfr=spider&for=pc.

TSO 12/19, 12.2019: Traffic signs manual: Chapter 6 Traffic control.

Vejdirektoratet (2017a): HÅNDBOG PROJEKTERING AF TRAFIKSIGNALER. ANLÆG OG PLANLÆGNING. Hg. v. Vejdirektoratet. Kopenhagen.

Vejdirektoratet (2017b): HÅNDBOG VEJVISNING FOR CYKLISTER. ANLÆG OG PLANLÆGNING. Hg. v. Vejdirektoratet. Kopenhagen. Online verfügbar unter https://cykelturisme.dk/wp-content/uploads/2019/01/vejvisning-for-cyklister.pdf, zuletzt geprüft am 27.04.2020.

Vejdirektoratet (2019): HÅNDBOG TVÆRPROFILER I BYER. ANLÆG OG PLANLÆGNING. Hg. v. Vejdirektoratet. Kopenhagen.

Vlakveld, W. P.; Twisk, D.; Christoph, M.; Boele, M.; Sikkema, R.; Remy, R.; Schwab, A. L. (2015): Speed choice and mental workload of elderly cyclists on e-bikes in simple and complex traffic situations: A field experiment. In: *Accident Analysis & Prevention* 74, S. 97–106. Online verfügbar unter https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0001457514003157?token=7EEE2373D483D54892D2530D20171AD0473596DA6A233506C11D273614FE19E637553777D1114553F37CBF978B071051.

VSS 40 252, 03.2019: Knoten Führung des Veloverkehrs.

VSS 40 838, 03.2019: Lichtsignalanlagen Zwischenzeit.

Yu. XC (2019): Die Entwicklung des Radverkehrs in China. ADFC Hessen-Forum 2019. Hochschule Darmstadt. ADFC Hessen. Bad Homburg, 10.12.2019. Online verfügbar unter https://www.adfc-hessen.de/aktiv/hessen-forum/2019/Entwicklung-des-Radverkehrs-in-China.pdf.

Zhou, BH.; Pei, JF. (2020): 自行车专用路西延段今起通车 试行自行车优先左转. In: *BJNEWS*, 31.07.2020. Online verfügbar unter https://www.bjnews.com.cn/detail/159617922815812.html.