

# **Verkehrs- sicherheit von Kindertransport auf dem Fahr- rad**

Gerd Müller  
Dennis Kirsch  
Michael Minge  
Manfred Thüring  
Marie Meincke  
Matthias Kühn

im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV)  
Forschungsbericht Nr. 95

Verkehrssicherheit von Kindertransport auf dem Fahrrad

**Bearbeitet durch:**  
Gesellschaft für Kraftfahrzeugtechnik Berlin - GKB UG



Dr.-Ing. Gerd Müller  
Dennis Kirsch, B.Sc.  
Prof. Dr. Michael Minge  
Prof. Dr. Manfred Thüring  
Marie Meincke, M.Sc.

**Projektleitung bei der UDV:**  
Dr. Matthias Kühn

**Herausgeber**  
Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.  
Unfallforschung der Versicherer  
Wilhelmstraße 43 / 43 G, 10117 Berlin  
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin  
Tel. 030 / 20 20 - 50 00, Fax 030 / 20 20 - 60 00  
[www.gdv.de](http://www.gdv.de), [berlin@gdv.de](mailto:berlin@gdv.de)  
[www.udv.de](http://www.udv.de), [unfallforschung@gdv.de](mailto:unfallforschung@gdv.de)  
[www.facebook.com/unfallforschung](https://www.facebook.com/unfallforschung)  
[@unfallforschung](https://www.instagram.com/unfallforschung)  
[www.youtube.com/unfallforschung](https://www.youtube.com/unfallforschung)

**Redaktion**  
Dr. Matthias Kühn

**Bildnachweis**  
Die Nutzungsrechte der in dieser Broschüre abgebildeten Fotos liegen bei der Unfallforschung der Versicherer

**Erschienen**  
05/2024

**ISBN-Nr.:**  
978-3-948917-26-5

**Alle Ausgaben**  
auf [UDV.de](http://UDV.de)

**Disclaimer**  
Die Inhalte wurden mit der erforderlichen Sorgfalt erstellt. Gleichwohl besteht keine Gewährleistung auf Vollständigkeit, Richtigkeit, Aktualität oder Angemessenheit der darin enthaltenen Angaben oder Einschätzungen.

## Inhalt

1	Stand der Forschung und Technik.....	6
1.1	Gesetzliche Rahmenbedingungen.....	6
1.2	Übersicht über die Transportmethoden .....	7
1.2.1	Lastenräder .....	7
1.2.2	Fahrrad-Kindersitze .....	10
1.2.3	Anhänger .....	12
1.2.4	Beiwagen .....	13
1.2.5	Nachläuferstange/-kupplung .....	13
1.2.6	Kinderfahrrad-Abschleppseile.....	13
1.3	Bisherige Untersuchungen und Studien .....	14
1.3.1	Crash- und Bremstests, Sicherheits-Untersuchungen und Vergleiche.....	14
1.3.2	Risikofaktoren .....	16
1.3.3	Kongresse und Konferenzen .....	17
1.4	Nutzerbefragungen und Fachliteratur .....	17
1.5	Aktuelle Entwicklungen und Innovationen .....	19
1.6	Projekte zur Lastenradspezifischen Radverkehrsinfrastruktur .....	20
1.7	Zusammenfassung .....	20
2	Identifikation relevanter Unfallszenarien .....	21
2.1	EUSKa-Daten .....	21
2.1.1	Unfallhäufigkeit nach Monat.....	22
2.1.2	Unfallhäufigkeit nach Wochentag .....	23
2.1.3	Uhrzeit des Unfalls .....	23
2.1.4	Geschlechterverteilung .....	24
2.1.5	Verletzungsgrade der involvierten Radfahrenden.....	24
2.1.6	Verletzungsgrade der beförderten Kinder.....	25
2.1.7	Unfallgegner.....	25
2.1.8	Hauptursache des Unfalls, wenn Unfallgegner:in Hauptunfallversursacher:in (HV) ist .....	26
2.1.9	Hauptursache des Unfalls, wenn Radfahrer:in HV ist.....	26
2.1.10	Unfalltyp .....	28
2.1.11	Evaluation detaillierter Unfallbeschreibungen .....	31
2.2	Weitere Unfallstatistiken .....	31
2.3	Internetrecherche zu Einzelfällen .....	32
2.4	Zusammenfassung .....	33
2.5	Crash-Szenarien basierend auf der Unfall-Recherche .....	35
2.5.1	Kindersitz .....	35
2.5.2	Anhänger .....	37
2.5.3	Lastenrad .....	39
3	Nutzerbefragung und Nutzertests .....	40

3.1	Zielsetzung .....	40
3.2	Fragestellungen .....	40
3.3	Online-Befragung.....	40
3.3.1	Aufbau und Auswertung der Online-Befragung .....	40
3.3.2	Erhebungszeitraum und Stichprobe.....	41
3.3.3	Ergebnisse der Online-Befragung.....	43
3.4	Felduntersuchung .....	67
3.4.1	Händlergespräche als Voruntersuchung für die Erstellung des Beobachtungsprotokolls .....	67
3.4.2	Vorbefragung zur Konzipierung des Interviewleitfadens.....	68
3.4.3	Aufbau der Untersuchungsmaterialien für die Felduntersuchung.....	68
3.4.4	Erhebungszeitraum und Stichprobe der Felduntersuchung.....	69
3.4.5	Ergebnisse der Felduntersuchung .....	70
3.4	Fazit und Diskussion.....	72
3.4.1	Beantwortung der Fragestellung und kritische Würdigung in Relation zu den Unfalldaten .....	72
3.4.2	Kritische Würdigung in Relation zu den Unfalldaten.....	74
3.4.3	Limitationen.....	74
3.5	Statistische Erhebung der Verteilung und Häufigkeit von Kindertransporten auf dem Fahrrad .....	75
3.5.1	Methodik und Rahmenbedingungen .....	75
3.5.2	Beobachtungsorte und Zeiten.....	75
3.5.3	Beobachtungen.....	76
3.5.4	Zusammenfassung .....	79
4	Untersuchungen zur passiven und aktiven Sicherheit verschiedener Fahrradkonzepte .....	80
4.1	Realversuche zur Erfassung fahrdynamischer Daten .....	80
4.1.1	Aufbau eines Messfahrrads .....	80
4.1.2	Fahrdynamik des Fahrrads .....	84
4.1.3	Versuchsszenarien und Bewertungskriterien.....	85
4.1.4	Weitere Rahmenbedingungen .....	88
4.1.5	Ergebnisse .....	88
4.1.6	Zusammenfassung der Ergebnisse .....	97
4.2	Simulation der Fahrdynamik von Fahrrädern .....	97
4.3	Untersuchungen zum Überholabstand .....	100
4.3.1	Rahmenbedingungen.....	100
4.3.2	Messtechnik.....	100
4.3.3	Route für Messfahrten .....	100
4.3.4	Auswertung .....	101
4.3.5	Zusammenfassung .....	104
4.4	Crash-Versuche zur Untersuchung der passiven Sicherheit.....	105
4.4.1	Verwendete Messinstrumente .....	105
4.4.2	Umkippen aus dem Stand.....	106

4.4.3	Auffahrunfall .....	107
4.4.4	Dooring-Unfall .....	108
4.4.5	Abbiegeunfall .....	114
4.4.6	Zusammenfassung .....	118
4.5	FEM-Simulation zur Untersuchung der passiven Sicherheit .....	119
4.5.1	Fahrrad .....	119
4.5.2	Kindertransport .....	122
5	Ableitung von Empfehlungen anhand der Forschungsergebnisse .....	135
5.1	Generelle Empfehlungen .....	135
5.2	Handlungsempfehlungen zu Kindersitzen .....	136
5.3	Handlungsempfehlungen zu Fahrradanhängern .....	137
5.4	Handlungsempfehlungen zu Lastenrädern .....	138
6	Literaturverzeichnis .....	139
7	Abbildungsverzeichnis .....	150
8	Tabellenverzeichnis .....	154
9	Anhang .....	155
9.1	Aufbau der Online-Befragung .....	155
9.2	Aufbau des Interviewleitfadens und Beobachtungsprotokolls der Felduntersuchung .....	175

## Einleitung

Der Anteil von Fahrrädern im Straßenverkehr hat in den letzten Jahren und insbesondere im Zusammenhang mit der Covid-Pandemie vor allem im urbanen Raum deutlich zugenommen [RAD20]. Dabei wird das Fahrrad zunehmend nicht nur als Fortbewegungsmittel für die Fahrer:innen selbst, sondern auch als Transportmittel für Kinder eingesetzt. Neben dem klassischen Kindersitz kommen dafür vermehrt auch Fahrradanhänger und Lastenfahrräder zum Einsatz. Letztere nehmen bei den neu verkauften Fahrrädern bereits einen Anteil von 2 % ein [CAR22b]. Für die zum Teil ohnehin schon überforderte Radwegeinfrastruktur stellen die Lastenräder bereits aufgrund ihrer Abmaße eine zusätzliche Herausforderung dar. Im Mischverkehr mit motorisierten Fahrzeugen ergeben sich ebenfalls auf Grund der Größe und auch durch die häufig vorhandene Tretkraftunterstützung und die damit verbundenen hohen Fahrgeschwindigkeiten neue Herausforderungen. So brauchen z.B. Überholvorgänge mehr Platz und dauern länger.

Während das Unfallgeschehen von Fahrrädern insgesamt in den offiziellen Unfallstatistiken gut erfasst und beschrieben wird, ist eine Unterscheidung nach Bauart des Fahrrads nicht möglich. Auch gibt es derzeit wenig Untersuchungen zum Verletzungsrisiko von Kindern, die auf Fahrrädern befördert werden. Erste Studien zeigen aber, dass bereits bei einer Vollbremsung für nicht angeschnallte Kinder ein erhebliches Verletzungsrisiko besteht [DEK20]. Im Fall eines Unfalls dürfte dieses Risiko um ein Vielfaches höher liegen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird untersucht, wie sich die verschiedenen Transportarten für Kinder auf dem Fahrrad, im Wesentlichen sind das der Kindersitz, der Fahrradanhänger und das Lastenrad, auf die Sicherheit auswirken und welche spezifischen Risiken es für die einzelnen Systeme ggf. gibt.

Neben einer umfassenden Literaturrecherche (Kapitel 1) wird dazu eine detaillierte Analyse von Unfalldaten vorgenommen (Kapitel 2). Basierend auf EUSKa-Daten wird ein Vergleich zwischen dem Unfallgeschehen von Fahrrädern insgesamt und von Unfällen mit Fahrradbeteiligung, bei den einen Kind mit dem Fahrrad transportiert wurde, vorgenommen.

Ergänzend dazu wird das Mobilitäts- und Verkehrsverhalten von Fahrradfahrer:innen untersucht, die regelmäßig Kinder transportieren (Kapitel 3). Im Zentrum steht dabei der Unterschied zu Personen, die keine Kinder transportieren. Die Studie besteht aus zwei Teilen. In einer Online-Erhebung werden Fragen zu Fahrradart, Nutzungszwecken, Routen und sicherheitskritischen Situationen gestellt. Die Erhebung erfolgt online und anonymisiert, um Verzerrungen im Sinne sozialer Erwünschtheit – vor allem in Bezug zu Kindersicherheit – zu reduzieren. In einer Felderhebung werden Fehlbedienungen bei der Montage und Nutzung von Sicherheitseinrichtungen für Kinder untersucht. Ergänzt werden die beiden Studien durch 10 Verkaufsgespräche in Fahrradfachgeschäften, um zu erfahren, worauf der Handel in punkto Kindersicherheit besonders hinweist und welche Maßnahmen und technische Besonderheiten hierfür genannt werden.

Ergänzend zur Felduntersuchung wird es Nutzertests geben. Dazu werden Versuchspersonen verschiedene Fahrradmodelle im Alltag testen. Dabei soll das persönliche Sicherheitsempfinden im Fokus stehen. Mittels eines optischen Messverfahrens wird bei den Testfahrten der Abstand zwischen Fahrrad und überholendem Fahrzeug gemessen. So wird untersucht, ob es bei der Interaktion mit motorisierten Verkehrsteilnehmern je nach Fahrradbauart spezifische Besonderheiten gibt.

Einen weiteren Schwerpunkt dieses Berichts bildet die Darstellung der Untersuchungen zur aktiven passiven Sicherheit des Transports von Kindern auf dem Fahrrad (Kapitel 0). Im Bereich der aktiven Sicherheit gilt es vor allem die fahrdynamischen Grenzen der einzelnen Transportkonzepte zu untersuchen. Hierfür wurde ein Messfahrrad aufgebaut, das alle relevanten fahrdynamischen Größen erfassen kann. Vergleichende Untersuchungen und die Identifikation relevanter Einflussgrößen auf die Fahrstabilität können so analysiert werden. Ergänzend wurde ein physikalisches Fahrdynamikmodell entwickelt, welches ebenfalls das Fahrverhalten abbilden kann. Insbesondere zur Untersuchung von kritischen Situationen ist diese Simulation in Ergänzung zum Messfahrrad hilfreich.

Zur Untersuchung der passiven Sicherheit werden von allen drei Transportformen FEM-Modelle aufgebaut und in geeigneten Crashszenarien untersucht. Die Ergebnisse dieser Simulationen und die Ergebnisse der Unfallanalyse bilden dann die Basis für die Crashversuche, die anschließend durchgeführt werden.

## 1 Stand der Forschung und Technik

Zunächst werden in diesem Bericht die Ergebnisse einer Literaturrecherche vorgestellt. Das beinhaltet eine Vorstellung der Systeme, die aktuell zum Transport von Kindern verfügbar sind, eine Darstellung der bisherigen Forschungsarbeiten zu dem Thema und zum Stand der Technik und zunächst eine Übersicht über die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die den Transport von Kindern auf Fahrrädern regeln.

### 1.1 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Bei der Beförderung von Kindern auf dem Fahrrad sind grundsätzlich die gesetzlichen Rahmenbedingungen zu beachten. In der Straßenverkehrsordnung (StVO) [STV13] §21 Absatz 3 sind Regelungen bezüglich des Kindertransports auf Fahrrädern im Allgemeinen festgehalten. Diese besagen, dass die befördernde Person mindestens 16 Jahre alt sein muss. Es muss sichergestellt sein, dass die Füße des Kindes nicht in die Speichen geraten können. In Kindersitzen und Anhängern gilt im Allgemeinen eine Altersgrenze von maximal 7 Jahren für transportierte Kinder, die bei behinderten Kindern jedoch entfällt. In einem Fahrradanhänger dürfen zu jedem gegebenen Zeitpunkt maximal zwei Kinder gleichzeitig transportiert werden. Die Transportboxen, die den Fahrgastraum umschließen, bieten hierbei in der Regel ein gewisses Maß an Kollisionsschutz [BUN21].

Für Lastenräder gibt es keine gesonderten Regelungen. Sie werden gesetzlich behandelt wie herkömmliche Fahrräder und unterliegen somit denselben Bedingungen. Ist das Lastenrad „zur Personenbeförderung eingerichtet“, gelten folgende Bedingungen, die mit Fahrrad-Rikschas vergleichbar sind: Es gibt keine Altersbeschränkung für Passagier:innen, jedoch müssen für Kinder bis zum vollendeten 7. Lebensjahr „besondere Sitze“ verbaut sein. „Besondere Sitze“ sind in diesem Kontext jedoch nicht näher definiert. Auch für die Anzahl der Passagier:innen gibt es keine Beschränkung und eine Helmpflicht besteht weder für die Fahrer:innen noch für Passagier:innen. Es sind in der DIN-Norm 79010 [NORMDIN 79010:2020-02] jedoch gewisse Mindestanforderungen an Lastenräder festgehalten [BUN21]. In dieser Norm werden grundsätzliche Anforderungen, wie der Schutz vor Scher- und Quetschverletzungen, Anforderungen an die chemischen Eigenschaften der verwendeten Materialien, Schutzmaßnahmen zur Entflammbarkeit etc. formuliert. Vor allem aber sind Anforderungen an die zu verwendenden Gurtsysteme und deren Schließmechanismen beschrieben. Diese leiten sich aus der DIN-Norm 15918, welche die Sicherheitsanforderungen an Fahrradanhänger zum Kindertransport beschreibt, ab. Darin sind Belastungstests für Gurte und Gurtschlösser definiert, die diese schadfrei überstehen müssen.

Es gibt für Fahrradanhänger konkrete Vorschriften bezüglich der anzubringenden Beleuchtungselemente. Diese sind in der Straßenverkehrszulassungsordnung §67a [STV12] festgehalten. Bei mehr als 60 cm Anhängerbreite ist an der Vorderseite links und rechts je ein weißer Rückstrahler mit maximal 20 cm Abstand zur Außenkante vorgeschrieben. Bei mehr als einem Meter Anhängerbreite ist zusätzlich eine weiße Leuchte vorne links anzubringen. Am Heck des Anhängers muss bei mehr als 60 cm Anhängerbreite links eine rote Schlussleuchte und generell links und rechts je ein roter Rückstrahler der Kategorie „Z“ mit maximal 20 cm Abstand zur Außenkante vorhanden sein. An jedem der Räder müssen weiße Reflektorstreifen oder je zwei um 180 ° versetzte gelbe Speichenrückstrahler angebracht sein. Diese Vorschriften gelten für Fahrradanhänger die ab dem 01.01.2018 in Verkehr gebracht wurden. Anforderungen an die Sicherheit der Rahmenstruktur, der Gurte und der Gurtschlösser sind in der Norm DIN EN 15918 [NORMDIN EN 15918:2017-05] festgelegt. Dabei sind konkrete Zugkraftprüfungen an den Gurten und quasistatische Steifigkeitsprüfungen für den Rahmen beschrieben.

Vorschriften bezüglich Beleuchtungseinrichtungen bei Lastenfahrrädern sind in §67 StVZO [STV12] aufgeführt. Diese unterscheiden sich jedoch nicht von den Vorschriften, die auch für herkömmliche Fahrräder und Pedelecs gelten.

Mindestanforderungen und Prüfverfahren bezüglich Fahrrad-Kindersitzen sind in der DIN EN 14344 [NORMDIN EN 14344:2022-08] definiert. Auch hier werden dezidierte Prüfverfahren für die Gurte, das Gurtschloss und den Kindersitz hinsichtlich seiner Festigkeit insgesamt beschrieben.

In der StVO und StVZO sind spezifisch die Einhaltung der Normen für Lastenräder, Anhänger und Kindersitze nicht vorgeschrieben, jedoch besagt §63a Abs. 3 StVZO folgendes: „Fahrräder und Fahrradanhänger dürfen nur dann im öffentlichen Straßenverkehr in Betrieb genommen werden, wenn sie den Vorschriften dieser Verordnung, den zu ihrer Ausführung amtlich veröffentlichten Bekanntmachungen sowie dem Stand der Technik zum Zeitpunkt der Herstellung entsprechen.“ [STV12]. Im Zuge dieses Satzes müssen Anhänger und auch Lastenräder, welche aktuell rechtlich als Fahrräder gelten, dem Stand der Technik und somit auch den gültigen Normen entsprechen.

## 1.2 Übersicht über die Transportmethoden

Im Laufe der Nutzung von Fahrrädern als Transportmittel wurde eine Vielzahl von verschiedenen Konzepten entwickelt. Diese dienen dem Transport von Lasten im Allgemeinen und insbesondere auch dem Transport von Kindern. Die folgende Übersicht stellt die wichtigsten Modelle aus den Bereichen Lastenräder, Kindersitze und Fahrradanhänger vor. Abschließend werden auch Beispiele für sogenannte Nachläufer, also Konzepte, bei denen ein Kinderfahrrad am Fahrrad eines Erwachsenen befestigt wird, vorgestellt.

### 1.2.1 Lastenräder

Lastenräder zeichnen sich durch eine Transportbox aus, die in der Regel fest mit dem Rahmen des Rads verbunden ist. Diese erlauben hohe Zuladungen und werden laut Händlern in den letzten Jahren bei Familien für den Zweck des Kindertransports zunehmend beliebter. Lastenräder ohne unterstützenden E-Antrieb bilden hierbei die Ausnahme auf dem Markt, da die oft hohen Eigengewichte der Räder und die optionalen Zuladungen mit reiner Tretkraft nur mühevoll zu bewältigen sind [WEI20].

Der Elektromotor ist in der Regel als Mittelmotor, bei günstigeren Modellen teils auch als Nabenmotor ausgeführt. Bei Modellen ohne Elektromotor oder mit Nabenmotor wird in der Regel eine Kettenschaltung verbaut. Bei höherpreisigen Modellen werden in der Regel Nabenschaltungen verbaut, die teils auch als Automatikschaltung ausgeführt werden [GRE22a].

Allgemein kann grob zwischen zwei-, drei- und in Ausnahmefällen auch vierrädrigen Lastenrädern unterschieden werden, wobei die vierrädrigen Lastenräder im Rahmen des Kindertransports keine signifikante Rolle spielen. Diese werden hauptsächlich beziehungsweise beinahe ausschließlich im gewerblichen Bereich verwendet und zeichnen sich durch ihre hohen Zuladungsvolumen mit Transportboxen zwischen beiden Räderpaaren und ein besseres Kurvenverhalten als bei dreirädrigen Lastenrädern aus [VSF21].

Zweirädrige Lastenräder sind im Allgemeinen vergleichsweise schmal und dynamisch, sportlich fahrbar. Auch für lange Strecken sind sie geeignet, da sie in der Regel ein vorteilhaftes Verhältnis zwischen Akkukapazität und Gewicht des Rads aufweisen. Zum Abstellen des Rads ist aufgrund der einspurigen Ausführung ein Ständer benötigt. Die Zuladungsgrenzen und -volumen sind in der Regel geringer als bei dreirädrigen Lastenrädern [GRE22b].



### 1.2.1.1 Long John



**Abbildung 1: Long-John-Lastenfahrrad**

Das Long-John-Lastenfahrrad erinnert optisch teils an ein herkömmliches Fahrrad. Hierbei ist jedoch der Radstand verlängert und zwischen Vorderrad und Lenker befindet sich eine Transportbox. Hierdurch ist eine direkte Verbindung zwischen Lenker und Vorderrad wie beim herkömmlichen Fahrrad nicht möglich und es wird stattdessen mit einer indirekten Lenkungsübertragung gearbeitet. Die Tragfähigkeit liegt in der Regel bei bis ca. 150 kg. Long Johns weisen dynamische Fahreigenschaften auf und ermöglichen auch sportliches Fahren [ADA20]. Handelsübliche Preise für Modelle mit Elektromotor liegen zwischen 4.000 € und 5.500 € [ELE20]. Üblich sind Gesamtlängen von ca. 3 Metern. In der Regel lassen sich bis zu zwei Kinder transportieren. Je nach Form und Materialien der Transportbox wird die Ladung beziehungsweise die Insassen mehr oder weniger gut gegen Schläge geschützt [GRE22b]. Die Lenkung wird hier in der Regel über eine von zwei Varianten ausgeführt. Entweder wird eine Seilzuglenkung mit Stahlseilen und einem Drehgelenk (s. Abbildung 1) oder eine Lenkstange verwendet. Bei letzterer Variante ist der Lenkradius eingeschränkt [GRE22a].

### 1.2.1.2 Bäcker- oder Postfahrrad

Beim Bäcker- oder Postfahrrad ist die Ladefläche fest mit dem Rahmen verbunden und vor dem Lenker platziert. Aufgrund der starren Befestigung bewegt sie sich beim Lenken nicht mit und bietet somit hohe Stabilität. Zusätzlich verfügen die Räder in der Regel über einen hinteren Gepäckträger und einen tiefen Einstieg [ADA20]. Handelsübliche Preise liegen zwischen 1.000 € und 1.500 € [MEI22b]. Post- oder Bäckerfahrräder sind, wie der Name es bereits andeutet, primär für den gewerblichen Gebrauch konzeptioniert und finden im Kindertransport in der Regel keine Anwendung.

### 1.2.1.3 Backpacker/Longtail



**Abbildung 2: Longtail-Lastenrad**

Das Backpacker- oder Longtail-Lastenrad ist förmlich sehr nah am herkömmlichen Fahrrad gehalten. Über dem Hinterrad, das häufig kleiner gehalten ist als das Vorderrad befindet sich hier ein langer, stabiler Gepäckträger für Zuladungen bis ca. 200 kg. Dies ermöglicht in der Regel den Transport von bis zu zwei Kindern. Oft ist vorn ein zusätzlicher Korb montiert, der ähnlich wie beim Bäcker-/ Postfahrrad mit dem Rahmen verbunden ist. Der Frontkorb hat in der Regel eine Zuladungskapazität von ca. 20 kg [GRE22b]. Lastenräder dieser Art kosten in der Regel ca. 5.000 € [E-L22a, STA22].

### 1.2.1.4 Dreirädrige Lastenfahräder



**Abbildung 3: Trike-Lastenrad (Tadpole)**

Bei dreirädrigen Lastenrädern sind aufgrund der großen Transportboxen zwischen dem Räderpaar und des stabilen Radstands in der Regel größere Zuladungsvolumen und -gewichte zulässig. Sie sind selbstständig stehfähig und ermöglichen langsames, gemütliches Fahren. In Kurven und bei Bodenunebenheiten sind bei höheren Geschwindigkeiten allerdings Instabilitäten bis hin zum Umkippen möglich [BUN21]. Die große Breite und das insbesondere in Kurven langsame Fahrverhalten erschweren die Teilnahme am Verkehr. Die Trikes ermöglichen den Transport von bis zu sechs Kindern gleichzeitig je nach Bauform der Transportbox [GRE22b]. Übliche Preise für Trikes liegen im Bereich von 3.500 € bis 5.000 € [STA22, WIN22].

### **Tadpole**

Das Tadpole ist die Bauform des Trikes mit Cargobox zwischen den Vorderrädern. Tadpoles zeichnen sich vor allem durch ihr großes Ladevolumen und hohe zulässige Zuladung aus [VSF21]. Das Tadpole ist die gängige Bauform für Trikes. Hierbei gibt es verschiedene Varianten bezüglich der Lenkung. Viele Modelle weisen eine starr zwischen dem vorderen Räderpaar montierte Transportbox auf, welche keine Neigung der Vorderräder erlaubt. Diese weisen in der Regel eine Drehschemel-Lenkung auf, bei der die gesamte Transportbox gedreht wird [GRE22a].

Ausgewählte Lastenrad-Modelle sind auch mit einer Neige-Technik ausgestattet. Hierbei wird eine Neigung beziehungsweise Gewichtsverlagerung der fahrenden Person auf die Vorderachse übertragen. Die Transportbox wird nicht mitgelenkt und nur anteilig geneigt. Dies ermöglicht eine Fahrweise, die dem herkömmlichen Fahrradfahren bedeutend näher ist als das Fahrverhalten eines Trikes mit Drehschemel-Lenkung [BAB22]. Diese Art von Lenkung stellt bei den Trikes jedoch die Ausnahme dar [GRE22a].

Eine noch seltenere Ausführung der Lenkung ist die Lenkung über das Hinterrad. Hierbei wird über eine Lenkstange eine Verbindung zwischen Lenker und Hinterrad hergestellt. Dies erhält die stabile, neigungsfreie Fahrdynamik der Drehschemel-Lenkung, reduziert jedoch den Kraftaufwand, da die Transport beim Lenkvorgang nicht aktiv beeinflusst wird [VEL22].

Ebenfalls selten ist die sogenannte Achsschellenlenkung. Hier findet beim Lenken zwar keine Neigung statt, jedoch ist die Lenkbewegung der Vorderradachse unabhängig von der Transportbox. Diese verweilt in ihrer ursprünglichen Ausrichtung. Aufgrund des dadurch benötigten Schwenkradius der Räder sind bei gleichem Vorderradabstand in der Regel schmalere Transportboxen verbaut als bei Modellen mit Drehschemel-Lenkung [CAR22a].

### **Delta**

Beim Delta-Lastenrad befindet sich die Transportbox zwischen den Hinterrädern. Diese Form ist auf dem Markt deutlich seltener als das Tadpole. Sie weist jedoch eine einfachere Bauweise aufgrund der direkten Lenkung auf [VSF21].

#### **1.2.1.5 Typische Mängel bei Lastenrädern**

Aufgrund der Topografie in den Niederlanden sind Lastenräder niederländischer Hersteller oft mit vergleichsweise schwachen Bremsen ausgestattet, die in hügeligem Gelände möglicherweise keine ausreichende Bremswirkung bieten [EHR20].

#### **1.2.2 Fahrrad-Kindersitze**

Der Fahrrad-Kindersitz ist im Allgemeinen ein Einzelsitz mit Sitzgurt, der für den Transport eines einzelnen Kindes ausgelegt ist. Hierbei unterscheidet man zwischen Sitzen, die für die Front-Montage bestimmt sind und Sitzen, die für die Heck-Montage konzipiert sind. Oft sind zusätzliche Adapter und Accessoires wie Regenhüllen oder Windschutzscheiben erhältlich [MAN17]. Übliche Preise liegen zwischen 30 € und 100 € [IDE22b]. Mindestanforderungen für Kindersitze sind in der DIN EN 14344 [NORMDIN EN 14344:2022-08] geregelt. Ein GS-Siegel steht für „geprüfte Sicherheit“ [RAD22]. Weiterhin wird häufig nicht beachtet, ob das Fahrrad selbst für die Anbringung eines Kindersitzes geeignet ist. Offiziell muss ein Fahrrad für diese spezifisch zugelassen sein, wenn der Nutzer einen Kindersitz anbringen will. Ist in der Bedienungsanleitung des Rads hierbei keine Angabe bezüglich dieser Zulassung zu finden, ist rechtlich gesehen davon auszugehen, dass das Rad für die Anbringung von Kindersitzen zugelassen ist [RAD22].

##### **1.2.2.1 Kindersitze zur Montage am Lenker**

Kindersitze werden direkt am Lenker (am Gabelschaft) oder auf dem Oberrohr des Fahrrads montiert. Dies sorgt dafür, dass das Kind freie Sicht in Fahrtrichtung hat und der Gepäckträger des Fahrrads, wenn vorhanden, für Beladung frei bleibt. Aufgrund der Tatsache, dass sich der Vordersitz im Allgemeinen beim Lenken mitbewegt, wird

die Stabilität des Fahrrads eingeschränkt. Vordersitze sind für Kinder zwischen 9 Monaten und 3 Jahren bis maximal 15 kg Körpergewicht geeignet [MAN17]. Für Kinder mit mehr als 15 kg Körpergewicht ist diese Art von Sitz gesetzlich nicht zulässig [MEI20].

### 1.2.2.2 Rücksitze

Rücksitze sind allgemein geeignet für Kinder ab einem Jahr bzw. 9 kg Gewicht. Aufgrund der festen Montage ohne Mitbewegen beim Lenken entsteht ein stabileres Fahrverhalten als mit Front-Kindersitz. Bei einigen Typen von Herrenrädern kann ein solcher Kindersitz jedoch das Aufsteigen erschweren [MAN17].

Ob ein Kindersitz auf dem Gepäckträger montiert werden kann, hängt maßgeblich von Art des Gepäckträgers ab. Dieser sollte festmontiert und bis 25 kg belastbar sein. In der Regel wird der Kindersitz mithilfe eines Klemmmechanismus am Gepäckträger befestigt und mit einem zusätzlichen Sicherungsband an der Sattelstange des Fahrrads gesichert. Diese Art der Montage bietet keine Federung oder Dämpfung über die fahrradeigenen Federungs- und Dämpfungsmechanismen hinaus, jedoch ist das Kind durch die hintere Sitzposition besser vor Regen und direktem Fahrtwind geschützt [MEI20].



**Abbildung 4: Rücksitz mit Sattelstangenmontage**

Alternativ zur Montage am Gepäckträger werden einige Kindersitze mithilfe einer Halterung am Sattelrohr befestigt und befinden sich mit einem gewissen Abstand über dem Gepäckträger des Rads. Zugelassen sind diese Sitze für Kinder mit maximal 22 kg Körpergewicht. Wenn sich das Kind in einem Sitz dieser Art ruckartig und ausgiebig bewegt kann dies für Instabilität sorgen [MEI19]. Durch den Fahrradrahmen und die Verbindung mit der Halterung wird der Sitz gefedert. Besonders leichte Rahmen sind unter anderem aus diesem Grund für diese Form der Montage ungeeignet [MEI20].

### 1.2.3 Anhänger

Fahrradanhänger eignen sich für den Transport von Kindern, die wenige Wochen bis etwa sechs Jahre alt sind. Der Boden eines solchen Anhängers kann entweder flexibel aus stabilem Gewebe gefertigt sein oder über eine Bodenwanne aus Metall oder Kunststoff ausgeführt werden. Weiterhin verfügen gängige Modelle über einen stabilen Metallrahmen und bei moderneren Modellen zusätzlich oft ein Umlaufrohr, welches als Stoßstange im Fall eines Aufpralls agiert. Ebenfalls sind moderne Modelle oft mit Sicherheitsgurten ausgestattet. Die Seitenwände und Überdachung bestehen meist aus spannbarem Kunststoffgewebe, während die Verschlüsse meist als Reiß- oder Klettverschlüsse ausgeführt werden [WIK22]. Gängige Preise liegen zwischen 500 € und 1.000 € [IDE22a].



**Abbildung 5: Kinderanhänger mit einarmiger Deichsel**

Gängig ist die Ausführung mit Aluminiumrahmen und Gewebe-Verdeck, jedoch existieren auch Sonderbauformen, wie beispielsweise der Anhänger mit starrer Fahrerkabine, der über eine Kreuzkupplung mit dem Rad verbunden wird.

## 1.2.4 Beiwagen



**Abbildung 6: Fahrrad mit Kinder-Beiwagen**

Fahrrad-Beiwagen, ähnlich den in den von 1920 bis 1940 populären Motorradbeiwagen, sind eine recht seltene Erscheinung. Jedoch erleben Sie momentan einen gewissen Anstieg an Beliebtheit. Bis ca. 50 kg Zuladung können die Beiwagen verwendet werden. Die Verbindung mit dem Fahrrad erfolgt über ein Schwenklager, wodurch eine Neigung des Fahrrads ohne eine Neigung des Beiwagens ermöglicht wird und die Fahreigenschaften weitgehend erhalten werden. Das Fahrzeug wird im Gesamten breiter als viele der anderen Varianten. Preislich liegt ein solcher Beiwagen bei ca. 1.500 € [KID22]

## 1.2.5 Nachläuferstange/-kupplung

Bei der Nachläuferstange oder Nachläuferkupplung wird das Kinderfahrrad über die Kupplung am Fahrrad der Eltern befestigt. Das Kind sitzt dementsprechend auf dem eigenen Fahrrad, wird aber von den Eltern gezogen und kann nicht selbst lenken. Preislich liegen diese Verbindungselemente ca. 100 € bis 200 €. Fahrversuche zeigen Probleme mit Instabilität. Zudem ist das Kind bei einem seitlichen Zusammenstoß vollkommen ungeschützt. [STI05]

### 1.2.5.1 Voll-Nachläufer

Beim Vollnachläufer handelt es sich um einen Vollbausatz ohne Vorderrad. Dieser wird über eine Kupplung in einen Spezialgepäckträger am Elternrad eingehängt oder über Verbindungsstangen mit dem Rahmen des Elternrads verbunden. Eigenschaften und Probleme sind vergleichbar mit den bei der Nachläuferkupplung auftretenden Phänomene. Preislich liegt ein solcher Nachläufer bei ca. 300-400 € [AMA12, DAS22].

## 1.2.6 Kinderfahrrad-Abschleppseile

Bei Verwendung eines Kinderfahrrad-Abschleppseils kann das Kind auf dem eigenen Kinderrad mit Freiraum fahren, ist aber über flexibles Seil an das Elternrad gebunden. In anspruchsvollen Streckenabschnitten kann das Elternteil dementsprechend das Kind durch Ziehen unterstützen.

Für den Straßenverkehr gelten diese Seile eher als ungeeignet, da sie von dritten leicht übersehen werden können und somit bei ausreichender Entfernung zwischen Kind und Elternteil Unfälle durch Verheddern Dritter im Seil oder auch durch Seilzug entgegen der Lenkbewegung des Kindes leicht entstehen können [DAS22].

### 1.3 Bisherige Untersuchungen und Studien

Die Sicherheit von Kindern auf Fahrrädern wurde bereits in zahlreichen Untersuchungen bewertet. Während zu Beginn der Untersuchungen eher Themen wie der Fahrradhelm oder die richtige Nutzung eines Kindersitzes am Fahrrad untersucht wurden, sind in den letzten Jahren vermehrt Konzepte wie der Fahrradanhänger oder das Lastenrad in den Mittelpunkt von Forschungsaktivitäten geraten. Dabei wurden komfort- und fahrdynamische Aspekte genauso untersucht, wie die Sicherheit von kindlichen Insassen im Fall eines Unfalls.

Eine Übersicht über bisherige Untersuchungen in diesem Bereich ist im Folgenden zu finden.

#### 1.3.1 Crash- und Bremstests, Sicherheits-Untersuchungen und Vergleiche

Ein Vergleich des Allgemeinen Deutschen Automobil-Club(ADAC) im Jahr 2021 [ADA21a] hat Fahrradanhänger und -kindersitze auf ihre Vor- und Nachteile überprüft. Dem ADAC zufolge sind diese weiterhin die beliebtesten und weitverbreitetsten Möglichkeiten, das Kind auf dem Fahrrad zu transportieren. Während Kindersitze kostengünstiger und im Alltag einfacher zu integrieren sind, ist ein Kind bei Unfällen durch den Anhänger strukturell deutlich besser geschützt. Zudem wird die Unfallgefahr beim Sichern des Kindes sowie beim Auf- und Absteigen durch einen Kindersitz aufgrund des vergleichsweise hohen Schwerpunkts erhöht. Trotz dieser Nachteile sind Kindersitze besonders aufgrund der geringen finanziellen Investition und der schnellen und leichten Montage weiterhin eine beliebte Transportmöglichkeit.

Ebenfalls hat der ADAC 2021 mehrere praktische Tests bezüglich verschiedener Methoden zum Kindertransport auf dem Fahrrad durchgeführt. In der Untersuchung des ADAC [ADA21b] wurden Lastenräder der Typen Backpacker, Long John und Trike, sowie gefederte und ungefederte Fahrradanhänger und ein Kinderfahrrad-Nachläufer bezüglich Sicherheit, Komfort und Handhabung beziehungsweise Fahrverhalten untersucht. Hierbei wurden zunächst Crashtests durchgeführt, bei denen ein Zusammenstoß mit einem 30 km/h schnellen Auto unter einem Kollisionswinkel von 45° zum stehenden Fahrrad nachgestellt wurde. Auf dem Fahrrad befand sich ein Erwachsenen-Dummy und je zwei Kinder-Dummys in den jeweils dafür vorgesehenen Transportelementen. Beim Long John und Trike wurde kritisch bewertet, dass diese nach dem Aufprall umkippen und anschließend weit, teils in den Gegenverkehr schlittern. Beim Long John lockerten sich zudem die Rückhaltegurte, wodurch die Kinder-Dummys aus der Transportbox fielen. Backpacker und Fahrradanhänger zeigten in diesem Test besseres Verhalten. Als problematisch erwies sich vor allem der Fahrrad-Nachläufer, welcher keinen Schutz bietet. Somit werden Hüfte und Beine des Kindes beim Aufprall direkt getroffen und es prallt anschließend mit dem Kopf auf der Straße auf.

In Bezug auf das Fahrverhalten wurden die Lastenräder insgesamt als sperrig und groß wahrgenommen. Beim Long John wurde die Instabilität bei niedrigen Geschwindigkeiten, beim Trike das langsame und träge Fahrverhalten kritisiert. Kritisch anzumerken ist, dass beim verwendeten Long John in Kurven der Bremshebel die Köpfe der Dummys berührten. Bei abrupten Lenkbewegungen könnten somit Schläge gegen die Köpfe der Kinder die Folge sein.

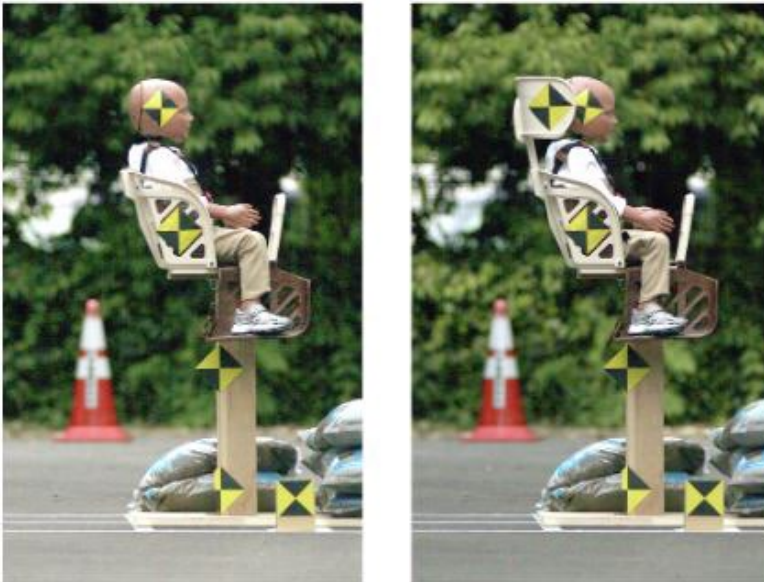
In einem Lastenfahrrad-Test des ADAC [KRO21] wurden fünf Trike-Modelle in Bezug auf Fahrverhalten, Antriebssystem und Sicherheit sowie Handhabung untersucht. Hierbei gab es bei allen Modellen beim Bremsen Empfindlichkeiten für Fahrbahnunebenheiten, welche in Aufschaukeln resultierten. Ein Modell erreichte beim Bremsen zudem nicht die nach DIN 79010 notwendige Mindestverzögerung. Bei mehreren Modellen waren die Anschnallsysteme entweder nicht ausreichend einstellbar oder schmal und labil. Bei einem Modell wurde ebenfalls beobachtet, dass der Lenker beziehungsweise die Bremsleitungen die Köpfe der Kinder-Dummys berühren.

Im Rahmen des DEKRA Verkehrssicherheitsreport 2020 [DEK20] wurden vom Deutschen Kraftfahrzeug-Überwachungs-Verein (DEKRA) Bremstests mit einem Long John Lastenrad durchgeführt. Hierbei wurden bei 25 km/h Ausgangsgeschwindigkeit Vollbremsungen mit der radeigenen Bremse durchgeführt, wobei in der

Cargobox ein Kinder-Dummy untergebracht war. Unterschieden wurde zwischen einem Szenario mit angeschnalltem Dummy und einem Szenario mit nicht angeschnalltem Dummy. Während der angeschnallte Dummy seine Position beim Bremsvorgang kaum veränderte, fiel der nicht angeschnallte Dummy aus der Transportbox und schlug mit dem Kopf auf der Fahrbahn auf. Bei einem echten Kind wären hierbei vor allem ohne Helm schwere Kopfverletzungen möglich gewesen. Diese Erkenntnisse führen auch die DEKRA zur Empfehlung zum Anschnallen und Tragen von Helmen auch für Kinder in Transportboxen von Lastenrädern. Die Empfehlung zum Anschnallen wird auch von der Bundesanstalt für Straßenwesen betont [BUN21].

In einer Analyse des Sicherheitsreports des Testinstituts Zedler 2020 beleuchtet Ehrenfeuchter [EHR20] einige sicherheitstechnische Eigenschaften verschiedener Transportarten. So seien Lastenräder beispielsweise deutlich sicherer beim Kindertransport als Kindersitze, was auf die niedrigere potenzielle Fallhöhe und den niedrigeren Schwerpunkt sowie die damit einhergehende höhere Stabilität zurückgeführt wird. Weiterhin wird betont, dass die besonderen Eigenschaften von Lastenrädern wie das hohe Gewicht, die größeren Ausmaße und der größere Wendekreis dafür sorgen, dass ein lastenradspezifisches Training der fahrenden Person erforderlich ist.

Terashima *et al.* [TER22] haben eine umfangreiche Studie zur Unfallsicherheit von Fahrradkindersitzen mit Gepäckträgermontage durchgeführt. Diese Untersuchungen unterteilen sich in Sturz-Versuche und Kollisionstests. Dabei werden Kindersitze ohne Kopfstütze mit Sitzen verglichen, die über eine hohe Lehne mit als Kopfstütze fungierenden Seitenflügeln verfügen. Letztere Variante ist in Japan die gängige Ausführung [TER22]. Exemplarische Ausführungen sind in Abbildung 7 im Kontext des Versuchsaufbaus dargestellt.



**Abbildung 7: Ausgangslage für Sturz-Tests, Links: Sitz ohne Kopfstütze, Rechts: Sitz mit Kopfstütze [TER22]**

Für die Fall-Tests wird der Kindersitz auf einem Tisch in 0,725 m Höhe platziert, was etwa der Anbringungshöhe auf dem Gepäckträger eines Fahrrads mit 26-Zoll-Rädern entspricht. Ergebnisse zeigen, dass die Kopfstütze die maximale Beschleunigung des Kopfes und das Risiko für Kopfverletzungen um über 70 % reduziert.

Bei den Kollisionsversuchen wird zusätzlich zu der Differenzierung zwischen Sitzen mit und ohne Kopfstütze jeweils ein zusätzliches Szenario mit ausgebautem Sitzgurtsystem realisiert. Es ergeben sich somit vier separate Szenarien. In jedem dieser Szenarien wird ein seitlicher Zusammenstoß mit einem Pkw nachgestellt. Eine schematische Darstellung des Kollisionsszenarios ist in Abbildung 8 dargestellt.



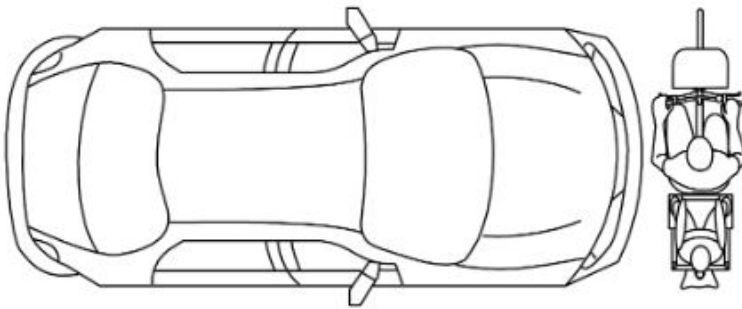


Abbildung 8: Geprüftes Kollisionsszenario [TER22]

Eine Übersicht über die Randbedingungen der verschiedenen Versuchsszenarien ist in Collision test conditions.

Test No.	Speed of car [m/s]	Speed of bicycle [m/s]	Child seat	
			Head restraint	Seat belt
1	8.3	4.2	w/o	w/o
2	8.3	0	w/	w/o
3	8.3	0	w/o	w/
4	8.3	4.2	w/	w/

Abbildung 9 dargestellt.

Collision test conditions.

Test No.	Speed of car [m/s]	Speed of bicycle [m/s]	Child seat	
			Head restraint	Seat belt
1	8.3	4.2	w/o	w/o
2	8.3	0	w/	w/o
3	8.3	0	w/o	w/
4	8.3	4.2	w/	w/

Abbildung 9: Übersicht über die Versuchsszenarien [TER22]

Aufwendige Analysen dieser Unfallszenarien über Beschleunigungssensoren und Hochgeschwindigkeitskameras führen Terashima *et al.* [TER22] zu dem Schluss, dass auch beim Zusammenprall mit einem Pkw eine Kopfstütze, insbesondere aber ein Sitzgurt zu einer signifikanten Reduktion des Verletzungsrisikos für das Kind führen.

Die Schutzwirkung einer hohen Rückenlehne bestätigen auch die Untersuchungsergebnisse von Miyamoto und Inoue [MIY10].

### 1.3.2 Risikofaktoren

Weiterhin wird im Rahmen des Sicherheitsreports betont, dass die Beschleunigung und Geschwindigkeit von elektrisch unterstützten Fahrrädern sowohl von dem oder der Fahrer:in als auch von anderen Verkehrsteilnehmer:innen leicht unterschätzt werden können, woraus gefährliche Situationen entstehen können. Fehlverhalten und unsicheres Fahrverhalten seien sogar der primäre Risikofaktor für Unfälle [DEK20].

Laut Frommeyer [FRO20] gehört der Kindertransport auf Fahrrädern weiterhin zu den beliebtesten Methoden, Kinder zu transportieren. Vor allem die große Fallhöhe bei Kindersitzen wird als Risikofaktor angesehen. Fahrradanhänger hingegen würden auch ohne Helm durch das Aluminiumgerüst einen guten Eigenschutz bieten. Kritisiert wird, ähnlich wie in [DEK20] die bisher nicht existierende Anschnallpflicht für Kinder in Lastenrädern. Die Unzulänglichkeit der Unfallstatistiken zeigt sich unter anderem auch darin, dass beispielsweise Lastenräder in diesen Statistiken bisher nicht separat aufgeführt werden [EHR20].

In einer Reportage im ZDF WISO Magazin wurde von Benzel [BEN22] untersucht, inwiefern Werkstätten und Händler:innen bei Lastenrädern Defekte erkennen und beheben können. Gerade bei gebrauchten gekauften Lastenrädern sei ein solcher Sicherheitscheck von großer Bedeutung, um die Verkehrssicherheit des Fahrzeugs gewährleisten zu können. Hierbei wurden in einzelnen Fällen jedoch auch gravierende Sicherheitsmängel wie lose Kinder-Sicherheitsgurte oder einseitig abgenutzte Bremsen bei Trikes entweder übersehen oder als nicht sicherheitsrelevant abgetan.

Ehrenfeuchter [EHR20] beschreibt einige Risiken. Diese reichen von mangelhaften Bremsen, besonders bei holländischen Lastenrädern, über unzulässiges Fahren auf der Straße trotz benutzungspflichtigem Radweg, bis hin zu erhöhter Unfallgefahr an Kreuzungen, welche nicht durch Ampeln geregelt sind. Mindestanforderungen an Lastenräder seien zwar in DIN 79010 festgelegt, aber laut Sachverständigen nicht umfangreich genug.

### 1.3.3 Kongresse und Konferenzen

Der Nationale Radverkehrsplan 3.0 des BMVI [BMV21] sieht vor, dass die besonderen Anforderungen von Lastenrädern, beim Aus- und Umbau der Radverkehrsinfrastruktur berücksichtigt werden sollen. Zudem sollen die Anschaffung von Lastenrädern im Privatbereich und der Ausbau von Sharing-Angeboten durch Kommunen und Länder gefördert werden. Auch über Informationsinitiativen soll Eltern die Möglichkeit des Kindertransports mit dem Lastenrad nähergebracht werden.

Im Rahmen des Symposiums für Unfallforschung und Sicherheit im Straßenverkehr 2021 beschreiben Mellinger & Weimann [MEL21], dass im Allgemeinen ein Konsens besteht, dass es bei den Beleuchtungseinrichtungen von Fahrrädern Optimierungsbedarf gibt.

In ihrem Beitrag zur International Cycling Safety Conference beschreiben Springer *et al.* [SPR21], dass Unfallstatistiken in der Regel nur polizeilich erfasste oder in Krankenhäusern geendete Unfälle enthalten. Das erschwert die Evaluation der Häufigkeit bestimmter Unfallszenarien. Besonders Alleinunfälle von Radfahrenden werden oft nicht erfasst. Bei solchen Alleinunfällen würden nach Mellinger *et al.* [MEL21] ca. die Hälfte durch mangelhafte Infrastruktur hervorgerufen werden. Darunter würden unter anderem Hindernisse, schlecht erhaltene Radwege oder auch Fahrbahnverunreinigungen zählen.

Maier *et al.* [MAI21] haben im Rahmen einer Online-Nutzerbefragung ermittelt, dass ca. 40 % der Befragten ihr Unfallrisiko mit Fahrrad bzw. Pedelec als hoch einschätzen. Pedelecs werden unter den Befragten häufiger für Alltagsfahrten und längere Strecken und auch häufiger unter erschwerten Wetterbedingungen verwendet als herkömmliche Fahrräder. Die Verletzungsschwere ist zudem bei Pedelec-Unfällen im Gesamten höher als bei herkömmlichen Fahrrädern. Jedoch beschreiben Maier *et al.* [MAI21] ebenfalls, dass Sicherheitsfeatures wie ABS, die Zusatzfunktion RLC (Rear wheel Lift up Control) oder das Help Connect Notruf-Feature zukünftig in der Lage sind, zur Vermeidung von Unfällen und der Reduktion der Folgeschwere von Unfällen beizutragen.

## 1.4 Nutzerbefragungen und Fachliteratur

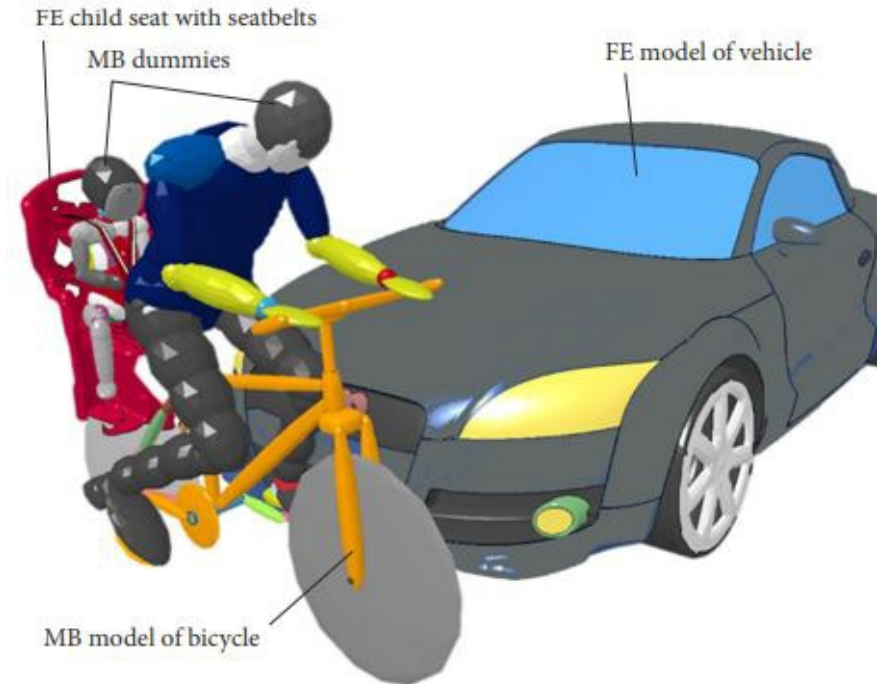
Im Rahmen des bfu-Sicherheitsdossier Nr. 16 2017 wurden von Uhr *et al.* [UHR17] Erkenntnisse aus den Kollisionstests von Kalliske *et al.* [KAL98] und den Fahrdynamikanalysen von Wobben *et al.* [WOB94] genutzt, um die Sicherheit von Fahrrad-Kinderanhängern zu bewerten. Im Rahmen der Kollisionstests stellt sich heraus, dass die Qualität des Gurtsystems, die Steifigkeit des Anhängeraufbaus und die Sitzposition der Kinder, insbesondere in

Bezug auf Kopffreiheit die primären Einflussfaktoren für das Verletzungsrisiko im Fall einer Kollision bilden [KAL98]. Die Fahrdynamiksimulationen zeigen bei Verwendung eines Anhängers vor allem deutlich verlängerte Bremswege und unkontrollierbares Fahrverhalten in Grenzbereichen. Anhänger mit niedriger Ankupplung zeigen hierbei signifikant stabileres Verhalten als solche mit einer hohen Ankupplung [WOB94]. Abschließend betrachten Uhr *et al.* [UHR17] den Transport im Anhänger trotz der angeführten Nachteile im Vergleich mit Kindersitzen als allgemein sicherer. Dies liegt unter anderem an der Tatsache, dass der Anhänger im Fall einer Kollision wie eine Fahrgastzelle fungiert und oft lediglich ruckartig verschoben und nicht signifikant beschädigt wird. Zudem wurde zwischen 2011 und 2015 lediglich ein Unfall registriert, der ein Fahrrad mit Anhänger involvierte, was laut Uhr *et al.* [UHR17] auf eine geringe Unfallrelevanz hindeuten lässt.

Die Forscher:innen Raftery *et al.* [RAF16] der australischen University of Adelaide haben im Rahmen ihrer Studie drei wesentliche Aspekte untersucht. Dies sind zum einen die Charakteristiken von Menschen, die ihre Kinder auf dem Fahrrad transportieren, die benutzten Transportmittel und die Einflussfaktoren auf deren Nutzung, zum anderen die Art, Hergänge und Mechanismen von Verletzungen im Zusammenhang mit dem Kindertransport auf Fahrrädern und zuletzt die Maßnahmen und Initiativen die potenziell die Häufigkeit und Schwere von Unfällen mit auf dem Fahrrad transportierten Kindern reduzieren können. Aus Krankenhausdaten von 1999 bis 2014 ergibt sich für Raftery *et al.* [RAF16], dass Kopfverletzungen im betrachteten Kontext der häufigste Einlieferungsgrund sind. Im Allgemeinen sind mehr Krankenhaus-Einlieferungen bei Kindern in Kindersitzen zu verzeichnen als bei Fahrrad-Anhängern. Eine mögliche Korrelation mit der Nutzungshäufigkeit beider Transportmethoden wurde nicht geprüft, die Möglichkeit wird jedoch erwähnt. Bei Fahrradanhängern ist das Umkippen sehr unwahrscheinlich, selbst wenn das ziehende Fahrrad umkippt [POW00, MUR09]. Weiterhin wird von Raftery *et al.* [RAF16] betont, dass die Datenlage hierbei nur bedingt Aussagekräftig ist. Besonders Lastenräder werden oft nicht umfangreich erfasst. Dies wird dadurch bestärkt dass Fahrradunfälle, besonders solche die abseits des Verkehrs oder aus dem Stand geschehen, oft nicht der Polizei gemeldet werden [BOU13].

Im Rahmen der mit dieser Studie zusammenhängenden Nutzerbefragung ergibt sich, dass ca. 75 % der befragten Eltern sowohl Fahrweise als auch Streckenwahl anpassen, wenn sie Kinder transportieren. Ca. 87 % geben an, stets sicherzustellen, dass ihr Kind beim Transport einen Helm trägt. Hauptgründe dafür, dass Eltern bewusst den Kindertransport mit dem Fahrrad vermeiden, sind laut Umfrage lange Strecken, schlechtes Wetter oder ungeeignete Routen. In diesen Fällen ist die am häufigsten gewählte Alternative das Auto [RAF16]. Die Autor:innen selbst merken hier an, dass das entstehende Bild infolge der Elternbefragung verzerrt sein könnte, da die Teilnehmer:innen im Gesamten eine hohe Rad-Affinität aufweisen. Ferner ergibt sich, dass die Befragten von deutlich weniger Beinahe-Zusammenstößen berichten, wenn sie Kinder transportieren. Dies könne laut Raftery *et al.* [RAF16] einerseits auf die angepasste Fahrweise und Routenwahl der Radfahrenden und andererseits auf die erhöhte Vorsicht von Autofahrer:innen durch Wahrnehmen des Kindes beziehungsweise der Kinder zurückgeführt werden.

Ptak *et al.* [PTA19] haben mithilfe von Simulationen in LS-DYNA sowohl seitliche Kollisionen mit einem Pkw, als auch einen Auffahrunfall untersucht und in diesem Kontext die drei üblichen Formen von Fahrrad-Kindersitzen verglichen. Bei der seitlichen Kollision weist der als Audi TT simulierte Pkw eine Geschwindigkeit von 40 km/h unmittelbar vor dem Unfall auf, beim Auffahrunfall fährt das Auto mit 25 km/h auf das stehende Fahrrad auf.



**Abbildung 10: Simulationsmodell für den seitlichen Zusammenstoß [PTA19]**

Aufgrund der eingerasteten Anschnallgurte bleibt der Kinder-Dummy nach der Kollision in allen Szenarien im Sitz. Beim Aufprall auf die Straße wirken dementsprechend deutlich erhöhte Kräfte im Vergleich zu einem Alleinsturz des Kindes aus vergleichbarer Höhe, was besonders bei front-montierten Kindersitzen zu einem erheblichen Kopfverletzungsrisiko führt. Bei Front-Kindersitzen mit niedriger Rückenlehne wird zusätzlich eine starke seitliche Beugung des Halses unmittelbar nach Aufprall beobachtet, was das Potenzial für schwerwiegende Verletzungen birgt. Bei front-montierten Sitzen und Rücksitzen mit Sitzstangen-Montage sind teils starke seitliche Bewegungen des Sitzes möglich, was bei der seitlichen Kollision zu einem frontaleren Aufprall des Kindes auf das Auto und zusätzlichen Beschleunigungen sowie einem erhöhten Verletzungspotenzial im Bereich von Torso und Hals führt. Beim Auffahrunfall sind bei allen Sitz-Arten starke Beschleunigungen und Kollisionen für das Kind die Folge. Bei Rücksitzen kann hierbei eine hohe Rückenlehne die Schwere des initialen Aufpralls auf die Motorhaube reduzieren [PTA19].

## 1.5 Aktuelle Entwicklungen und Innovationen

Aufgrund der zunehmenden Bedeutung des Themas „Kindertransport auf dem Fahrrad“ sind Innovationen speziell auf dem Gebiet der an Beliebtheit gewinnenden Lastenräder momentan keine Seltenheit. So hat der Reifenhersteller Schwalbe mit dem Modell „Pick-Up“ erstmals einen speziell für die Anforderungen von Lastenrädern entwickelten Reifen auf den Markt gebracht [GER21].

Zudem bietet die Ausführung gängiger Lastenräder als Pedelec mit dazugehörigem Akku die Möglichkeit, sicherheitstechnische Systeme anzutreiben. So weisen beispielsweise einige Pedelecs und auch Lastenräder ABS-Module auf, die bei Gefahrenbremsungen oder auch beim Bremsen unter ungünstigen Fahrbahnbedingungen zur Sicherheit des Bremsvorgangs beitragen [DEK20].

Einige Hersteller fokussieren ihre Innovationen auch spezifisch auf den Bereich des Personentransports bzw. Kindertransports. So finden beispielsweise Unfall-optimierte Transportboxen und stoßgedämpfte Sitze in modernen Modellen Anwendung [WEI20]. So hat der Hersteller „Ca Go“ beispielsweise eine spezielle Transportbox mit Knautschzone entwickelt. Der Hersteller „Riese und Müller“ hingegen hat in Zusammenarbeit mit dem Bremssystemhersteller TRP die erste spezielle Lastenrad-Scheibenbremse auf den Markt gebracht [EHR20].

## 1.6 Projekte zur Lastenradspezifischen Radverkehrsinfrastruktur

Im Rahmen der zunehmenden Nutzung von Lastenrädern in Innenstädten ergeben sich neue Ansprüche an die Radverkehrsinfrastruktur. Das vom Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) im Rahmen der Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplan geförderte Projekt ALADIN (Abstellanlagen für Lastenräder in Nachbarschaften) [HIL23] formuliert Anforderungen an Stellplätze für Lastenräder mit einer geforderten Mindestfläche von 5 m<sup>2</sup>, wobei eine Länge von 2,7 m und eine Breite von 1 m nicht unterschritten werden sollen. Weiterhin wird aktuell im Projekt ENTLASTA (Entwurfselemente und Netze für Lastenräder im Stadtverkehr) bezüglich der Optimierung des Radverkehrsnetzes für Lastenräder geforscht [ENT23].

## 1.7 Zusammenfassung

Es existieren nur wenige Studien und Untersuchungen bezüglich der Sicherheit vom Kindertransport auf dem Fahrrad. Besonders direkte Vergleiche zwischen verschiedenen Transportmethoden sind schwer zu finden. Es besteht demnach der Bedarf nach umfangreichen, vergleichenden Untersuchungen. Auch der im Rahmen dieses Forschungsprojekts angestrebte interdisziplinäre Ansatz, bei dem Nutzerbefragungen mit sowohl simulativen als auch realversuchbasierten Untersuchungen der passiven und aktiven Sicherheit kombiniert werden, wird in bisherigen Untersuchungen zu der Thematik nicht in diesem Ausmaß verwendet und ist somit eine innovative Herangehensweise.

## 2 Identifikation relevanter Unfallszenarien

Um ein umfassendes Verständnis für die Situation des Kindertransports mit dem Fahrrad und insbesondere das Unfallgeschehen zu erhalten, ist ein detaillierter Blick in Unfalldatenbanken und in weitere Beschreibungen von Unfällen unerlässlich. Während die Unfallstatistik des Bundes (DESTATIS) [STA19, STA20, STA21] nur unzureichende Details zu Fahrradunfällen mit involvierten Kindern liefert, können auf Basis der sogenannten EUSKa-Daten, ein digitales Unfallerfassungssystem, welches von der Polizei der meisten Bundesländer geführt und einheitlich erfasst wird, recht genaue Auswertungen vorgenommen werden. Diese Auswertung bildet den Kern dieses Kapitels.

Weiterhin gibt es kleinere Unfallstatistiken, die sich ebenfalls dem Transport von Kindern auf dem Fahrrad gewidmet haben und die hier auch Beachtung finden sollen.

Nicht zuletzt wurde über die Laufzeit des Forschungsprojekts eine permanente Internetrecherche zu aktuellen Unfällen mit Fahrradbeteiligung durchgeführt. Wann immer es journalistische Veröffentlichungen oder Verweise in sozialen Medien zu entsprechenden Unfällen gab, wurden diese erfasst und im Rahmen der Möglichkeiten genauer recherchiert. Im Ergebnis ergibt sich daraus zwar keine detaillierte Beschreibung des jeweiligen Unfalls, aber in der Gesamtheit der Einzelfallbeschreibungen kann das Bild des Unfallgeschehens abgerundet und bestätigt werden.

### 2.1 EUSKa-Daten

Über die Unfallforschung der Versicherer (UDV) wurden Daten der Elektronischen Unfalltypensteckkarte (EUSKa) bezogen und analysiert. Explizit wurden hier Unfälle mit involvierten Radfahrenden im Jahr 2020 in Deutschland untersucht.



Abbildung 11: Übersicht über die betrachteten EUSKa-Daten

Insgesamt sind in den EUSKa-Daten 69.765 Unfälle erfasst. Diese 69.765 Fälle bilden die Vergleichsgruppe. In 201 dieser Fälle wurde mindestens eine mitfahrende Person auf dem Fahrrad transportiert. In 122 dieser Fälle sind sowohl die befördernde Person als auch die beförderte(-n) Person(-en) im rechtlich zulässigen Alter für den Kindertransport auf dem Fahrrad. In 69 dieser Fälle wurde ein Kindersitz, ein Fahrradkinderanhänger oder ein Lastenrad für den Transport genutzt. Diese 69 Fälle bilden die Untersuchungsgruppe, welche im Folgenden mit der zuvor definierten Vergleichsgruppe abgeglichen wird. Aufgrund der vergleichsweise geringen Fallzahl in der Untersuchungsgruppe kann ihre Doppelnennung in der Vergleichsgruppe vernachlässigt werden. Ergebnisse dieser Auswertung sind zudem aufgrund des Vergleichs zwischen der Untersuchungsgruppe (n=69) und der Vergleichsgruppe (n=69.765) statistisch nur eingeschränkt belastbar.

## 2.1.1 Unfallhäufigkeit nach Monat

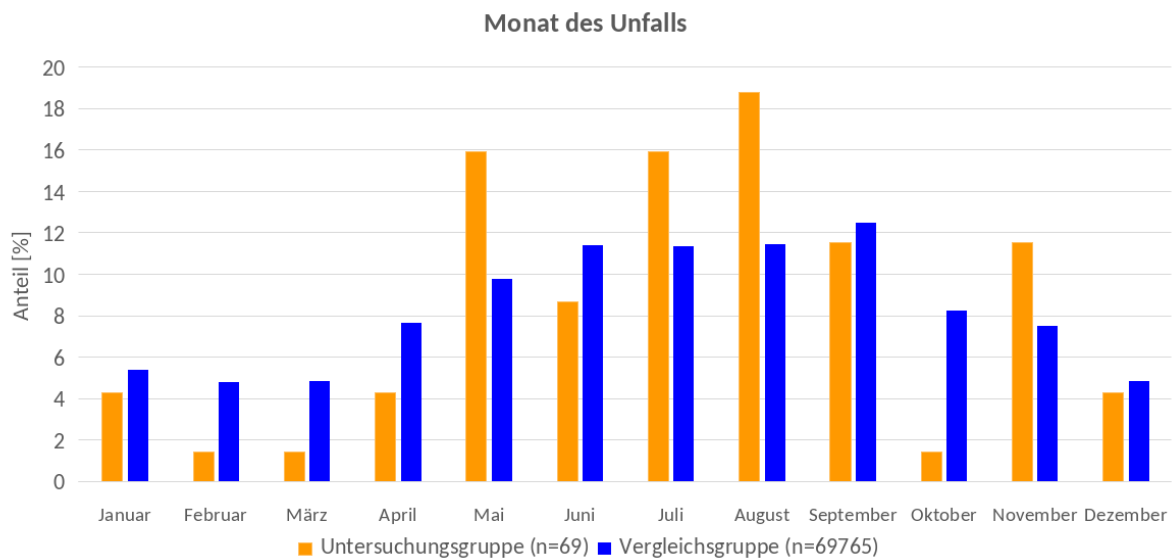


Abbildung 12: Unfallhäufigkeit nach Monat

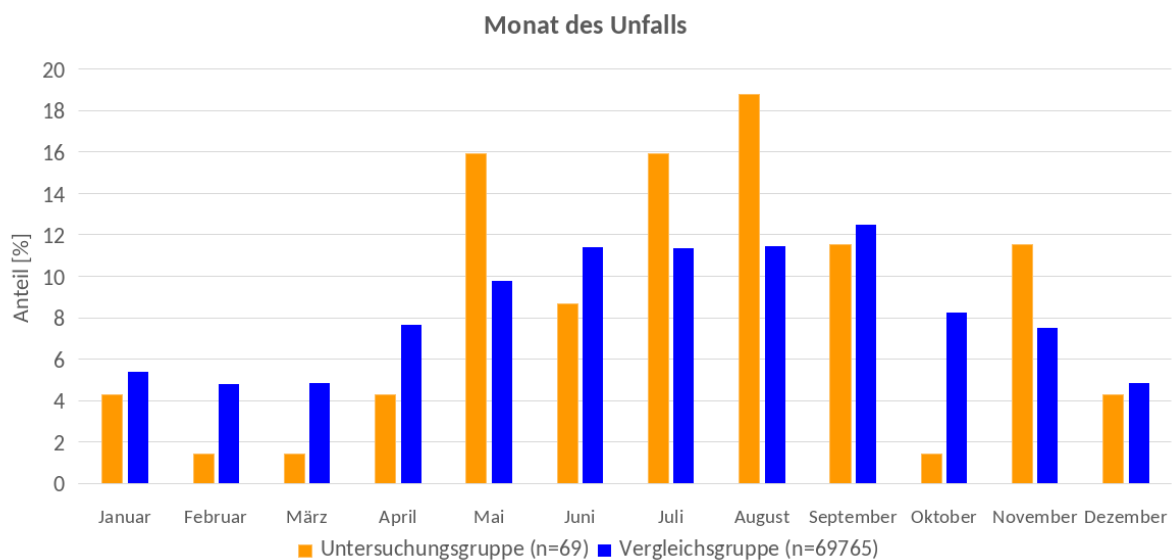
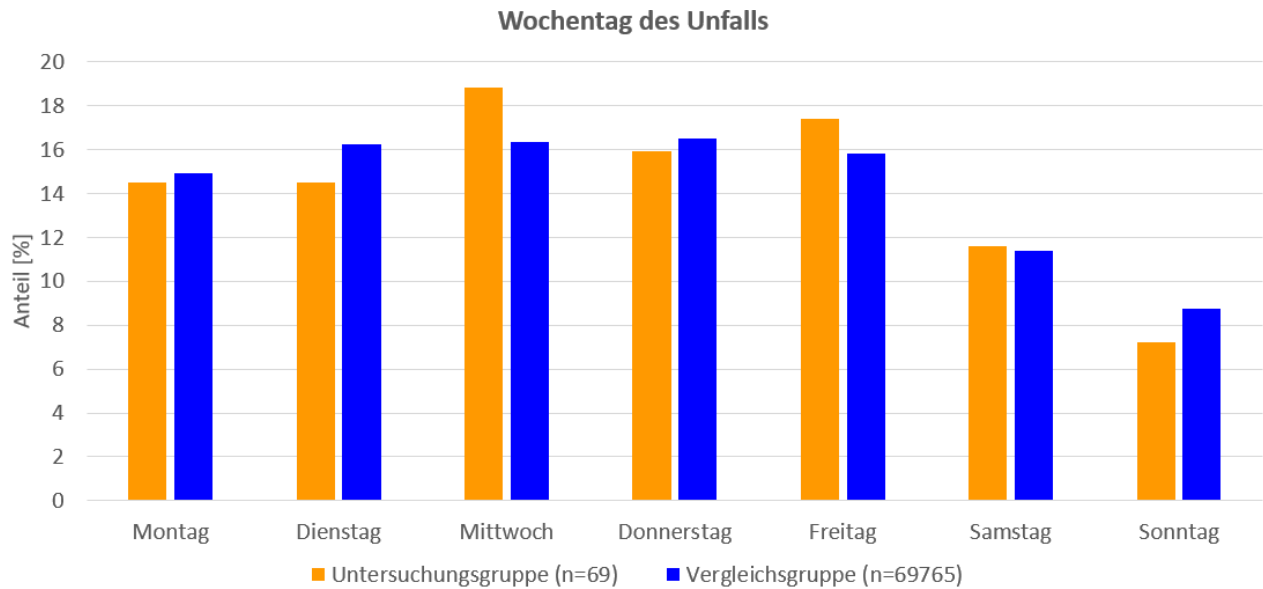


Abbildung 12 ist die Anzahl der aufgezeichneten Unfälle im Verlauf des Jahres 2020 dargestellt. Hier ist in der Vergleichsgruppe eine höhere Anzahl an Unfällen im Sommer und Frühherbst zu beobachten, während die Unfallzahlen im Winter und Frühling niedriger sind. Die Annahme, dass diese Beobachtung mit verstärkter Nutzung des Fahrrads in wärmeren Jahreszeiten zusammenhängt, ist hierbei naheliegend. In der Untersuchungsgruppe ist hier ein ähnlicher Trend zu beobachten.

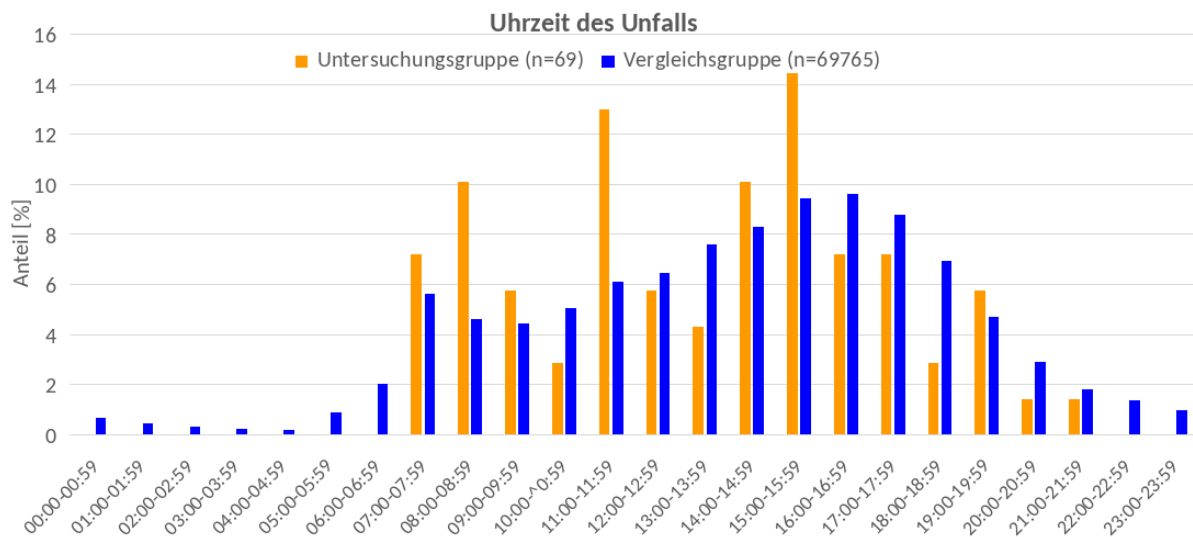
### 2.1.2 Unfallhäufigkeit nach Wochentag



**Abbildung 13: Unfallhäufigkeit nach Wochentag**

Auch die Betrachtung der Unfallzahlen bezogen auf den Wochentag zeigt keine signifikanten Unterschiede zwischen Untersuchungs- und Vergleichsgruppe auf. An den Wochenenden werden insgesamt weniger Fahrradunfälle erfasst als an Wochentagen.

### 2.1.3 Uhrzeit des Unfalls

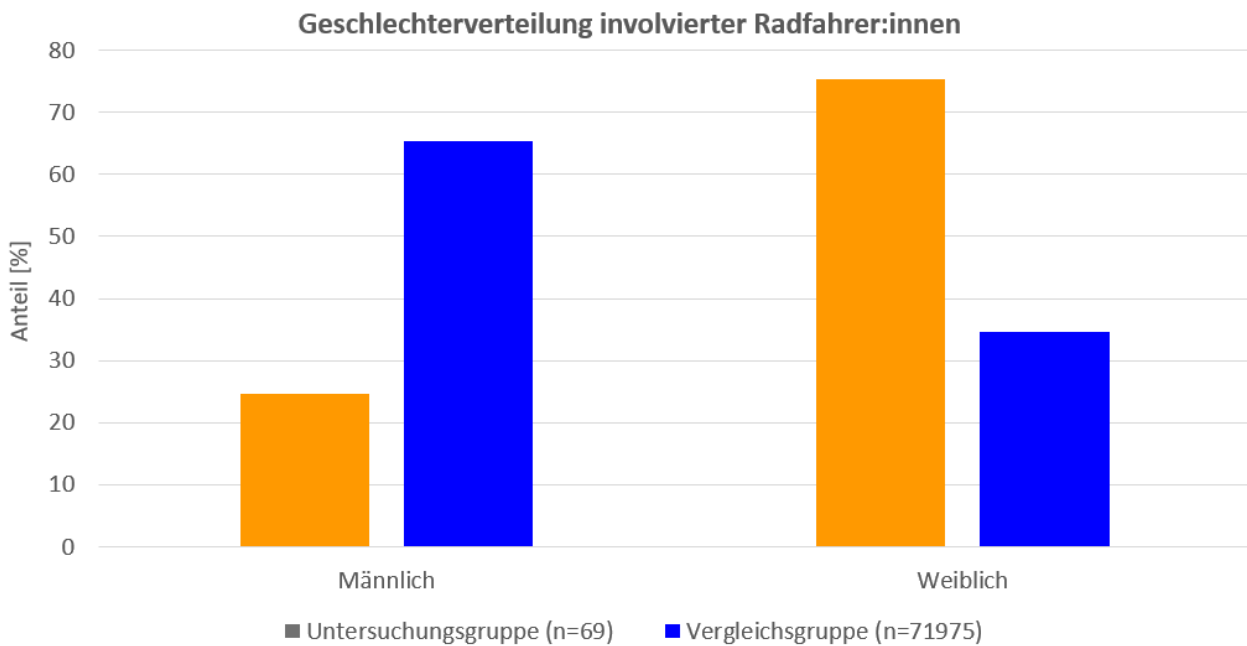


**Abbildung 14: Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit der Tageszeit**

Die Betrachtung der Uhrzeiten, zu denen die Unfälle erfasst wurden, zeigt insgesamt eine annähernd glockenförmige Verteilung der Unfälle im Verlauf des Tages. Im Gegensatz zu der Vergleichsgruppe treten in der Untersuchungsgruppe keine Unfälle zu nächtlichen Zeiten auf. Dies legt nahe, dass erwartungsgemäß wenige Kinder zu nächtlichen Zeiten auf dem Fahrrad transportiert werden. Weitere Abweichungen lassen sich nicht eindeutig begründen.



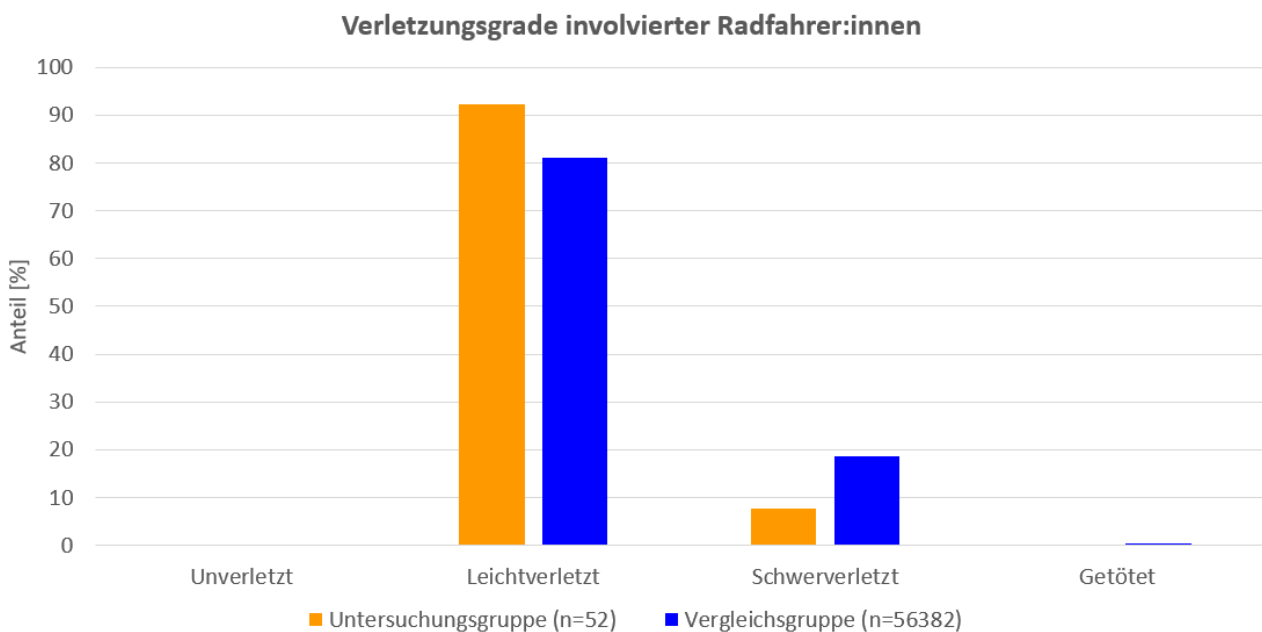
## 2.1.4 Geschlechterverteilung



**Abbildung 15: Geschlechterverteilung involvierter Radfahrer:innen**

Die Geschlechterverteilung zeigt einen deutlichen Kontrast zwischen Untersuchungs- und Vergleichsgruppe. Während in der Vergleichsgruppe ca. 65% der verunfallten Radfahrer:innen männlich sind, ist die Verteilung in der Untersuchungsgruppe mit einem Frauenanteil von 75% beinahe exakt konträr. Hier liegt die Annahme nahe, dass Frauen bzw. Mütter häufiger ihre Kinder auf dem Fahrrad transportieren als Männer bzw. Väter.

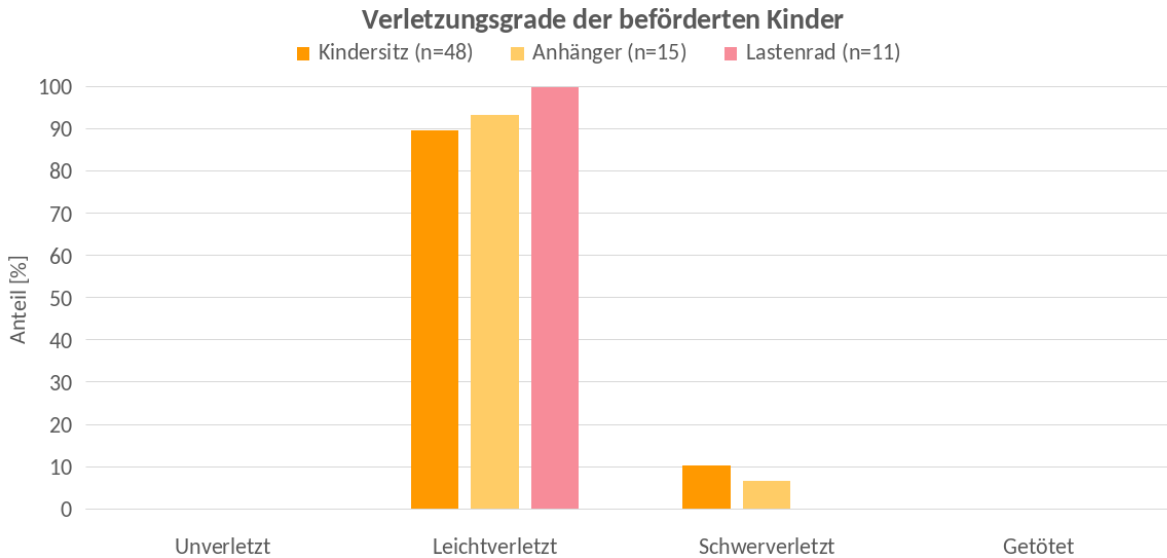
## 2.1.5 Verletzungsgrade der involvierten Radfahrenden



**Abbildung 16: Verletzungsgrade der Radfahrer:innen**

In Abbildung 16 sind die Verletzungsgrade der in die Unfälle involvierten Radfahrer:innen dargestellt. Auffällig ist hier, dass in der Untersuchungsgruppe prozentual mehr leichte Verletzungen und weniger Schwere Verletzungen, insbesondere keine Todesfälle erfasst sind. Aufgrund der geringen Fallzahl in der Untersuchungsgruppe ist diese Beobachtung jedoch nicht statistisch belastbar. Die Differenz zu den absoluten Fallzahlen ergibt sich aus der Tatsache, dass nicht in jedem Fall ein Eintrag für den Verletzungsgrad vorzufinden ist.

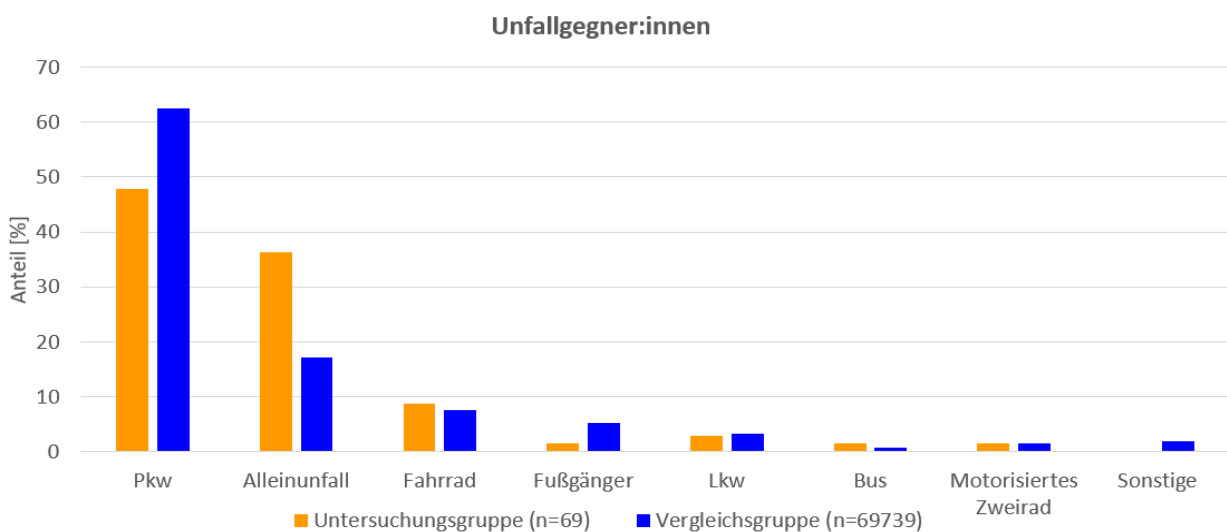
### 2.1.6 Verletzungsgrade der beförderten Kinder



**Abbildung 17: Verletzungsgrade der beförderten Kinder**

Abbildung 17 zeigt die Verletzungsgrade der beförderten Kinder bezogen auf die jeweilig verwendete Transportmethode. Auffällig ist hier, dass die Kinder in jedem Fall mindestens leichtverletzt sind. Getötete Kinder wurden im betrachteten Zeitraum nicht erfasst. Prozentual betrachtet ergibt sich der Eindruck, dass Kinder im Kindersitz und Anhänger zumindest geringfügig öfter schwer verletzt werden als im Lastenrad.

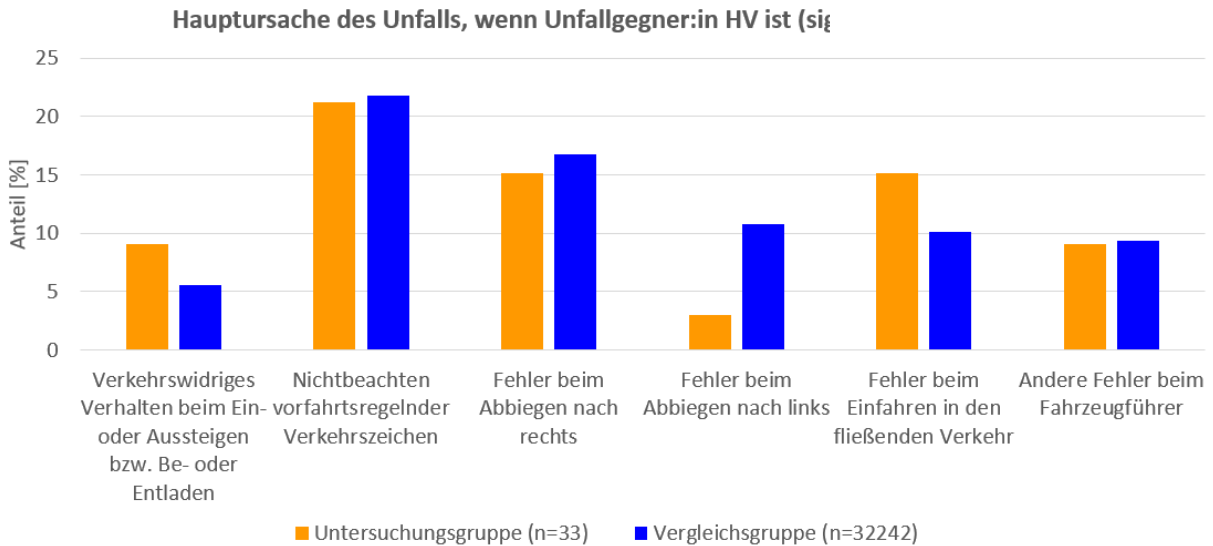
### 2.1.7 Unfallgegner



**Abbildung 18: Unfallgegner:innen in Untersuchungs- und Vergleichsgruppe**

Die in Abbildung 18 dargestellte Verteilung der Unfallgegner:innen zeigt in beiden Gruppen überwiegend Unfälle zwischen Fahrrad und Pkw, gefolgt von Alleinunfällen und Unfällen zwischen mehreren Fahrradfahrer:innen. Auffällig ist hierbei der deutlich erhöhte Anteil der Alleinunfälle in der Untersuchungsgruppe. Hier könnte ein erster Hinweis auf Handhabungsschwierigkeiten infolge der veränderten Fahrdynamik von beladenen Fahrrädern bestehen. Zudem ist auffällig, dass in der Untersuchungsgruppe ein bedeutend geringerer Anteil aus Fußgänger:innen- Unfällen besteht. Dies steht in einem gewissen Kontrast zur geläufigen Annahme, dass Eltern beim Befördern von Kindern vermehrt Gehwege nutzen würden.

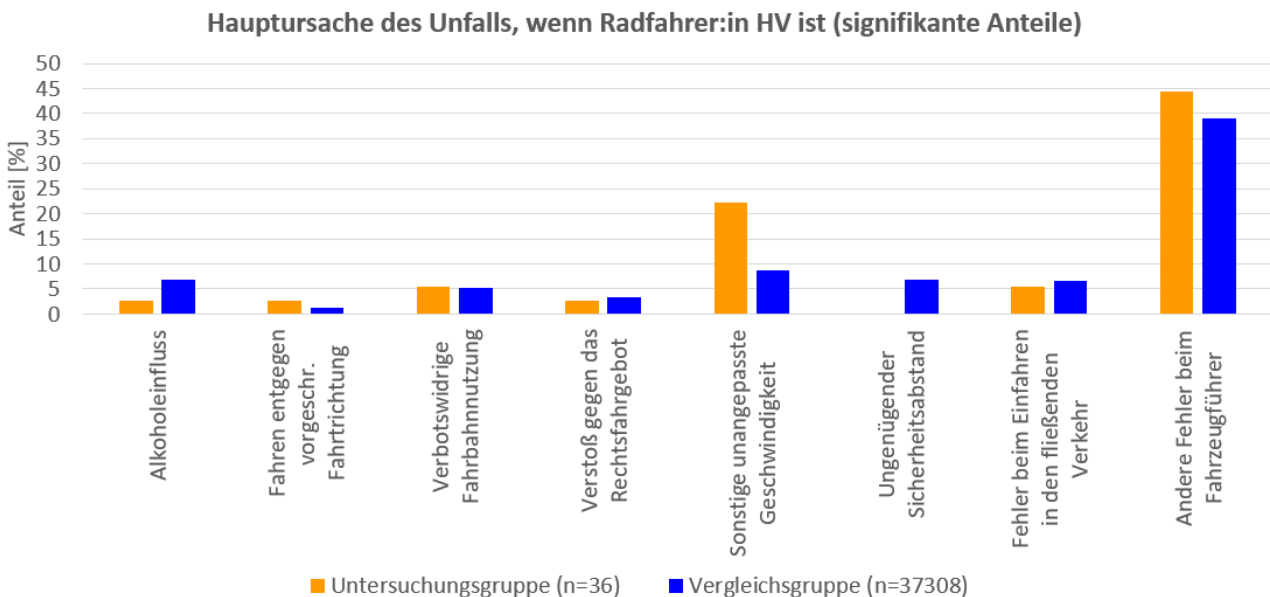
**2.1.8 Hauptursache des Unfalls, wenn Unfallgegner:in Hauptunfallversacher:in (HV) ist**



**Abbildung 19: Hauptursache des Unfalls, wenn Unfallgegner:in HV ist**

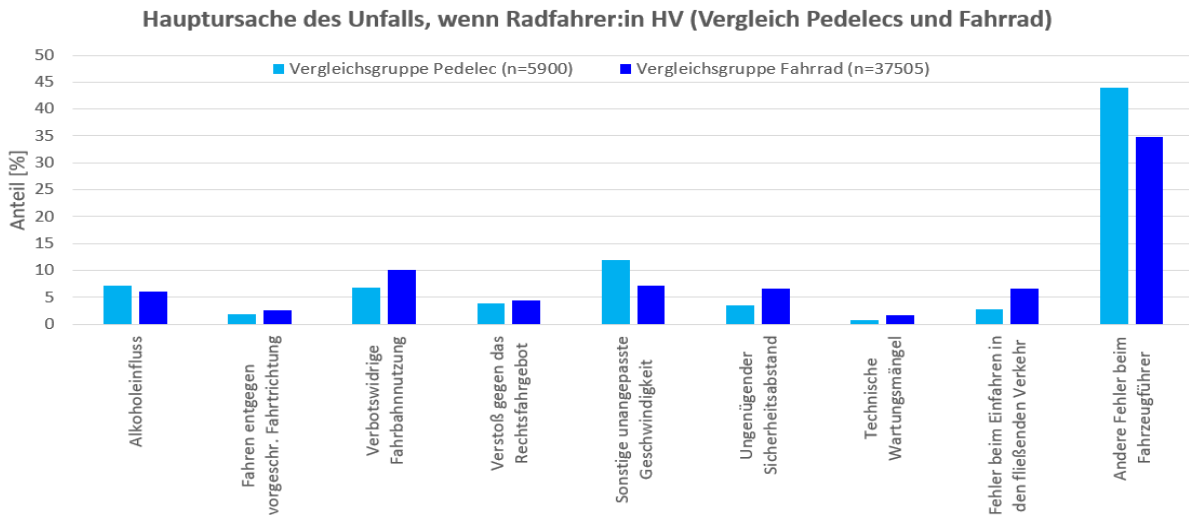
Aus den Haupt-Unfallursachen der Unfälle, in denen der oder die Unfallgegner:in HV ist, lassen sich zunächst keine Auffälligkeiten ableiten, die auf ein signifikant verändertes Verkehrsverhalten der Unfallgegner gegenüber Radfahrer:innen aufweisen, wenn diese Kinder transportieren.

**2.1.9 Hauptursache des Unfalls, wenn Radfahrer:in HV ist**

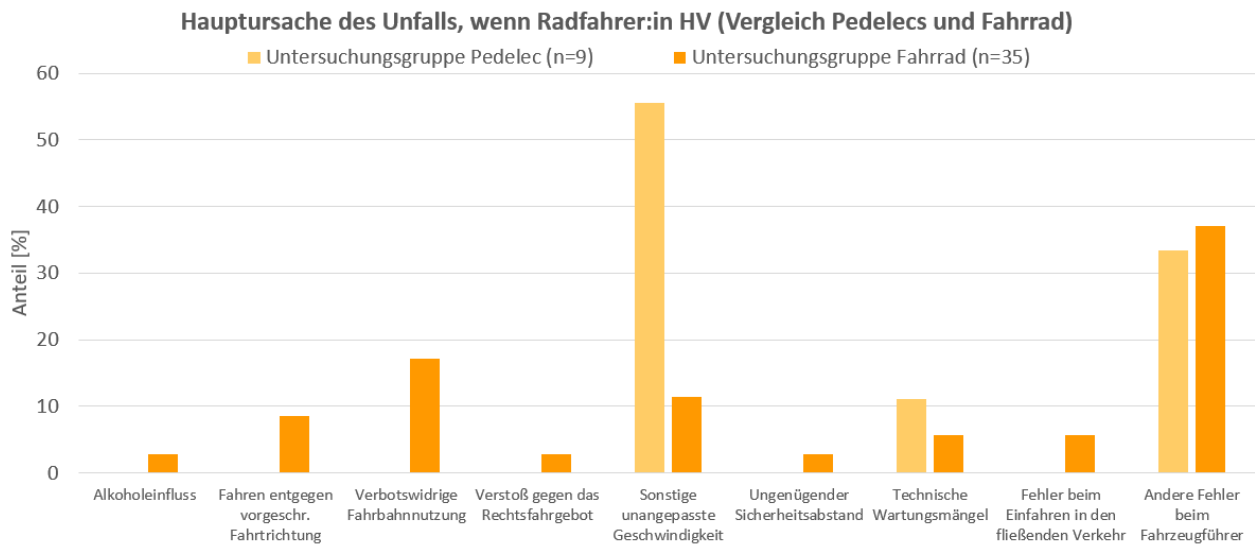


### Abbildung 20: Hauptursache des Unfalls, wenn Radfahrer:in HV ist

Abbildung 20 zeigt die Häufigkeit auftretender Hauptursachen der Unfälle, in denen der oder die Radfahrer:in HV ist. Die vergleichsweise geringe Menge alkoholbedingter Unfälle in der Untersuchungsgruppe ist im Kontext der naheliegenden Annahme, Eltern würden bei der Beförderung von Kindern zum überwiegenden Teil nüchtern fahren, nachvollziehbar. Eine direkte Erklärung für den verhältnismäßig großen Anteil von Unfällen aufgrund unangepasster Geschwindigkeit in der Untersuchungsgruppe gibt es zunächst nicht. Um im Folgenden mehr Informationen darüber zu erhalten, inwiefern der verwendete Fahrradtyp bzw. die verwendete Transportmethode das Unfallgeschehen beeinflusst, wird die Betrachtung der Unfallursachen um diese Unterscheidungen erweitert.

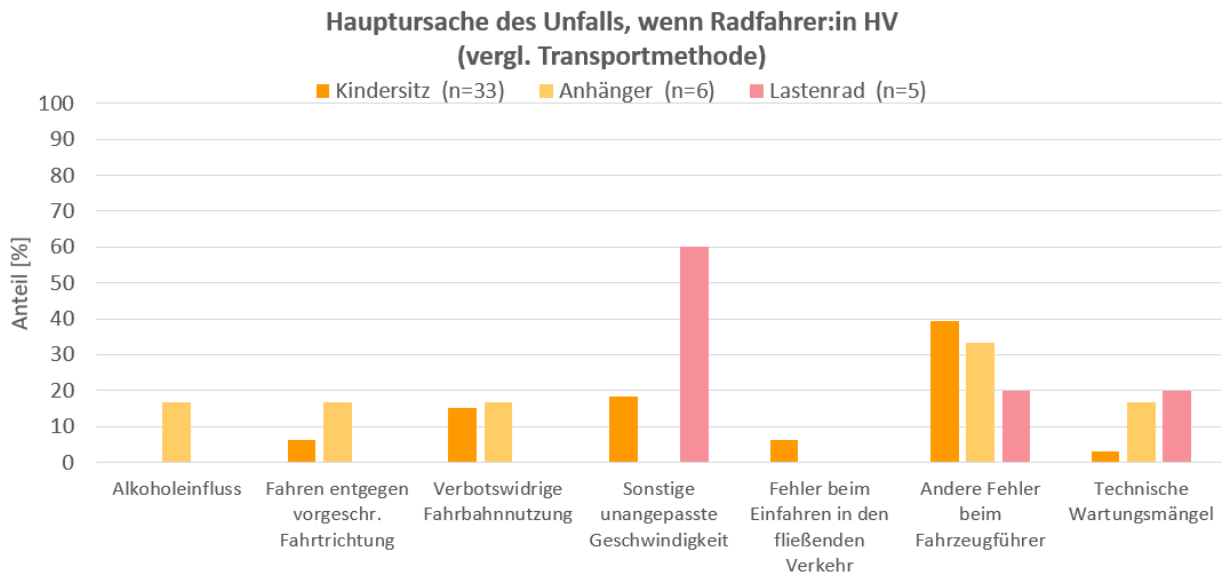


### Abbildung 21: Vergleich der Hauptursachen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Vergleichsgruppe



### Abbildung 22: Vergleich der Hauptursachen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Untersuchungsgruppe

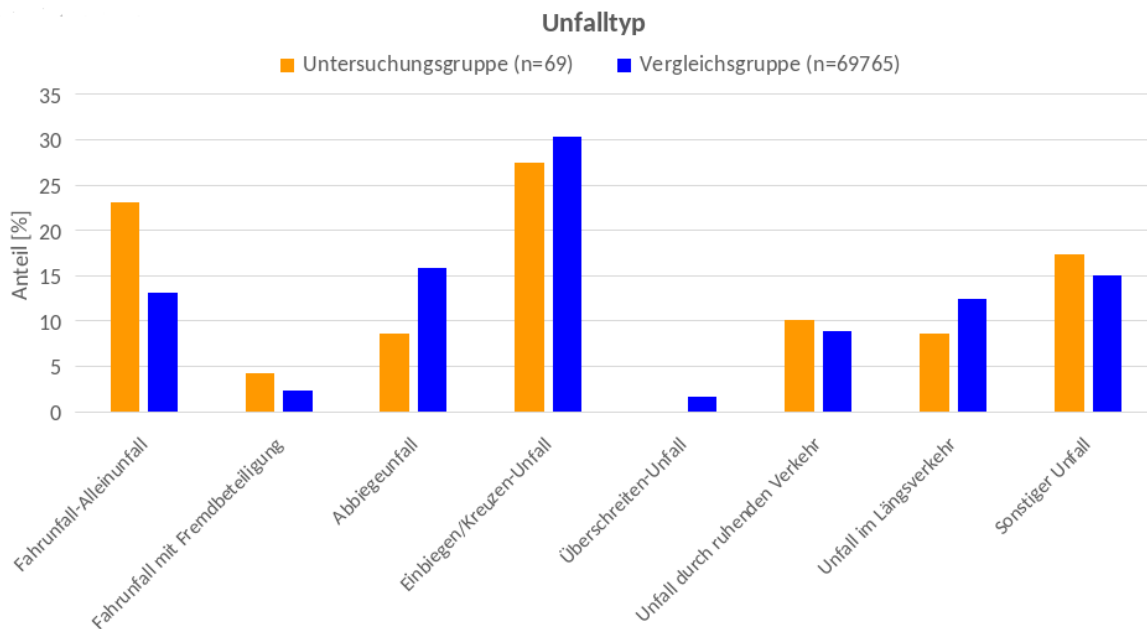
Sowohl in der Vergleichsgruppe als auch in der Untersuchungsgruppe ist der Anteil an Unfällen infolge unangepasster Geschwindigkeit bei Pedelecs höher als bei herkömmlichen Fahrrädern. Es ist jedoch aufgrund des Ermessensspielraums der erfassenden Polizist:innen unklar, ob dies damit korreliert, dass Pedelecs auch tatsächlich öfter mit unangepasster Geschwindigkeit gefahren werden oder ob dies von den Polizist:innen eher so eingeschätzt wird.



**Abbildung 23: Vergleich der Unfallursachen zwischen den unterschiedlichen Transportmethoden**

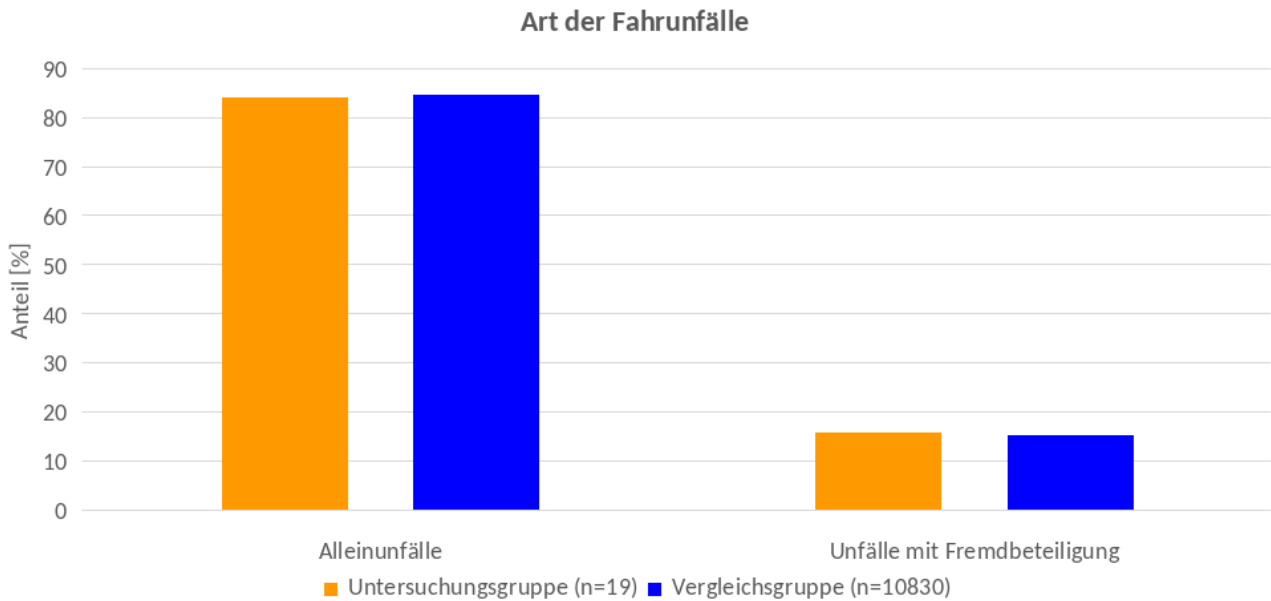
Hier ist eine ähnliche Auffälligkeit der unangepassten Geschwindigkeit bei den Lastenrädern zu beobachten. Da diese beinahe ausnahmslos als Pedelecs verkauft und genutzt werden, ist eine eindeutige Beurteilung dieser Beobachtung auch hier schwierig.

### 2.1.10 Unfalltyp



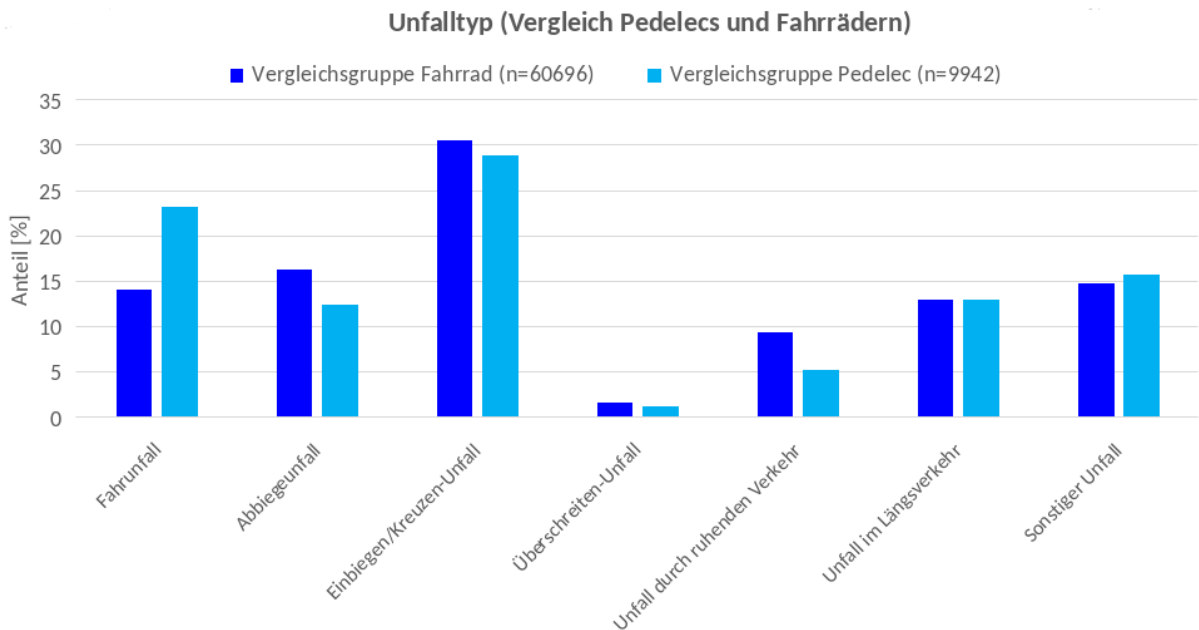
**Abbildung 24: Unfalltyp**

Bei der Betrachtung der Unfalltypen fällt vor allem auf, dass Fahrnfälle ohne Fremdbeteiligung in der Untersuchungsgruppe eine erhöhte relative Häufigkeit im Vergleich zur Vergleichsgruppe aufweisen. Aus einer näheren Betrachtung der Detailbeschreibungen der erfassten Unfälle wird hierbei deutlich, dass es sich dabei beinahe ausschließlich um Fälle handelt, in denen Radfahrer:innen mit Kind im Kindersitz bzw. mit einem Kind im Lastenrad aufgrund von Fahrbahnverhältnissen, Witterungseigenschaften oder Fahrfehlern ohne Fremdeinwirkung zu Fall kommen.



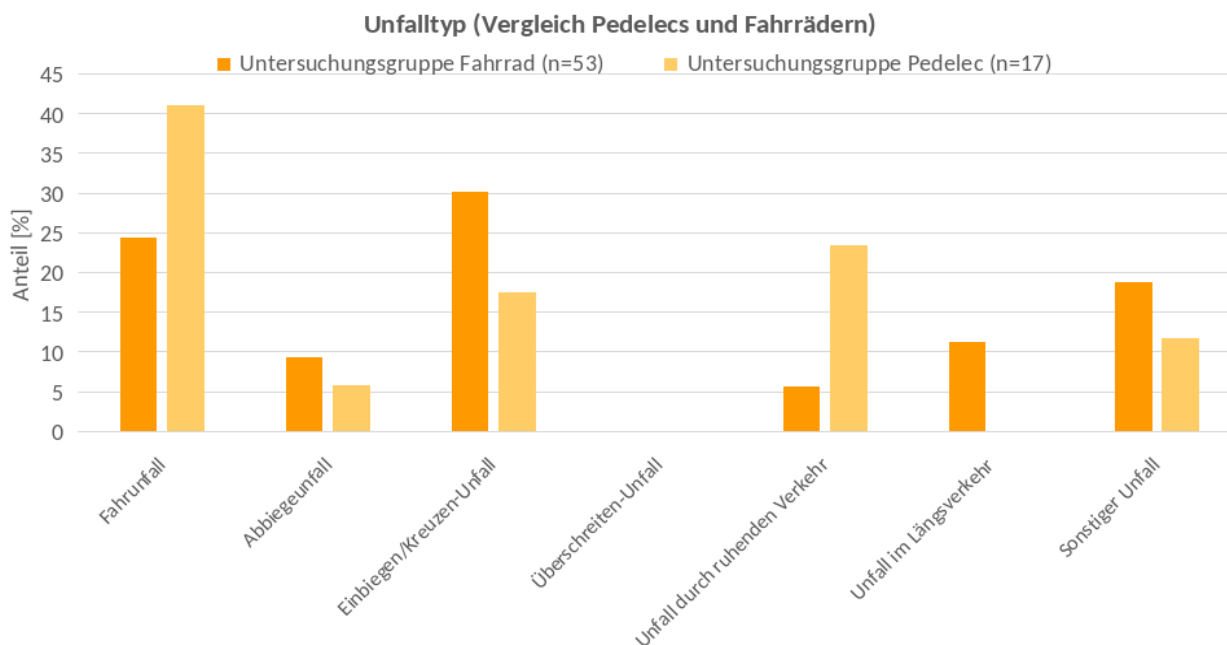
**Abbildung 25: Art der Fahrurfälle**

Betrachtet man die Art der Fahrurfälle, ergibt sich für Untersuchungs- und Vergleichsgruppe ein nahezu identisches Bild. Demnach sind ca. 85 % der Fahrurfälle Alleinunfälle und in lediglich ca. 15 % sind mehrere Personen involviert.



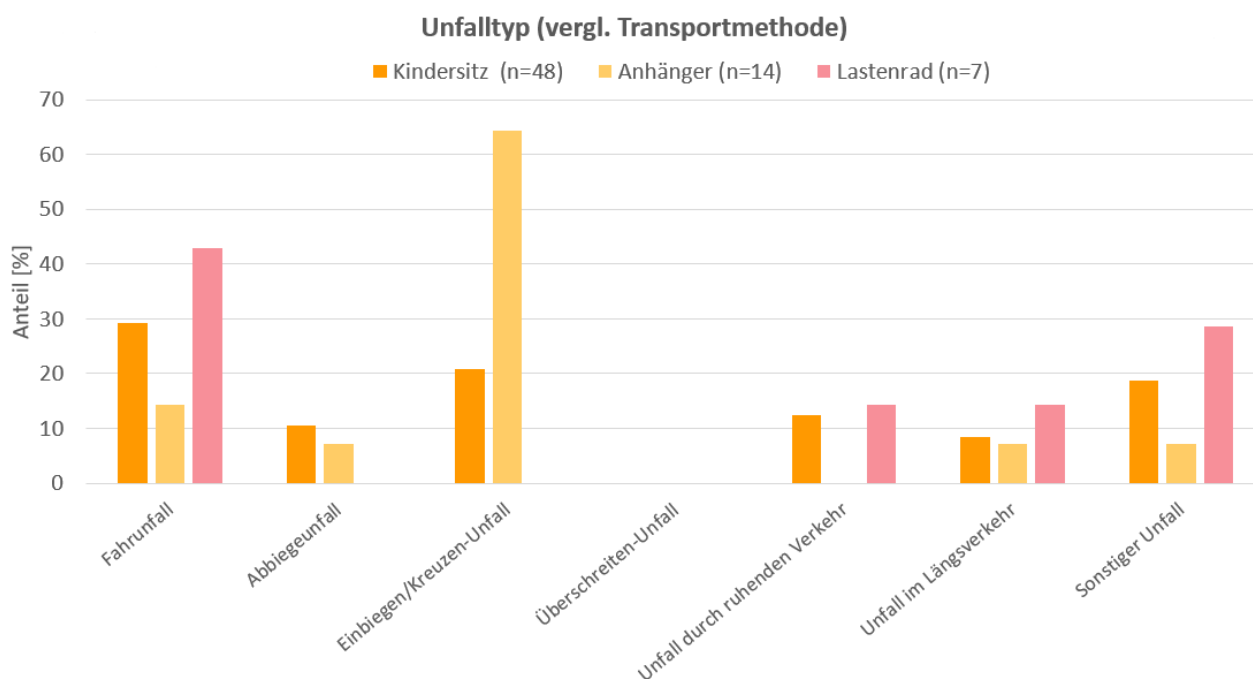
**Abbildung 26: Vergleich der Unfalltypen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Vergleichsgruppe**

Vergleicht man bei den Unfalltypen in der Vergleichsgruppe zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern, so ist hier ein vergleichsweise hoher Anteil von Fahrurfällen bei den Pedelecs zu beobachten. Es ist naheliegend, dass die Motorunterstützung besonders bei unvorteilhaften Fahrbahnverhältnissen oder Witterungsbedingungen die Handhabung erschweren kann, was dementsprechend ein erhöhtes Fahrurfall-Risiko herbeiführen könnte.



**Abbildung 27: Vergleich der Unfalltypen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Untersuchungsgruppe**

Auch in der Untersuchungsgruppe sind verhältnismäßig viele Fahrerfälle bei Pedelecs zu beobachten. Ebenso sind Unfälle durch ruhenden Verkehr bei den Pedelecs auffällig. Hier handelt es sich hauptsächlich um sogenannte Dooring-Unfälle. Bei dieser Art des Unfalls kollidiert ein:e Radfahrer:in mit der Fahrer- oder Beifahrer-Tür eines parkenden Autos, welche zuvor unvermittelt geöffnet wurde. In der Regel lassen sich diese Unfälle auf mangelnde Verkehrsbeobachtung der sich im Pkw befindlichen Person zurückführen. Diese Beobachtung ist allerdings erneut aufgrund der geringen Fallzahl zu relativieren. Eine detaillierte Untersuchung dazu, die recht ähnlichen Ergebnissen zeigt, wurde bereits von der UDV durchgeführt [UKO17].



**Abbildung 28: Vergleich der Unfalltypen zwischen den Transportmethoden in der Untersuchungsgruppe**

In Abbildung 28 sind vor allem die Einbiegen-/Kreuzen-Unfälle bei Fahrradanhängern auffällig. Eine Bewertung der Detailbeschreibungen zeigt hierbei keine starken Muster auf. In einigen Fällen ist jedoch zu beobachten, dass Pkw-Fahrer:innen zunächst kreuzende Radfahrer:innen passieren lassen, anschließend jedoch den Fahrradanhänger übersehen, zu früh wieder anfahren und anschließend mit dem Anhänger kollidieren. Ebenfalls auffällig in dieser Darstellung ist der hohe Anteil von Lastenrädern bei den Fahrnfällen (Alleinunfälle). Hier liegt einmal mehr die Annahme nahe, dass diese Fahrräder aufgrund ihrer besonderen fahrdynamischen Eigenschaften (s. auch Kapitel 4.1) zum Teil schwer zu beherrschen sind.

### 2.1.11 Evaluation detaillierter Unfallbeschreibungen

Aus der zuvor getätigten Auswertung der EUSKa-Daten ergeben sich zwar gewisse Tendenzen, jedoch ist im Gesamten kein signifikanter Unterschied im Unfallgeschehen zwischen Kinderbeförderung und alleinigem Fahrradfahren festzustellen. Zudem reicht die Datenlage nicht aus, um eine Grundlage für die Auswahl relevanter Unfallszenarien zu bilden. Für ein detaillierteres Verständnis des Unfallgeschehens beim Befördern von Kindern auf dem Fahrrad werden im Folgenden die detaillierten Unfallbeschreibungen der 69 Fälle in der Untersuchungsgruppe in Betracht gezogen.

Hierbei haben sich, abhängig von der Transportmethode, folgende Unfallszenarien als besonders häufig herausgestellt. Bei Unfällen mit Kind im Kindersitz sind Stürze ohne Fremdeinwirkung, etwa durch Witterungsbedingungen oder Fahrfehler, mit ca. 35 % der Fälle vorherrschend. Es ist hier naheliegend, dass der erhöhte Schwerpunkt und die damit einhergehende reduzierte Stabilität ein signifikanter Einflussfaktor sind. Weitere Untersuchungen dazu finden sich in Kapitel 4.1. Auch Kreuzen-Unfälle zwischen Fahrrad und Pkw sind hier mit 12,5 % verhältnismäßig häufig vertreten.

Bei Unfällen mit Fahrradanhängern sind zwei Szenarien verhältnismäßig häufig vertreten. Einerseits treten hier viele Unfälle auf, bei denen ein:e Pkw-Fahrer:in rechts abbiegt und dabei einen zuvor im Längsverkehr in gleicher Richtung fahrenden Radfahrer erfasst. Das sind ca. 21 % der hier erfassten Unfälle mit Fahrradanhängern. Andererseits sind mit ebenfalls ca. 21 % auch Einbiegen-/Kreuzen-Szenarien auffällig, in denen ein Pkw beim Ausfahren aus einer Ausfahrt mit dem Fahrrad oder dem Anhänger kollidiert. Nicht in jedem Fall ist dezidiert beschrieben, ob die tatsächliche Kollision zwischen Pkw und Fahrrad oder Pkw und Anhänger stattgefunden hat. Dennoch besteht Grund zur Annahme, dass hier oft zwar das Fahrrad registriert und passieren gelassen wird, jedoch im Anschluss der Anhänger nicht beachtet wird und der Pkw somit zu früh anfährt und das Gespann erfasst.

Bei Lastenrädern stehen mit einem Anteil von ca. 57 % erneut Stürze ohne vorherige Kollision im Vordergrund. Hier geschieht der Sturz häufig während einer Kurvenfahrt. Dies legt nahe, dass das Kurvenverhalten besonders dreirädriger Lastenräder zu Problemen in der alltäglichen Handhabung führt. Nähere Untersuchungen zur Fahrstabilität von Lastenrädern finden sich in Kapitel 4.1. Das entspricht sehr den Erkenntnissen zu Fahrnfällen, die aus der Auswertung der EUSKA-Daten zum Unfalltyp gewonnen wurde (s. Abbildung 27 und Abbildung 28). Eine zweite Auffälligkeit findet sich hier bei Dooring-Unfällen. Diese machen ca. 28,5 % der Lastenrad-Unfälle aus.

## 2.2 Weitere Unfallstatistiken

Zunächst ist in Bezug auf weitere verfügbare Unfallstatistiken anzumerken, dass die Menge und Qualität der vorliegenden Daten zu Unfällen mit auf dem Fahrrad transportierten Kindern für eine Beurteilung relevanter Unfallszenarien nicht ideal ist. Es sind insgesamt wenig Unfälle dieser Art erfasst. Von den erfassten Unfällen involvieren die meisten Anhänger und Kindersitze, nur in Ausnahmefällen Lastenräder [RAF16]. Dementsprechend sind auch Rückschlüsse aus den Unfallstatistiken nur bedingt möglich [FRO20]. Oft werden Unfälle aufgrund fehlender Meldung bei der Polizei beziehungsweise der fehlenden Notwendigkeit einer Einlieferung in ein Krankenhaus nicht erfasst. In umfassenden Statistiken, wie etwa der Verkehrsunfall-Statistik des Statistischen Bundesamts ist der Detailgrad der Erfassung in der Regel eingeschränkt. Trotz dieser Schwierigkeiten werden im



Folgendes die verfügbaren Statistiken zusammengefasst, um einen allgemeinen Eindruck des Unfallgeschehens zu gewinnen.

Aufgrund ähnlicher Zahlen in den Jahren 2018 bis 2020 wird im Folgenden die Verkehrsunfall-Statistik 2018 des Statistischen Bundesamts DESTATIS [STA19] als beispielhafte Statistik herangezogen. Hier sind für das Jahr 2018 in Deutschland knapp 90.000 verunglückte Radfahrde erfasst, davon 391 Mitfahrende. Kinder unter vier Jahren machen dabei ca. 29 % der Mitfahrer:innen aus. Dabei wurden von den mitfahrenden Kindern unter vier Jahren keine Getöteten, 101 Leichtverletzte und 14 Schwerverletzte erfasst.

Im DEKRA Verkehrssicherheitsreport 2020 [DEK20], welcher auf Daten der Verkehrsunfallstatistik 2019 des Statistischen Bundesamts [STA20] zurückgreift, wird aufgeführt, dass Pkw mit ca. 64 % den häufigsten Unfallgegner:innen darstellen. Ist dies gegeben, werden die Pkw-Fahrer:innen zu über 75 % als Hauptverursacher:innen festgestellt.

### 2.3 Internetrecherche zu Einzelfällen

Angesichts des geringen Detailgrads der verfügbaren Unfallstatistiken ist die weitgehende Beobachtung medial berichteter Einzelfälle und die daraus entstehende Ableitung eines Gesamtbildes eine naheliegende Möglichkeit, relevante Unfallszenarien zu beurteilen und auch einen gewissen Eindruck bezüglich der Auswirkungen von Unfällen auf die Kinder angesichts der verwendeten Transportmethode zu formen.

Zunächst sind hier Behandlungsdaten der Jugendchirurgie Graz zu erwähnen. Zwischen 2004 und 2018 wurden dort 19 Kinder nach Unfällen als Mitfahrer:innen auf dem Fahrrad behandelt. Davon befanden sich elf im Fahrradkindersitz, sieben im Anhänger und ein Kind in der Transportbox eines Lastenrads. Im Lastenrad ist das Kind innerhalb der Transportbox aus dem Sitz gestürzt und wurde nicht schwer verletzt. Beim Fahrradanhänger waren die Unfallursachen in vier Fällen das Umkippen des Anhängers in einer Kurvenfahrt, in zwei Fällen der Sturz des Kindes im Anhänger beim Hinsetzen oder Aufstehen und in einem Fall der Sturz aus dem Anhänger beim Aussteigen. Schwere Verletzungen wurden nicht erfasst. Bei den Unfällen mit Kindersitz sind in drei Fällen die Radfahrer:innen ohne Fremdeinwirkung während der Fahrt gestürzt. In drei Fällen ist ein Fuß des Kindes in die Speichen geraten. In drei Fällen ist entweder das Rad beim Hereinsetzen oder Herausnehmen des Kindes umgekippt beziehungsweise das Kind während der Fahrt aus dem Sitz gefallen. Weiterhin gab es recht spezifische und ungewöhnliche Sonderfälle. Insgesamt gab es hier mit einem Unterarmbruch und einer Gehirnerschütterung zwei schwere Verletzungen [GRO19].

Im Zeitraum von 2019 bis einschließlich September 2023 wurden aus der DACH-Region folgende Einzelfälle im Rahmen der Internetrecherche ermittelt.

Im gegebenen Zeitraum wurden zehn Lastenradunfälle mit involviertem Kind ermittelt. Hierbei ist in einem Fall die Fahrer:in des Lastenrads beim Richtungswechsel umgekippt. Das Kind blieb unverletzt [GRO19]. Im zweiten Fall geriet die Fahrer:in aus dem Gleichgewicht und stürzte, nachdem sie sich das Auge rieb. Das Kind wurde leicht verletzt [MER22a]. In einem weiteren Fall ereignete sich ein frontaler Zusammenstoß mit einem entgegenkommenden Radfahrer, bei dem das transportierte Kind leicht verletzt wurde [BER22]. Der vierte Unfall dieser Art ereignete sich im Oktober 2022, wobei ein dem Lastenrad entgegenkommender Radfahrer den Verkehr nicht ausreichend beachtete und mit der an einer Kreuzung haltenden Lastenradfahrer:in kollidierte. Hierbei blieb das Kind unverletzt [LÜB22]. Ebenfalls im Oktober 2022 kollidierte ein Pkw beim Wiedereinordnen nach dem Überholen mit einer Lastenradfahrer:in, deren 5-Jähriger Sohn dabei leicht verletzt wurde [MEI22a]. Im März 2023 kollidierte ein Pkw-Fahrer beim Linksabbiegen mit einem Lastenrad, wobei der darin befindliche 3-Jährige Junge leicht verletzt wurde [UEL23]. Bei einem Alleinunfall im Mai 2023 und einem Alleinunfall im August 2023 blieben beide Kinder in der Transportbox unverletzt [MAY23, RHE23], wohingegen das Kind bei einem Alleinunfall im Juni 2023 mehrere leichte Verletzungen erlitt [ALL23a]. Im September 2023 fuhr ein alkoholisierter Pkw-Fahrer nach gewähren der Vorfahrt an einer Kreuzung zu früh an und kollidierte mit einem Lastenrad. Hier blieb ein Kind unverletzt, während das andere leichte Verletzungen davon trug [KRO23].

Zwei Unfälle mit involviertem Fahrradanhänger in diesem Zeitraum führten zum Tod eines oder mehrerer Kinder. Im August 2019 auf der B19 in der Nähe von Wien erfasste ein 60-Jähriger, leicht alkoholisierte Autofahrer auf einem geraden Streckenabschnitt außerorts bei Dunkelheit ein Gespann aus einer 39-jährigen Pedelec-Fahrerin und ihrem Kinder-Anhänger, in dem sich zwei Kinder befanden. Hierbei ist anzumerken, dass der Anhänger nicht für die Verwendung mit E-Bikes zugelassen war und keine Rücklichter, Rückstrahler oder Fahne zum Zweck der Erkennbarkeit aufwies. Zudem trugen die Kinder keine Helme. Ein Kind verstarb infolge des Unfalls direkt am Unfallort, das andere später im Krankenhaus [DER19]. Der zweite tödliche Unfall ereignete sich Ende April 2022 in Horw. Hier kollidierte eine E-Bike-Fahrerin, die ihr fünfjähriges Kind im Anhänger transportierte, mit einem Baustellenfahrzeug nahe der Baustelle. Das Kind verstarb kurze Zeit später im Krankenhaus [ARG22, LUZ22].

Bei einem weiteren Unfall im Juni 2022 fuhr ein Pkw-Fahrer frontal in einen Radfahrer und seinen Kinderanhänger mitsamt 2-jährigem Kind, nachdem er rechts von der Fahrbahn abkam. Hierbei wurden Radfahrer und Kind lebensgefährlich verletzt [HAM22]. Im September 2023 ereignete sich in Bandenitz (Mecklenburg-Vorpommern) ein weiterer Fahrradanhänger-Unfall bei dem das Kind lebensgefährlich verletzt wurde. Hier löste sich der Fahrradanhänger während der Fahrt unbemerkt vom Fahrrad und rollte unkontrolliert in einen Wassergraben. Der Sicherungsgurt, welcher den Anhänger zusätzlich zur Kupplung am Fahrrad sichern soll, wurde offensichtlich nicht verwendet. Das zweijährige Kind konnte sich nicht aus dem Anhänger befreien und ertrank beinahe, bevor es gerettet werden konnte [HAD23].

29 weitere, nicht tödliche Unfälle mit Fahrradanhängern wurden im Rahmen der Internetrecherche ermittelt. Hierbei gab es drei Dooring-Unfälle [STR21, POL23a, SCH23], zwei Zusammenstöße mit einem anderen Radfahrer [BAY21, BÜS23], zwölf Unfälle beim Abbiegen an Kreuzungen [MOZ19, VOL19, POL21b, ALL22, MAY22, CÖL23, DUB23, LEI23, NEU23a, NEU23b, POL23b, PUC23] und sechs Unfälle mit geradeaus fahrenden Beteiligten im Quer- oder Längsverkehr [MER22b, NOR22, RP-22, BLI23a, BLI23b, TAG23]. In zwei Fällen kollidierten aus Einfahrten ausfahrende Pkw mit dem jeweiligen Gespann [OSC23, SÜD23]. Ein weiterer Unfall involvierte das Umkippen des Anhängers und Herausfallen des Kindes in einer Kurvenfahrt [KRE22]. In einem weiteren Fall löste sich die Halterung des Anhängers, woraufhin sich der Anhänger aufschaukelte und die Kinder herausgeschleudert wurden [SÜD22], [MAY22]. Im Februar 2023 kam es zur Kollision zwischen Fahrrad-Gespann und Pkw beim Einfahren des Pkw in einen Kreisverkehr [ALE23], [SÜD23]. Als im Juni 2023 ein Fahrradanhänger nach Blockieren umkippte, stürzten beide nicht angeschnallten Kinder auf die Straße und verletzten sich leicht [ALL23b]. Ein eher ungewöhnlicher Unfall ereignete sich im September 2023. Hier stürzte ein stark betrunkenen Fußgänger auf den Fahrradanhänger einer Frau, als diese an ihm vorbeifuhr [OST23]. In zwei Fällen wurden hier involvierte Kinder schwer verletzt, in 18 Fällen gab es lediglich leichte Verletzungen und in den anderen Fällen blieben die Kinder unverletzt.

Insgesamt 19 Unfälle mit Kind im Fahrrad-Kindersitz wurden im Rahmen der Online-Recherche erfasst [WES19, DUB21, MEE21, MIT21, POL21a, INN22, WES22, BEC23, FRA23, FUL23, HÖN23, KIR23, LEI23, NEU23b, NOK23, POL23c, POL23d, ZEI23a, ZEI23b]. Hierbei blieben drei Kinder unverletzt, neun Kinder wurden leicht verletzt und sieben Kinder wurden schwer verletzt. Die Unfälle mit Kindersitz ergeben sich aus elf Kollisionen mit Pkw, zwei Kollisionen mit je einem anderen Radfahrer, fünf Alleinunfällen, zwei Kollisionen mit Lkw und einen Fall in dem die Radfahrerin von einem Pkw von der Straße gedrängt wurde.

## 2.4 Zusammenfassung

Die Unfallanalyse zeigt, dass Unfälle mit Radfahrer:innen, bei denen Kinder transportieren wurden, im Unfallgeschehen nicht grundsätzlich anders abgebildet sind, als die Vergleichsgruppe der Radfahrer:innen insgesamt. Die typische und aus vielen anderen Analysen bekannte Verteilung von Unfallart und -typ findet sich auch hier wieder. Auffällig ist allerdings, dass es bei Radfahrunfällen mit Kindertransport einen hohen Anteil von Alleinunfällen gibt. Es liegt die Annahme nahe, dass das mit den besonderen fahrdynamischen Eigenschaften von beladenen Fahrrädern zu tun hat. Da Fahrräder mit Kindersitzen einen ungewohnt hohen Schwerpunkt haben und damit insbesondere bei langsamen Geschwindigkeiten vergleichsweise schwer auszugleichen sind, kann es hier gerade beim plötzlichen Anhalten leicht zu Stürzen kommen. Lastenräder haben hingegen einen recht niedrigen Schwerpunkt, allerdings muss auch hier in der Regel eine große Masse und ein vergleichsweise langes Fahrrad

stabilisiert werden. Für zweirädrige Lastenräder ist auch dabei wieder der Moment des Anhaltens kritisch, bei dreirädrigen Lastenrädern zeigte die detaillierte Untersuchung der Unfalldaten, dass insbesondere Kurvenfahrten kritisch sind. Da sich das Rad nicht in die Kurve neigen kann und somit ein Ausgleich der Seitenkräfte kaum möglich ist, ist die Gefahr von Alleinunfällen und insbesondere des Umkippens recht hoch.

Bei Fahrrädern mit Anhängern sind zwei Szenarien auffällig: Kreuzungsunfälle zwischen Fahrzeug und dem Fahrradanhänger und Alleinunfälle. Einerseits waren einige Fälle beschrieben, bei denen es zu einer Kollision zwischen einem Fahrzeug und dem Fahrradanhänger kam. Hier ist zu vermuten, dass die Autofahrenden den Radfahrenden in einer Kreuzungssituation die Vorfahrt gewährt haben, den Anhänger aber übersehen oder aber einfach nicht mit ihm gerechnet haben und es somit zu einer Kollision kam.

Außerdem waren auch in dieser Transportsituation Alleinunfälle auffällig. Diese hatten häufig damit zu tun, dass Länge und Breite des gesamten Gespanns unterschätzt wurden und der Anhänger beim Abbiegen oder beim dichten Vorbeifahren an Hindernissen hängengeblieben und umgekippt ist.

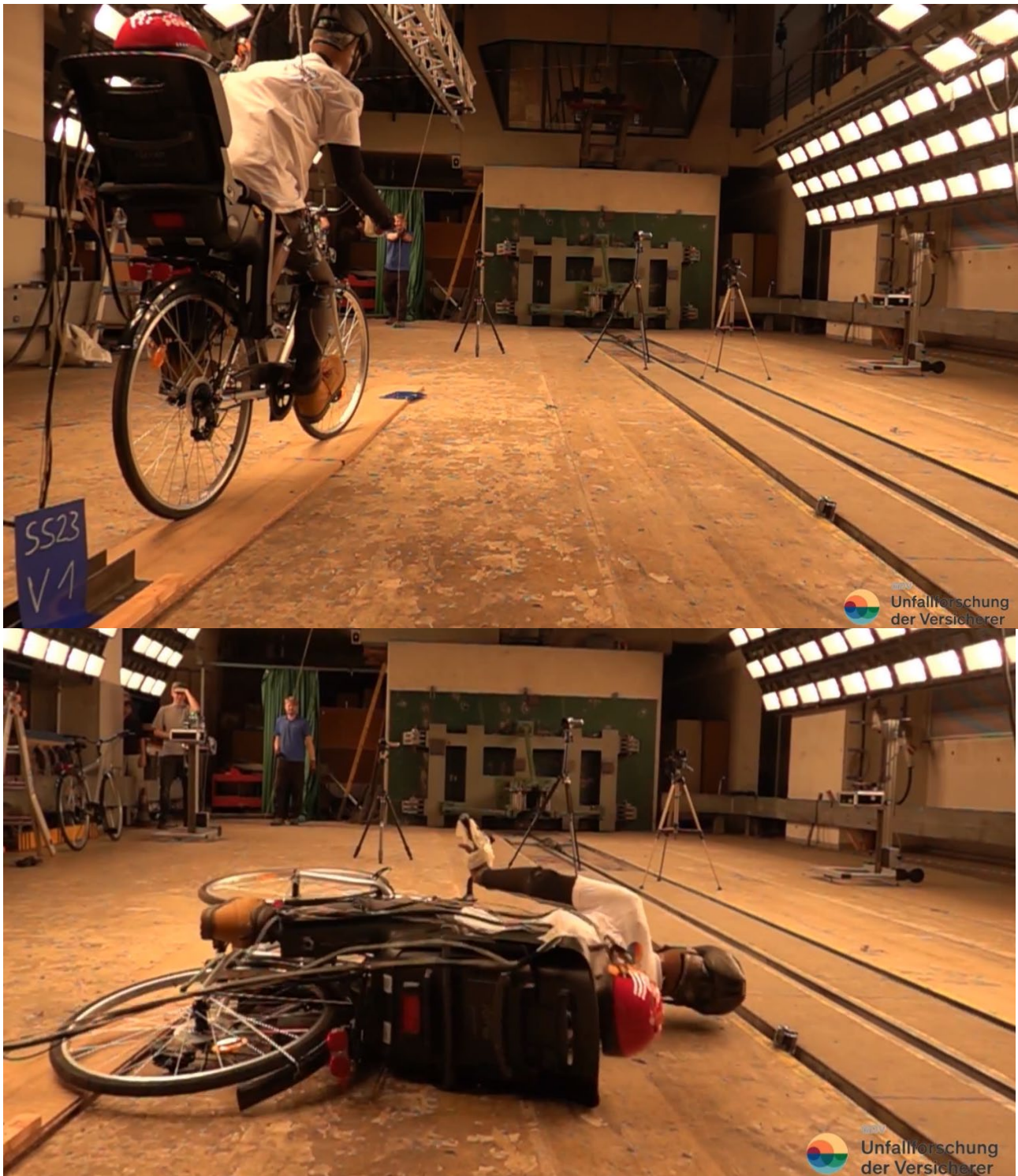
Es kann davon ausgegangen werden, dass es gerade bei den Alleinunfällen eine recht hohe Dunkelziffer gibt, da vermutlich nur ein Teil dieser Unfälle polizeilich erfasst werden.

Eine genaue Untersuchung zur Fahrdynamik der beschriebenen Fahrräder und der sich daraus ergebenden Risiken ist in Kapitel 4.1 zu finden.

Aus den gewonnenen Erkenntnissen zum Unfallgeschehen lassen sich repräsentative Unfallszenarien für die verschiedenen Transportmethoden ableiten. Um im Rahmen der Crash-Versuche in Kapitel 4.4 und der FEM-Simulationen in Kapitel 4.5 Situationen abzubilden, welche eine Relevanz im alltägliche Unfallgeschehen aufweisen, werden diese Referenzszenarien in den Crash-Versuchen und FEM-Simulationen nachgestellt. Im Folgenden ist eine Übersicht über die erarbeiteten Versuchsszenarien abgebildet.

## 2.5 Crash-Szenarien basierend auf der Unfall-Recherche

### 2.5.1 Kindersitz



**Abbildung 29: Versuchsszenario 1: Umkippen aus dem Stand mit Kindersitz**

Im ersten Szenario wird das Umkippen aus dem Stand mit Kindersitz und Kind nachgestellt (s. Abbildung 29). Dieses wird mehrfach wiederholt, wobei insbesondere ein Vergleich zwischen dem Umkippen mit und ohne Fahrradhelm beim Kinderdummy gezogen wird.



**Abbildung 30: Versuchsszenario 2: Dooring-Unfall mit Kindersitz**

Weiterhin wird mit dem Kindersitz das sogenannte Dooring, sprich die Kollision eine:r Fahrradfahrer:in mit der unvorhergesehen geöffneten Fahrertür eines Pkw, nachgestellt (s. Abbildung 30). Auch hier wird das Szenario mit Variation ausgewählter Parameter mehrfach durchgeführt. Die gewünschte Geschwindigkeit des Fahrrads beträgt zum Unfallzeitpunkt ca. 10 km/h, während der Pkw nicht in Bewegung ist.



**Abbildung 31: Versuchsszenario 3: Kollision zwischen rechtsabbiegenderm Pkw und Fahrrad mit Kindersitz**

An Kreuzungen treten Kollisionen zwischen Pkw und Fahrrad vorwiegend bei Abbiegevorgängen auf. Eine solche Kollision zwischen einem rechtsabbiegenden Pkw und einem Fahrrad mit Kindersitz wird nachgestellt. Aufgrund der räumlichen Gegebenheiten auf der genutzten Crashbahn, wurde der Versuch mit einem linksabbiegenden Pkw

dargestellt, die gesamte Versuchskonfiguration stellt aber den gespiegelten und sonst identischen Fall eines rechts über den Radweg abbiegenden Fahrzeugs dar (s. Abbildung 31).

## 2.5.2 Anhänger



**Abbildung 32: Versuchsszenario 4: Dooring-Unfall mit Anhänger**

Aufgrund der Häufigkeit dieses Unfallszenarios, aber auch für eine erhöhte Vergleichbarkeit der Crash-Daten, wird das Dooring auch mit dem Fahrradanhänger nachgestellt. Erneut werden hier bei Wiederholungen des Versuchs einzelne Parameter, wie etwa der Türöffnungswinkel beim Pkw, variiert. Die gewünschte Geschwindigkeit des Fahrrads beträgt zum Unfallzeitpunkt ca. 10 km/h, während der Pkw nicht in Bewegung ist. Abbildung 32 zeigt die Situation unmittelbar vor der Kollision.



**Abbildung 33: Versuchsszenario 5: Auffahrunfall mit Anhänger**

Aus der Analyse des Unfallgeschehens sind Kollisionen von Pkw mit dem Fahrradanhänger an Einfahrten oder Kreuzungen besonders hervorgegangen. Zum einen wird entsprechend Abbildung 33 ein Auffahrunfall nachgestellt, bei dem ein Pkw auf das stillstehende Gespann auffährt. Hierbei werden zwei Wiederholungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf Seite des Pkw durchgeführt.



**Abbildung 34: Versuchsszenario 6: Kollision mit Anhänger beim Linksabbiegen**

Ein Abbiegeunfall wird, analog zum Kindersitz, auch mit dem Anhänger nachgestellt. Abbildung 34 zeigt die Situation, in der es während des Linksabbiegens des Pkw zu einer Kollision zwischen Pkw und dem Anhänger des auf gerader Strecke fahrenden Fahrrads kommt.

### 2.5.3 Lastenrad



**Abbildung 35: Versuchsszenario 7: Dooring-Unfall mit Lastenrad**

Auch mit dem Lastenrad wird zunächst eine Dooring Situation nachgestellt, wobei der Türöffnungswinkel variiert wird. Abbildung 35 zeigt exemplarisch den Moment vor der Kollision.



**Abbildung 36: Versuchsszenario 8: Abbiegeunfall mit Lastenrad**

Wie auch beim Anhänger wird eine Kollision beim Abbiegen des Pkw nach Links nachgestellt. Hierbei wird ein Kollisionswinkel von ca. 40 Grad vorgesehen und die Kollision findet auf Höhe der Transportbox statt (s. Abbildung 36)



### 3 Nutzerbefragung und Nutzertests

#### 3.1 Zielsetzung

Dieses Arbeitspaket verfolgt das Ziel, das Mobilitäts- und Verkehrsverhalten von Radfahrenden zu erfassen, die regelmäßig Kinder transportieren. Als Forschungsansatz wird eine Kombination aus Online-Befragung und Felduntersuchung umgesetzt.

#### 3.2 Fragestellungen

Die Online-Befragung dient zur Erfassung der wahrgenommenen Sicherheit, individueller Präferenzen und persönlicher Motive beim Kindertransport mit dem Rad. Über die erhobenen Daten sollen insbesondere folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Was sind Gründe und Motive für die Wahl der Fahrradart beim Transport von Kindern (Lastenrad, Fahrrad mit Anhänger und Fahrrad mit Kindersitz)?
- Was sind Nutzungszwecke und -häufigkeiten dieser Transportarten?
- Welchen Einfluss hat der Transport von Kindern auf dem Rad auf die Wahl der Route und die Präferenz für bestimmte Wegearten?
- Welche Merkmale kennzeichnen kritische Situationen und Unfälle beim Transport von Kindern und in welcher Beziehung stehen diese zu Fehlbedienung bei Montage und Nutzung von Sicherheitseinrichtungen?

Die Felduntersuchung dient zur Erfassung des tatsächlichen Verkehrs- und Sicherungsverhaltens von Erwachsenen beim Kindertransport. Die Felduntersuchung kombiniert Beobachtung mit Interview und soll vor Allem zu folgenden Fragestellungen Erkenntnisse liefern:

- Nach welchem Ablauf erfolgt die Montage und Nutzung von Sicherheitseinrichtungen für den Transport von Kindern auf dem Fahrrad?
- Welche Fehler und technischen Mängel treten bei der Montage und Nutzung von Transportmitteln auf?

Im Vorfeld der Felduntersuchung sind zwei Voruntersuchungen umgesetzt worden, um das Untersuchungsumfeld besser zu verstehen und den Interviewleitfaden umfassend und adressatengerecht zu konzipieren.

#### 3.3 Online-Befragung

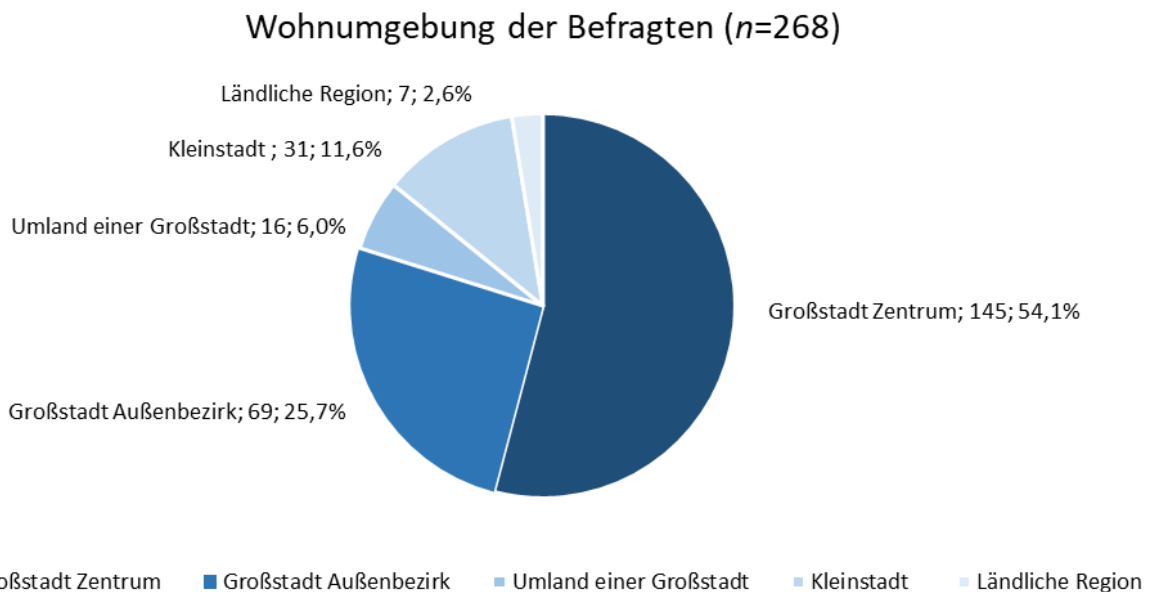
##### 3.3.1 Aufbau und Auswertung der Online-Befragung

Die Online-Befragung ist voll standardisiert und nach den folgenden Themenbereichen strukturiert: Häufigkeit sowie Gelegenheiten und Einflussfaktoren für die Fahrradnutzung und des Kindertransports, subjektives Mobilitätsverhalten (d. h. Fahrradart, Wahl der Verkehrsinfrastruktur, Verkehrszeiten, Abstellen und Sichern des Fahrrads) sowie Verkehrssicherheitsverhalten. Zur vorwiegend genutzten Transportart (Lastenrad, Fahrrad-Anhänger oder Kindersitz) werden im Anschluss spezifische Fragen zu den beförderten Kindern, zu Beschaffungsgründen und Nutzungserfahrungen gestellt. Danach erfolgt die Erfragung kritischer Situationen und möglicher Bedingungsfaktoren mit einem besonderen Fokus auf eventuell falsch genutzte oder bewusst nicht genutzte Sicherheitsvorkehrungen. Zum Abschluss werden soziodemografische Angaben (u. a. zu Alter, Geschlecht und Wohnort) erfasst. Die Bearbeitungsdauer beträgt in der Regel 20 bis 25 Minuten. Die Online-Befragung wird mit dem Tool QuestionPro erstellt, das responsiv gestaltet ist und daher auf einer Vielzahl von Endgeräten eine hohe Benutzerfreundlichkeit für die Teilnehmenden gewährleistet. Die Auswertung erfolgt über MS Excel und IBM SPSS in der Version 29.0.

### 3.3.2 Erhebungszeitraum und Stichprobe

Die Online-Befragung startete am 02.07.2022. Bis zum 19.02.2023 haben  $n=481$  Personen die Befragung aufgerufen. Insgesamt 179 Befragte haben ihre Teilnahme während der Beantwortung abgebrochen, sodass  $n=302$  Personen verbleiben, die in Summe an der Online-Befragung teilgenommen haben.

Von den 302 Befragten gaben 28 Personen an, dass sie zwar Fahrrad fahren, aktuell allerdings keine Kinder befördern. Der Rohdatensatz umfasst somit  $n=274$  vollständige Datensätze von Personen, die Kinder mit dem Rad befördern bzw. befördern könnten. Die Bearbeitungszeit der Umfrage beträgt im Schnitt 22 Minuten. In der vorliegenden Stichprobe befinden sich 149 weibliche (49,3 %) und 121 männliche (40,1 %) Radfahrende sowie 4 Personen mit fehlender Angabe zum Geschlecht (1,3 %). Teilnehmende sind zwischen 20 und 63 Jahre alt ( $MW=39,4$  Jahre;  $SD=6,76$ ). Etwa drei von vier Befragten haben ihren Hauptwohnsitz in einer Großstadt (siehe Abbildung 37). Lediglich 7 Befragte geben als Wohnsitz eine ländliche Region an. Etwa jede zweite Person stammt aus der Postleitzahlen-Region „1xxxx“ (47,8 %, siehe Tabelle 1).



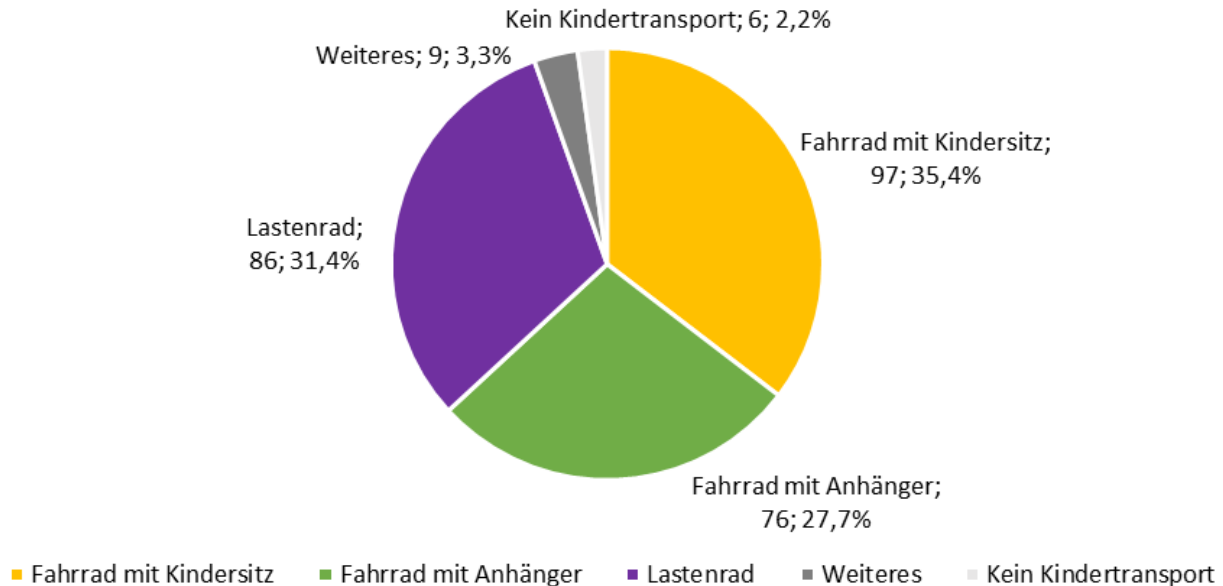
**Abbildung 37: Wohnumfeld der Befragten in der Online-Erhebung**

PLZ-Bereich	Häufigkeit	Prozent
0xxxx	11	4,5 %
1xxxx	131	53,3 %
2xxxx	3	1,2 %
3xxxx	10	4,1 %
4xxxx	3	1,2 %
5xxxx	6	2,4 %
6xxxx	3	1,2 %
7xxxx	34	13,8 %
8xxxx	39	15,9 %
9xxxx	6	2,4 %
<b>Gesamt</b>	<b>246</b>	<b>100,0 %</b>
Keine Angabe	28	
<b>Gesamt</b>	<b>274</b>	

**Tabelle 1: Herkunft der Befragten nach Postleitzahlenbereich des Wohnsitzes**

Bezüglich der hauptsächlich verwendeten Transportart sind alle drei abgefragten Optionen in der Stichprobe vertreten: 97 Befragte nutzen vorrangig einen Kindersitz, 76 Befragte sind mit einem Fahrrad-Anhänger unterwegs, 86 Befragte nutzen ein Lastenrad, davon  $n=51$  (bzw. 59,3 %) ein zweirädriges und  $n=35$  (bzw. 40,7 %) ein dreirädriges. Als weitere Transportarten genannt werden u. a. „(Liege)Tandem“ bzw. „Eltern-Kind-Tandem“ (siehe Abbildung 38).

### Vorrangig genutztes Transportmittel zur Kinderbeförderung ( $n=274$ )



**Abbildung 38: Vorrangig genutzte Transportart zur Kinderbeförderung.**

Etwa die Hälfte aller Befragten gibt an, täglich mit dem Rad unterwegs zu sein (47,4 %). Nur eine von vier Personen nutzt weniger als 5 Mal pro Woche das Fahrrad als Verkehrsmittel (siehe Tabelle 2)

Häufigkeit der Fahrradnutzung	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozent
Täglich	130	47,4 %	47,4 %
5 bis 6 Mal pro Woche	75	27,4 %	74,8 %
3 bis 4 Mal pro Woche	30	10,9 %	85,8 %
1 bis 2 Mal pro Woche	28	10,2 %	96,0 %
Seltener	11	4,0 %	100,0 %
<b>Gesamt</b>	<b>274</b>	<b>100,0 %</b>	

**Tabelle 2: Häufigkeit der Fahrradnutzung.**

Trotz der häufigen Angabe täglicher Fahrradnutzung transportieren nur 21,9 % der Befragten täglich ein oder mehrere Kinder mit dem Rad. Der Median liegt bei „3 bis 4 Mal pro Woche“. Insgesamt 40 Befragte nutzen das Fahrrad seltener als einmal pro Woche für die Kinderbeförderung. Sechs Befragte geben an, ihre Kinder, die sie transportieren könnten, nie mit dem Rad zu befördern (siehe Tabelle 3).

Häufigkeit der Kinderbeförderung	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozent
Täglich	60	21,9 %	21,9 %
5 bis 6 Mal pro Woche	64	23,4 %	45,3 %
3 bis 4 Mal pro Woche	60	21,9 %	67,2 %
1 bis 2 Mal pro Woche	44	16,1 %	83,2 %
Seltener	40	14,6 %	97,8 %

Gar nicht	6	2,2 %	100,0 %
<b>Gesamt</b>	<b>274</b>	<b>100,0 %</b>	

**Tabelle 3: Häufigkeit der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad.**

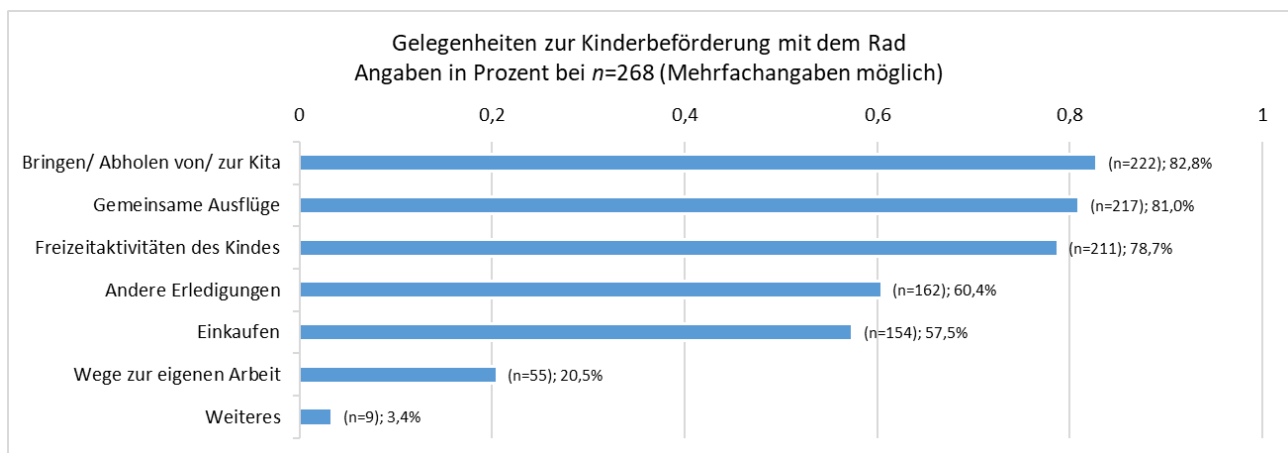
### 3.3.3 Ergebnisse der Online-Befragung

Schlüsselt man die Häufigkeit der Kinderbeförderung in der Gesamtstichprobe nach den meistgenutzten Transportarten (Fahrrad-Kindersitz, Fahrrad-Anhänger und Lastenrad) auf, liefert die inferenzstatistische Analyse das Ergebnis, dass sich die Häufigkeit der Kinderbeförderung zwischen den Transportmitteln signifikant unterscheidet ( $\chi^2=16,555$ ,  $df=8$ ,  $p<.05$ ). Tabelle 4 zeigt auf, dass Kinderbeförderung bei Nutzung eines Lastenrads am intensivsten stattfindet („täglich“ bzw. „5 bis 6 Mal pro Woche“), während beim Fahrrad-Anhänger als häufigste Frequenz „3 bis 4 Mal pro Woche“ angegeben wird. Der größte Anteil sporadischer Nutzung ist bei Verwendung eines Kindersitzes zu beobachten („1 bis 2 Mal pro Woche“ und „seltener“).

Häufigkeit der Kinderbeförderung	Fahrrad-Kindersitz Häufigkeit/ Prozent	Fahrrad-Anhänger Häufigkeit/ Prozent	Lastenrad Häufigkeit/ Prozent
Täglich	19/ 19,6 %	15/ 19,7%	25/ 29,1 %
5 bis 6 Mal pro Woche	18/ 18,6 %	18/ 23,7 %	27/ 31,4 %
3 bis 4 Mal pro Woche	18/ 18,6 %	20/ 26,3 %	17/ 19,8 %
1 bis 2 Mal pro Woche	21/ 21,6 %	11/ 14,5 %	12/ 14,0 %
Seltener	21/ 21,6 %	12/ 15,8 %	5/ 5,8 %
Gar nicht	0/ 0 %	0/ 0,0 %	0/ 0,0 %
<b>Gesamt</b>	<b>97/ 100,0 %</b>	<b>76/ 100,0 %</b>	<b>86/ 100,0 %</b>

**Tabelle 4: Häufigkeit der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad nach Transportart.**

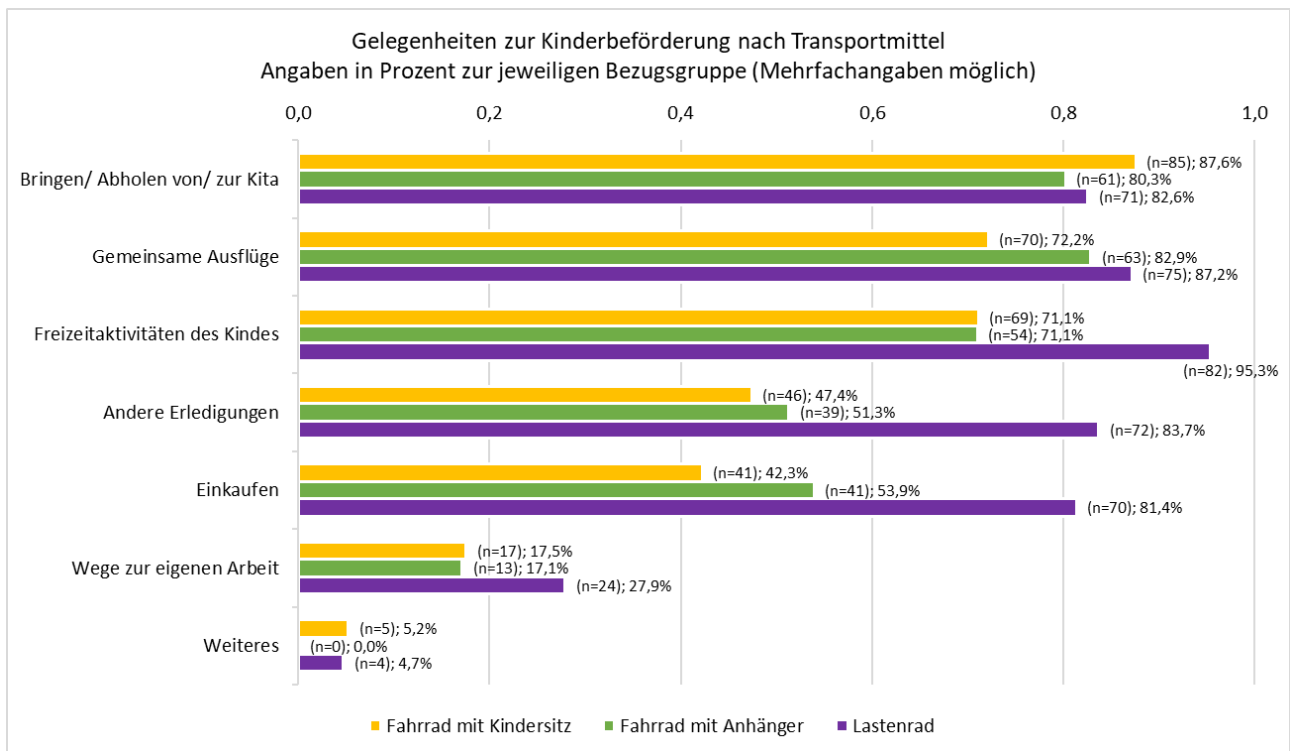
Bei den Gelegenheiten zur Kinderbeförderung geben 82,8 % aller Befragten das Bringen bzw. Abholen von und zur Kita oder Schule an. Ebenfalls häufig angegebene Gelegenheiten sind gemeinsame Ausflüge (80,9 %) und Freizeitaktivitäten des Kindes (78,7 %). Andere Erledigungen, Einkäufe und Wege zur eigenen Arbeit mit der Kinderbeförderung zu kombinieren, werden seltener angegeben (60,4 %; 57,5 % bzw. 20,5 %). Als weitere Gelegenheiten genannt werden „Urlaub“, „Familienbesuche“, „Transport von Gütern“, „Sport“ und „Begleitung anderer Kinder, die mit dem Fahrrad unterwegs sind“ (siehe Abbildung 39).



**Abbildung 39: Gelegenheiten, zu denen eine Kinderbeförderung mit dem Rad erfolgt.**

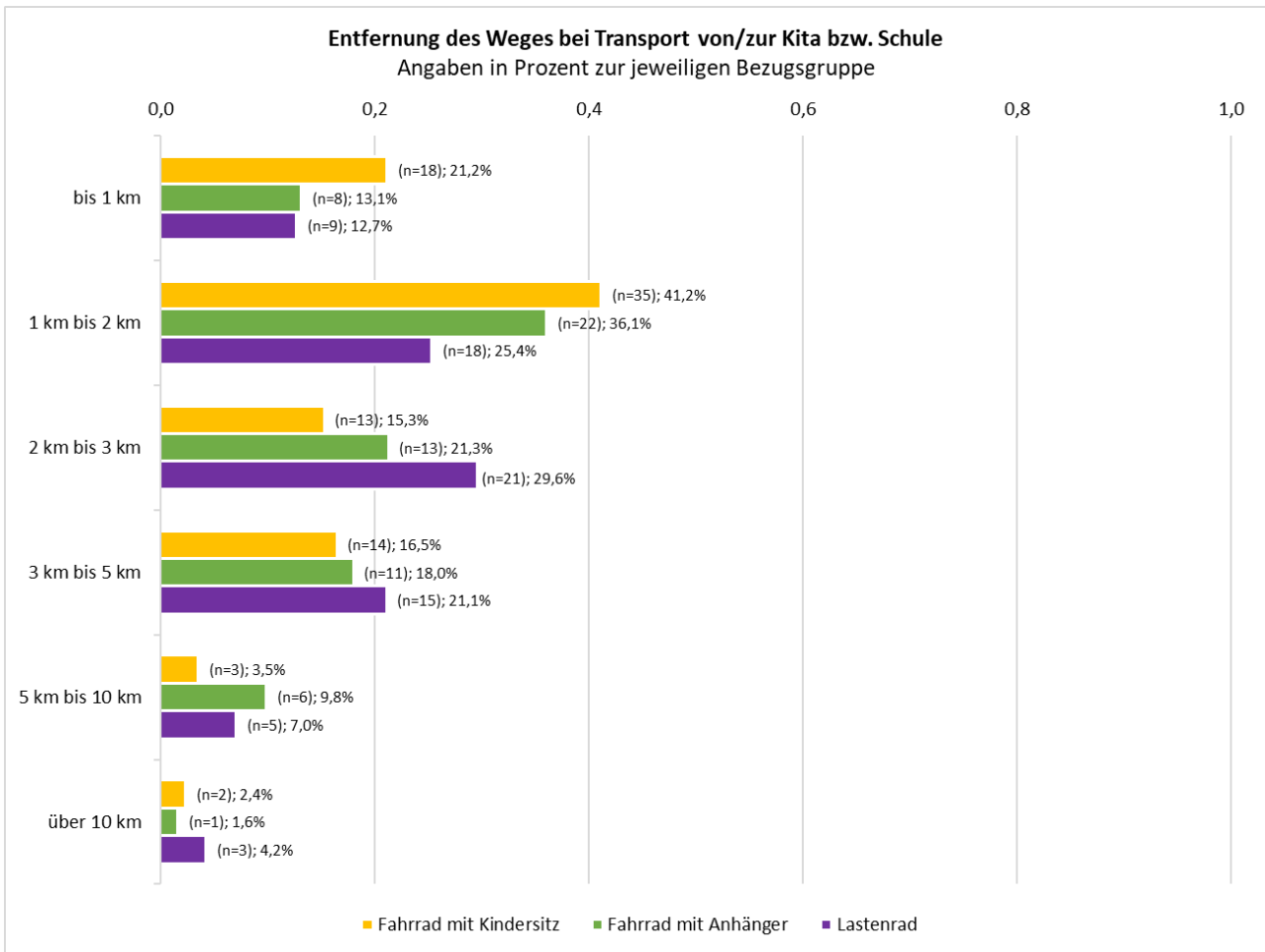
Die inferenzstatistische Auswertung zeigt, dass die Häufigkeit der angegebenen Gelegenheiten bei Mehrfachwahlantwort abhängig vom vorwiegend genutzten Transportmittel ist ( $\chi^2=92,023$ ,  $df=12$ ,  $p<.001$ ). Deskriptiv ist erkennbar, dass Lastenräder im Vergleich zum Kindersitz und zum Anhänger häufiger für die Wege des täglichen Lebens genutzt werden bzw. diese mit dem Kindertransport kombiniert werden (z. B. Einkäufen und

andere Erledigungen). Außerdem liegt die Hauptnutzung des Lastenrads auf dem Freizeitbereich (d. h. Freizeitaktivitäten des Kindes und gemeinsame Ausflüge). Dies findet sich auch in den offenen Angaben wieder, nach denen das Lastenrad im „Urlaub“ ( $n=2$ ), zum „Transport von Gütern“ ( $n=1$ ) und „für alle Wege, die zu Fuß zu weit sind“ ( $n=1$ ) genutzt wird (siehe Abbildung 40).



**Abbildung 40: Gelegenheiten zur Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten**

Die regelmäßig gefahrene Entfernung zum Bringen bzw. Abholen von und zur Kita bzw. Schule ist inferenzstatistisch nicht abhängig vom genutzten Transportmittel ( $\chi^2=12,306$ ,  $df=10$ ,  $p=.265$ ,  $n.s.$ ). Die deskriptiv erkennbare Präferenz eines Kindersitzes für kurze Strecken (bis 2 km) und die zunehmende Streckenlänge bei Nutzung von Anhänger oder Lastenrad kann also nicht mit hinreichender Sicherheit auf das Transportmittel zurückgeführt werden (siehe Abbildung 41).



**Abbildung 41: Gelegenheiten zur Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten.**

Die Angabe der bevorzugten, der gemiedenen und der tatsächlich genutzten Wegearten erfolgte mittels Bild-Wort-Kombination. Folgendes Bildmaterial liegt den Antworten zugrunde (siehe Abbildung 42):



Separate Radwege



Baulich abgetrennte Radwege auf der Fahrbahn



Nicht baulich getrennte Radfahrstreifen oder Schutzstreifen auf der Fahrbahn



Fahrbahn im Hauptstraßennetz



Fahrbahn in 30er-Zone



Fahrradstraße



Wege, die sowohl für Rad- als auch Fußverkehr freigegeben sind



Wege, die dem Fußverkehr vorbehalten sind (z. B. Gehweg oder Fußgängerzone)



Wege, bei denen ich unsicher bin, ob sie für den Radverkehr zugelassen sind



Fahrbahn auf Bundes- oder Landesstraße (außerorts)

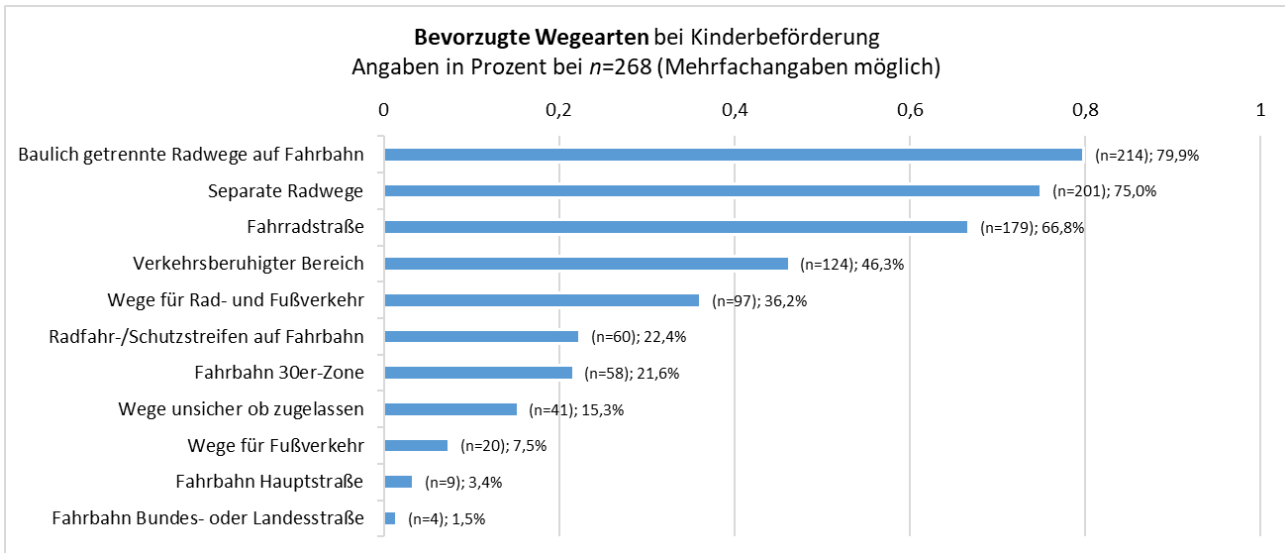


Verkehrsberuhigter Bereich (Schrittgeschwindigkeit für motorisierten Verkehr)

**Abbildung 42: In der Online-Befragung genutztes Fotomaterial zur Visualisierung von Wegearten.**

Bezüglich der bevorzugten Wegearten ist erkennbar, dass bauliche Trennungen insgesamt die höchste Präferenz aufweisen, noch vor Wegearten, die den Radverkehr bevorzugen (siehe Abbildung 43). Qualitative Angaben zu

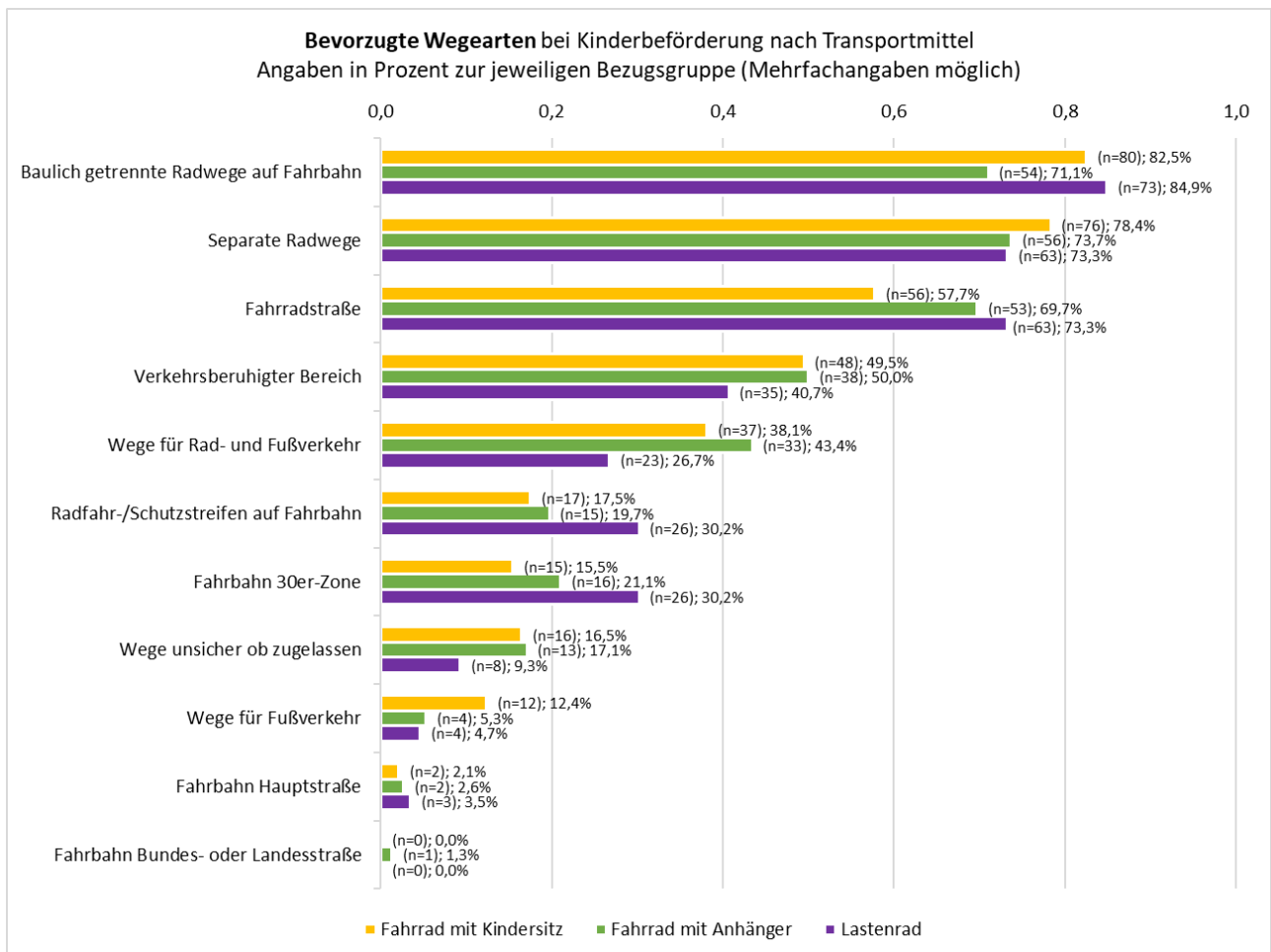
den Gründen der Präferenz bei baulicher Trennung sind ein „erhöhtes Sicherheitsgefühl“, „keine zu geringen Überholmanöver“, „keine zusätzliche Konzentration auf sich öffnende Autotüren“ und ein „schnelleres Vorwärtskommen“. Bei baulich getrennten oder separat geführten Radwegen wird zudem der Vorteil gesehen, „teilweise spontan anhalten zu können, um nach den Kindern zu schauen“. Außerdem wird „Naturnähe“ und „Ruhe“, „weniger Abgas- und Lärmbelästigung“ sowie eine „Klarheit in der Verkehrsführung“ unter den Präferenzgründen angeführt. Die vergleichsweise geringe Präferenz für die Fahrbahnnutzung in 30er-Zonen kann darüber hinaus damit erklärt werden, dass „der Gegenverkehr oft zu dicht und mit zu hoher Geschwindigkeit passiert“ und „sich in zahlreichen 30er-Zonen Kopfsteinpflaster“ befindet.



**Abbildung 43: Bevorzugte Wegearten bei der Kinderbeförderung auf dem Rad in der Gesamtstichprobe.**

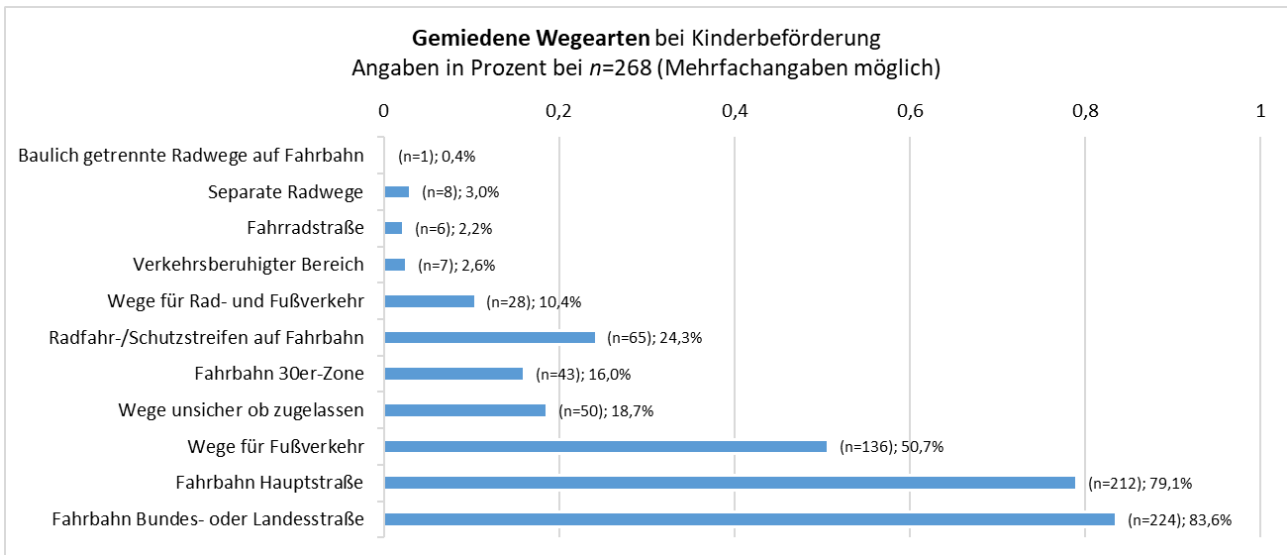
Die Prüfung auf Abhängigkeit der präferierten Wegearten vom jeweiligen Transportmittel zeigt ein signifikantes Ergebnis ( $\chi^2=38,084$ ,  $df=22$ ,  $p<.05$ ). In den deskriptiven Daten fällt auf, dass bei Nutzung eines Lastenrads die Nähe zu fließendem motorisiertem Verkehr häufiger als beim Kindersitz oder Anhänger akzeptiert wird (d. h. Radfahr-/Schutzstreifen auf Fahrbahn, Fahrbahn 30er-Zone, Fahrradstraße), wohingegen Nähe zu Fußgängern, auch wenn erlaubt, weniger stark bevorzugt wird. Bei Nutzung eines Fahrrad-Anhängers wird die Nähe zu Fußgängern ähnlich wie beim Kindersitz eher akzeptiert, allerdings im Gegensatz zum Kindersitz nur, wenn der Weg auch für Rad- und Fußverkehr zugelassen ist. Die bauliche Trennung auf der Fahrbahn wird von Radfahrenden mit Anhänger überwiegend bevorzugt, allerdings weniger stark als dies mit Kindersitz und Lastenrad der Fall ist (siehe Abbildung 44).





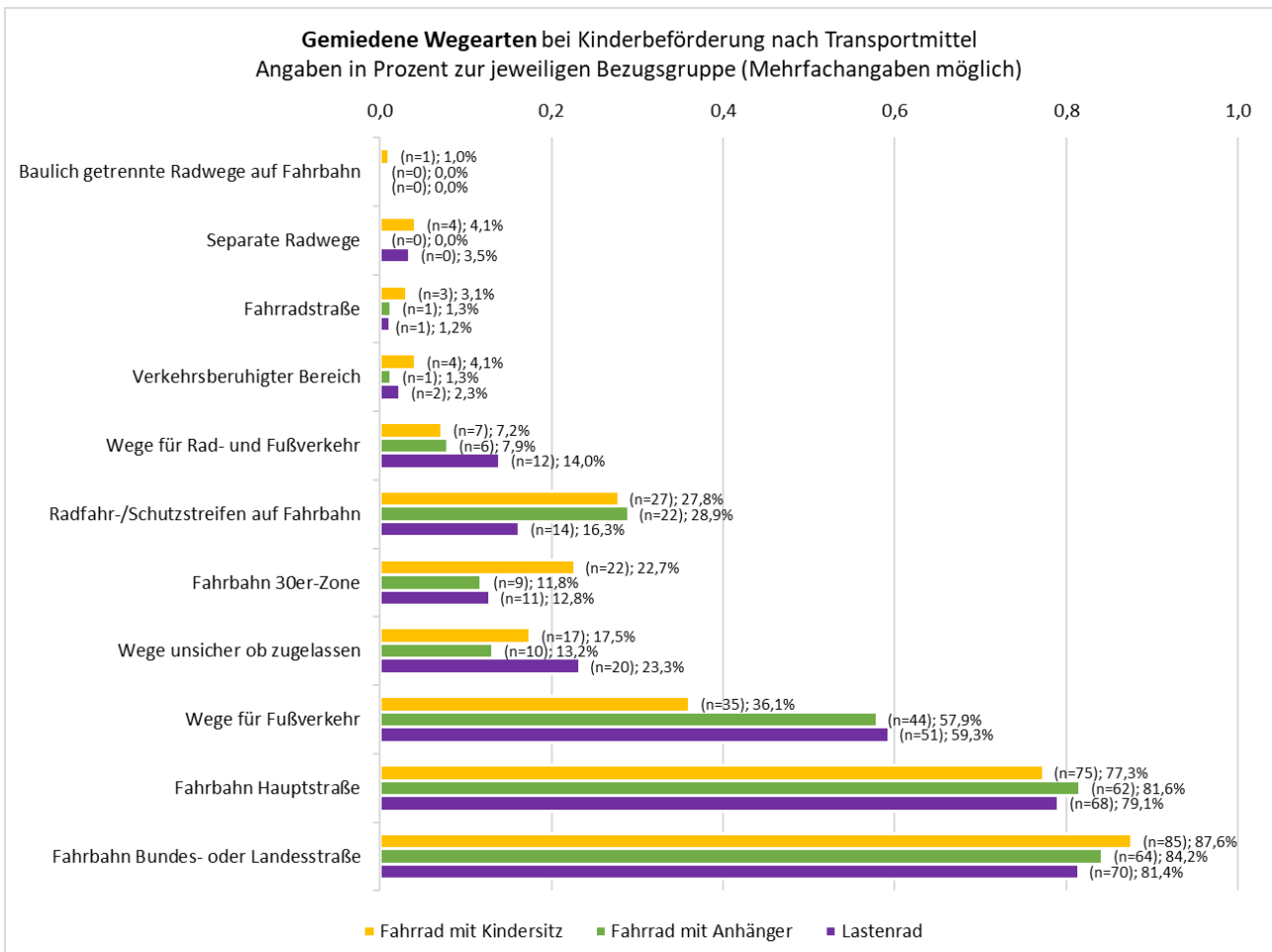
**Abbildung 44: Bevorzugte Wegearten bei der Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten.**

Bei der Frage nach der Vermeidung bestimmter Wegearten werden vor allem Wege genannt, die mit hoher Nähe zu schnell fahrendem, motorisiertem Verkehr einhergehen. Überproportional deutlicher als bei der inversen Frage zur Präferenz wird hier auch der Rad- und Schutzfahrstreifen auf der Fahrbahn abgelehnt (siehe Abbildung 45). Als Gründe genannt werden „Hindernisse“, „Kurzzeitparker in zweiter Reihe“ und „oft fehlende Rücksichtnahme durch den motorisierten Verkehr“. Einschränkend gibt es für Fahrradstraßen die Wahrnehmung, dass „oft chaotisch ohne Regeln gefahren wird und Fußgänger einfach rüber latschen“. Insgesamt werden Wegearten gemieden, die mit einer „subjektiven Gefahr“, „hohen Geschwindigkeiten“ bzw. „hohen Geschwindigkeitsdifferenzen“, „Stress“ oder „zu geringem Abstand“ erlebt werden. Auch berichtet wird von der „Sorge übersehen zu werden“ und dem durch die Infrastruktur vermittelten „persönlichen Gefühl, man halte den Verkehrsfluss auf“.



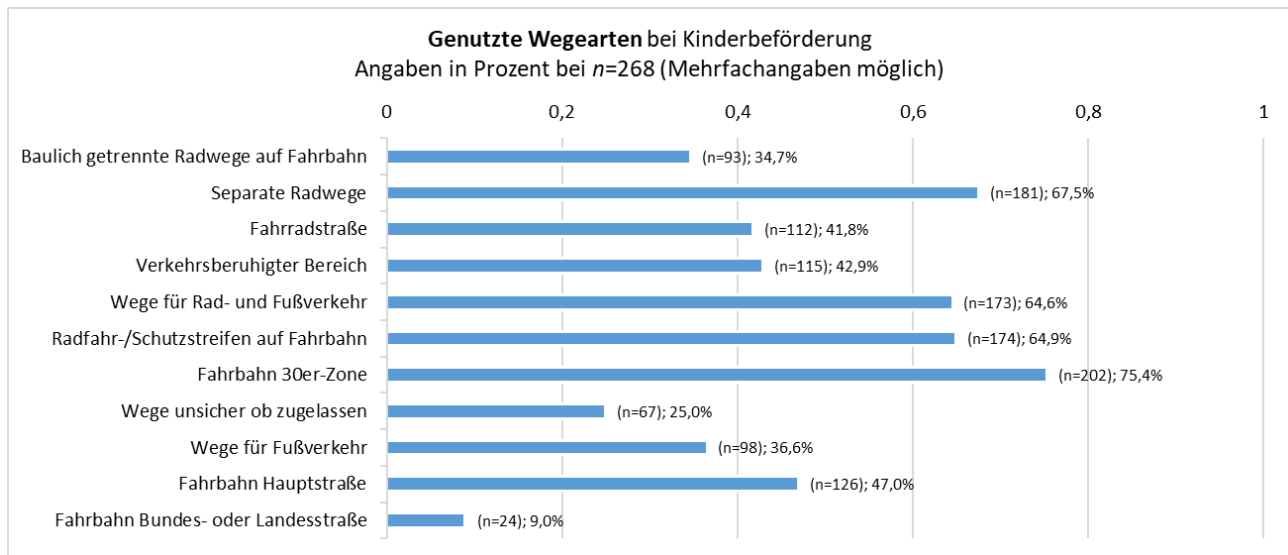
**Abbildung 45: Gemiedene Wegearten bei der Kinderbeförderung auf dem Rad in der Gesamtstichprobe.**

Die Häufigkeit gemiedener Wegearten wird in Abhängigkeit vom jeweils genutzten Transportmittel bestimmt ( $\chi^2=36,764$ ,  $df=22$ ,  $p<.05$ ). Inhaltlich bestätigt sich das bereits bei den Wegepräferenzen gezeichnete Bild: Die Nähe zu Fußverkehr wird vor allem bei Nutzung des Anhängers und des Lastenrads gemieden, insbesondere wenn der Weg dem Fußverkehr vorbehalten ist. Ist Radverkehr auf dem Gehweg zugelassen, ist die Ablehnung bei Nutzung eines Anhängers allerdings ähnlich gering wie beim Kindersitz und nur beim Lastenrad relativ erhöht. Radfahr- bzw. Schutzstreifen werden bei Kindersitz und Anhänger ähnlich stark gemieden, wohingegen die Vermeidung mit dem Lastenrad tendenziell geringer ausfällt (siehe Abbildung 46).



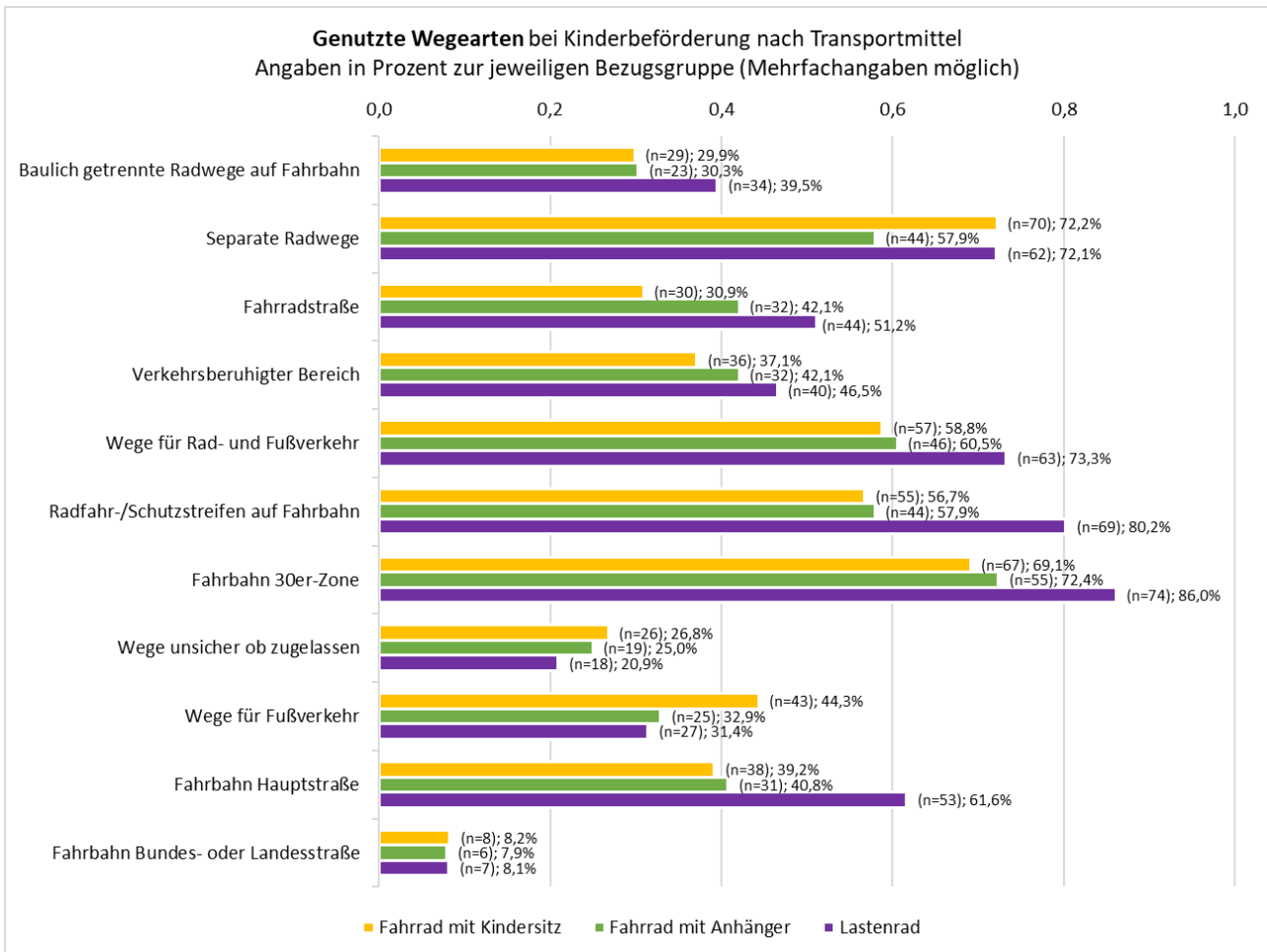
**Abbildung 46: Gemiedene Wegearten bei der Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten.**

Befragt nach der tatsächlichen Nutzung von Wegearten fällt auf, dass die vorliegende Infrastruktur in vielerlei Hinsicht nicht den individuellen Präferenzen gerecht wird. So muss erheblich öfter unmittelbare Nähe zu motorisiertem Verkehr in Kauf genommen werden (insbesondere in 30er-Zonen und Fahrbahn im Hauptstraßennetz) im Vergleich dazu, wie selten diese Wegearten unter „bevorzugte Wegearten“ als Präferenz angegeben werden. Bauliche Trennungen von Radwegen und Fahrradstraßen als meist bevorzugte Wegearten finden sich in der tatsächlichen Nutzung demgegenüber (noch) zu selten (siehe Abbildung 47).



**Abbildung 47: Genutzte Wegearten bei der Kinderbeförderung auf dem Rad in der Gesamtstichprobe.**

Inferenzstatistisch ist auch die tatsächliche Nutzung unterschiedlicher Wegearten vom jeweiligen Transportmittel abhängig ( $\chi^2=58,450$ ,  $df=22$ ,  $p<.001$ ). In den deskriptiven Daten fällt insbesondere auf, dass bei Nutzung eines Lastenrades eine Nähe zu motorisiertem Verkehr am ehesten akzeptiert wird, wohingegen mit einem Kindersitz die Nutzung von Wegen, die ausschließlich dem Fußverkehr vorbehalten sind, relativ am höchsten ausfällt (siehe Abbildung 48).



**Abbildung 48: Genutzte Wegearten bei der Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten.**

Befragt nach speziellen Strecken, die gemieden werden, wurden die gegebenen freien Antworten inhaltlichen Kategorien zugeordnet und nach den drei Transportarten getrennt ausgezählt (siehe Tabelle 5). An erster Stelle stehen hierbei Strecken, die mit einem hohen Verkehrsaufkommen einhergehen (z. B. „hohe Geschwindigkeiten“, „viel Verkehr“, „Lkws“, „zu dichtes Überholen“, „Lärm“, „Stress“, „Komplexe Kreuzungssituationen“, „gegenseitige Provokationen“, „Abgase“). An nächster Stelle kommt eine schlechte Straßenqualität (z. B. „Baumwurzeln“, „Schlaglöcher“, „Nicht abgestimmte Ampelschaltungen“, „Sand- und Schotter durch Baustellen“, „Schienen“, „zu geringe Breite für Anhänger und Lastenrad“). Speziell oft genannt werden außerdem Strecken mit Kopfsteinpflaster, Bundes- oder Landstraßen und bekannte Unfallschwerpunkte. Gefahren im Zusammenhang mit 30er-Zonen sind „zugeparkte Kreuzungen“ und „Pkws, die schneller als erlaubt fahren und von hinten bedrängen“. Als Fahrradstraße wird eine spezielle Situation genannt, die sich nur als kurze Verbindung zwischen zwei Nebenstraßen erstreckt.

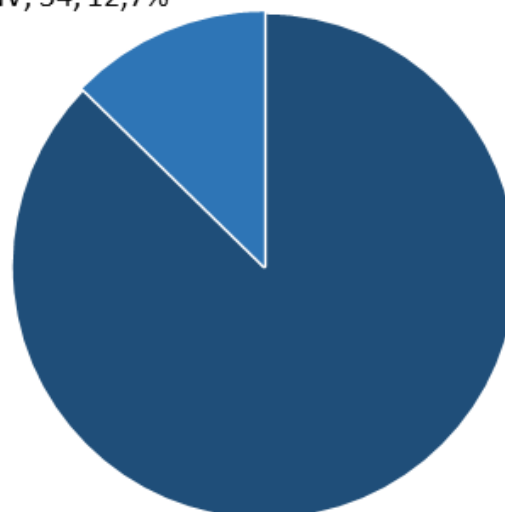
Kategorie	Fahrrad mit Kindersitz		Fahrrad mit Anhänger		Lastenrad	
	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%	Häufigkeit	%
Verkehrsaufkommen	36	45,6 %	23	41,8 %	30	38,9 %
Straßenqualität	10	12,6 %	5	9,1 %	17	22,1 %
Kopfsteinpflaster	10	12,6 %	5	9,1 %	8	10,4 %
Kein Radweg	9	11,4 %	8	14,6 %	3	3,9 %
Bundes- / Landstraße	3	3,8 %	3	5,5 %	3	3,9 %
Unfallschwerpunkt	1	1,3 %	1	1,8 %	2	2,6 %
30er-Zone	0	0 %	0	0 %	2	2,6 %
Unbekannte Gegenden	0	0 %	1	1,8 %	0	0 %
Fahrradstraße	0	0 %	1	1,8 %	0	0 %
Gehwege	0	0 %	0	0 %	1	1,3 %
Keine Vermeidung	10	12,7 %	8	14,5 %	11	14,3 %
<b>Gesamt</b>	<b>79</b>	<b>100,0 %</b>	<b>55</b>	<b>100,0 %</b>	<b>77</b>	<b>100,0 %</b>
Keine Angabe	28		21		19	
Gesamt	97		76		86	

**Tabelle 5: Kategorisierte Angaben zur Vermeidung bestimmter Strecken nach Transportart.**

Der Großteil der Befragten nutzt während der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad keinen ÖPNV; lediglich 13 % der Personen geben an, dass sie das Rad auch im ÖPNV mitnehmen (siehe Abbildung 49). Häufigste Verkehrsmittel sind S-Bahn (26 Nennungen), Regionalbahn (19 Nennungen) und U-Bahn (8 Nennungen). Als Motive für die ÖPNV-Nutzung genannt werden allen voran Ausflüge (33 Nennungen), ungünstige Witterungsbedingungen (13 Nennungen), Zeitknappheit (7 Nennungen) und Bequemlichkeit (3 Nennungen). Lediglich 6 Befragte kombinieren die Kinderbeförderung auf dem Rad regelmäßig mit dem ÖPNV. Etwa zwei Drittel aller Personen, die das Fahrrad in Kombination mit dem ÖPNV verwenden, berichten von Problemen bei der Nutzung oder beim Umsteigen ( $n=21$ ). Hierzu zählen u. a. „überfüllte Bahnen und Fahrrad-Abteile“, „fehlende, kaputte oder zu kleine Aufzüge“, „fehlende Empathie bei Mitreisenden“, „Drängelgitter und Absperrungen“ und „zeitweilige Verbote zur Mitnahme von Rädern“.

## Kombinierte Nutzung mit ÖPNV ( $n=268$ )

Transport mit ÖPNV; 34; 12,7%

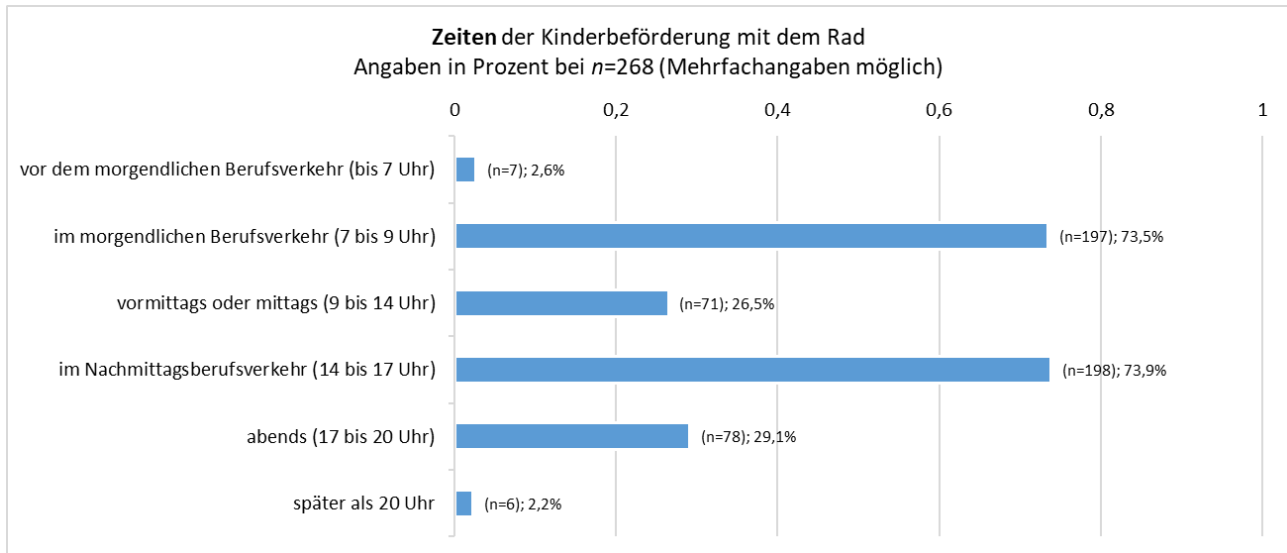


kein Transport mit ÖPNV;  
234; 87%

■ kein Transport mit ÖPNV ■ Transport mit ÖPNV

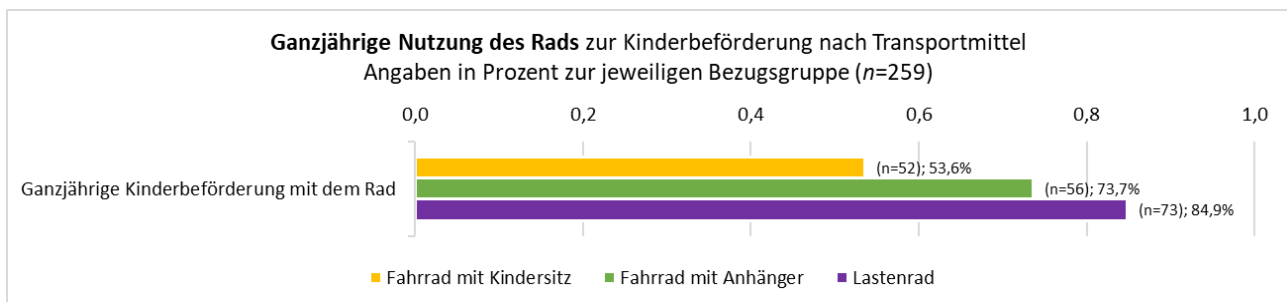
**Abbildung 49: Häufigkeit der kombinierten Nutzung mit dem ÖPNV.**

Die hauptsächlichen Zeiten, in denen Kinder auf dem Fahrrad befördert werden, sind nahezu gleich häufig die allgemeinen Hauptverkehrszeiten im morgendlichen und im Nachmittagsberufsverkehr zwischen 7 und 9 Uhr bzw. zwischen 14 bis 17 Uhr (siehe Abbildung 50). Lediglich 8 % der Befragten (23 Nennungen) geben an, bestimmte Verkehrszeiten für die Kinderbeförderung mit dem Rad zu vermeiden. Hauptsächlich genannt werden hierbei Hauptverkehrszeiten (v. a. Nachmittagsberufsverkehr) und Dämmerung bzw. Dunkelheit.



**Abbildung 50: Zeiten der Kinderbeförderung mit dem Rad.**

Befragt nach Jahreszeiten, gab die Mehrzahl der Personen ( $n=189$  bzw. 70 %) an, zu keiner Jahreszeit auf die Kinderbeförderung mit dem Rad zu verzichten. Beim Vergleich zwischen den Transportarten fällt auf, dass der Kindersitz nur in etwas mehr als der Hälfte aller Fälle ganzjährig genutzt wird, wohingegen das Lastenrad den höchsten Anteil ganzjähriger Nutzung aufweist (siehe Abbildung 51). Dieser unterschiedliche Umgang mit den Transportmitteln im Jahresverlauf ist hoch signifikant ( $\chi^2=21,924$ ,  $df=2$ ,  $p<.001$ ). Die meisten Befragten, die nicht ganzjährig unterwegs sind, verzichten im Winter auf die Kinderbeförderung ( $n=77$ ); im Herbst sind es  $n=7$ .



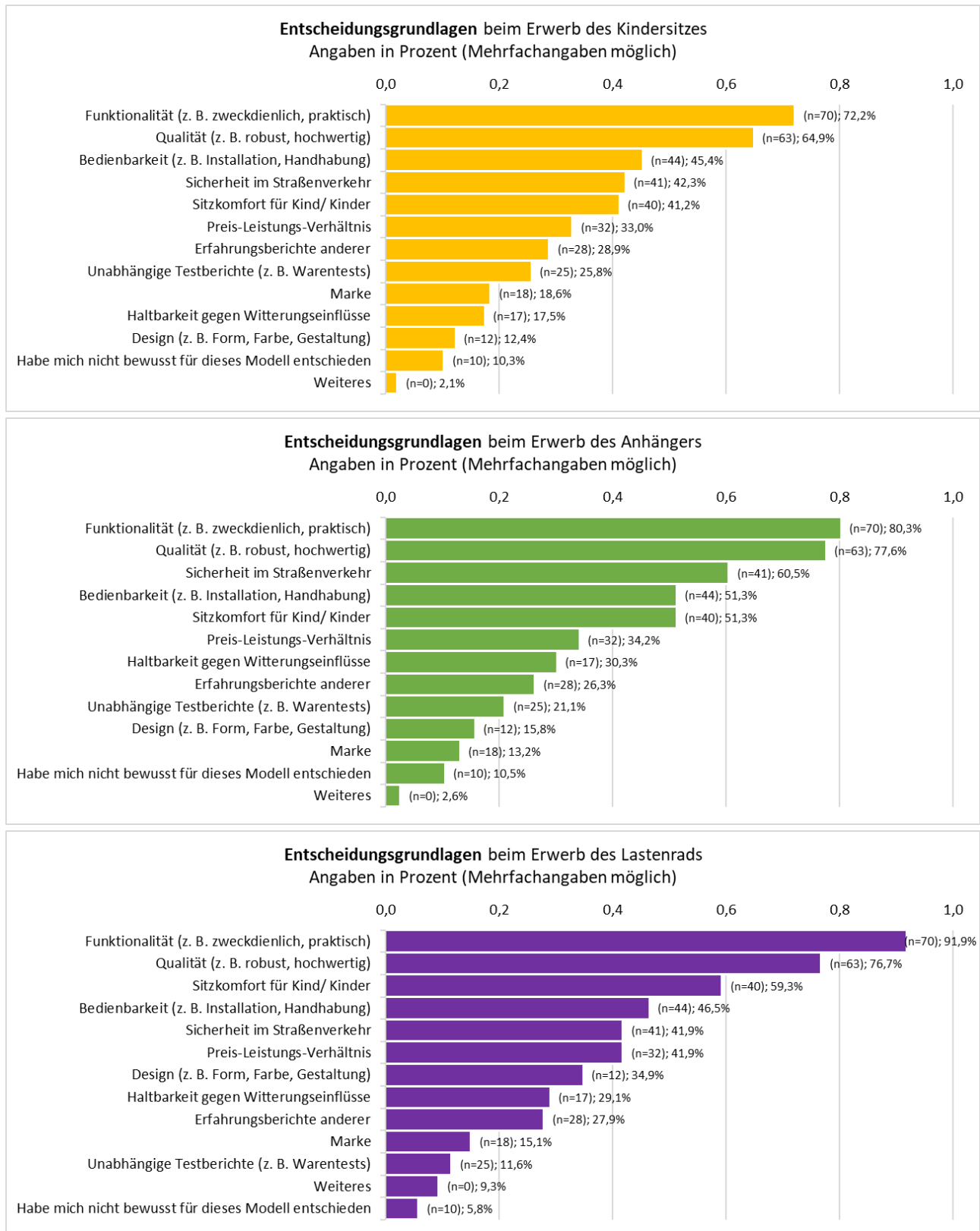
**Abbildung 51: Anteil der Befragten, die ganzjährig Kinder mit dem Rad befördern nach Transportart.**

Von den tatsächlichen Witterungsbedingungen machen die meisten Befragten ( $n=238$  bzw. 86,9 %) die Kinderbeförderung auf dem Rad abhängig. Im Detail verzichten über 80 % auf den Kindertransport bei Glätte. Nahezu 60 % befördern nicht bei Sturm und/ oder Dauerregen und nur noch 50 % sind bei Schneefall mit Kindern auf dem Rad unterwegs. Geringere Bedeutung für den Verzicht haben beispielsweise Laubfall, Dämmerung und leichter Regen (siehe Tabelle 6).

<b>Witterungsbedingung</b>	<b>Häufigkeit des Verzichts auf Kindertransport (Mehrfachnennung möglich)</b>	<b>Prozent (in Relation zu <i>n</i>=268)</b>
Glätte	219	81,7 %
Sturm	162	60,5 %
Dauerregen	153	57,1 %
Schneefall	132	49,3 %
Kälte	50	18,7 %
Dunkelheit	45	16,8 %
Nebel	34	12,7 %
Starke Hitze	31	11,6 %
Laubfall	16	6,0 %
Dämmerung	7	2,6 %
Leichter Regen	7	2,6 %

**Tabelle 6: Absolute und prozentuale Häufigkeit des Verzichts auf Kinderbeförderung mit dem Rad bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen.**

Wichtigste Entscheidungskriterien für den Erwerb der jeweiligen Transportmittel sind in erster Linie Funktionalität und Qualität. Es schließen sich an Bedienbarkeit (v. a. bei Kindersitz), Sicherheit im Straßenverkehr (v. a. beim Anhänger) und Sitzkomfort für Kinder (v. a. beim Lastenrad), gefolgt von einem guten Preis-Leistungs-Verhältnis. Beim Lastenrad spielt das Design eine größere Rolle als beim Kindersitz und Anhänger. Erfahrungsberichte anderer werden als wichtigere Entscheidungsgrundlage betrachtet als unabhängige Testberichte. Haltbarkeit gegenüber Witterungseinflüssen sind vor allem für den Anhänger und das Lastenrad von Bedeutung. Die Marke wird am wenigsten als bedeutungsvoll bewertet (siehe Abbildung 52).

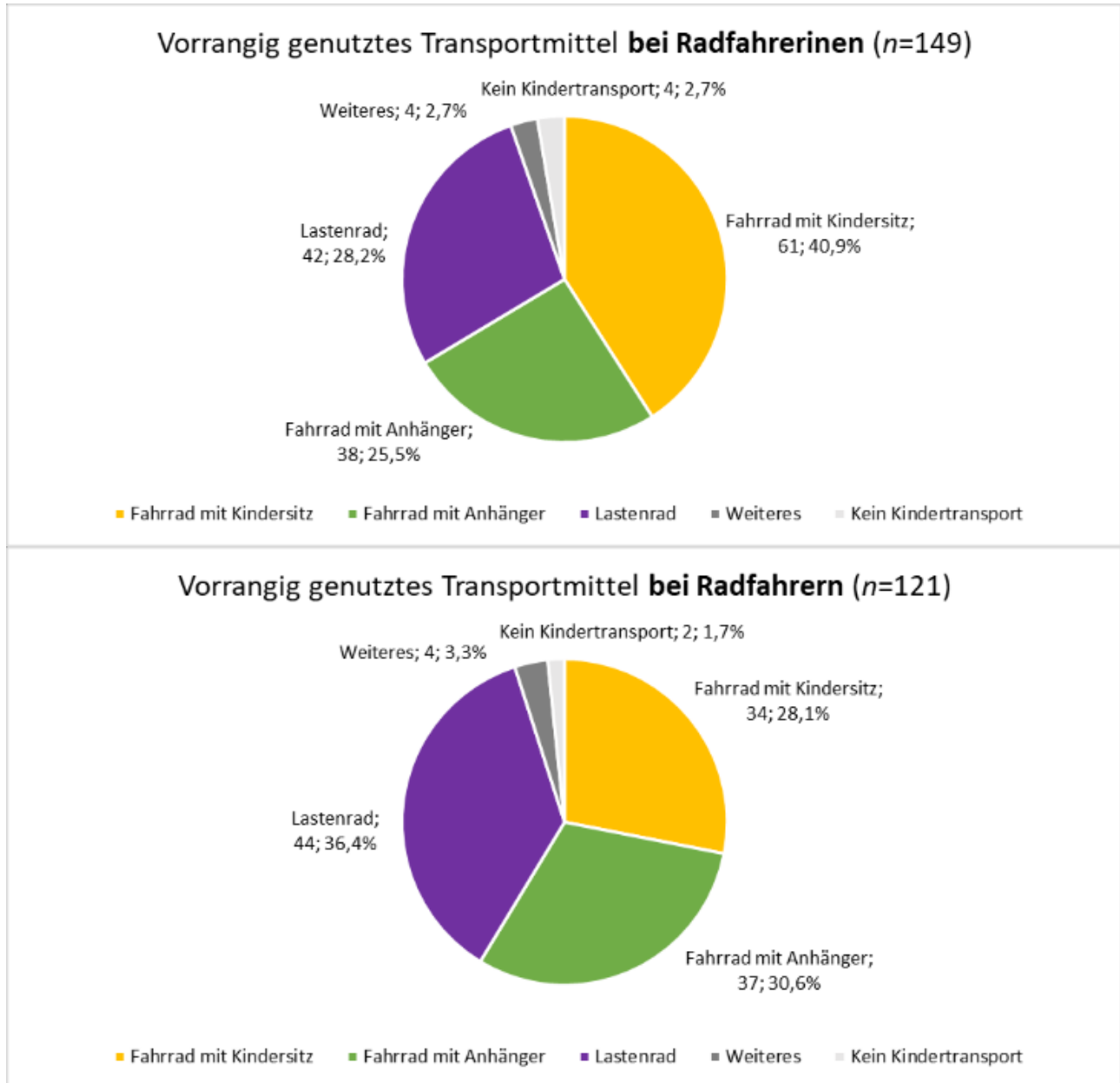


**Abbildung 52: Wichtigkeit von Entscheidungsgrundlagen beim Erwerb der hauptsächlich genutzten Transportart für die Kinderbeförderung auf dem Rad.**

In den deskriptiven Daten fällt auf, dass bei Radfahrerinnen ein größerer Anteil an Kindersitz-Nutzung zu beobachten ist als bei Radfahrern, während männliche Radfahrende einen größeren Anteil bei der Lastenrad-Nutzung aufweisen (siehe Abbildung 53). Inferenzstatistisch kann allerdings nicht mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden, dass es sich bei diesem Ergebnis um einen zufallsbedingten Unterschied handelt ( $\chi^2=6,848$ ,  $df=4$ ,  $p=.144$ , n.s.).



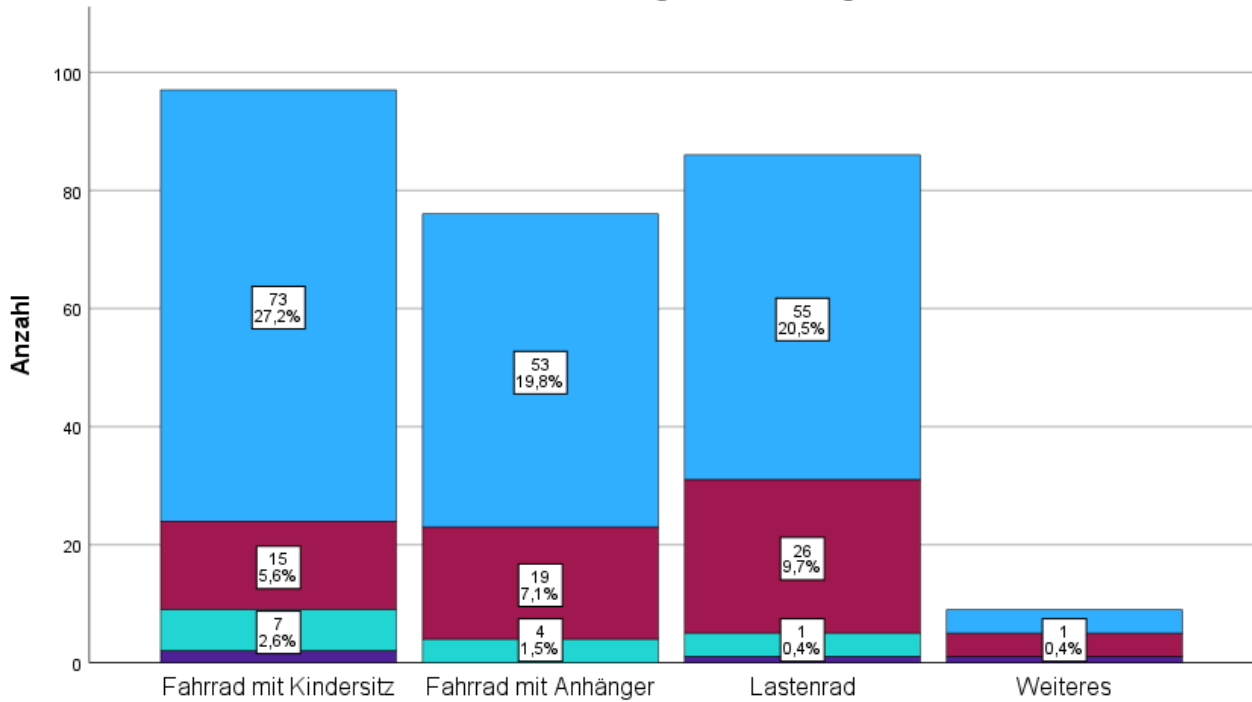
Auch bezüglich des Alters der erwachsenen Person ergeben sich keine systematischen Unterschiede in der Nutzung bestimmter Transportmittel ( $\eta=.341$ ;  $p=.954$ , n.s.).



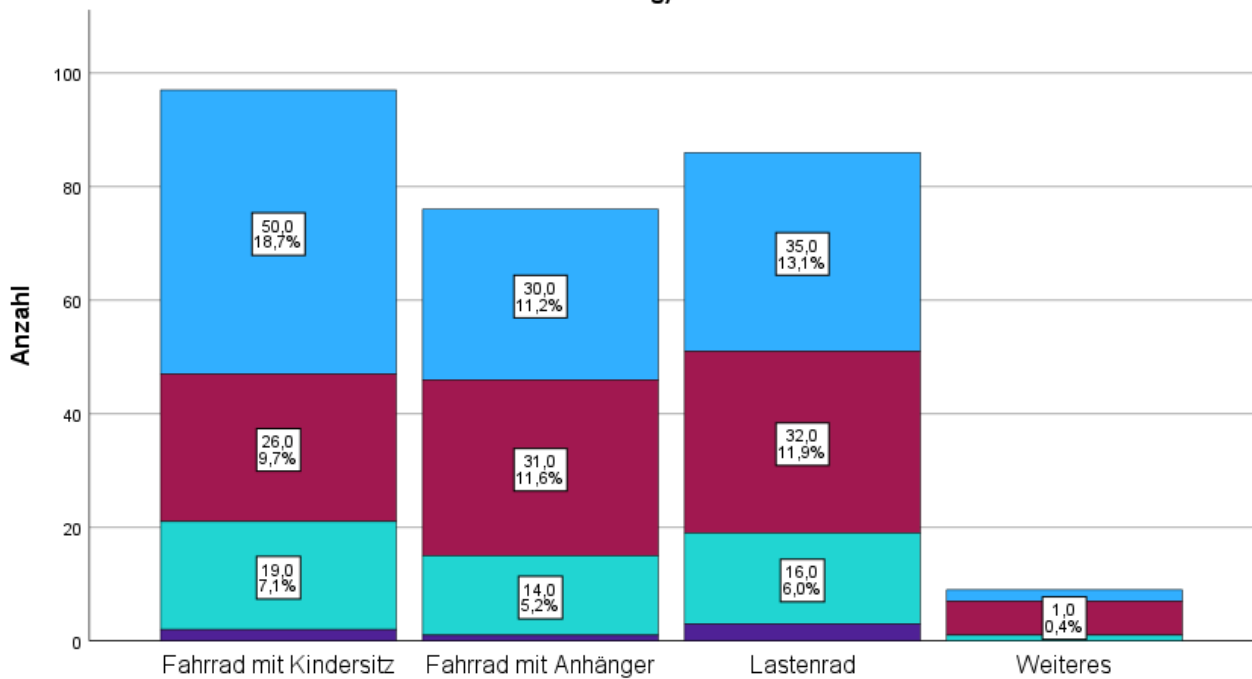
**Abbildung 53: Nutzung der Transportarten aufgeteilt nach Radfahrerinnen und Radfahrern.**

Werden Kinder mit dem Rad transportiert, geben Befragte an, tendenziell langsamer unterwegs zu sein, das Fahrrad eher zu schieben, wenn es sein muss, aber auch gelegentlich auf dem Gehweg zu fahren, wenn dies als sicherer erscheint (siehe Abbildung 54 bis Abbildung 56). Diese Veränderungen treffen vor allem für Radfahrer:innen zu, die einen Kindersitz für den Transport nutzen. Tendenziell eher vermieden wird es, während des Kindertransports andere Verkehrsteilnehmende zu überholen, was allerdings bei Nutzung eines Lastenrads relativ am geringsten zu beobachten ist. Außerdem ist die Bereitschaft erhöht, an Kreuzungen auf Vorrang zu verzichten und sich besonders defensiv, rücksichtsvoll und besonnen zu verhalten, auch wenn für diese Verhaltensweisen die grundsätzliche Bereitschaft auch ohne Kindertransport bereits hoch ausgeprägt ist.

... bin ich tendenziell langsamer unterwegs.



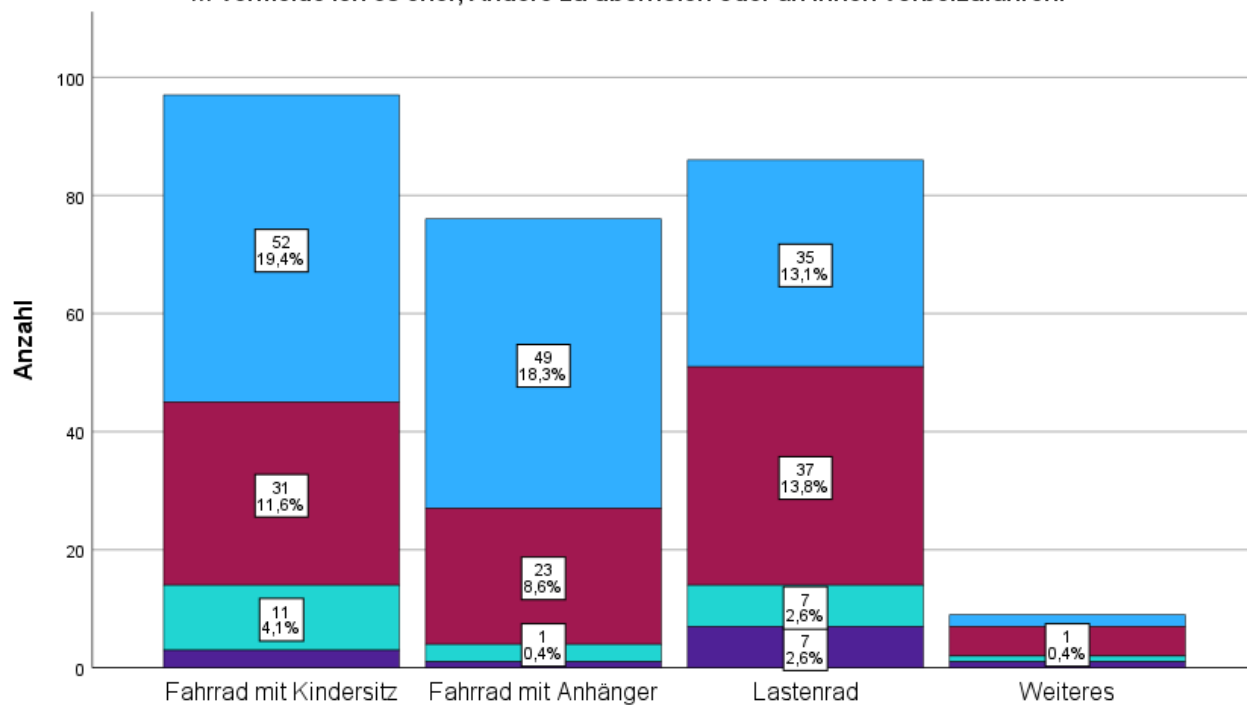
... bin ich eher bereit, mein Fahrrad zu schieben, wenn ich muss (z.B. auf dem Zebrastreifen oder auf dem Gehweg).



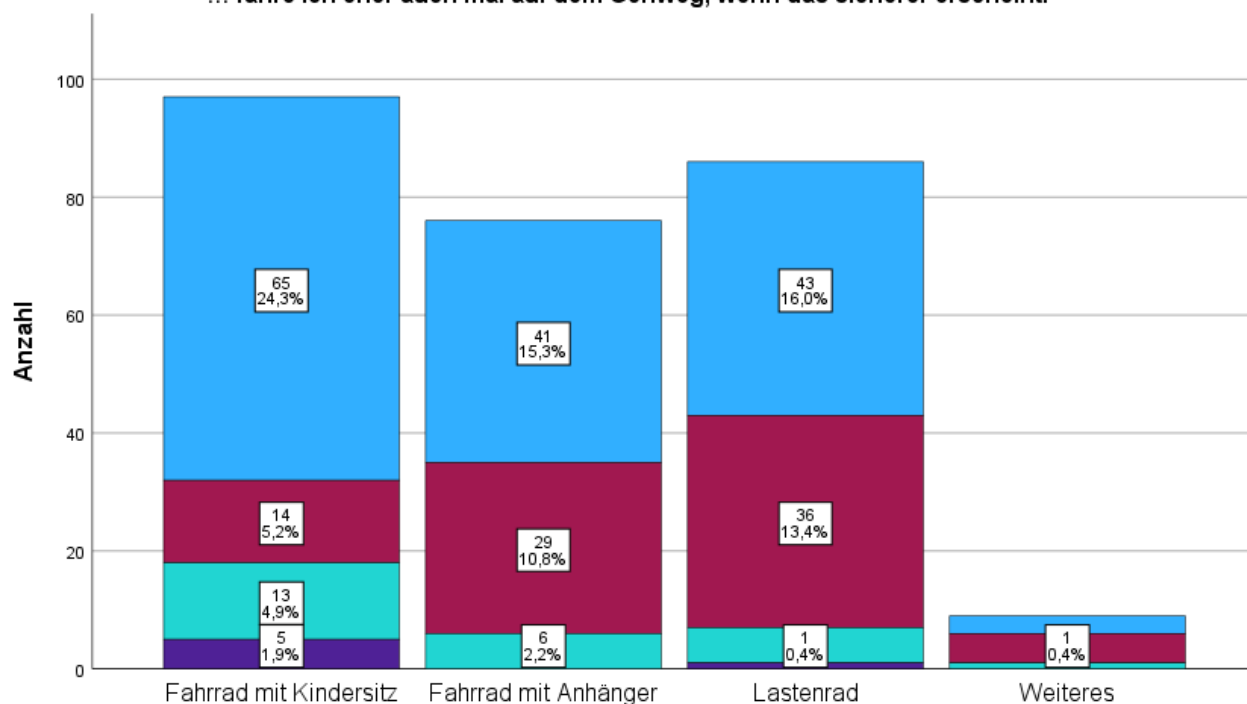
- das trifft zu, wenn ich Kinder befördere
- das trifft nicht zu
- das tue ich auch, wenn ich keine Kinder befördere
- weiß nicht

Abbildung 54: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher verändert werden (1/3)

... vermeide ich es eher, Andere zu überholen oder an ihnen vorbeizufahren.



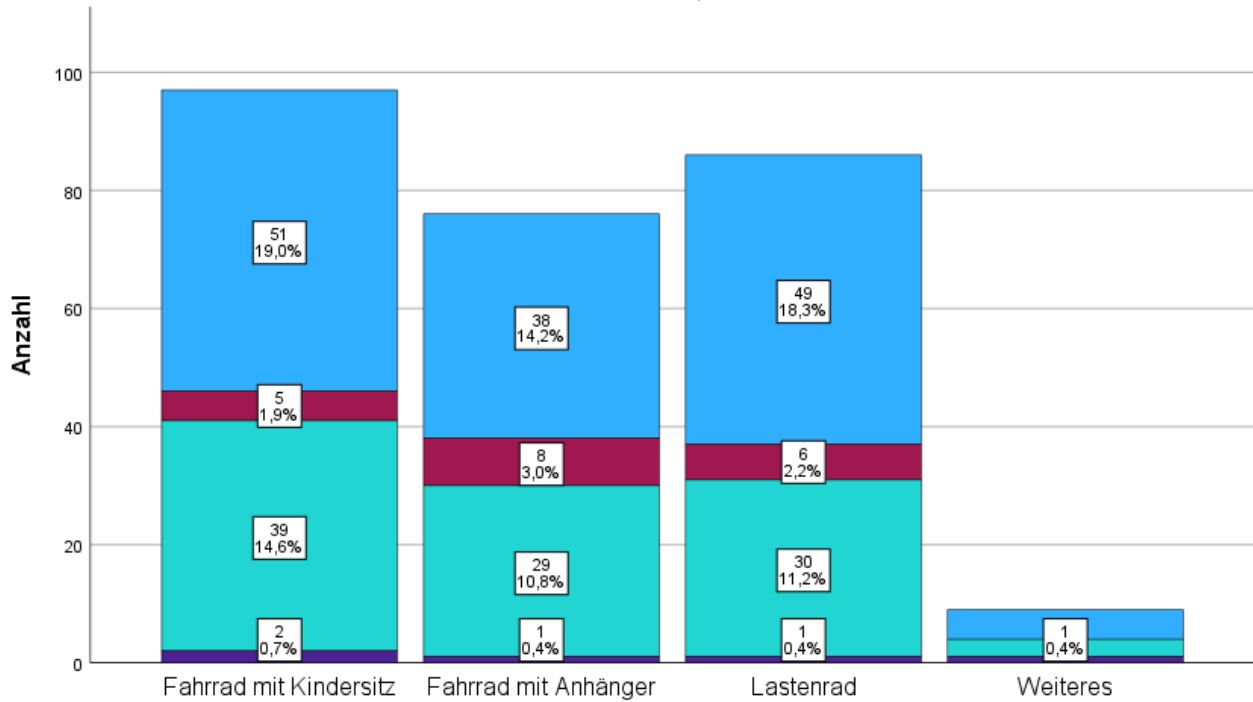
... fahre ich eher auch mal auf dem Gehweg, wenn das sicherer erscheint.



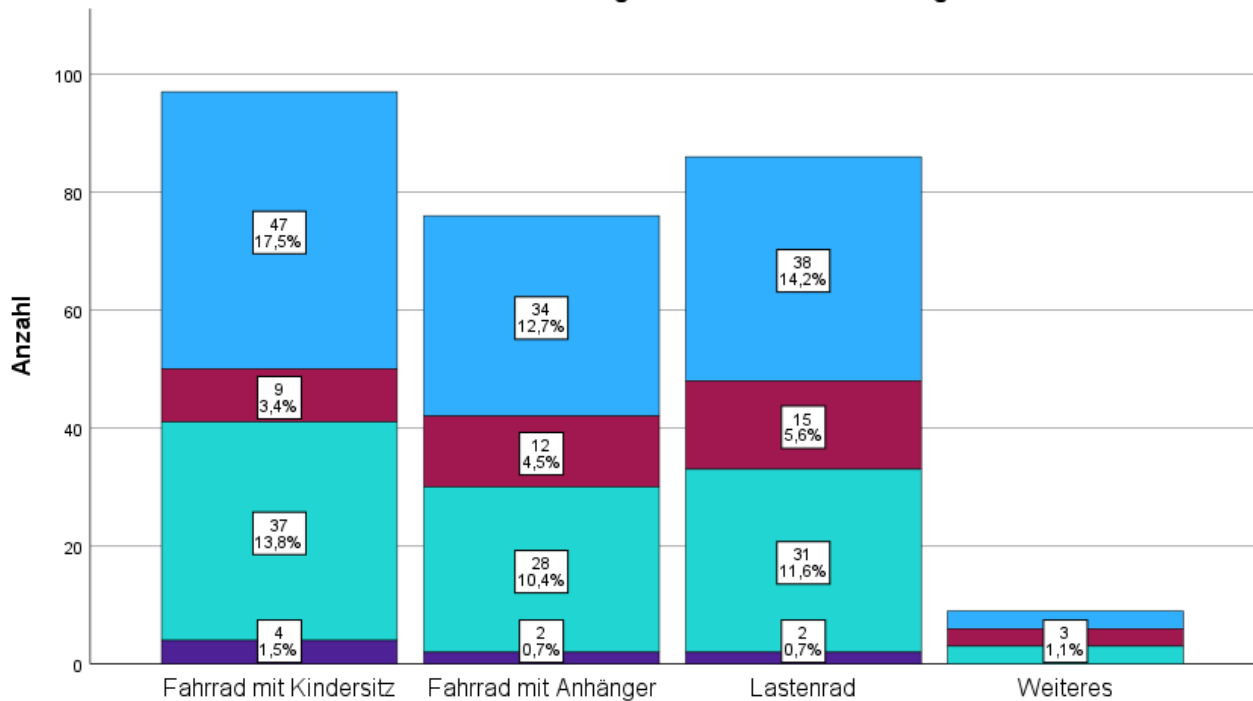
- das trifft zu, wenn ich Kinder befördere
- das trifft nicht zu
- das tue ich auch, wenn ich keine Kinder befördere
- weiß nicht

Abbildung 55: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher verändert werden (2/3)

... verhalte ich mich besonders besonnen, defensiv und rücksichtsvoll.



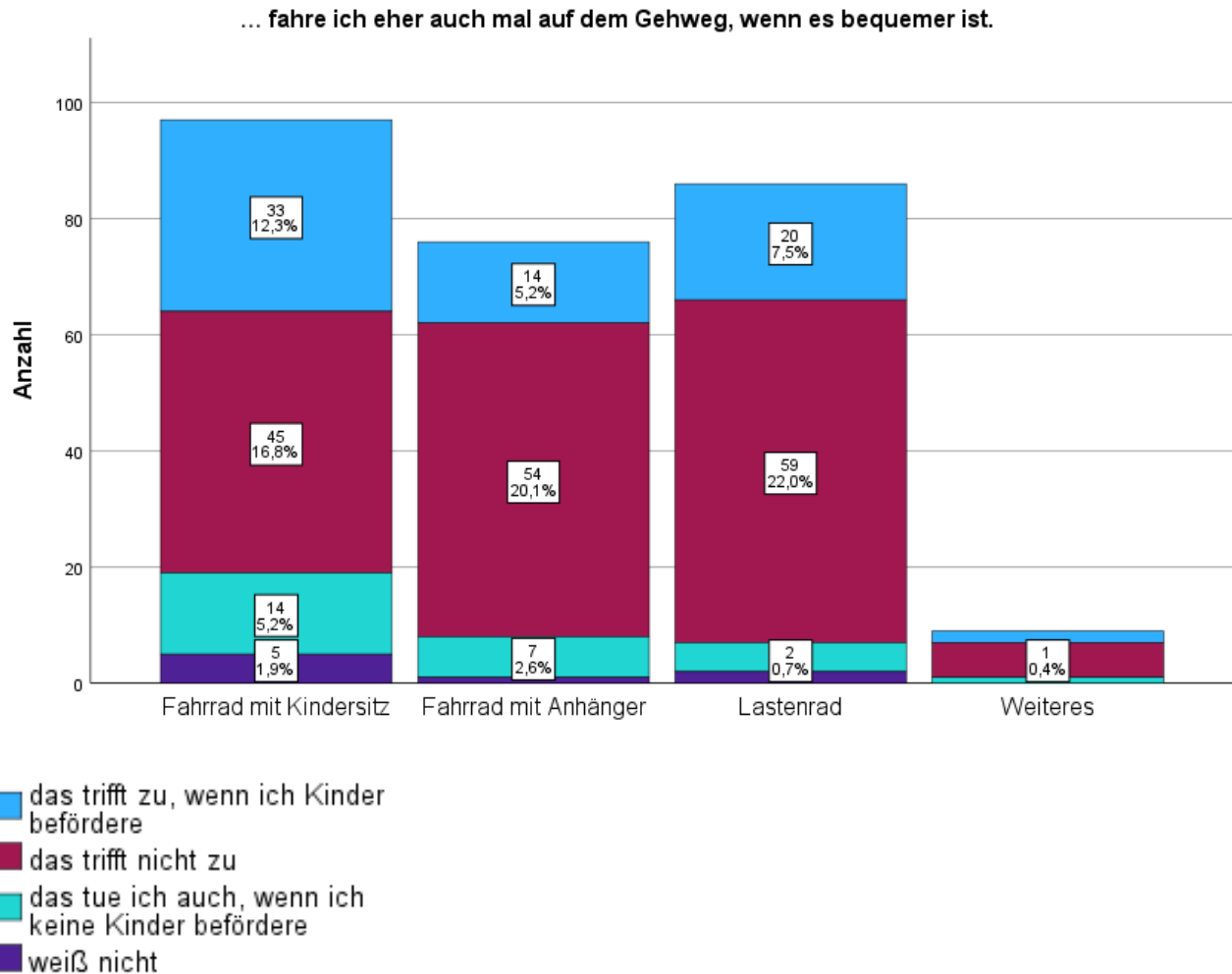
... verzichte ich an Kreuzungen eher auf meinen Vorrang.



- das trifft zu, wenn ich Kinder befördere
- das trifft nicht zu
- das tue ich auch, wenn ich keine Kinder befördere
- weiß nicht

Abbildung 56: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher verändert werden (3/3)

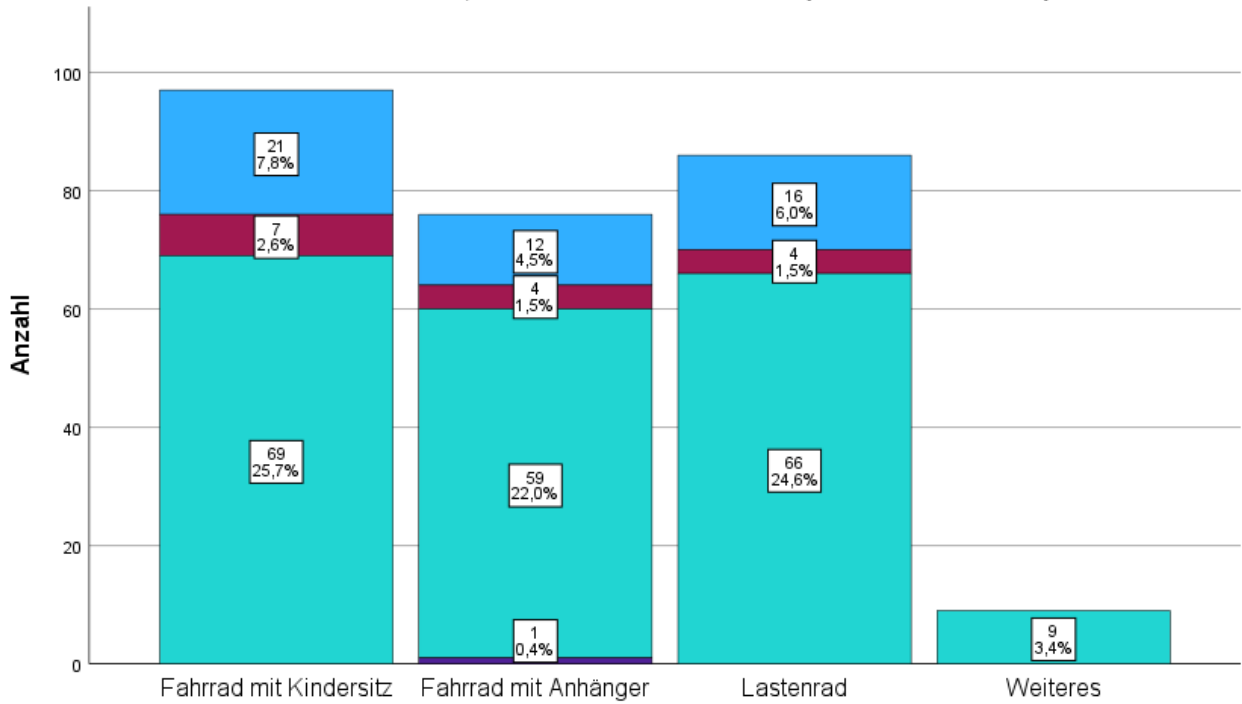
Die meisten Befragten geben an, auch während der Kinderbeförderung nicht aus Bequemlichkeit auf den Gehweg auszuweichen. Ein Ausweichen aus Bequemlichkeit wird vor allem von Personen abgelehnt, die einen Fahrrad-Anhänger oder ein Lastenrad nutzen (siehe Abbildung 57).



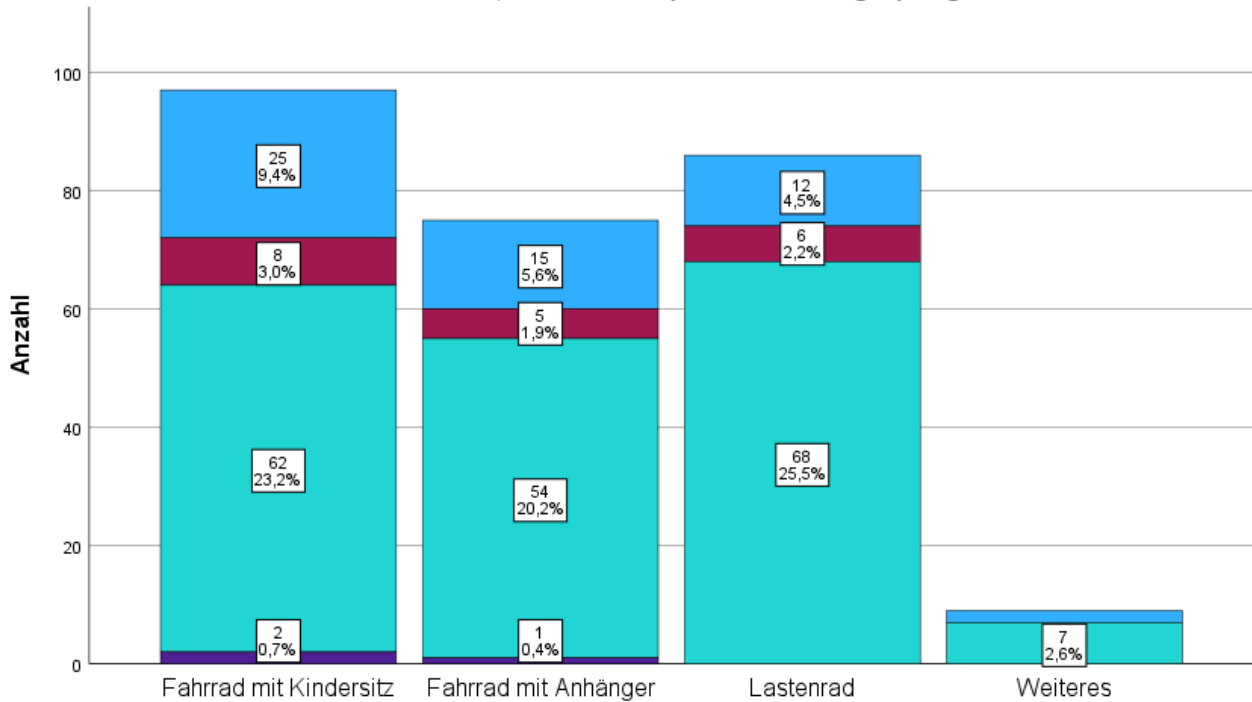
**Abbildung 57: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher nicht zutreffen.**

Entsprechend der Angaben der Befragten liegen im Wesentlichen keine Veränderungen im sicherheitsrelevanten Verkehrsverhalten vor, wenn es um Schulterblick, Handzeichen, seitlichen Abstand zu parkenden Autos und Abfahrtskontrolle geht. Auffällig ist allerdings ein erhöhter Anteil an Radfahrenden, die bei Nutzung eines Kindersitzes den subjektiven Eindruck haben, dass sie den Seitenabstand zu parkenden Autos vergrößern (siehe Abbildung 58 und Abbildung 59).

... achte ich eher darauf, über die Schulter zu blicken (z.B. beim Überholen).



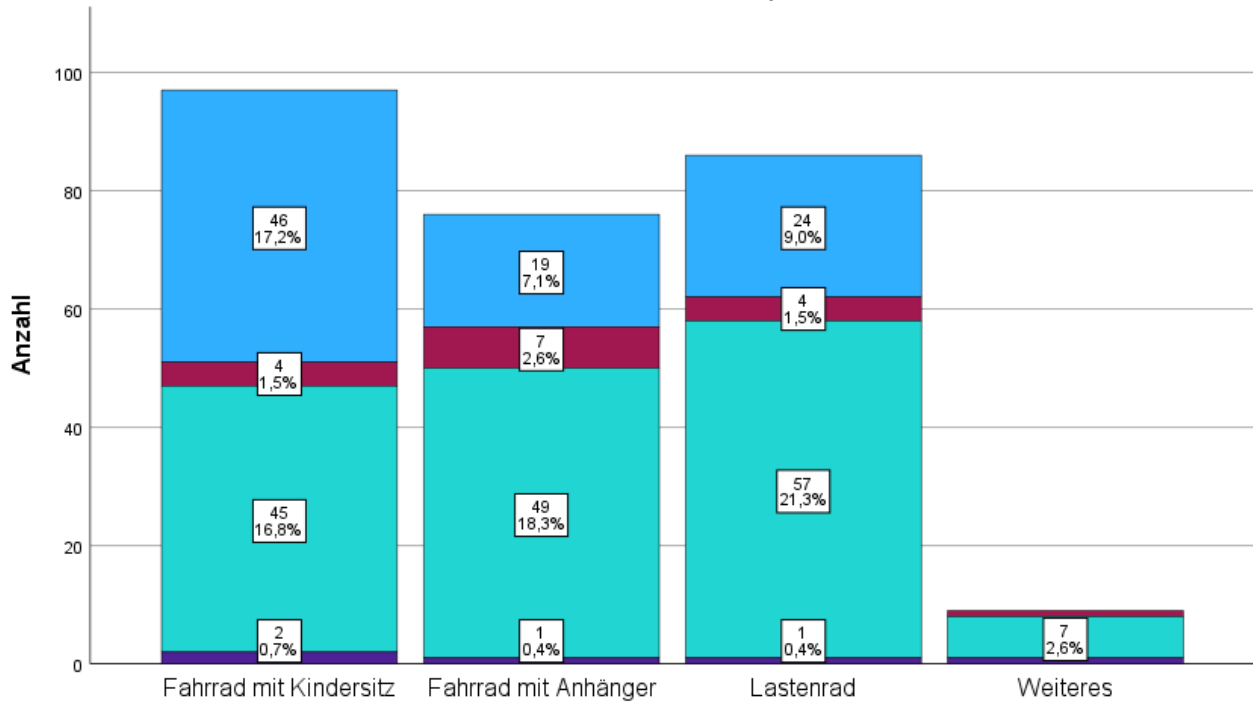
... achte ich eher darauf, Handzeichen (z.B. beim Abbiegen) zu geben.



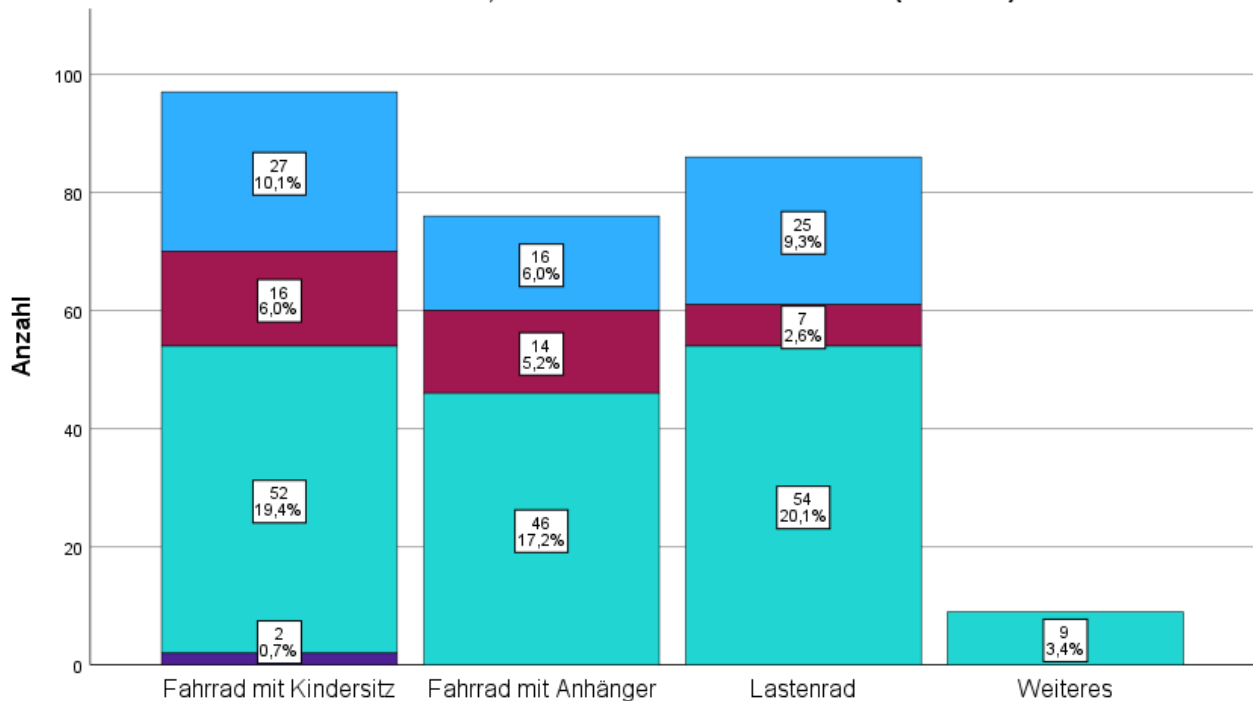
- das trifft zu, wenn ich Kinder befördere
- das trifft nicht zu
- das tue ich auch, wenn ich keine Kinder befördere
- weiß nicht

Abbildung 58: Verhaltensweisen, die sich bei Kinderbeförderung mit dem Rad tendenziell nicht verändern (1/2)

...achte ich auf mehr seitlichen Abstand zu parkenden Autos.



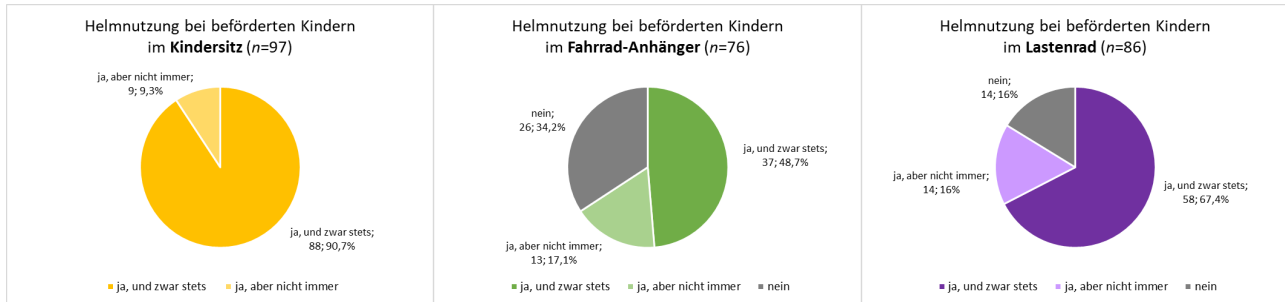
... kontrolliere ich eher, ob das Fahrrad verkehrssicher ist (z.B. Licht).



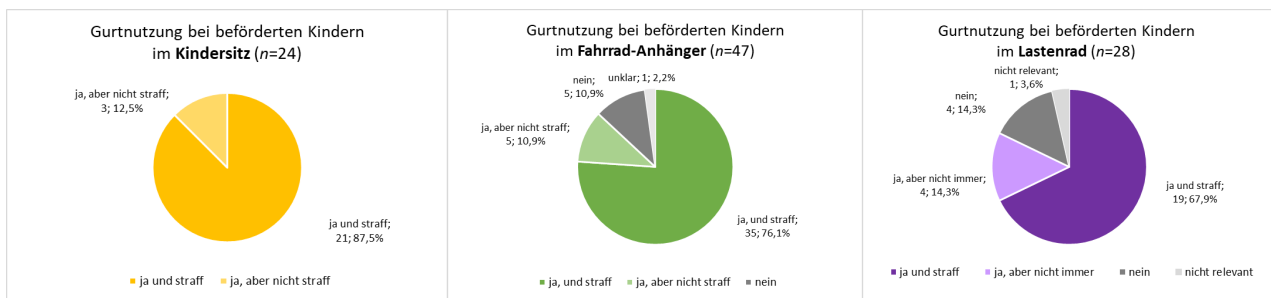
- das trifft zu, wenn ich Kinder befördere
- das trifft nicht zu
- das tue ich auch, wenn ich keine Kinder befördere
- weiß nicht

Abbildung 59: Verhaltensweisen, die sich bei Kinderbeförderung mit dem Rad tendenziell nicht verändern (2/2)

Die Helmnutzung bei den beförderten Kindern unterscheidet sich zwischen den drei am häufigsten verwendeten Transportarten bedeutsam ( $\chi^2=41,908$ ,  $df=4$ ,  $p<.001$ ). Am zuverlässigsten zum Einsatz kommt der Helm bei Kindern, die im Kindersitz befördert werden, während beim Lastenrad und noch erheblicher beim Anhänger bei einem Teil der Befragten nie ein Helm genutzt wird (siehe Abbildung 60). Ähnlich verhält es sich bei der Nutzung weiterer Sicherungseinrichtungen wie Gurte und Fußriemen, die bei Verwendung eines Kindersitzes am zuverlässigsten zum Einsatz kommen und beim Lastenrad sowie Fahrrad-Anhänger erkennbar seltener genutzt werden. Teilweise sind solche Sicherungsmittel allerdings auch nicht vorhanden (siehe Abbildung 61). Auch die Unterschiede in der Nutzung von Sicherungsmitteln ist über die Transportmittel hinweg hoch signifikant unterschiedlich ( $\chi^2=24,409$ ,  $df=6$ ,  $p<.001$ ).



**Abbildung 60: Helmnutzung bei den beförderten Kindern nach Transportart.**

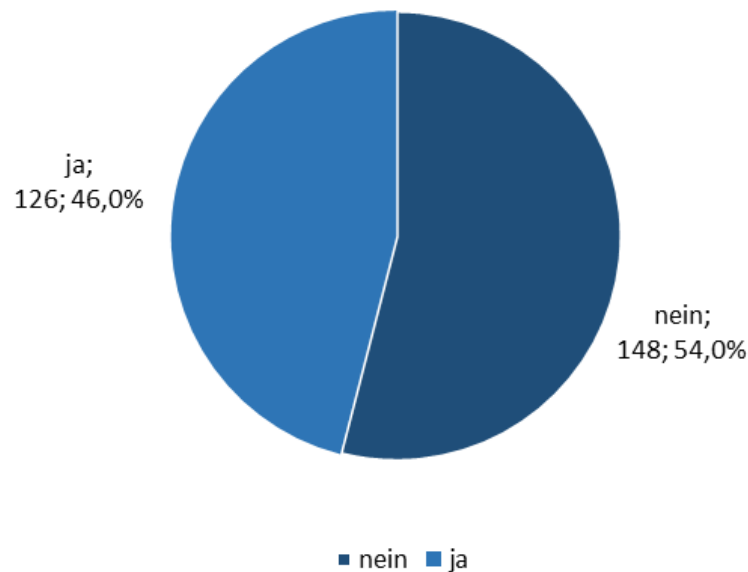


**Abbildung 61: Nutzung von Sicherheitseinrichtungen (z. B. Gurte bzw. Fußschnallen) bei den beförderten Kindern nach Transportart.**

Fast jede zweite befragte Person gibt an, während der Kinderbeförderung mit dem Fahrrad schon mal eine oder mehrere kritische Situationen erlebt zu haben (z. B. Unfall, beinahe Zusammenstoß; siehe Abbildung 62). Der Positivanteil innerhalb der Geschlechter ist für weibliche und männliche Radfahrende nicht signifikant ( $\chi^2=0,149$ ,  $df=1$ ,  $p=.70$ , n.s.) unterschiedlich ( $n=70$  weibliche Radfahrende bzw. 47,0 % und  $n=54$  männliche Radfahrende bzw. 44,6 %).



## Erleben einer oder mehrerer kritischer Situationen ( $n=274$ )

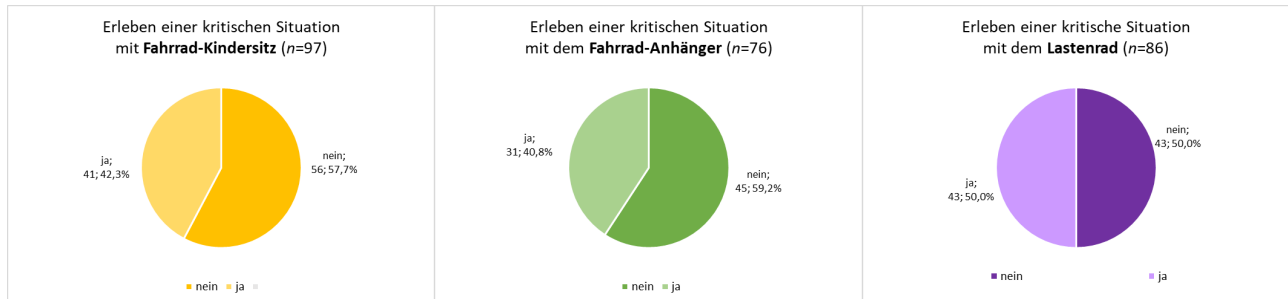


**Abbildung 62: Häufigkeit der Angabe, ob während der Kinderbeförderung schon mal eine kritische Situation erlebt worden ist, in der Gesamtstichprobe.**

Befragte wurden gebeten, die kritischen Situationen qualitativ zu beschreiben. Diese Angaben wurden zu Äquivalenzklassen zusammengefasst, deren Häufigkeit anschließend bestimmt wurde. Sortiert nach der Häufigkeit ihrer Nennung handelt es sich während der Kinderbeförderung auf dem Rad um folgende kritische Situationen:

- Die meisten Befragten haben kritische Situationen aufgrund eines zu geringen Abstands zu anderen Verkehrsteilnehmenden erlebt, z. B. „Überholen durch Autos oder andere Radfahrende“ oder „eng vorbeifahrender Gegenverkehr“, „Übersehen werden beim Spurwechsel“ oder „Fahrradspur zwischen zwei Autospuren“ ( $n=32$  Personen).
- Insgesamt 27 Personen berichten von kritischen Situationen, die allein mit dem Fahrrad sowie dem Transportmittel erlebt worden sind, z. B. „Sturz bei glatter Fahrbahn“, „Umkippen des Fahrrads“, „zu schnelles Fahren um Kurve“, „beim Schieben über Bordstein gekippt“, „beim Abbiegen an den Bordstein gekommen“, „in die Schienen der Straßenbahn gekommen“ ( $n=27$  Nennungen).
- Von kritischen Situationen im Zusammenhang mit Vorfahrtsregeln berichten 21 Befragte, z. B. an Kreuzung von anderem Radfahrer übersehen worden“, „Auto hat Vorfahrt nicht beachtet“, „Auto hat Stopp-Schild übersehen“.
- Weitere 16 Personen haben kritische Situationen während des Abbiegens erlebt, z. B. „Rechtsabbiegende Autofahrer, die nicht gucken“, „Radfahrende von der Seite, die Musik hören“, „Linksabbieger, die mich übersehen“.
- Von kritischen Situationen ausparkender bzw. sich in den fließenden Verkehr einfügender Pkw berichten sieben, von kritischen „Dooring-Situationen“ fünf Befragte.
- Bei drei Radfahrenden kam es aufgrund der Umgebung zu Beinahe-Kollisionen, z.B. „Straßenabspernung im Dunkeln“, „in den Radweg eingewachsene Bäume“ und „Enger Radweg mit Neigung“.
- Eine Person berichtet, „auf dem Zebrastreifen beim Schieben des Rads von einem Pkw übersehen worden zu sein“.
- Eine weitere befragte Person berichtet von einem Fußgänger, „der ohne zu gucken auf den Radweg läuft“.
- Eine teilnehmende Person hat eine kritische Situation im Zusammenhang mit einem „rückwärtsfahrenden Pkw“ erlebt.
- Einmal ist Materialverschleiß Ursache für einen Alleinunfall („Rahmenbruch beim Fahrrad inklusive Sturz“), einmal gibt es ein Problem mit der Bedienung des Transportmittels „Kupplung hat sich gelöst auf Kreuzung bei erster Benutzung, da Bedienungsanleitung zu knapp beschrieben und Kupplung nicht richtig gesichert war“.

Aufgeschlüsselt nach den Transportarten ist kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit kritischer Situationen zu beobachten ( $\chi^2=1,517$ ,  $df=2$ ,  $p=.468$ , n.s.). Rein deskriptiv ist der Anteil der Personen, die schon mal mindestens eine kritische Situation während der Kinderbeförderung mit dem Fahrrad erlebt haben, für das Lastenrad am höchsten ist. Bei Nutzung eines Fahrrad-Kindersitzes oder Fahrrad-Anhängers liegt der Positivanteil bei unter 50 % (siehe Abbildung 63).



**Abbildung 63: Häufigkeit der Angabe, ob während der Kinderbeförderung schon mal eine kritische Situation erlebt worden ist, aufgeschlüsselt nach den am häufigsten verwendeten Transportarten.**

Wie sich die Beschreibungen der kritischen Situationen auf die einzelnen Transportarten verteilen stellt Tabelle 7 dar. Insgesamt zeigt sich sowohl bei Nutzung eines Kindersitzes und eines Lastenrads ein erhöhtes Gefährdungsrisiko durch „geringen Abstand“. Der Anteil kritischer Situationen ohne Beteiligung anderer ist bei der Beförderung mittels Kindersitz deskriptiv am höchsten (z. B. Sturz, Umkippen). Ausparken bzw. Einfädeln ist insbesondere bei Nutzung eines Fahrrad-Anhängers kritisch.

Kategorie	Fahrrad mit Kindersitz		Fahrrad mit Anhänger		Lastenrad	
	Häufigkeit	Mit Unfall	Häufigkeit	Mit Unfall	Häufigkeit	Mit Unfall
Geringer Abstand	10		5	1	12	
Alleinunfall	11		7		7	
Vorfahrt genommen	5		7	1	8	1
Abbiegen	7		2	1	7	1
Ausparken/ Einfädeln	0		5	2	2	1
Dooring	2	1	1		2	
Rückwärtsfahrende Pkw	0		0		1	1
Umgebung	0		2		1	1
Übersehen worden	1		0		1	
Materialverschleiß	1	1	0		0	
Fahrradsicherung	0		1		0	
<b>Gesamt</b>	<b>37</b>	<b>2</b>	<b>30</b>	<b>5</b>	<b>41</b>	<b>5</b>
Keine weitere Angabe	4		2		2	
<b>Gesamt</b>	<b>41</b>		<b>32</b>		<b>43</b>	

**Tabelle 7: Kategorisierte Angaben von kritischen Situationen nach Transportart.**

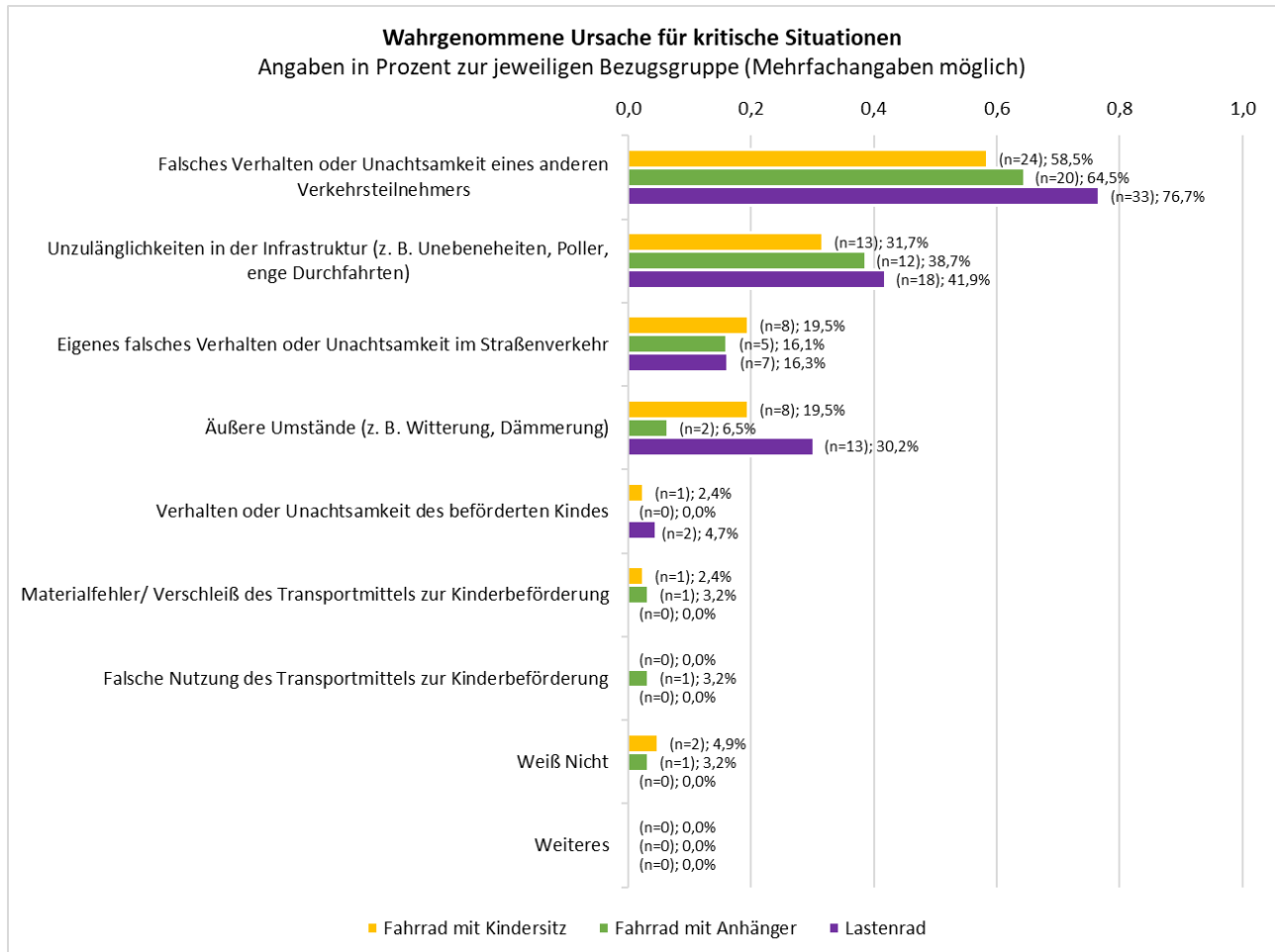
Aus den stichpunktartigen Beschreibungen der Situationen ging bei insgesamt 12 Angaben hervor, dass die kritische Situation zu einem Unfall geführt hat. Die wörtliche Unfallbeschreibungen aus Sicht der Befragten finden sich in Tabelle 8. Die Angaben sind aufgeschlüsselt nach Transportart und Unfallkategorie. Trotz geringer Fallzahlen auffällig häufig sind Unfälle in Zusammenhang mit kreuzenden Verkehrsteilnehmenden (inkl. Ausparken/ Einfädeln).

ID	Transportart	Unfallkategorie	Unfallbeschreibung (direkte Zitierung)
5829945	Kindersitz Keine Angabe zu Hersteller/ Modell	Dooring	„Autofahrer stieg ohne zu schauen aus dem Auto aus und hat uns zwar nicht voll aber mit seiner Tür getroffen, sodass ich ins Straucheln geriet und stürzte. Dem Kind ist außer dem Schrecken allerdings nichts passiert“
6376016	Kindersitz Römer kein Modell	Materialverschleiß	„Rahmenbruch beim Fahrrad inkl. Sturz“
5707614	Anhänger Keine Angabe zu Hersteller/ Modell	Geringer Abstand	„Auto hat Anhänger gestreift, Anhänger war eingeklemmt und wir kamen nicht weiter“
5830052	Anhänger Burley Cub X	Abbiegen	„Ich habe beobachtet, wie ein anderer Anhänger in einer Kreuzung bei der Geradeausfahrt von einem rechtsabbiegenden PKW erfasst wurde.“
5865542	Anhänger Queridoo Zweisitzer	Ausparken/ Einfädeln	Auto parkt aus und ich muss sehr scharf bremsen, der „Anhänger fliegt nach vorne.“
6032682	Anhänger Weber Ritschie II	Ausparken/ Einfädeln	„Ausparkender Autofahrer auf einem Parkplatz stößt gegen den Anhänger und schiebt ihn weg.“
5731313	Anhänger Burley d'Lite (älteres Modell)	Vorfahrt genommen	„Zusammenstoß mit einem anderen Fahrrad von rechts, mit Verlust der Kontrolle über das Fahrrad.“
5026543	Lastenrad Backfiets Long rad (2-rädrig)	Abbiegen	„Unfall mit Kind beim Abbiegen“
5735034	Lastenrad Nihola family (3-rädrig)	Umgebung	„Einmal gegen einen Seitenspiegel eines parkenden Autos gefahren, da ich vom Radweg abgekommen bin (zu schmal und mit Neigung)“
5938289	Lastenrad Backfiets Classic Long (2-rädrig)	Ausparken/ Einfädeln	„Fahrzeug hat mich übersehen und ausgeparkt. Beim Ausweichen bin ich mit dem Vorderrad an einer niedrigen Gehsteigkante hängen geblieben und das Lastenrad ist umgefallen und noch ein Stückchen weitergeschlittert. Ich hatte einige ordentliche blaue Flecken und eine Abschürfung am Ellenbogen. Den Kindern ist bis auf den Schrecken und einem mini blauen Fleck nix passiert. Das war der einzige Unfall in 1.200km Fahrt (ca. zu 70% mit Kindern)“
6255952	Lastenrad Backfiets Kein Modell (2-rädrig)	Vorfahrt genommen	„Unfall mit Rennradfahrer, der meinen Weg kreuzte“
5079202	Lastenrad Riese & Müller Load 60 (2-rädrig)	Rückwärts- fahrende Pkw	„Kollision durch zurücksetzende Autofahrerin“

**Tabelle 8: Wörtliche Beschreibung der als Unfall klassifizierten kritischen Situationen.**

Als wahrscheinliche Hauptursache für kritische Situationen geben Befragte am häufigsten falsches Verhalten bzw. Unachtsamkeit anderer Verkehrsteilnehmer sowie Unzulänglichkeiten in der Infrastruktur an. Anschließend folgen eigenes falsches Verhalten oder Unachtsamkeit und äußere Umstände. Nachrangig sind Verhalten oder

Unachtsamkeit des beförderten Kindes und Probleme mit dem Transportmittel. Bezüglich des Transportmittels werden in zwei Fällen Materialverschleiß angegeben (einmal „Rahmenbruch während Nutzung des Kindersitzes“, die zweite Angabe wurde bei Nutzung des Fahrrad-Anhängers leider nicht spezifiziert) sowie einmal eine falsche Nutzung des Transportmittels („Kupplungssicherung des Anhängers übersehen“; siehe Abbildung 64). Inferenzstatistisch sind die wahrgenommenen Ursachen für kritische Situationen nicht vom Transportmittel abhängig ( $\chi^2=12,973$ ,  $df=14$ ,  $p=.529$ , n.s.).



**Abbildung 64: Wahrgenommene Hauptursachen für kritische Situationen aufgeschlüsselt nach Transportart.**

### 3.4 Felduntersuchung

Um die subjektiven Daten, die mittels Online-Befragung erhoben worden sind, mit dem tatsächlichen Verhalten bei der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad zu vergleichen, wird die Befragung um eine Felduntersuchung ergänzt, die sich aus einem Sicherheitscheck (dokumentiert über ein Beobachtungsprotokoll) und einem Interview (mittels halbstandardisiertem Leitfaden) zusammensetzt. Die Felduntersuchung findet an unterschiedlichen Standorten im öffentlichen Straßenland statt und wird ausschließlich mit den Erwachsenen durchgeführt, die ihre Kinder befördern. Eine Untersuchung soll in der Regel 5 Minuten nicht überschreiten. Gemäß Projektantrag ist für die Felduntersuchung eine Stichprobe aus  $n=100$  Teilnehmenden vorgesehen.

#### 3.4.1 Händlergespräche als Voruntersuchung für die Erstellung des Beobachtungsprotokolls

Um Bewertungsaspekte für das Beobachtungsprotokoll (Sicherheits-Checkliste) zu identifizieren und einen ersten Eindruck von typischen Nutzungsproblemen im Umgang mit den häufigsten Transportmitteln für die

Kinderbeförderung auf dem Fahrrad zu gewinnen, sind Anfang Februar 2022 insgesamt 5 Händlergespräche mit Mitarbeitenden im Fahrrad-Einzelhandel geführt worden. In den verdeckt geführten Gesprächen gaben sich die Interviewer als potenzielle Kunden und nicht als Forschende zu erkennen. In den Gesprächen wurden Leitfragen zur Beliebtheit, zum Komfort, zum Sicherheitsempfinden und zu möglichen sicherheitsrelevanten Fehlerquellen im Umgang mit den häufigsten Transportmitteln Fahrrad-Kindersitz, Fahrrad-Anhänger und Lastenrad gestellt.

Inhaltlich thematisieren Händlerinnen und Händler für Fahrrad-Kindersitze die meist erschütterungsarme und damit komfortable Beförderung von in der Regel jüngeren Kindern bei freischwingenden Modellen. Als Risiken und mögliche Fehlerquellen werden der erhöhte Schwerpunkt sowie die Ungeeignetheit des Fahrrads für Kindersitze bei fehlender Prüfung der Tragfähigkeit des Rahmens genannt. Weitere Probleme ergeben sich im Zusammenhang mit den Fußriemen, die entweder schnell verschleifen, nicht oder nur unzureichend festgezogen werden. Eine besondere Gefährdung für das Kind entsteht im Fall eines Sturzes, wenn sich das Kind mit der Hand am Kindersitz festhält und durch den Sturz Finger eingeklemmt werden.

Für den Fahrrad-Anhänger werden verlängerte Bremswege und verdeckte oder fehlende Rücklichter genannt. Ältere Kinder könnten eigenständig den Gurt lösen und durch Bewegungen oder Herauslehnen die Kippgefahr des Anhängers begünstigen. Außerdem ist die Kommunikation zum Kind bei Nutzung eines Anhängers erschwert. Als Vorteile des Anhängers werden hohe Flexibilität und Möglichkeiten zur Demontage genannt (Räder abnehmen, Kabine zusammenfallen). Des Weiteren wird erwähnt, dass der Rahmen des Anhängers bei einem Sturz oder einem Unfall einen gewissen Aufprallschutz bietet, zumindest mehr als ein Kindersitz.

Das Lastenrad als Transportmittel ist schließlich mit einem „ganz anderen Fahrgefühl“ verbunden. Bremsen, Lenken und Abbiegen benötigt laut Händlereinschätzung Einiges an Übung, daher könnten insbesondere Lastenräder im Vorfeld eines Kaufes oft probeweise ausgeliehen werden. Das Fahrgefühl unterscheidet sich zudem zwischen zwei- und dreirädrigen Lastenrädern. In den meisten Fällen werden Lastenräder empfohlen, die einen elektrischen Antrieb bzw. eine elektrische Antriebsunterstützung bieten.

Für alle drei Transportmittel wird überwiegend dazu geraten, dass beförderte Kinder einen Helm tragen, auch wenn dies keine Pflicht ist. Als Eindruck wird vermittelt, dass die Nutzung von Kinderhelmen beim Fahrrad-Anhänger und beim Lastenrad eher vernachlässigt wird als beim Kindersitz.

### 3.4.2 Vorbefragung zur Konzipierung des Interviewleitfadens

Um Themenbereiche für den Interviewleitfaden der Felduntersuchung zu identifizieren, wurden am 02.07.2022 auf dem Klimaaktionsfest in Berlin-Kladow erste Interviews mit 8 Erwachsenen geführt, die Kinder auf dem Fahrrad befördern.

Im Zusammenhang mit allen Transportmitteln wird deutlich, dass Unfälle während der Kinderbeförderung eine Ausnahme darstellen. Kritische Situationen, wie z. B. Stürze, das Umkippen von Fahrrad bzw. Anhänger oder das Abreißen des Anhängers) werden allerdings öfters berichtet. Als Nachteile bei der Nutzung eines Anhängers werden der erhöhte Platzbedarf beim Abstellen sowie infrastrukturbedingte Engstellen genannt. Als positiv erwähnt werden ein besser wahrgenommener Schutz des Kindes bei Anhänger und Lastenrad im Fall eines Unfalls, „Fahrspaß“ beim Kind und Flexibilität in der Nutzung dieser Transportmittel. Bei allen Transportmitteln wird das Prüfen des korrekten Sitzes bei Helm und Anschnallgurten sowie der Sicherung bei Nutzung eines Anhängers genannt, wobei insbesondere bei der Helmnutzung auch Konflikte angesprochen werden („Kind wehrt sich gegen Helm-Nutzung“).

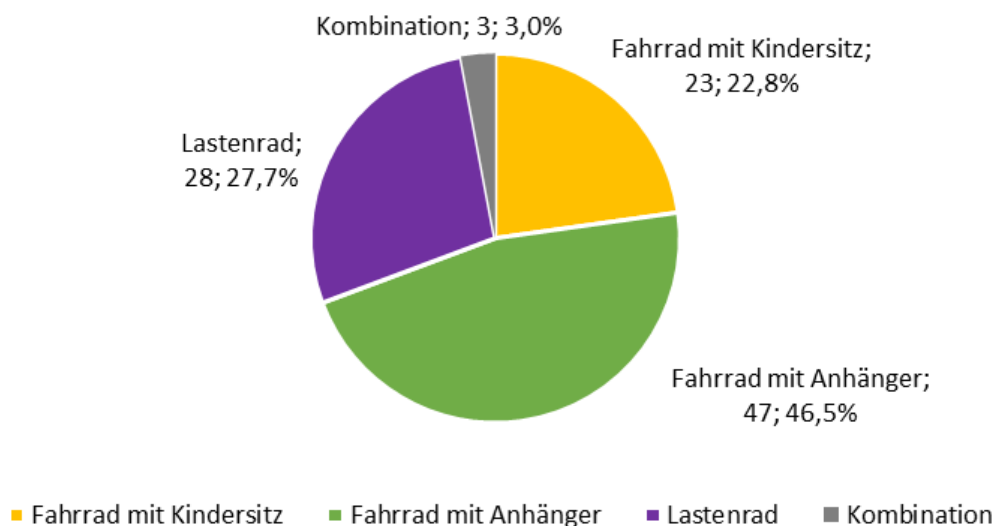
### 3.4.3 Aufbau der Untersuchungsmaterialien für die Felduntersuchung

Auf Basis der Erfahrungen aus den beiden Voruntersuchungen wurde ein halbstandardisierter Interviewleitfaden konzipiert, der neben soziodemografischen Aspekten Fragen zum typischen Ablauf bei Montage und Fahrtbeginn, zu Nutzungsproblemen und zur Wahrnehmung der Transportart aus Sicht der beförderten Kinder beinhaltet. Außerdem kommt ein Beobachtungsprotokoll zum Einsatz, das neben Fragen zu Alter und Geschlecht der Erwachsenen und der beförderten Kinder auch eine Checkliste zum Zustand und zur Nutzung des Fahrrads, zu Typ, Marke und Zustand des Transportmittels, zu eventuell vorhandenen zusätzlichen Sicherheitseinrichtungen und -hilfsmitteln beinhaltet sowie die korrekte Nutzung dieser Einrichtungen zur Sicherung der beförderten Kinder beurteilt. Antworten werden stichpunktartig notiert, anschließend in eine Excel-Tabelle übertragen und inhaltsanalytisch ausgewertet.

### 3.4.4 Erhebungszeitraum und Stichprobe der Felduntersuchung

Die Felduntersuchung startete mit dem ersten Interview am 23.10.2022. Die Gewinnung der Befragten erfolgte unsystematisch als Gelegenheitsstichprobe im Umfeld von Kindertageseinrichtungen, Freizeitangeboten für Kinder, Stadtfesten und Events, Spielplätzen und im allgemeinen öffentlichen Straßenraum. Bis zum 09.12.2022 wurden  $n=40$  Personen im Raum Berlin und Potsdam befragt. Zum Jahresende pausierte die Felduntersuchung und wurde zum 07.05.2023 erneut aufgenommen. Hauptgrund für die Unterbrechung ist eine mit der Winterzeit in Verbindung stehende mögliche Stichprobenverzerrung bei den im öffentlichen Straßenraum anzutreffenden Personen, die Kinder befördern. Vom 07.05.2023 bis zum 04.06.2023 wurden weitere  $n=61$  Interviews geführt. Die Gesamtstichprobe bestehend aus  $n=101$  Personen umfasst 54 weibliche (53,5 %) und 47 männliche (46,5 %) Erwachsene, die mit dem Rad ein oder mehrere Kinder befördern. Erwachsene Teilnehmende sind zwischen 20 und 47 Jahre alt ( $M=37,66$  Jahre;  $SD=4,83$ ). Die hauptsächlich genutzten Transportart zur Kinderbeförderung sind wie folgt in der Stichprobe vertreten: 23 Befragte nutzen einen Kindersitz (23 %), 47 Befragte sind mit einem Fahrrad-Anhänger unterwegs (46 %), 28 Befragte nutzen ein Lastenrad (28 %), davon  $n=9$  (bzw. 32 %) ein zweirädriges und  $n=19$  (bzw. 68 %) ein dreirädriges (siehe Abbildung 65). Bei den Personen, die einen Kindersitz benutzen, sind zwei Personen befragt worden, die zusätzlich auch einen Fahrrad-Anhänger angekoppelt hatten sowie eine Person, bei der zwei Kindersitze auf dem Fahrrad montiert waren ( $n=3$  Kombinationen bzw. 3 %).

#### Vorrangig genutztes Transportmittel zur Kinderbeförderung ( $n=101$ )



**Abbildung 65: Vorrangig genutzte Transportart zur Kinderbeförderung.**

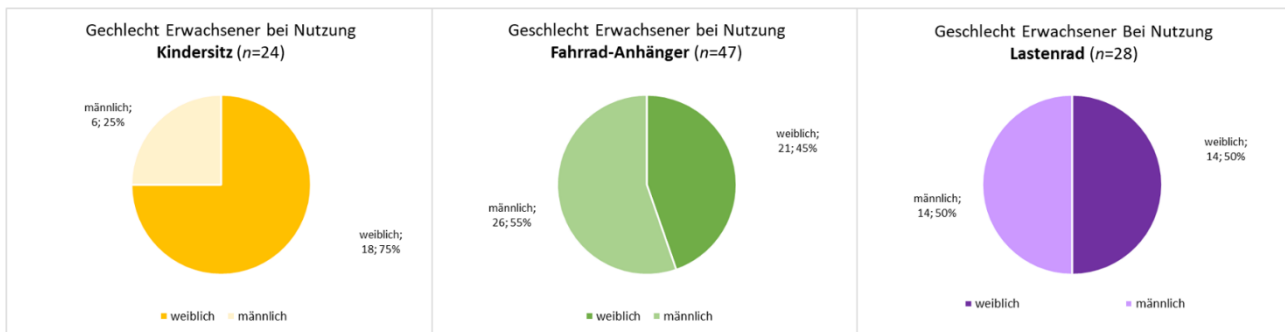
In der vorliegenden Stichprobe ist die angegebene Häufigkeit der Kinderbeförderung auffällig höher als in der Online-Befragung. Insgesamt 30,0 % der Befragten befördern täglich ein oder mehrere Kinder mit dem Rad. Etwa die Hälfte mindestens 5 bis 6 Mal pro Woche. Fünfzehn Befragte geben an, Kinder seltener als einmal pro Woche mit dem Rad zu transportieren (siehe Tabelle 9).

Häufigkeit der Kinderbeförderung	Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozent
Täglich	30	29,7 %	29,7 %
5 bis 6 Mal pro Woche	20	19,8 %	49,5 %
3 bis 4 Mal pro Woche	26	25,7 %	75,2 %
1 bis 2 Mal pro Woche	10	9,9 %	90,0 %
Seltener	15	14,8 %	100,0 %
<b>Gesamt</b>	<b>101</b>	<b>100,0 %</b>	

**Tabelle 9: Häufigkeit der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad.**

### 3.4.5 Ergebnisse der Felduntersuchung

Die Wahl der Transportart über die Transportmittel hinweg ist signifikant vom Geschlecht abhängig ( $\chi^2=6,067$ ,  $df=2$ ,  $p<.05$ ). So fällt auf, dass bei der Nutzung eines Kindersitzes ein Großteil der hier befragten Erwachsenen (75 %) weiblich ist, wohingegen sich beim Fahrrad-Anhänger und beim Lastenrad gleiche Anteile an Radfahrerinnen und Radfahrern beobachten lassen (siehe Abbildung 66).



**Abbildung 66: Transportart und Geschlecht der erwachsenen Radfahrenden**

Etwas mehr als die Hälfte aller Befragten mit einem Kindersitz gibt mindestens ein Problem in der Nutzung an. Häufigste Nennungen beziehen sich auf den erhöhten Schwerpunkt des Fahrrads und damit das Kippisiko im Stand sowie während der Fahrt. Beim Lastenfahrrad und dem Fahrrad-Anhänger nennen circa ein Drittel der Befragten ein oder mehrere Nutzungsprobleme. Für den Anhänger wird der zusätzliche Aufwand der Sicherung (Diebstahlschutz) als Hauptproblem benannt, für das Lastenrad sind es in erster eine ungeeignete Infrastruktur (v.a. Enge) und ein „anstrengenderes“ Fahren. Bei beiden Transportarten wird zudem die erschwerte Mitnahme im ÖPNV kritisiert.

Das Durchschnittsalter der beförderten Kinder ist beim Fahrrad-Anhänger am geringsten ( $M=3,46$  Jahre) und beim Lastenrad am höchsten ( $M=3,91$  Jahre). Auch fällt beim Lastenrad eine besonders hohe Streuung in den Altersangaben der Kinder auf ( $M=2,27$  Jahre). Das jüngste beförderte Kind in der Stichprobe ist 8 Monate alt, die ältesten sind 8 Jahre (mit Kindersitz) bzw. 9 Jahre (im Lastenrad; siehe Tabelle 10).

Fahrrad-Kindersitz (n=24)	Fahrrad-Anhänger (n=47)	Lastenrad (n=28)
$M(\text{Alter})= 3,76$ Jahre	$M(\text{Alter})= 3,46$ Jahre	$M(\text{Alter})= 3,91$ Jahre
$s(\text{Alter})= 1,77$ Jahre	$s(\text{Alter})= 1,50$ Jahre	$s(\text{Alter})= 2,27$ Jahre
Min= 8 Monate	Min= 10 Monate	Min= 9 Monate
Max= 8 Jahre	Max= 6 Jahre	Max= 9 Jahre

**Tabelle 10: Altersverteilung der beförderten Kinder nach Transportart.**

Befragt danach, wie ihre Kinder die Beförderung auf dem Fahrrad erleben, gaben nahezu alle Erwachsenen mindestens einen positiv zu wertenden Kommentar. Ausnahme bildet der Fahrrad-Anhänger; hier gaben 6 der 47 Befragten keine positive Rückmeldung. Als problematisch zeigt sich im Zusammenhang mit dem Anhänger - und teils auch beim Lastenrad - in erster Linie räumliche Enge, beim Anhänger zusätzlich auch fehlender Kontakt zum beförderten Kind. Beim Fahrrad-Kindersitz wurde vor allem genannt, dass die Gewöhnung in den ersten Nutzungen unangenehm verlaufen ist, sich die Wahrnehmung aus Sicht des Kindes anschließend allerdings verbessert hat (siehe Tabelle 11).

Fahrrad-Kindersitz (n=24)	Fahrrad-Anhänger (n=47)	Lastenrad (n=28)
<b>24 positiv (100 %)</b>	<b>41 positiv (87 %)</b>	<b>28 positiv (100 %)</b>
2 Mal Gewöhnungsphase	6 Mal zu eng (→ Gerangel)	1 kleines Kind unzufrieden
1 Mal Ablehnungsphase	2 Mal wenig Kontakt	1 Helm nicht akzeptiert
1 Mal Reinsetzen negativ	2 Mal Kind hasst Gurte	1 Mal zu dritt etwas eng
	1 Mal Ärger mit Helm	
	1 Mal lieber Kindersitz	

**Tabelle 11: Anmerkungen zur Wahrnehmung der Transportart durch die beförderten Kinder.**

Die typischen Handlungsschritte vor Abfahrt wurden separat für die drei Transportarten qualitativ ausgewertet. Zusammenfassend fällt bei Nutzung eines Kindersitzes auf, dass sich die drei Schritte, die am häufigsten genannt werden, auf die Sicherung des beförderten Kindes beziehen, nämlich das Aufsetzen eines Helmes beim Kind, das Angurten direkt nach dem Hineinsetzen in den Kindersitz und die Nutzung von Fußstützen und Fußriemen. Der einzige Handlungsschritt, der im Zusammenhang mit dem Fahrrad benannt wird, ist es, für einen sicheren Stand des Fahrrades vor dem Hineinsetzen zu sorgen.

Bei Nutzung eines Fahrrad-Anhängers werden erheblich mehr Schritte benannt, die sich auf die Zusammenstellung des Gefährts beziehen, insbesondere das Ankoppeln und Sichern des Anhängers (teilweise erst nach Umbau). Etwa gleich häufig genannt werden bei Kindersitz und Anhänger das Angurten der beförderten Kinder. Allerdings hat das Aufsetzen eines Kinderhelmes im Zusammenhang mit dem Fahrrad-Anhänger eine deutlich geringere Häufigkeit. Auffällig ist, dass in der Reihenfolge der Handlungsschritte einige Erwachsene das Ankoppeln des Anhängers erst nach dem Einsteigen des Kindes bzw. der Kinder vornehmen.

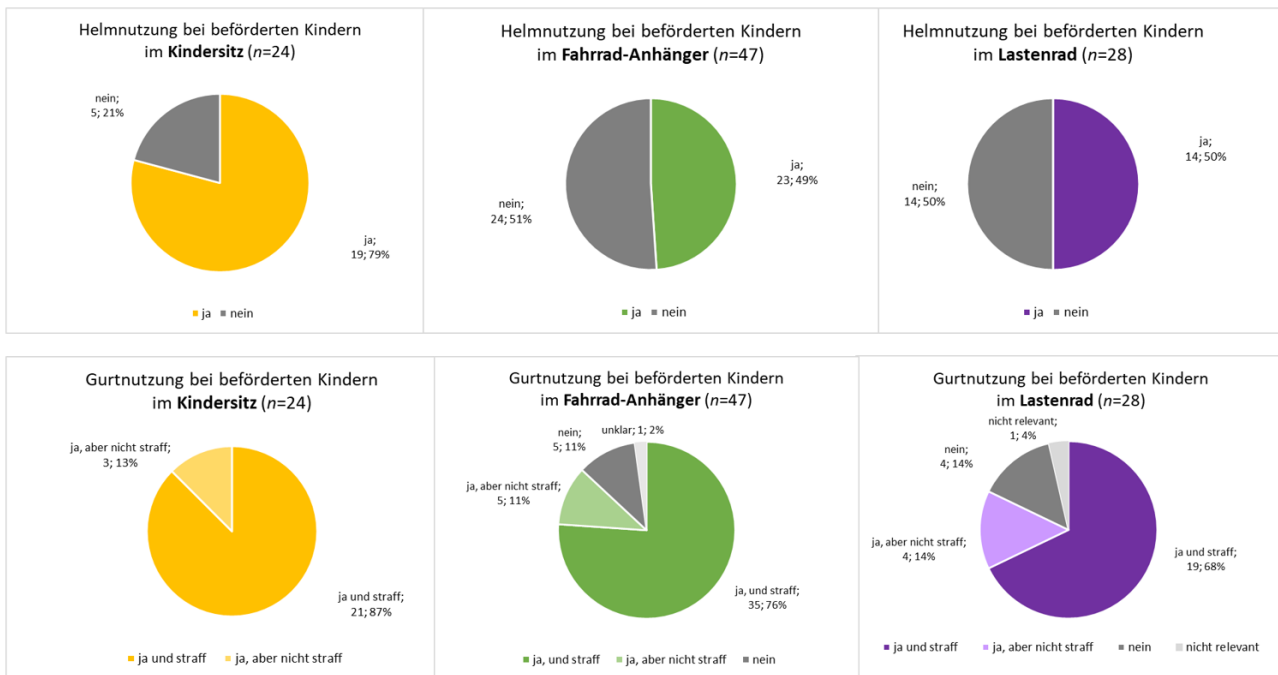
Für das Lastenrad liegen die am häufigsten genannten Handlungsschritte, ähnlich wie beim Kindersitz, auf der unmittelbaren Sicherung des Kindes bzw. der Kinder: Angurten nach dem Einsteigen und Aufsetzen eines Helms beim Kind (teils vor, teils nach dem Einsteigen). Als vorbereitende Maßnahmen des Lastenrads werden vereinzelt zu Beginn das Aufschließen des Rades und das Einsetzen eines Akkus genannt.

Auf die Frage, welche Schritte kurz vor Abfahrt ggf. nochmal mit besonderer Aufmerksamkeit geprüft werden, machen circa 70 % aller Befragten, die einen Kindersitz nutzen, eine Angabe (v.a. Straffheit der Gurte, Höhe der Kopfstütze und Tragen des Helms beim Kind). Für den Fahrrad-Anhänger und das Lastenrad benennen jeweils etwas über 60 % der Befragten mindestens einen Aspekt. Während es beim Fahrrad-Anhänger in erster Linie die Stabilität der Kopplung ist, die geprüft wird, ist es beim Lastenrad analog zum Kindersitz die korrekte Nutzung der Gurte.

Um diese subjektiven Angaben mit den in der Realität vorliegenden Sicherungsverhalten zu vergleichen, wurden sowohl der Zustand der Fahrräder und der Transportmittel sowie die Nutzung von Kinderhelmen und die Nutzung von Sicherheitsgurten einer Sichtprüfung unterzogen.

Bei der augenscheinlichen Überprüfung des Zustands der Fahrräder und der Transportmittel ist in der Stichprobe zu beobachten, dass in der Mehrzahl der Fahrräder, Lastenräder und Kindersitze keine auffälligen Beanstandungen erkennbar waren (> 90 %). Fehlende Beleuchtung und defekte Handbremsen zählen zu den am häufigsten Auffälligkeiten. Die meisten sicherheitskritischen Beobachtungen betreffen den Fahrrad-Anhänger (in 17 % aller geführten Interviews dieser Transportart). Defekte oder fehlende Rücklichter, gesprungene Reflektoren, ein verbogener Rahmen und eine abgerissene Sicherheitsleine wurden dokumentiert.





**Abbildung 67: Helm- und Gurtnutzung bei den beförderten Kindern nach Transportart**

Bei der Beobachtung, ob die beförderten Kinder einen Helm tragen, liegen signifikante Unterschiede zwischen den Transportmitteln vor ( $\chi^2=6,595$ ,  $df=2$ ,  $p<.05$ ), während sich die Nutzung von Sicherungsgurten nicht signifikant unterscheidet ( $\chi^2=4,149$ ,  $df=4$ ,  $p=.386$ , n.s.). Es fällt auf, dass die Helmnutzung beim Kindersitz am höchsten ausgeprägt ist (siehe Abbildung 67). Dennoch trägt selbst hier in etwa jeder vierten der beobachteten Transportsituationen das Kind keinen Helm, was den Ergebnissen in der Online-Befragung eher entspricht als den zuvor genannten idealtypischen Handlungsschritten im Rahmen des Interviews. Im Anhänger und im Lastenrad findet sich in der Hälfte aller Beobachtungssituationen ein Kinderhelm wieder, während korrekt genutzte Gurte in zwei Drittel (Lastenrad) bzw. drei Viertel (Anhänger) aller Fälle beobachtet werden konnte. Etwas weniger als die Hälfte der Erwachsenen trägt selbst einen Helm ( $n=47$  bzw. 46,5 %), während sich das Helmtragen der Erwachsenen als nicht signifikant abhängig vom gewählten Transportmittel zeigt ( $\chi^2=1,518$ ,  $df=2$ ,  $p=.468$ , n.s.). Deskriptiv beträgt der Anteil der Helmnutzung bei Erwachsenen mit Fahrrad-Kindersitz als Transportart 33,3 %, beim Fahrrad-Anhänger 53 % und beim Lastenrad 50 %.

### 3.4 Fazit und Diskussion

#### 3.4.1 Beantwortung der Fragestellung und kritische Würdigung in Relation zu den Unfalldaten

Nach detaillierter Darstellung der Ergebnisse können die eingangs genannten Fragestellungen wie folgt beantwortet werden:

*Was sind Gründe und Motive für die Wahl der Fahrradart beim Transport von Kindern (Lastenrad, Fahrrad mit Anhänger und Fahrrad mit Kindersitz)?*

Zusammenfassend zeigten sich bei den Entscheidungskriterien für den Erwerb des Transportmittels keine signifikanten Unterschiede zwischen den Transportarten. In erster Linie begründen Befragte ihre Entscheidung mit der Funktionalität und Qualität sowie mit einfacher Bedienbarkeit, Sicherheit im Straßenverkehr und Komfort für die beförderten Kinder. Erfahrungsberichte anderer Personen werden als wichtigere Entscheidungsgrundlage betrachtet als unabhängige Testberichte. Zudem konnten in der Online-Befragung keine signifikanten Einflüsse aufgrund des Geschlechts oder des Alters der erwachsenen Radfahrenden bei der Wahl der Transportart erkannt werden.

### *Was sind Nutzungszwecke und -häufigkeiten dieser Fahrradtypen?*

Es zeigt sich, dass das Lastenrad im Vergleich zum Fahrrad-Anhänger und zum Fahrrad-Kindersitz eine besonders hohe Nutzungsintensität mit dem Ziel der Kinderbeförderung aufweist: Während 60 % der Nutzenden eines Lastenrads mindestens 5 Mal pro Woche Kinder befördern, liegt dieser Anteil für den Fahrrad-Anhänger bei etwa 43 % und für den Kindersitz bei knapp unter 40 %. Die häufigsten Nutzungszwecke sind über alle Transportarten hinweg Fahrten für das Bringen bzw. Abholen von und zur Kita bzw. Schule, Ausflüge und Freizeitaktivitäten des Kindes. Auch die Nutzungszwecke unterscheiden sich für die einzelnen Transportarten signifikant: Mit dem Lastenrad wird die Kinderbeförderung verhältnismäßig öfter mit täglichen Erledigungen, zum Einkaufen und für Wege zur eigenen Arbeit kombiniert. Insgesamt zeigen die Ergebnisse somit, dass Nutzende eines Lastenrads neben der hohen Häufigkeit zur Kinderbeförderung auch die größte Flexibilität bei der Nutzung des Lastenrads zum Ausdruck bringen. Dies spricht zusammenfassend dafür, dass das Lastenrad bei den meisten Befragten einen hohen Stellenwert bei der Befriedigung von Mobilitätsbedürfnissen im täglichen Leben aufweist („PKW-Ersatz“), während Anhänger und Kindersitz aufgrund der insgesamt weniger intensiven Kinderbeförderung und des gleichzeitig spezifischeren Nutzungszwecks „Kindertransport“ bei den meisten Befragten als eine von mehreren Mobilitäts-Alternativen zum Einsatz kommt.

### *Welchen Einfluss hat der Transport von Kindern auf dem Rad für die Wahl von Routenwahl und die Präferenz für bestimmte Wegearten?*

Insgesamt werden über alle Transportarten hinweg Routen bevorzugt, die eine bauliche Trennung zum motorisierten Verkehr aufweisen, separat geführte Radwege beinhalten oder als Fahrradstraße ausgewiesen sind, während Nähe zum motorisiertem Verkehr (insbesondere wenn dieser mit hohen Geschwindigkeiten geführt wird) und zu Fußgänger:innen eher gemieden wird. In der tatsächlichen Nutzung werden diese Präferenzen durch die aktuelle Infrastruktur überwiegend nicht berücksichtigt; hier werden zwar häufig separate Radwege genannt, jedoch auch 30er-Zonen und Radfahrerschutzstreifen auf Hauptstraßenfahrbahnen. Auch für die Präferenz von Infrastruktur und die Wahl von Routen können signifikante Unterschiede zwischen den häufigsten Transportarten identifiziert werden. So zeigt sich, dass bei Nutzung eines Lastenrades Nähe zu motorisiertem Verkehr (z. B. in 30er-Zonen und Radfahrerschutzstreifen) eher akzeptiert wird als bei Nutzung eines Anhängers oder Kindersitzes. Bei den letztgenannten Transportarten wird wiederum Nähe zu Fußgänger:innen eher akzeptiert als beim Lastenrad. Bezüglich der Verkehrsinfrastruktur werden in erster Linie ein hohes Verkehrsaufkommen gemieden sowie Strecken mit fehlenden Radwegen (beides vor allem bei Nutzung eines Kindersitzes oder eines Anhängers). Außerdem werden (vor allem von Radfahrenden mit Lastenrad) Wege und Straßen von schlechter Qualität abgelehnt.

### *Welche Merkmale kennzeichnen kritische Situationen und Unfälle beim Transport von Kindern und in welcher Beziehung stehen diese zu Fehlbedienung bei Montage und Nutzung von Sicherheitseinrichtungen?*

Nahezu jede zweite befragte Person kann mindestens eine kritische Situation im Zusammenhang mit dem Transport von Kindern auf dem Fahrrad berichten. Die Häufigkeit oder Art der kritischen Situationen zeigen sich in der vorliegenden Befragung nicht signifikant abhängig von Geschlecht oder Wahl der Transportart. Am häufigsten entstehen kritische Situationen im Zusammenhang mit geringem (Seiten-)Abstand zu motorisiertem Verkehr, Alleinunfälle (Stürze, Umkippen, etc.), kreuzenden Verkehrsteilnehmenden (z. B. Missachten von Vorfahrtregeln) sowie Abbiegevorgängen. Kritische Situationen durch sich öffnende Türen („Dooring“) sowie Unzulänglichkeiten in der Infrastruktur spielen in den Angaben der Befragten eher eine untergeordnete Rolle. Materialverschleiß („Rahmenbruch bei Nutzung eines Kindersitzes“) und Fehlbedienung („Anhänger-Abriss durch fehlende Sicherung“) werden zweimal als Einzelfälle genannt. Etwa jede zehnte kritische Situation wird von den Befragten als Unfall klassifiziert (12 von 115 Fälle). Hier stehen insbesondere Kreuzungs- und Abbiegeunfälle sowie Unfälle beim Ein- und Ausparken von Pkw, insbesondere bei Nutzung von Fahrrad-Anhänger und Lastenrad, im Vordergrund.

### *Nach welchem Ablauf erfolgt die Montage und Nutzung von Sicherheitseinrichtungen für den Transport von Kindern auf dem Fahrrad?*

Pro Transportart lässt sich auf Basis der Angaben aus den Interviews kein idealtypischer Montage- oder Nutzungsablauf von Sicherheitseinrichtungen für die Kinderbeförderung identifizieren. Aufgrund der Vielfalt an unterschiedlichen Transportmitteln lässt sich ein solcher auch nicht als standardisierte Vorgabe entwickeln, um Abweichungen im individuellen Handlungsablauf zu erkennen und zu bewerten. Zusammenfassend ergeben sich

aus der Analyse der berichteten Handlungsschritte folgende Erkenntnisse: Der Anteil sicherheitsrelevanter Handlungen, die sich auf Prüfung des Fahrrads oder des Transportmittels beziehen, ist beim Kindersitz am geringsten und beim Fahrrad-Anhänger am höchsten. Der einzige benannte Schritt beim Kindersitz ist der sichere Stand des Fahrrads. Entweder vor oder nach dem Hineinsetzen des Kindes liegt der Fokus von Handlungen auf dessen Sicherung (Helm, Gurte, Fußriemen). Für den Fahrrad-Anhänger beziehen sich die meisten Handlungen auf den Umbau des Anhängers für den Fahrrad-Transport und auf die Zusammenstellung und Sicherung der Kopplung. Der Anhänger wird teils leer, teils bereits mit den Kindern in der Kabine gekoppelt. Als letzter sicherheitskritischer Check vor Abfahrt wird beim Anhänger vor allem die Prüfung der Kopplung benannt, während bei Kindersitz und Lastenrad der Fokus auf die Sicherung des Kindes gesetzt wird (v. a. Helm bei Nutzung eines Kindersitzes und Sicherheitsgurte bei Nutzung eines Lastenrads).

#### *Welche Fehler und technische Mängel treten bei der Montage und Nutzung der Transportmittel auf?*

Im Zusammenhang mit dem Sicherheitscheck liegen die meisten Kodierungen für den Fahrrad-Anhänger vor (defekte oder fehlende Rücklichter, gesprungene Reflektoren, ein verbogener Rahmen, abgerissene Sicherheitsleine). Knapp jede fünfte Beobachtung ist bei dieser Transportart mit einer Kritik verbunden. Bei Nutzung eines Kindersitzes wird vom Kipprisiko des Fahrrads berichtet. Das Tragen eines Kinder-Fahrradhelmes unterscheidet sich zwischen den Transportarten signifikant. Während bei Anhänger und Lastenrad nur jedes zweite Kind einen Helm trägt, ist der Anteil der Helmnutzung im Kindersitz mit 75 % noch am höchsten. Die Risiken, die mit den insgesamt geringen Nutzungsquoten im Fall eines Sturzes verbunden sind, unterstreichen daher die Bedeutung des Forschungsprojekts, insbesondere die gewonnenen Erkenntnisse aus Crash-Simulationen.

### **3.4.2 Kritische Würdigung in Relation zu den Unfalldaten**

Für die Analyse der Unfalldaten (EUSKa) wurden aus knapp 70.000 Datensätzen im Jahr 2020 insgesamt 69 Fälle identifiziert, in denen bei zugelassener Beförderung von Kindern auf dem Fahrrad ein Unfall aktenkundig geworden ist (aufgeteilt nach Transportarten: 48 Mal Kindersitz, 14 Mal Fahrrad-Anhänger, 7 Mal Lastenrad). In der Online-Befragung haben insgesamt 12 der teilnehmenden Befragten selbst berichtet, bereits mindestens einmal einen Unfall während der Kinderbeförderung erlebt zu haben (aufgeteilt nach Transportarten: 2 Mal Kindersitz, 5 Mal Fahrrad-Anhänger, 5 Mal Lastenrad). Eine kritische Situation berichtet hat etwa jede zweite teilnehmende Person ( $n=126$ ), d. h. eine kritische Situation hat in 90 % der Fälle nicht zu einem „Unfall“ geführt.

Analog zu den Unfalldaten zeigt sich die hohe Bedeutung von Alleinunfällen während der Kinderbeförderung, die in beiden Analysen an zweiter Stelle rangiert. Zudem werden von Teilnehmenden an der Online-Befragung Alleinunfälle (z. B. ein Sturz, ein Umkippen von Rad oder Transportmittel oder das Abreißen eines Fahrrad-Anhängers) teilweise auch als „kritische Situation“ und nicht als „Unfall“ klassifiziert.

Bei den Unfällen mit weiteren Beteiligten stellen sich in beiden Analysen Einbiege- und Kreuzungsunfälle, Abbiegeunfälle sowie das Einfahren in den fließenden Verkehr als besonders bedeutend dar.

Während sich in den Unfalldaten eine deskriptiv auffällige Häufung von weiblichen Erwachsenen im Zusammenhang mit Unfällen während der Kinderbeförderung zeigt, kann in der Auswertung der Online-Befragung kein signifikanter Unterschied in den Unfallangaben zwischen den Geschlechtern nachgewiesen werden.

In der Online-Befragung sind Materialverschleiß oder Fehlbedienung der Transportmittel aus Sicht der Befragten von untergeordneter Bedeutung. In der Felduntersuchung dagegen oft zu beobachten sind eine fehlende oder mangelnde Sicherung der beförderten Kinder (v. a. keine Nutzung von Kinderhelmen, keine oder nicht korrekte Nutzung von Anschnallgurten), insbesondere im Zusammenhang mit der Nutzung von Fahrrad-Anhänger und Lastenrad.

### **3.4.3 Limitationen**

Wie bereits erwähnt, erfolgte die Stichprobenziehung für die Online-Befragung und die Felduntersuchung unsystematisch und nicht nach Zufallsprinzip. Es handelt sich in beiden Fällen um Gelegenheitsstichproben, in denen allerdings eine möglichst breite und ausgewogene Streuung von Personen, Bedarfen und Situationen beachtet worden ist. Der Kreis an Teilnehmenden der Online-Befragung rekrutiert sich aus vorrangig groß- und

mittelgroßen bundesdeutschen Städten mit einem Schwerpunkt in der Region Berlin-Brandenburg und Mecklenburg-Vorpommern. Die Felduntersuchung wurde vorrangig in Berlin und Potsdam umgesetzt. Etwa die Hälfte der Befragungen fand im Herbst und Winter statt, die andere Hälfte im Frühling. Neben teils fahrradbezogenen Veranstaltungen (z. B. VELO-Messe) wurden Personen größtenteils im typischen Alltag befragt (insbesondere vor Kindertages- und Kinderfreizeiteinrichtungen sowie auf Spielplätzen). Befragungssituationen waren zu etwa zwei Drittel an Wochenenden und zu einem Drittel unterhalb der Woche, sowohl in den Morgenstunden als auch im Tagesverlauf bis zum späten Nachmittag. Sowohl bei Teilnahme an der Online-Befragung als auch an der Felduntersuchung wurde darauf geachtet, Antwortverzerrungen durch soziale Erwünschtheit mittels entsprechender Vorkehrungen zu vermeiden (Zusicherung von voller Anonymisierung der Daten; Prüfen und Demonstrieren lassen der Nutzung von Sicherungseinrichtungen). Insbesondere im Zusammenhang mit kritischen Situationen, die aufgrund eigener Fehlbedienungen (mit-)verursacht worden sind, kann allerdings nicht vollständig ausgeschlossen werden, dass bestimmte Handlungs- oder Auslassungsfehler nicht berichtet werden.

Der Aufbau der Onlinebefragung und Aufbau des Interviewleitfadens und des Beobachtungsprotokolls der Felduntersuchung sind in Anhang 9.1 und Anhang 9.2 zu finden.

### **3.5 Statistische Erhebung der Verteilung und Häufigkeit von Kindertransporten auf dem Fahrrad**

Um das allgemeine Nutzungsverhalten beim Kindertransport auf dem Fahrrad über den Rahmen von Online-Befragung und Feldbefragung hinaus beurteilen zu können, wurde in Berlin eine statistische Erhebung zu diesem Thema durchgeführt. Hierbei standen die Nutzungshäufigkeiten der Transportarten sowie das Sicherungsverhalten im Fokus.

#### **3.5.1 Methodik und Rahmenbedingungen**

Bei der Hauptuntersuchung wurde das Aufkommen der Kindertransportkonzepte Fahrrad-Kindersitz, Fahrradanhänger und Lastenrad beobachtet und analysiert, wobei verschiedene Unterarten dieser Transportkonzepte den jeweiligen Oberbegriffen zugeordnet werden. Die Dokumentation umfasst hierbei folgende Aspekte:

- erfasste Gesamtanzahl an Transporten mit dem jeweiligen Transportmittel
- Nutzung von Fahrradhelmen und Sitzgurten
- Vorhandensein einer Motorisierung (sichtbarer Akku oder Elektromotor am Tretlager oder der Achse)
- Allgemeines Aufkommen von Radfahrer:innen.

Die Erfassung beschränkte sich hierbei auf Radfahrer:innen, die einen Kreis von 20 m Radius um den jeweiligen Beobachtungs-Knotenpunkts schneiden und hierbei die Pedale betätigen. Das Schieben oder Tragen von Fahrrädern führte nicht zu einer Erfassung im Rahmen der Zählung.

Als Nebenstudie wurden bei Lastenrädern zusätzlich folgende Merkmale erfasst, um zwischen verschiedenen Arten von Lastenrädern zu unterscheiden:

- Position des Kindes zum Fahrer
- Anzahl der transportierten Kinder
- Anzahl der Spuren des Lastenrades.

Um natürliches Verhalten zu gewährleisten, wurde die Beobachtung verdeckt durchgeführt.

#### **3.5.2 Beobachtungsorte und Zeiten**

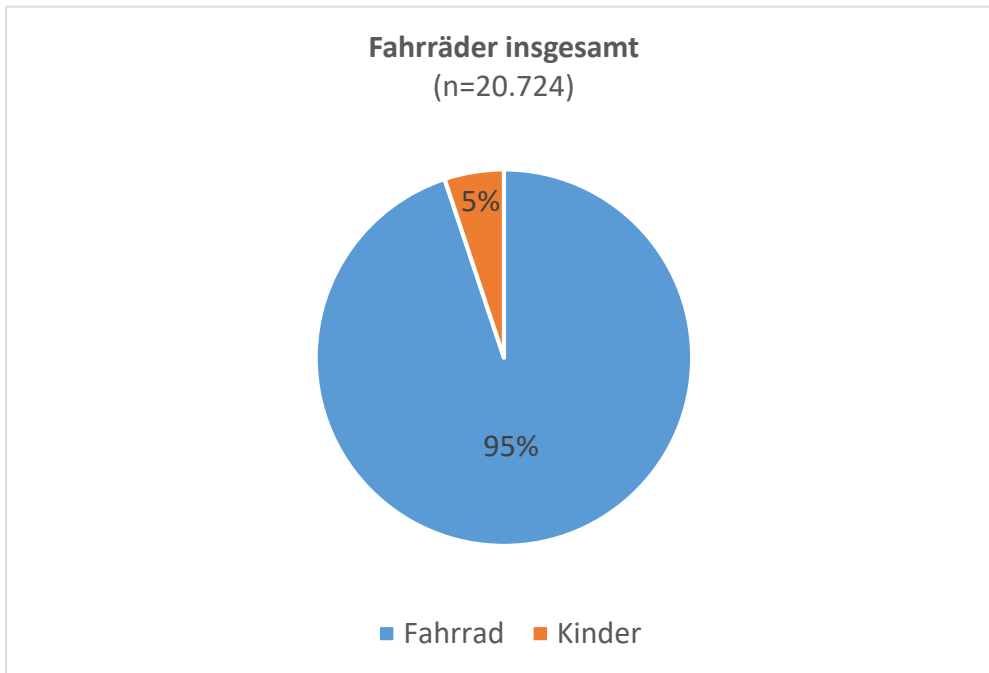
Für die Beobachtung wurden Standorte in Ballungsräumen für Fahrradverkehr gewählt. Diese werden anhand des Jahresberichts 2021 der Radverkehrszählstellen [SEN22] identifiziert. Für die Beobachtung wurden in diesen Ballungsräumen übersichtliche Knotenpunkte (Ampeln, Kreuzungen) von Fahrradstraßen gewählt, welche Nähe oder unmittelbare Anbindungen zu Kindergärten aufweisen. Insgesamt wurden fünf Beobachtungsknotenpunkte in den Berliner Bezirken Wilmersdorf, Friedrichshain, Kreuzberg, Mitte und Pankow definiert. Die Beobachtung fand

werktags von 7:30 Uhr bis 9:30 Uhr sowie 16:30 Uhr bis 18:30 Uhr statt. Dies entspricht den Hauptzeiten für Kindertransport zu und von den Kindergärten.

### 3.5.3 Beobachtungen

#### 3.5.3.1 Radverkehrsaufkommen

Insgesamt wurden in der Hauptstudie in 15 Stichproben  $n=20.724$  Radfahrer:innen erfasst. Abbildung 68 zeigt die dabei erfasste Verteilung auf Radverkehr ohne Kindertransport und Radverkehr mit Kindertransport in den hier behandelten Transportkonzepten. Ca. 5 % der beobachteten Radfahrer:innen ( $n=1.058$ ) haben mindestens ein Kind transportiert.



**Abbildung 68: Beobachtetes Radverkehrsaufkommen**

Die Detaillierte Verteilung der beobachteten Transportmethoden ist in Abbildung 69 dargestellt. Mit einem Anteil von 53 % ist der Kindersitz gemäß der Beobachtung das am häufigsten genutzte Transportmittel. Mit einem Anteil von 37% wurde das Lastenrad ebenfalls deutlich häufiger beobachtet als der Anhänger, der lediglich 10 % der beobachteten Kindertransportfälle ausmacht.

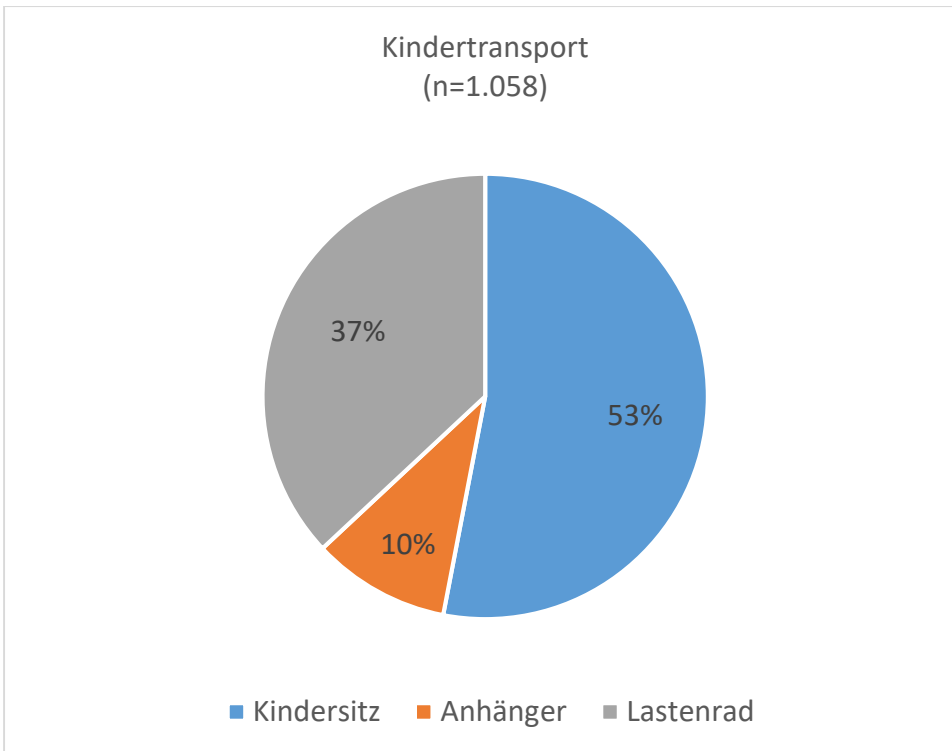


Abbildung 69: Verteilung der beobachteten Methoden zum Kindertransport

### 3.5.3.2 Sicherungsverhalten

Bezüglich des Sicherungsverhaltens wurde die Nutzung von Helmen und Sicherheitsgurten dokumentiert. Die Erfassung der Gurtnutzung war jedoch aufgrund der unklaren Erhebungsmethode nicht ausreichend belastbar, weswegen sich die Analyse des Sicherungsverhaltens auf die Helmnutzung beschränkt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 70 dargestellt.

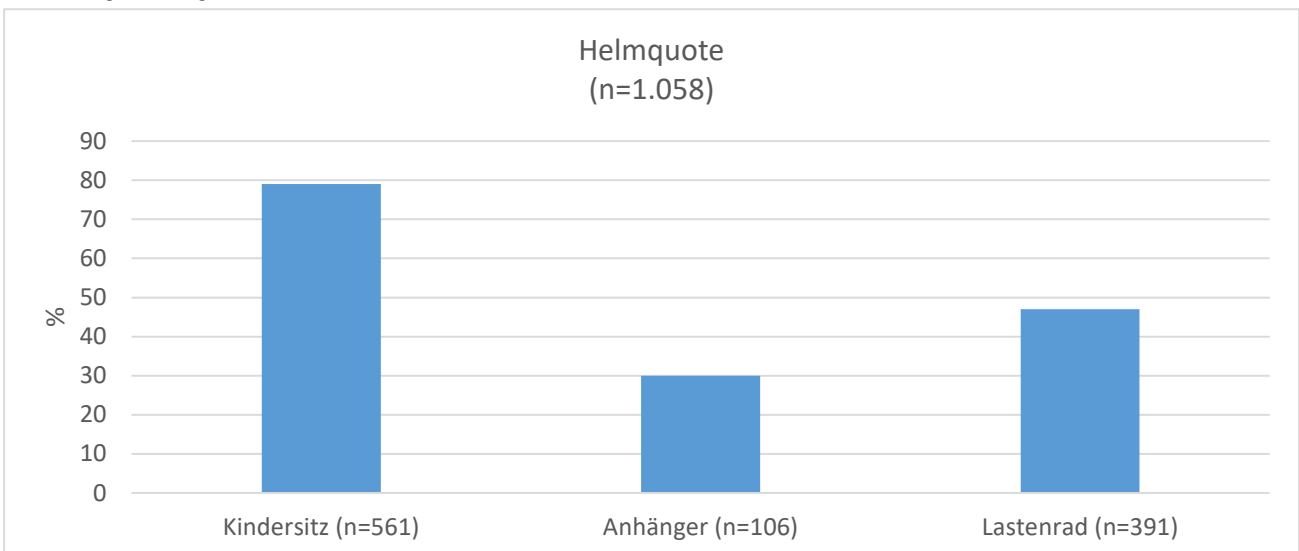
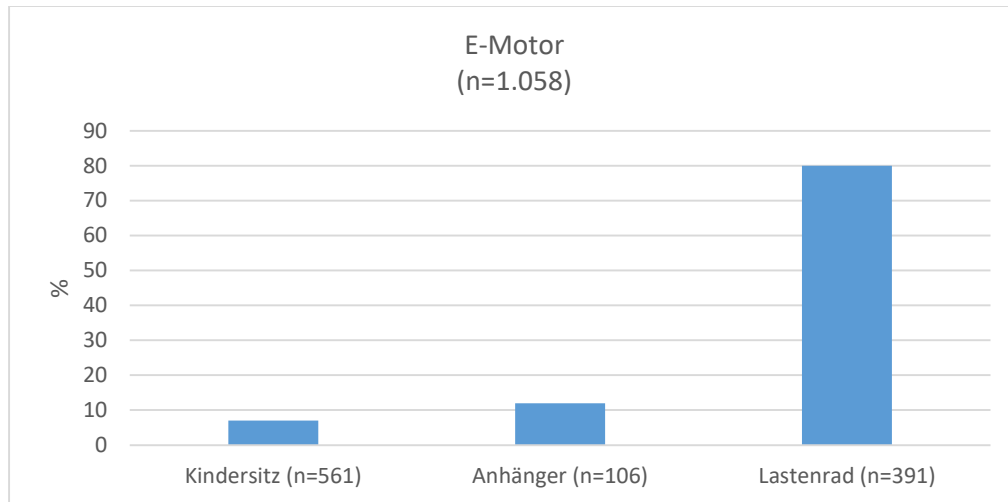


Abbildung 70: Helmnutzung

Während im Kindersitz ein Großteil der beobachteten Kinder Helme trugen, war es beim Lastenrad ungefähr die Hälfte und im Anhänger etwa ein Drittel. Dies suggeriert, dass mit einem höheren Ausmaß an wahrgenommenem Schutz durch die Geometrie des Transportmittels eine höhere Bereitschaft für den Verzicht auf die zusätzliche Sicherung durch einen Helm einhergeht.

### 3.5.3.3 Vorhandensein eines Elektromotors

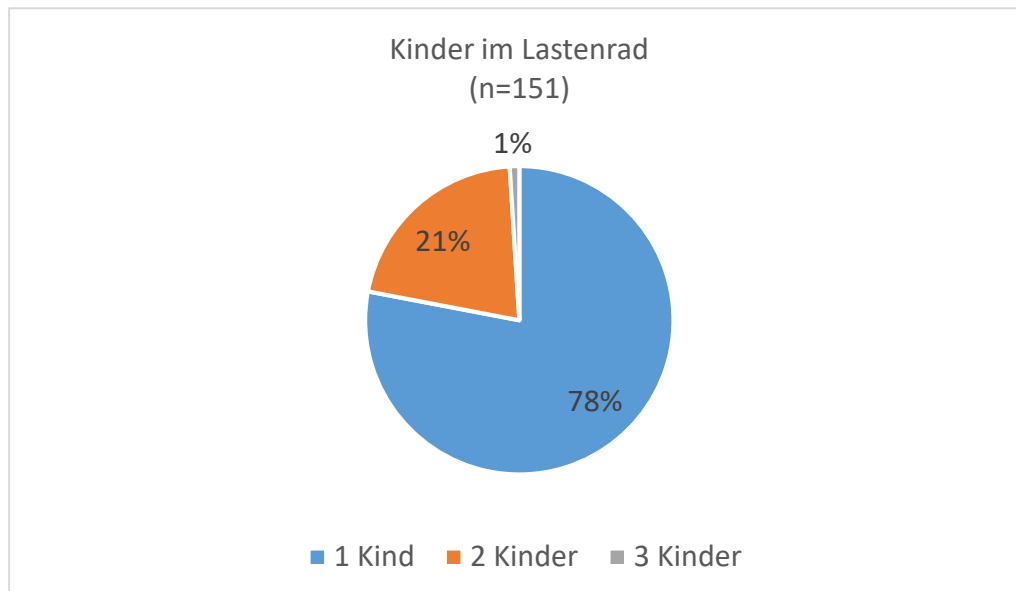


**Abbildung 71: Anteile elektromotorisierter Fahrräder**

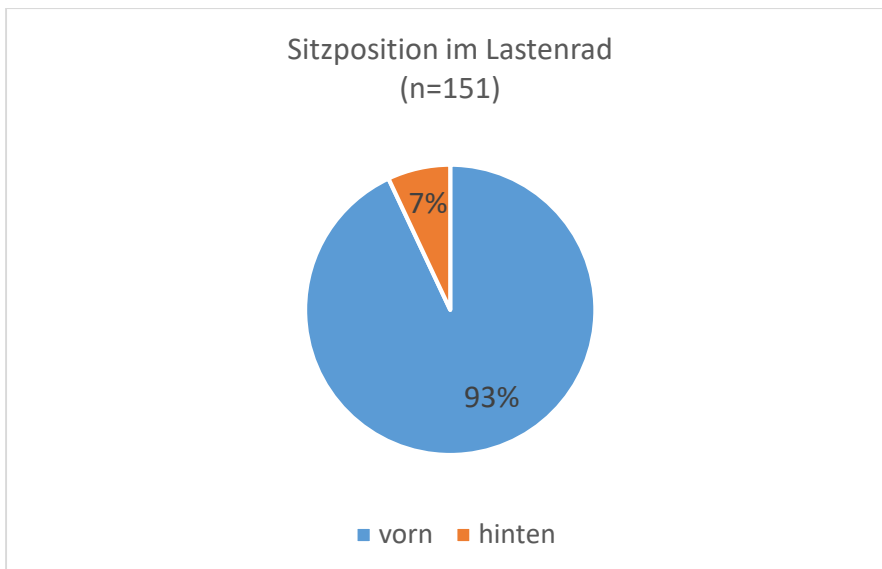
Abbildung 71 zeigt die beobachtete Häufigkeit motorisierter Fahrräder. Während Anhänger und Kindersitze hauptsächlich in Verbindung mit herkömmlichen Fahrrädern beobachtet wurden, war ein Großteil der beobachteten Lastenräder elektrisch angetrieben.

### 3.5.3.4 Nebenstudie zum Lastenrad

Im Rahmen einer ergänzenden Nebenstudie wurden bei n=151 Lastenrädern Beobachtung bezüglich der Art des verwendeten Lastenrads gemacht. Abbildung 72 zeigt die beobachtete Anzahl an Kindern innerhalb der Lastenräder. Hierbei ist auffällig, dass trotz der Möglichkeit zwei oder mehr Kinder im Lastenrad zu transportieren, in 78 % der Fälle ein Kind transportiert wurde. Mehr als zwei Kinder wurden nur in einem Prozent der Fälle transportiert.

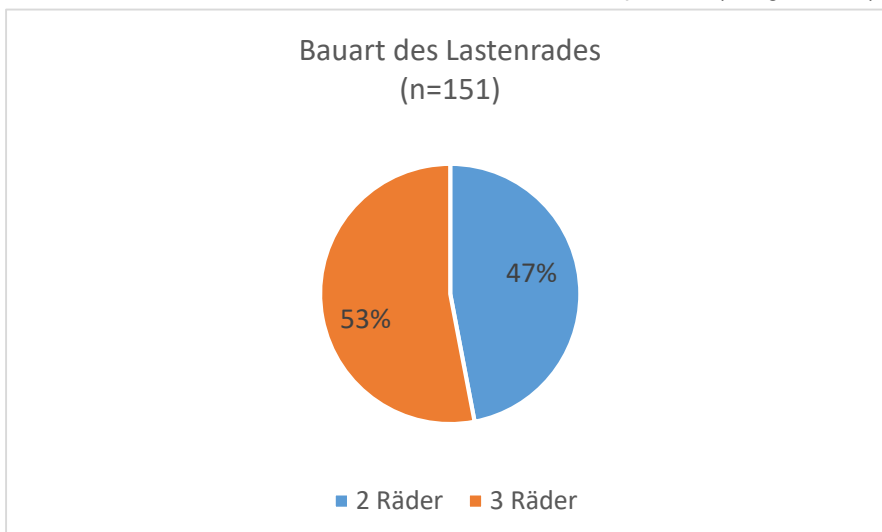


**Abbildung 72: Anzahl der Kinder im Lastenrad**



**Abbildung 73: Sitzposition der Kinder im Lastenrad**

Abbildung 73 zeigt die Häufigkeit von Lastenrädern mit der Transportbox vor, beziehungsweise hinter den Fahrer:innen. Lastenräder mit hinten befindlicher Transportbox (Longtail-Rad) bilden hier mit 7 % die Ausnahme.



**Abbildung 74: Verhältnis Einspuriger Lastenräder zu zweispurigen Lastenrädern**

Ca. 53 % der beobachteten Lastenräder sind zweispurig (s. Abbildung 74). Das bestätigt die in vorherigen Abschnitten bereits beschriebenen Beobachtungen, dass insbesondere zum Transport von Kindern die standstabileren Trikes die etwas beliebtere Transportvariante darstellen.

### 3.5.4 Zusammenfassung

Im Rahmen der hier erhobenen Statistik wurde ein Anteil des Radverkehrsaufkommens mit Kindertransport von 5 % erfasst. Hierbei wurden Kinder primär mit dem Kindersitz transportiert, gefolgt vom Lastenrad. Im Kindersitz ist mit 79 % die Helmnutzungsquote am höchsten, während im Fahrradanhänger mit 30 % die geringste Helmnutzungsquote erfasst wurde. Elektrische Antriebe wurden hauptsächlich bei Lastenrädern beobachtet, von denen Trikes und Long-John-Räder den Großteil ausmachen.



## 4 Untersuchungen zur passiven und aktiven Sicherheit verschiedener Fahrradkonzepte

In diesem Kapitel werden verschiedene Ansätze beschrieben, mit denen die aktive und passive Sicherheit verschiedener Transportmöglichkeiten von Kindern auf dem Fahrrad untersucht werden. Anhand von identifizierten Unfallszenarien aus dem Kapitel 2 werden spezifische Risiken sowohl in der alltäglichen Benutzung als auch im Unfallgeschehen herausgearbeitet.

Zur Untersuchung der aktiven Sicherheit und der allgemeinen Gebrauchssicherheit, wurden zwei parallele, sich ergänzende Ansätze verfolgt. Zum einen wurde ein Messfahrrad aufgebaut, welches alle fahrdynamischen Kenngrößen erfassen kann. Diese Messungen können am Lastenrad und auch am klassischen Fahrrad mit Anhänger bzw. Kindersitz durchgeführt werden. Ergänzend dazu wurde eine Fahrdynamiksimulation erarbeitet, welche das fahrdynamische Verhalten aller Transportkonzepte abbilden kann.

Mittels beider Ansätze lassen sich spezifische Herausforderungen im fahrdynamischen Bereich, die sich aus den Konzepten der einzelnen Transportvarianten ergeben, herausarbeiten und Situationen, die im Grenzbereich der Fahrphysik stattfinden, sicher untersuchen.

Ergänzend dazu wurden im Rahmen einer studentischen Abschlussarbeit Untersuchungen zum Überholabstand durchgeführt. Für alle drei Transportkonzepte und für verschiedene Radweginfrastruktur wird dabei untersucht, wie groß der Abstand zwischen überholendem Fahrzeug und Fahrrad ist.

Zur detaillierten Untersuchung der Wirkweisen im Unfall, wurden zunächst Crashversuche durchgeführt. Basierend auf diesen Versuchen konnten anschließend Crashsimulationen durchgeführt werden. Für die Simulationen wurden für alle Transportkonzepte detaillierte FEM-Modelle erstellt. Mit diesen Modellen konnten dann verschiedenste Crashszenarien durchgerechnet werden.

### 4.1 Realversuche zur Erfassung fahrdynamischer Daten

#### 4.1.1 Aufbau eines Messfahrrads

Zur Erfassung realer fahrdynamischer Daten, wird ein Messfahrrad mit der Möglichkeit der Anbringung von einem Anhänger und einem Kindersitz sowie ein Mess-Lastenfahrrad aufgebaut. Die Messdatenerfassung basiert hierbei auf einem Raspberry Pi, das als Messcomputer dient.

Um die Bremskraft zu erfassen, werden Kraftsensoren an den Bremshebeln montiert, die über HX711-Chips am Raspberry Pi ausgelesen werden. Abbildung 75 und Abbildung 76 zeigen die Anbringung der Bremskraftsensoren.

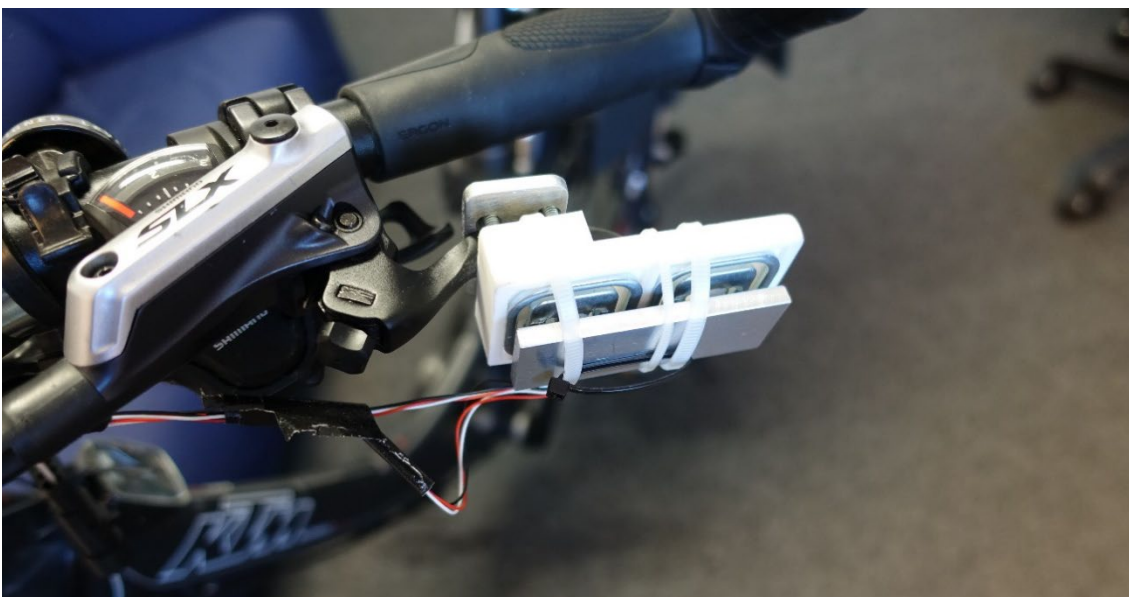


Abbildung 75: Bremskraftsensor

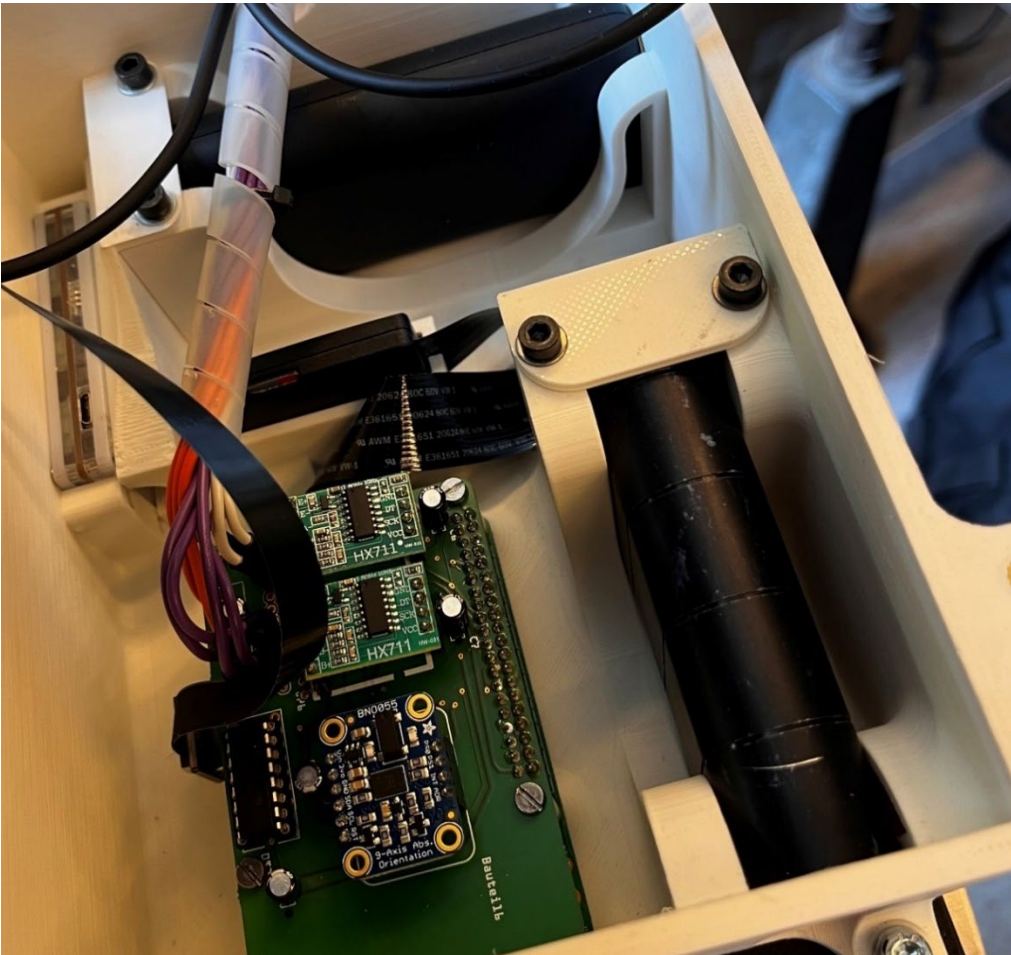


**Abbildung 76: Befestigung des Kraftsensors am Bremshebel**

Um die Orientierung, Winkelgeschwindigkeiten und Beschleunigungen in den drei Hauptraumrichtungen zu erfassen wird ein AdaFruit BNO055 Orientierungssensor, auf Englisch Inertial Measurement Unit (IMU) verwendet. Diese IMU ist direkt auf einer an das Raspberry Pi angeschlossene, speziell für das Messfahrrad hergestellte, Platine befestigt. Die Platine wird gemeinsam mit portablen Spannungsquellen in einer eigens entworfenen und additiv gefertigten „Messbox“ befestigt. Diese sorgt zum einen für Schutz vor Stößen oder bei Stürzen und zum anderen Schutz vor Wiedereinflüssen (z.B. Regen). Diese Messbox wird am Fahrradrahmen befestigt, sodass sie von Lenkbewegungen unabhängig ist (s. Abbildung 77 und Abbildung 78).

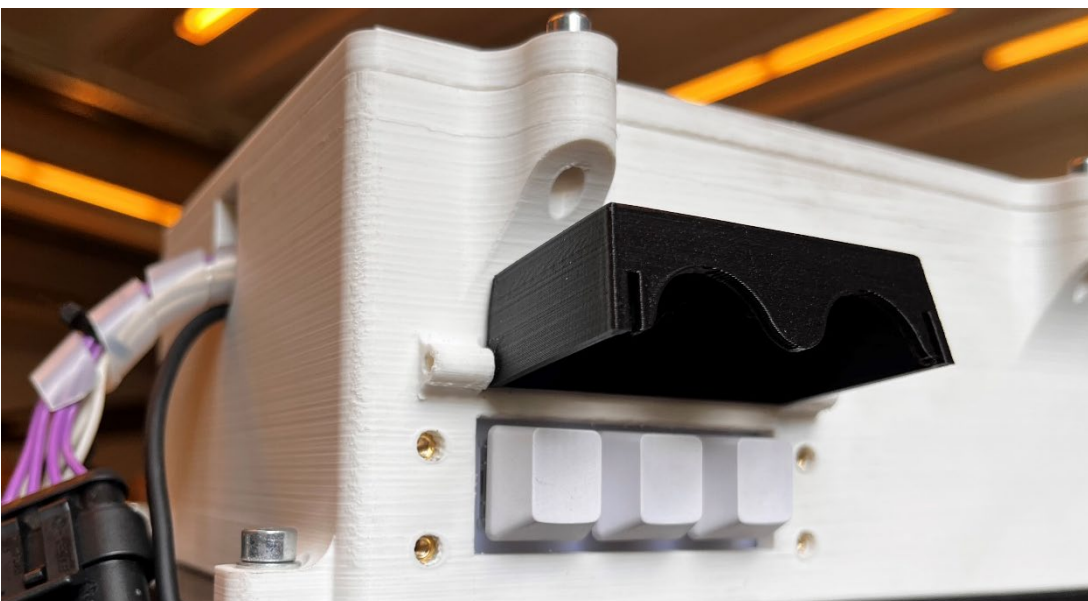


**Abbildung 77: Befestigung des Messbox auf dem Messfahrrad**



**Abbildung 78: Elektronische Komponenten in der Messbox**

Um zu gewährleisten, dass Messungen ohne das Anschließen von externen Bildschirmen oder Tastaturen gestartet, beendet, und überwacht werden können, werden in der Messbox eine programmierbare Tastatur sowie ein mit dem Raspberry Pi kompatibles Display verbaut (s. Abbildung 79 und Abbildung 80).



**Abbildung 79: Steuerungselement der Messbox**



**Abbildung 80: Messbox-Display zur Überwachung von Messungen**

Um zusätzlich den Lenkwinkel messen zu können, wird an der Lenkachse ein Potentiometer befestigt. Eine schematische Darstellung der verwendeten Sensoren ist in Abbildung 81 zu finden.

Raspberry PI zur Datenverarbeitung  
und dreiachsigen Orientierungs- und  
(Winkel-)Beschleunigungserfassung

Potentiometer  
zur Erfassung  
des Lenkwinkels



Kraftsensoren zur  
Bremskraftmessung

Hall-Sensor zur Geschwindigkeitsmessung (verbunden  
mit von Werk aus montiertem Fahrradcomputer)

**Abbildung 81: Schematische Darstellung des Messfahrrads**

Beim Lastenfahrrad wird die Messbox auf dem hinteren Gepäckträger montiert (s. Abbildung 82).



Abbildung 82: Anbringung der Messbox auf dem Lastenfahrrad

#### 4.1.2 Fahrdynamik des Fahrrads

Für die Beschreibung und Evaluation der Fahrdynamik sowie die Benennung und Zuordnung von Messgrößen wird ein wissenschaftlich anerkanntes Fahrdynamik-Modell für Fahrräder verwendet. Hierbei handelt es sich um das Fahrrad-Modell nach Whipple [WHI99]. Dieses besteht aus vier Starrkörpern (s. Abbildung 83) mit teilweise eingeschränkten Freiheitsgraden. Mit dem Rahmen  $R$  als Bezugssystem sind alle Freiheitsgrade des Hinterrads  $H$ , außer der Rotation um die körpereigene  $y$ -Achse gesperrt. Analoge Bedingungen gelten für das Vorderrad  $V$  mit dem Unterschied, dass hier die Lenkeinheit  $L$  das Bezugssystem bildet. Die Verbindung von  $R$  und  $L$  erfolgt über ein Drehgelenk, welches eine Rotation von  $L$  um die Lenkachse ermöglicht. Des Weiteren werden für die Anwendung des Whipple- Modells folgende Annahmen getroffen:

- Ständiger Bodenkontakt von Vorder- und Hinterrad
- Die einzelnen Körper sind unendlich steif
- Die Reibung des Rollkontakts zwischen Rädern und Straße wird vernachlässigt
- Die fahrende Person wird als Teil des Rahmens betrachtet

Der Lenkwinkel wird mit  $\delta$  bezeichnet, der Lehnwinkel mit  $\phi$  und der Gierwinkel um die  $z$ -Achse mit  $\psi$ .

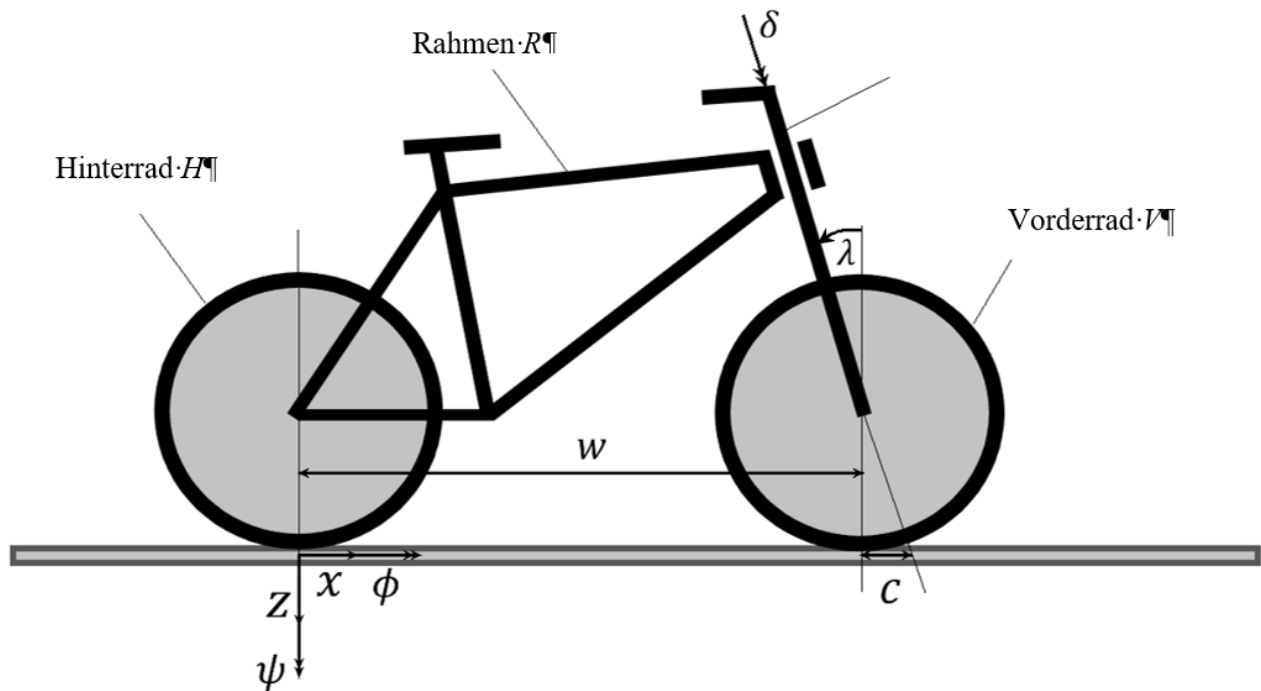


Abbildung 83: Fahrrad-Modell nach Whipple

### 4.1.3 Versuchsszenarien und Bewertungskriterien

#### 4.1.3.1 Gefahrenbremsung

Mit den vorhandenen Transportmitteln werden Gefahrenbremsungen auf ebenem Untergrund bei einer Ausgangsgeschwindigkeit von 20 km/h durchgeführt. Hierbei werden die Bremsverzögerung, respektive der Bremsweg und die seitliche Stabilität des Fahrrads bewertet (s. Abbildung 84).

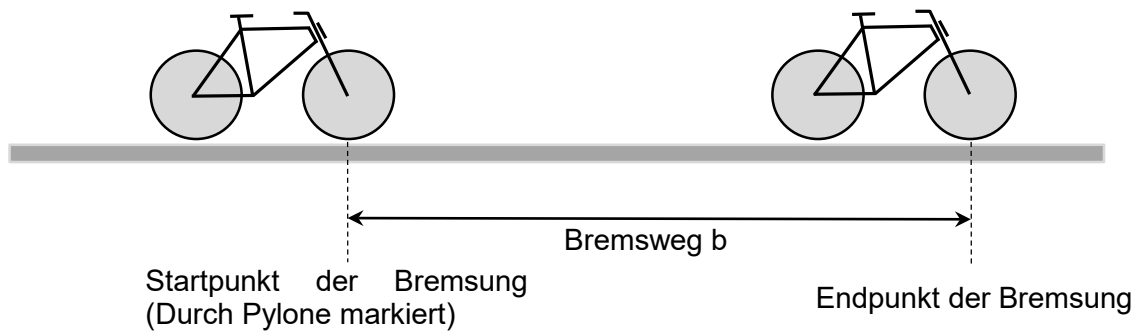


Abbildung 84: Schematische Darstellung der Gefahrenbremsung

### 4.1.3.2 Slalom-Fahrt

Es wird auf ebenem Untergrund eine Slalomstrecke mit sechs Pylonen aufgebaut, wobei die einzelnen Pylonen auf einer geraden Strecke in einem Abstand von je 4 m zueinander aufgebaut werden. Ziel ist es hierbei, den Slalom in einer möglichst kurzen Zeit zu durchqueren, ohne die aufgebauten Pylonen zu berühren. Dieses Fahrmanöver liefert Informationen über das dynamische Kurvenverhalten und die Beherrschbarkeit häufiger Richtungswechsel. Die Slalom-Fahrt ist schematisch in Abbildung 85 dargestellt.

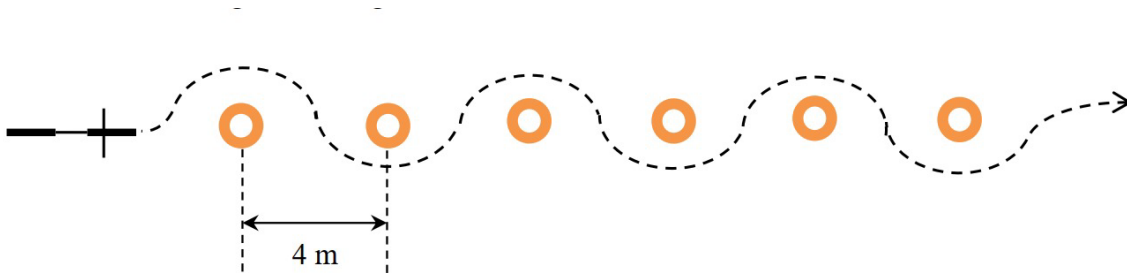


Abbildung 85: Schematische Darstellung der Slalom-Fahrt

### 4.1.3.3 Kreisfahrt mit ansteigender Geschwindigkeit

Auf einer ebenen Fläche wird eine Kreisbahn mit Radius  $r=5\text{ m}$  vorgegeben (s. Abbildung 86), der gefolgt werden muss. Die fahrende Person wird hierbei angewiesen, mit einer niedrigen Fahrgeschwindigkeit zu starten und diese kontinuierlich zu erhöhen, bis ein stabiles Einhalten der vorgegebenen Kreisbahn nicht mehr möglich ist. Kann die fahrende Person eine Fahrgeschwindigkeit von  $15\text{ km/h}$  erreichen, ist sie angewiesen diese für zwei vollständige Kreisfahrten nach Möglichkeit einzuhalten. Sollte die fahrende Person bereits bei einer niedrigeren Geschwindigkeit nicht in der Lage sein, die vorgegebene Kreisbahn einzuhalten, wird sie im Anschluss angewiesen, zwei Kreisbahnen mit einer konstanten, ohne Schwierigkeiten einzuhaltenden Geschwindigkeit zu fahren.

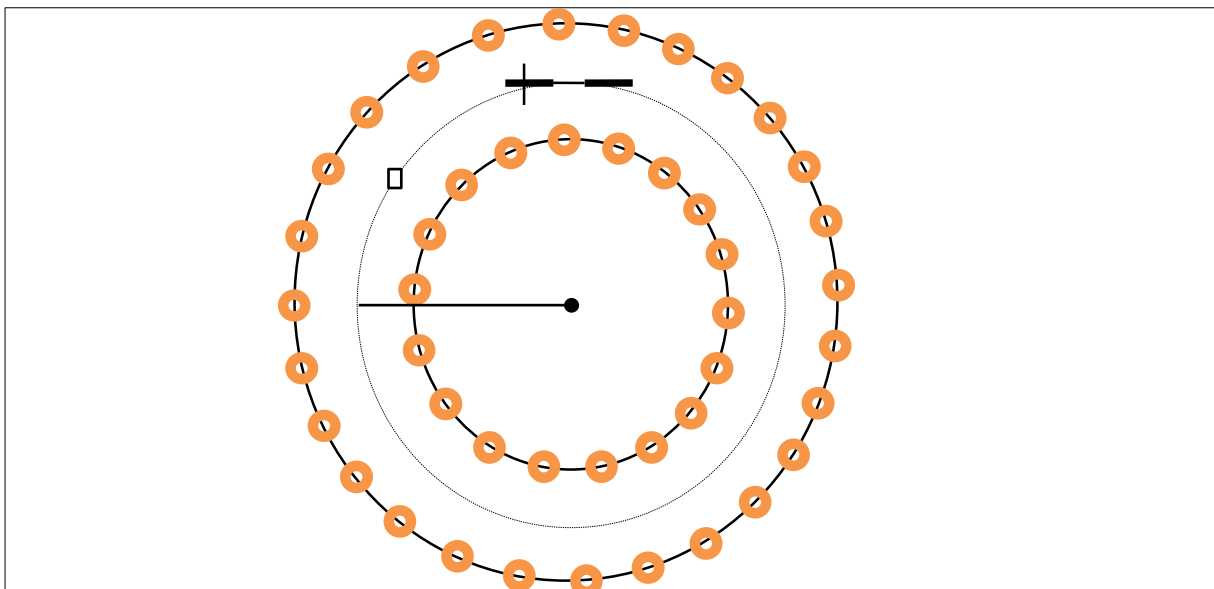


Abbildung 86: Schematische Darstellung der Kreisfahrt

### 4.1.3.4 Ausweichmanöver

Die fahrende Person befindet sich in der stationären Geradeausfahrt mit einer Geschwindigkeit von  $20\text{ km/h}$ . An einer festgelegten Stelle wird durch Pylonen ein auszuführendes Ausweichmanöver, vergleichbar mit dem Verhalten

in einer Dooring-Situation, vorgegeben (s. Abbildung 87). Dieses Ausweichmanöver gleicht in der Form einem schnellen Spurwechsel. Hierbei wird zwischen einzelnen Versuchen der Winkel  $\gamma$  variiert, in dem das Ausweichmanöver durchgeführt wird. Ziel dieser Versuche ist es, zum einen die Stabilität des Systems beim Ausweichen zu beurteilen und zum anderen zu evaluieren, bei welchem Grenzwinkel ein Ausweichen ohne Berühren der Pylonen nicht mehr möglich ist. Hierbei wird der Winkel  $\gamma$  zwischen vier diskreten Stufen variiert.

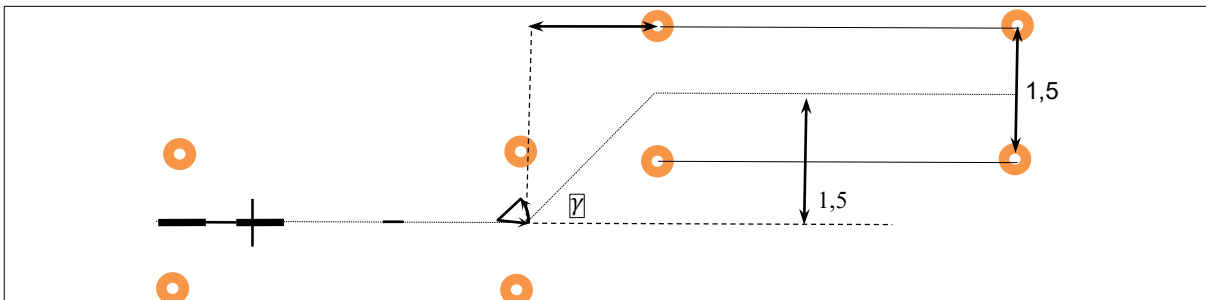


Abbildung 87: Schematische Darstellung des Ausweichmanövers

#### 4.1.3.5 Stabilitäts- und Agilitätskriterien

Zur Beurteilung der Stabilität und Agilität anhand der erfassten Messwerte werden Stabilitäts- und Agilitätskriterien aus den Untersuchungen von Ingenlath [ING19] verwendet.

Ein Kriterium zur Beurteilung der Stabilität nach einer Störung, wie etwa einer Vollbremsung oder einer Ausweichbewegung ist nach [ING19] der Stabilitätsindex  $S_\phi$ . Dieser berechnet sich aus dem Betrag des Verhältnisses des ersten und zweiten Extremums der Lehnwinkelbeschleunigung  $\ddot{\phi}$ .

$$S_\phi = \left| \frac{\ddot{\phi}_1}{\ddot{\phi}_2} \right|$$

Ein weiteres Kriterium für die Stabilität nach Ingenlath ist der Stabilitätsindex Lenkwinkel  $S_\delta$ . Dieser lässt sich wie folgt berechnen:

$$S_\delta = \frac{1}{\int_{t_0}^{t_{end}} |\phi| dt \cdot \int_{t_0}^{t_{end}} |\delta| dt}$$

In diesen Stabilitätsindex fließen sowohl der betragsmäßige Lenkwinkel als auch der betragsmäßige Lehnwinkel im Integral über die Zeit ein. Ein hoher Wert dieses Stabilitätsindex korreliert mit einer hohen Stabilität. Fahrmanöver, bei denen wenige bzw. kleine Lenk- und Lehnbewegungen stattfinden, werden dementsprechend als stabiler eingeordnet.

Um den Einfluss der Manöver-Dauer zu kompensieren, wird der Stabilitätsindex Lenkwinkel für die Anwendung in dieser Untersuchung wie folgt modifiziert:

$$S_{\delta m} = \frac{1}{\int_{t_0}^{t_{end}} |\phi| dt \cdot \int_{t_0}^{t_{end}} |\delta| dt} \cdot (t_{end} - t_0)^2$$

Um die Agilität eines Fahrrads zu beurteilen, kann unter Anderem der statische Lenkkennwert LK verwendet werden. Dieser lässt sich nach [ING19] wie folgt berechnen.

$$LK = \delta \cdot R$$



#### 4.1.4 Weitere Rahmenbedingungen

Die Fahrdynamik-Versuche werden auf ebener Asphaltfläche und ausschließlich bei trockener Fahrbahn durchgeführt. Für alle Versuche wird ein Kinderdummy verwendet, der eine Masse von 22 kg aufweist. Dies entspricht dem maximal zulässigen Gewicht für den verwendeten Fahrrad-Kindersitz. Für jedes Transportmittel wird exakt ein Kinder-Dummy verwendet. In jedem Fall wird der Dummy mithilfe der vorhandenen Sicherheitsgurte im Sitz befestigt. Hierbei wird auf eine ausreichende Spannung der Gurte geachtet. Beim Kindersitz werden zudem die vorhandenen Fußrasten verwendet. Beim Lastenfahrrad ist bereits das Phänomen bekannt, dass bei hohen Kurvengeschwindigkeiten ein Kippen nach außen auftreten kann. Um hier einen möglichst kritischen Fall darzustellen, wird der Kinderdummy im Lastenrad auf der rechten Seite der Transportbox platziert, während der Kreis entgegen dem Uhrzeigersinn durchfahren wird.

#### 4.1.5 Ergebnisse

Die Versuche wurden mit insgesamt 13 Proband:innen durchgeführt. Hierbei ist anzumerken, dass eine Probandin den Kindersitz als zu instabil empfand und somit das Absolvieren der Referenzszenarien mit dem Kindersitz und dem darin befindlichen Dummy ablehnte. Vor Durchführung der Versuche wurden die Proband:innen bezüglich ihres Alters, Geschlechts und Nutzungsverhalten bezüglich sowohl Fahrrädern im Allgemeinen als auch den verwendeten Kindertransportmitteln befragt. Der Großteil der Befragten war vor Durchführung der Versuche ungeübt im Umgang mit den verwendeten Kindertransportmitteln. Eine deutliche Korrelation zwischen der persönlichen Fahrradnutzung und den Ergebnissen der Testfahrten konnte nicht festgestellt werden. Lediglich zwei Proband:innen mit stark überdurchschnittlicher Fahrradnutzung haben sich erheblich von der restlichen Proband:innengruppe abgehoben.

##### 4.1.5.1 Gefahrenbremsung

Der Kindersitz führte in einigen Fällen nach vollendeter Bremsung zu einem beinahe oder vollständigen Umkippen des Fahrrads. Dies resultiert aus dem deutlich erhöhten Schwerpunkt des Fahrrads, welcher bei einem Verlassen der neutralen Lage im Stand, etwa unmittelbar nach Ende der Bremsung, ein großes Kippmoment auslöst. Dieses kann außerhalb des eigenstabilen Bereichs nur schwer durch den Fahrer oder die Fahrerin abgefangen werden (s. Abbildung 88).



Abbildung 88: Kindersitz kippt nach vollendeter Bremsung

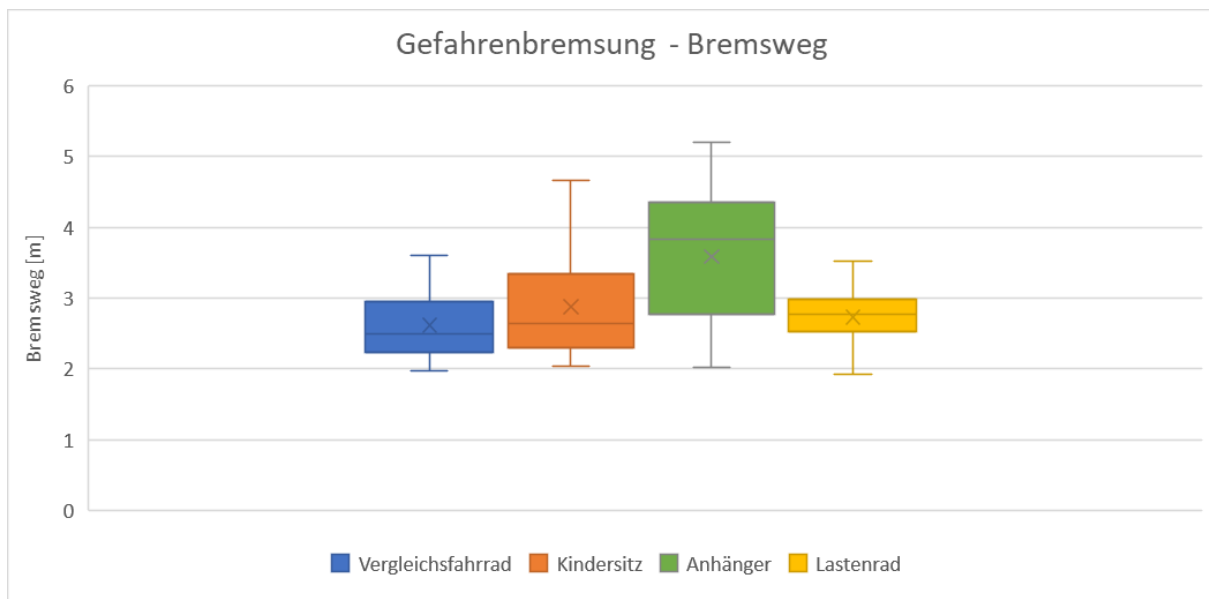
Der Fahrradanhänger stellte sich in sechs von 13 Versuchen beim Bremsen quer und sorgte damit für subjektiv als stark wahrgenommene Schwierigkeiten beim Stabilisieren (s. Abbildung 89).



**Abbildung 89: Anhänger stellt sich bei der Gefahrenbremsung quer**

Das Querstellen ist als kritisch zu betrachten, da es in einer realen Situation möglicherweise zu einem Eintreten in die benachbarte Spur beziehungsweise den Gegenverkehr führen kann.

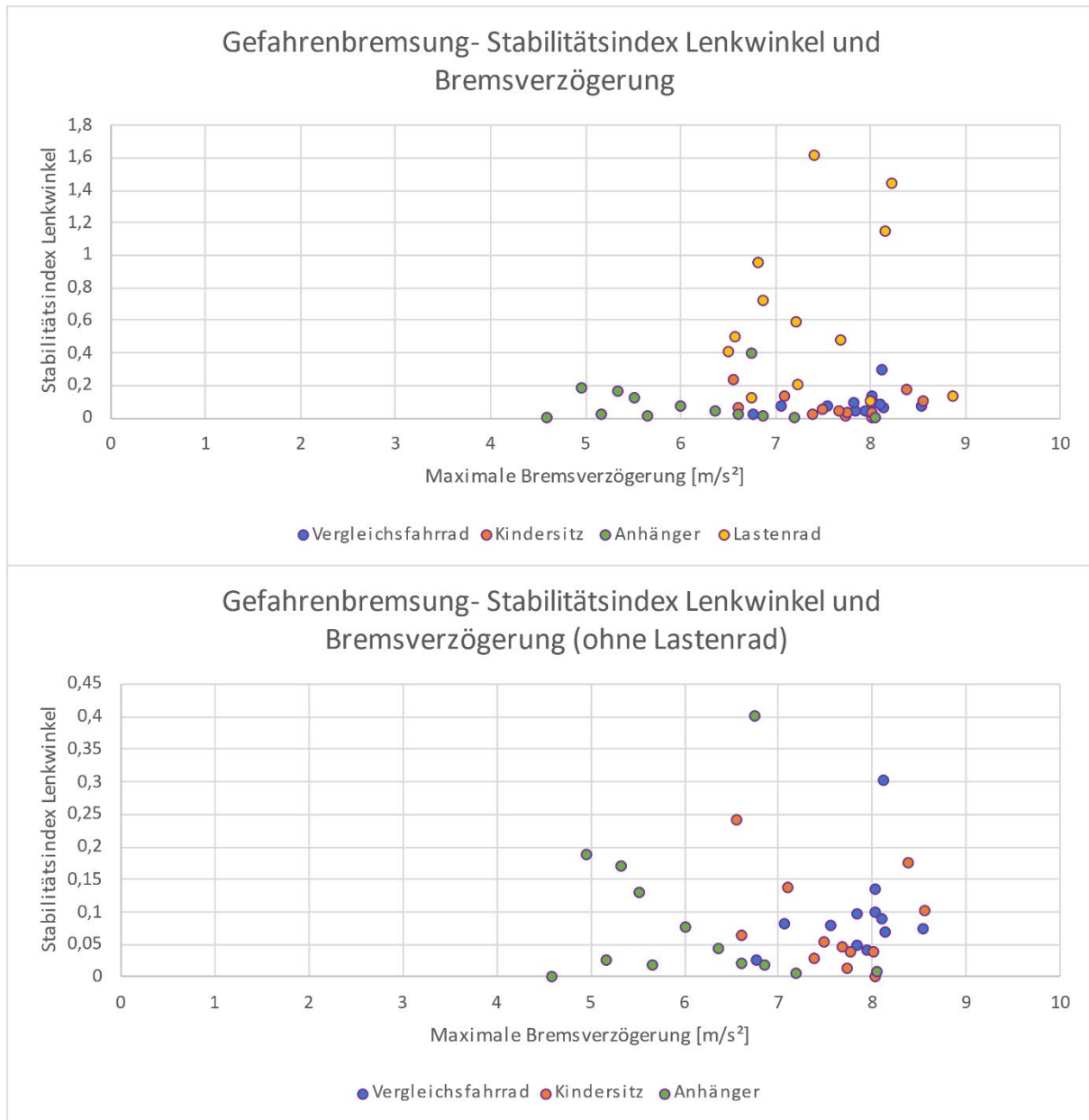
Aus dem Verlauf der Längsbeschleunigung lässt sich mithilfe von doppelter zeitlicher Integration der Bremsweg berechnen. Hierbei ist zu beachten, dass die Beschleunigungsdaten bei den Messungen des herkömmlichen Fahrrads und den dazugehörigen Transportmitteln mit einem Mittelwertfilter gefiltert werden, da diese für die Verwendung ohne Filterung zu stark verrauscht sind. Die berechneten Bremswege sind Abbildung 90 dargestellt.



**Abbildung 90: Berechnete Bremswege**

Mit dem Lastenrad werden ähnlich kurze Bremswege erreicht wie mit dem Vergleichsfahrrad. Beim Lastenrad ist zudem eine deutlich geringere Streuung in den Bremswegen zu beobachten als bei den anderen Transportmethoden. Mit dem Fahrradanhänger ist sowohl der Median als auch die Streuung des Bremswegs am größten.

Zusätzlich zum berechneten Bremsweg werden die maximal erreichte Bremsverzögerung und der modifizierte Stabilitätsindex Lenkwinkel ausgewertet. Diese sind in Abbildung 91 dargestellt. Die maximale Bremsverzögerung wird über drei Messwerte gemittelt. Der Stabilitätsindex Lenkwinkel ist in diesem Kontext ein Maß dafür, wie viel Lenk- und Lenkarbeit zur Stabilisierung des Bremsvorgangs benötigt wird. Ein hoher modifizierter Stabilitätsindex Lenkwinkel entspricht einer geringen verrichteten Lenk- und Lenkarbeit.



**Abbildung 91: Maximale Bremsverzögerung und Stabilitätsindex Lenkwinkel bei der Gefahrenbremsung**

Mit dem Lastenrad werden im Rahmen der Gefahrenbremsung sowohl absolut als auch im Median die höchsten Werte beim modifizierten Stabilitätsindex Lenkwinkel erreicht. Dies ist aufgrund der im Normalfall nicht vorhandenen Lehnbewegung des dreirädrigen Lastenrads nachvollziehbar. Der Kindersitz schneidet schlechter ab als das Vergleichsfahrrad, das System mit Anhänger wiederum schlechter als der Kindersitz. Bei den maximalen Bremsverzögerungen sind die gewonnenen Erkenntnisse analog zu den Bremswegen.

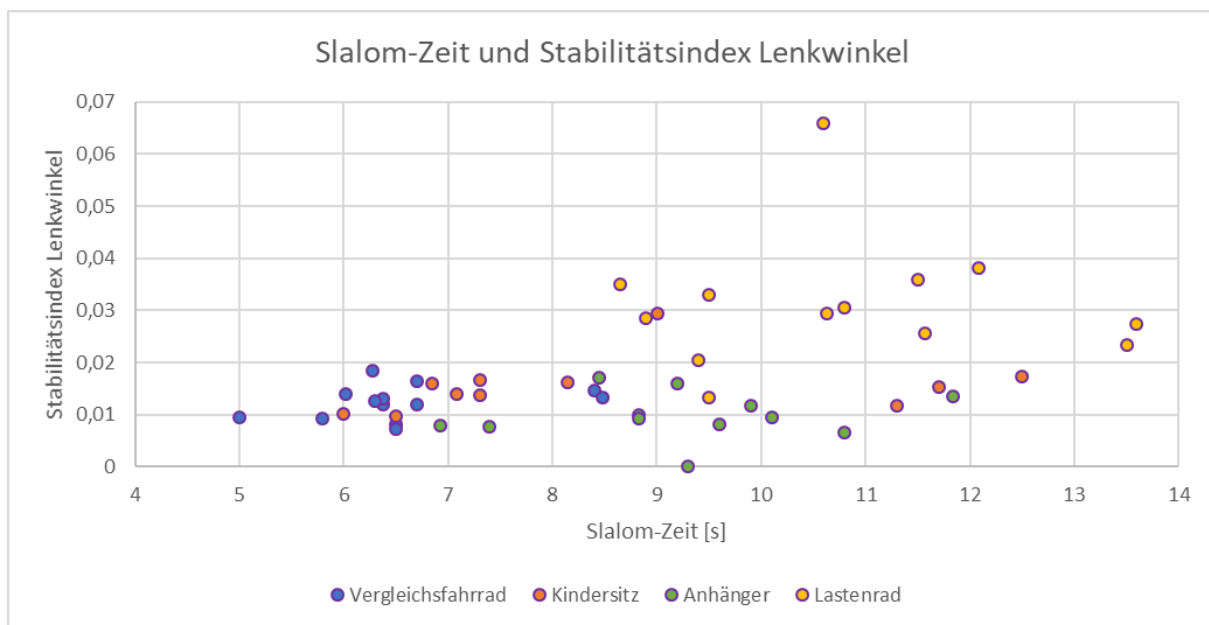
#### 4.1.5.2 Slalomfahrt

Während beim Absolvieren des Slalom-Manövers mit dem Vergleichsfahrrad weder Probleme beim Stabilisieren noch beim fehlerfreien Absolvieren zu beobachten waren, berichtete ein großer Teil der Proband:innen von signifikanten Stabilisierungsproblemen beim Absolvieren der Slalomfahrt mit dem Kindersitz. Vor allem das starke Mitschwingen des elastisch gelagerten Kindersitzes bei Richtungswechseln wurde als herausfordernd beschrieben. Trotz der Instabilität können die Proband:innen enge Kurvenradien, ähnlich zum Vergleichsfahrrad, fahren.

Das Kurvenverhalten des Fahrradanhängers wurde von einem großen Teil der Proband:innen zunächst falsch eingeschätzt, was dazu führte, dass viele Proband:innen in der Eingewöhnungsphase Pylonen mit dem Anhänger erfassten. In zwei Fällen wurde auch in der Mess-Phase ein zweiter Versuch zum fehlerfreien Absolvieren benötigt. Bei fehlerfreiem Absolvieren werden größere Kurvenradien gefahren als bei Vergleichsfahrrad oder Kindersitz. Dies ist bedingt durch Spurbreite und Trajektorie des Fahrradanhängers

Das Lastenrad erwies sich in der Slalom-Fahrt ebenfalls als herausfordernd für viele Proband:innen. In fünf Fällen hob das Lastenrad in mindestens einer der Kurven mit einem Vorderrad ab, was teils auch im beinahe vollständigen Kippen resultierte. Zudem mussten Proband:innen aufgrund der breiten Transportbox weitere Kurven fahren als mit dem Vergleichsfahrrad, und sich im Allgemeinen aufgrund der Kippgefahr auf geringere Geschwindigkeiten beschränken.

Eine grafische Darstellung der erfassten Daten ist in Abbildung 92 zu sehen. Der Stabilitätsindex Lenkwinkel ist in diesem Fall weniger ein Maß der Stabilität und eher ein Maß für die verrichtete Lenk- und Lehnarbeit relativ zur für das Absolvieren des Slaloms benötigten Zeit. Ein System, mit dem weitere Kurven mit größeren Lehn- und Lenkwinkeln gefahren werden müssen, erzielt hierbei einen niedrigeren Wert als ein System, das die Pylonen mit geringfügigen Lenk- und Lehnbewegungen umfahren kann.

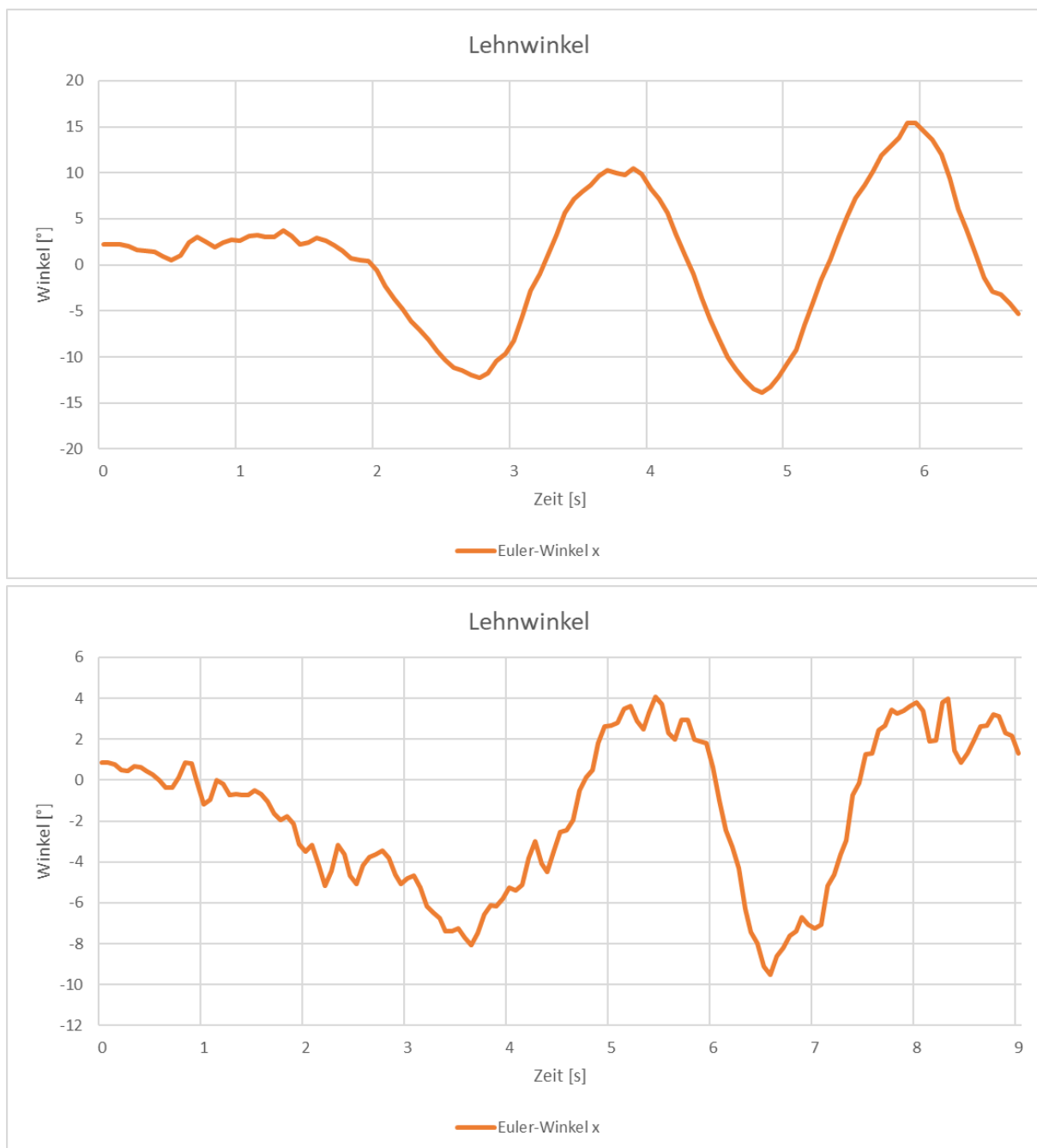


**Abbildung 92: Slalom-Zeit und Stabilitätsindex Lenkwinkel**

Aus diesen Daten ist zunächst deutlich ersichtlich, dass beim Lastenrad ausgehend vom modifizierten Stabilitätsindex Lenkwinkel scheinbar relativ zur benötigten Zeit die geringste kombinierte Lenk- und Lehnarbeit im Slalom verrichtet wird. Da beim Lastenrad kein aktives Neigen in die Kurve stattfindet und die größte mediane Zeit zum Absolvieren benötigt wird, sind die Werte zunächst sehr plausibel. Gemäß den Beobachtungen bei Durchführung der Messfahrten müssen mit dem Lastenrad jedoch größere Kurvenradien gefahren werden als beim Vergleichsfahrrad oder dem Kindersitz. Die zweitgrößte mediane Zeit zum Absolvieren und gemäß Datenlage die größte Lenk- und Lehnarbeit wird beim Anhänger benötigt. Auch dies ist plausibel und deckt sich mit den zuvor gemachten Beobachtungen.

Mit dem Kindersitz ist im Median die verrichtete Lenk- und Lehnarbeit beinahe identisch zum herkömmlichen Fahrrad. Dass im Median etwa eine Sekunde mehr zum Absolvieren des Slaloms benötigt wird, ist vermutlich auf die von den Proband:innen beschriebenen und von der Versuchsaufsicht beobachteten Stabilisierungsprobleme zurückzuführen. Auffällig ist auch die hohe Standardabweichung der Slalom-Zeit beim Kindersitz. Dies suggeriert, dass persönliche Einflussfaktoren der fahrenden Personen wie Fahrradnutzung im Alltag, Körpergröße und -gewicht, subjektives Vertrauen in das Transportmittel und weitere stärker die Fähigkeit, das System agil zu bedienen, beeinflussen als bei den anderen getesteten Systemen.

In Abbildung 93 ist der Verlauf des Lehnwinkels während einer Slalom Fahrt zum einen für das Vergleichsfahrrad und zum anderen beim Kindersitz für denselben Proband:innen dargestellt. Die beobachteten und berichteten Stabilisierungsprobleme beim Kindersitz spiegeln sich auch in den Messdaten wider. Über das gesamte Fahrmanöver, besonders bei den Richtungswechseln, sind beim Kindersitz deutliche Schwingungen erkennbar, während beim Vergleichsfahrrad ein glatter Lehnwinkelverlauf zu beobachten ist.



**Abbildung 93: Lehnwinkelverlauf im Slalom: Oben: Vergleichsfahrrad, Unten: Kindersitz**

### 4.1.5.3 Stationäre Kreisfahrt

Der Anhänger wurde durchgehend als sehr angenehm in der Kreisfahrt wahrgenommen und einige Proband:innen empfanden das Einhalten von Lenk- und Lehnwinkel bei der Zielgeschwindigkeit einfacher als beim Vergleichsfahrrad.

Der Kindersitz wurde von vier Proband:innen, wie bereits in der Slalom-Fahrt, als besonders instabil wahrgenommen. Bei einer Messfahrt konnte das Fahrrad nach dem Anhalten von dem Proband:innen nicht aufrecht gehalten werden und es kam zum Sturz des Fahrrads.

Das Lastenrad kippte bei einigen Teilnehmern mehrfach entgegen der Kurvenrichtung (s. Abbildung 94). Die Kippbewegung ist im Lehnwinkelverlauf deutlich zu sehen (s. Abbildung 95). Zudem wurde die ausschweifende, für die Kreisfahrt notwendige Lenkbewegung als gewöhnungsbedürftig empfunden.

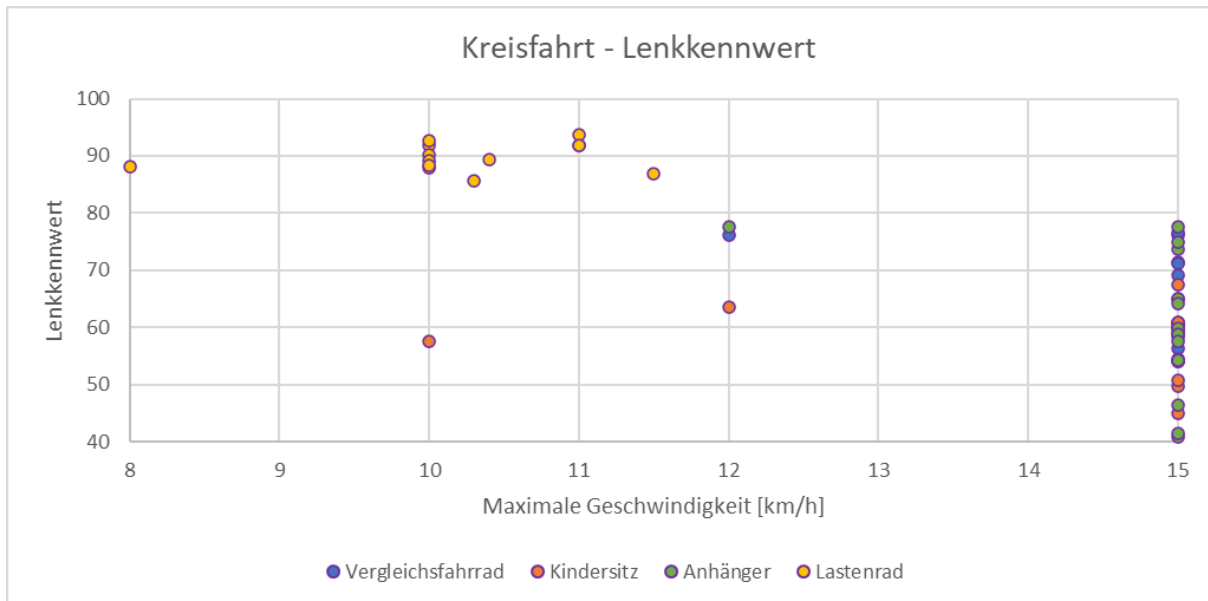


Abbildung 94: Lastenrad kippt während der Kreisfahrt nach außen



Abbildung 95: Lehnwinkelverlauf eines kippenden Lastenrads in der Kreisfahrt

In Abbildung 96 sind die erreichten Geschwindigkeiten und Lenkennwerte in der Slalomfahrt dargestellt. Mit Vergleichsfahrrad, Kindersitz und Anhänger werden bis auf wenige Ausnahmen die in der Versuchsmatrix vorgegebenen 15 km/h konstante Höchstgeschwindigkeit erreicht.



**Abbildung 96: Erreichte Geschwindigkeiten und Lenkennwerte in der Kreisfahrt**

Beim Lastenrad hingegen wird im Median eine ohne Stabilitätsprobleme einzuhaltende Geschwindigkeit von 10 km/h erreicht. Bei höheren Geschwindigkeiten beginnt das zuvor beschriebene Kippen. Vereinzelt Proband:innen erreichen auch über 11 km/h, jedoch wurden die vorgegebenen 15 km/h Höchstgeschwindigkeit mit dem Lastenrad in keinem Versuch erreicht.

Der Streuung im Lenkennwert, die im Lastenrad deutlich kleiner ist als bei den anderen Transportkonzepten, spiegelt die Tatsache wider, dass bei einem herkömmlichen Fahrrad das Verhältnis von Lehn- und Lenkwinkel in einer Kurvenfahrt stark von den individuellen Präferenzen und körperlichen Voraussetzung der fahrenden Person zusammenhängt. Beim Lastenrad hingegen ist ein aktives, vom Fahrer gesteuertes Neigen nicht möglich und der für eine Kurvenfahrt mit festem Radius benötigte Lenkwinkel ist, vergleichbar zum Ackermann-Winkel in der Automobiltechnik, fest bestimmt.

#### 4.1.5.4 Ausweichmanöver

Beim Vergleichsfahrrad wurden keine besonderen Schwierigkeiten beschrieben oder beobachtet.

Das Lastenrad ist in vier Fällen während des Ausweichmanövers ins Kippen geraten, was zu Beinahe-Stürzen führte (s. Abbildung 97). Hierbei ging einer dieser Fälle auch mit dem Erfassen einer Pylone einher, weswegen die Messfahrt wiederholt wurde. Somit sind nur drei Fälle mit kippendem Lastenrad in den ausgewerteten Messdaten enthalten. In einer Messfahrt geriet auch der Fahrradanhänger ins Kippen. Dies ist in Abbildung 98 zu sehen.



**Abbildung 97: Lastenrad kippt während des Ausweichmanövers**



**Abbildung 98: Anhänger kippt während des Ausweichmanövers**

Es benötigten diverse Proband:innen auch nach der Eingewöhnungsphase mehr als einen Versuch, um das Ausweichmanöver mit dem jeweils maximal erreichbaren Ausweichwinkel erfolgreich zu Absolvieren. Die genauen Häufigkeiten sind in Abbildung 99 dargestellt.



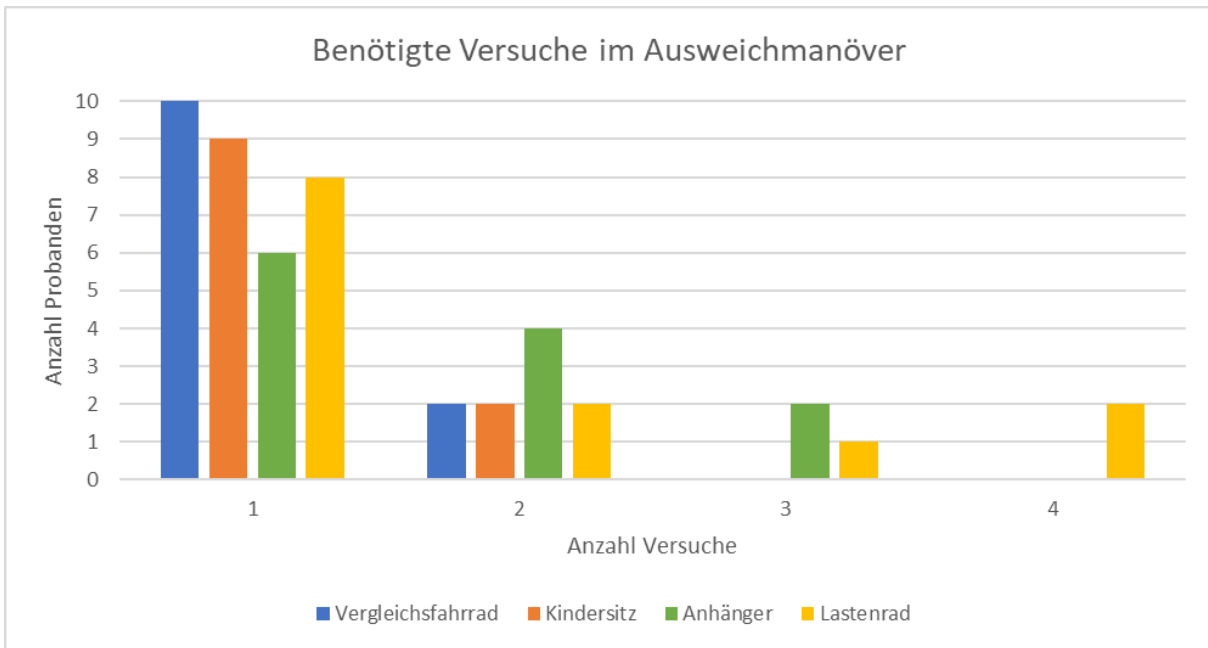


Abbildung 99: Benötigte Versuche im Ausweichmanöver

Lediglich beim Anhänger und beim Lastenrad haben einzelne Proband:innen mehr als zwei Versuche benötigt, beim Lastenrad waren es in zwei Fällen sogar vier Versuche. Auffällig ist zudem, dass beim Anhänger der geringste Anteil der Proband:innen das Ausweichmanöver im ersten Versuch erfolgreich absolvierte. Dies deckt sich mit der bereits zuvor beschriebenen Beobachtung, dass das Kurvenverhalten des Anhängers zunächst besonders häufig falsch eingeschätzt wurde. In einem realen Ausweichmanöver könnte dies zu Kollisionen des Anhängers führen.

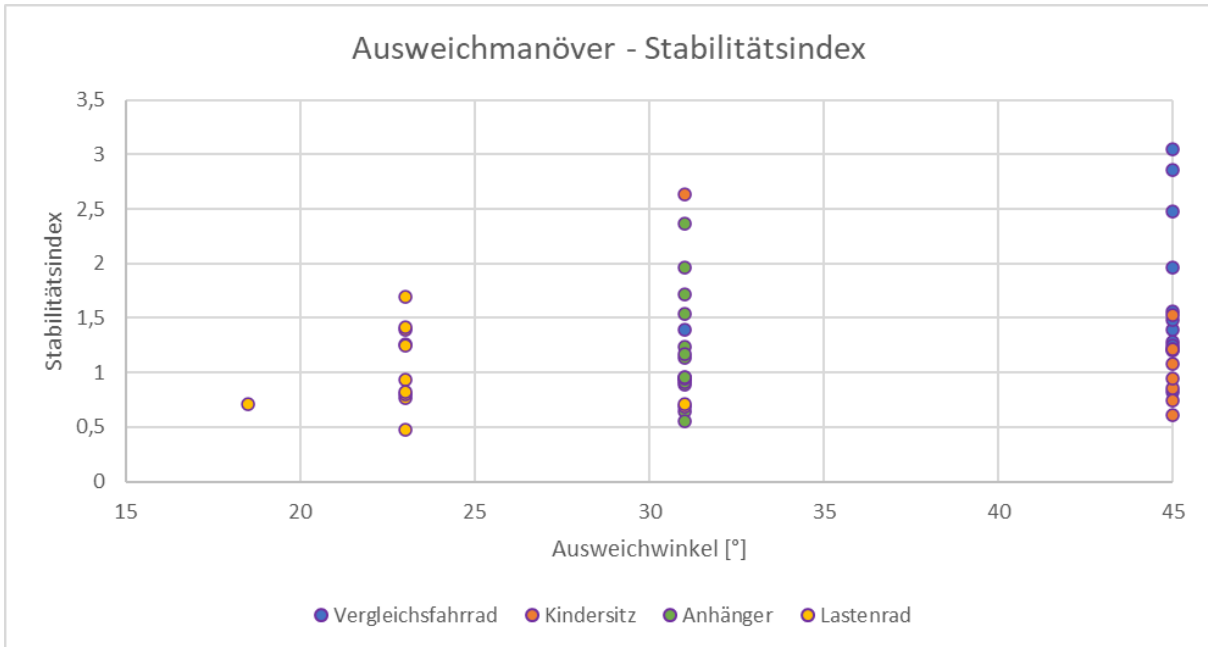


Abbildung 100: Ausweichwinkel und Stabilitätsindex beim Ausweichmanöver

Abbildung 100 zeigt die von den Proband:innen maximal erreichten Ausweichwinkel und die dabei erreichten Stabilitätsindizes.

In Bezug auf die erreichten Ausweichwinkel ist das Datenbild eindeutig. Beim Vergleichsfahrrad erreichen bis auf eine Ausnahme sämtliche Proband:innen den als maximal angesetzten Ausweichwinkel von 45°, während beim Kindersitz bis auf drei Ausnahmen alle Proband:innen die 45 ° erreichen.

Im Anhänger erreichen sämtliche Proband:innen exakt den zweitgrößten Ausweichwinkel von 31°. Dies schafften mit dem Lastenrad lediglich zwei Proband:innen. Die restlichen Proband:innen erreichten abgesehen von einem Fall, in dem lediglich der kleinste planmäßige Ausweichwinkel von 18,5° erreicht wurde, den zweitkleinsten Ausweichwinkel von 23°.

Die Auswertung des Stabilitätsindex bestätigt die Beobachtungen und die vorherigen Erkenntnisse aus der Slalomfahrt. Bei den schnellen Richtungswechseln im Ausweichmanöver erreicht das Lastenrad sowohl im Mittelwert als auch im Median den geringsten Stabilitätsindex. Die dritthöchsten Stabilitätsindizes werden mit dem Kindersitz erreicht. Mit dem Anhänger wurden die zweithöchsten Stabilitätsindizes erreicht, welche insgesamt jedoch auch deutlich unter den mit dem Vergleichsfahrrad erreichten Werten liegen.

#### **4.1.6 Zusammenfassung der Ergebnisse**

Der Kindersitz ist das agilste der drei getesteten Systeme und ähnelt in der Fahrweise am ehesten dem Fahren ohne Kindertransport. Basierend auf den Ergebnissen der fahrdynamischen Realversuche ist der Transport eines 22 kg schweren Kindes mit einem Fahrrad-Kindersitz zwar zulässig, jedoch nicht zu empfehlen. Die auftretende Instabilität, besonders bei Richtungswechseln und nach dem Anhalten, birgt ein hohes Risiko für Stürze oder das Umkippen des Fahrrads. Das Aufrechterhalten des Systems nach Beginn des Umkippens erweist sich bei den Proband:innen als kaum möglich.

Der Fahrradanhänger wird von Proband:innen als vertrauenserweckend und angenehm empfunden. In engen Kurven oder Situationen, die abrupte Ausweichmanöver erfordern, kann der Anhänger aufgrund seines Kurvenverhaltens zu Kollisionen mit Objekten führen, denen die Fahrradfahrer:innen ohne den Anhänger ausweichen können. Bei Gefahrenbremsungen birgt das Querstellen des Anhängers zudem das Risiko des Eintritts in den Gegenverkehr oder auf benachbarte Fahrspuren, was schwerwiegende Unfälle zur Folge haben kann.

Das dreirädrige Lastenrad erweist sich bei Bremsmanövern als das stabilste der drei getesteten Transportmittel. Es werden zudem ähnlich kurze Bremswege erreicht wie mit dem herkömmlichen Fahrrad ohne Kindertransport. In engen Kurven und bei abrupten Richtungswechseln hingegen gerät das Lastenrad in Form des Kippens an seine fahrdynamischen Grenzen.

## **4.2 Simulation der Fahrdynamik von Fahrrädern**

Zur möglichst vollständigen Untersuchung und Bewertung der Fahrdynamik von verschiedenen Fahrradkonzepten zum Transport von Kindern ist es nötig, insbesondere für den fahrdynamischen Grenzbereich, Hardwareuntersuchungen mittels geeigneter Simulationen zu ergänzen. Zu solchen Manövern zählen zum Beispiel plötzliches Ausweichen, Vollbremsungen oder Kurvenfahrten an der Kippgrenze.

Das hier vorgestellte Fahrdynamikmodell für Fahrräder, das auf bereits veröffentlichten Ansätzen basiert, berücksichtigt verschiedene Varianten des Kindertransports. Hierfür wurde ein Whipple-Modell aufgebaut, dessen korrekte Implementierung mithilfe eines Benchmark-Fahrrades nachgewiesen wurde.

Zur Modellbildung wurden alle wesentlichen Konzepte zum Transport von Kindern auf dem Fahrrad umgesetzt. Das beinhaltet ein Fahrrad mit Kindersitz, ein Fahrrad mit Anhänger sowie als Lastenradkonzept das Trike, das Long John, und das Longtail (siehe Abbildung 101).



**Abbildung 101: Transportkonzepte, die in der physikalischen Modellbildung umgesetzt wurden**

Zum Aufbau eines geeigneten physikalischen Modells mussten zunächst alle Fahrräder hinsichtlich ihres Gewichts, ihrer Massenträgheiten und der kinematischen Freiheiten detailliert vermessen werden. Basierend auf diesen Daten konnte dann im nächsten Schritt ein Modell in der Simulationsumgebung Matlab-Simulink erstellt werden.

Im nächsten Schritt der Modellbildung wurden das Kind und der Fahrer integriert. Der Kindertransport auf dem Kindersitz und im zweirädrigen Lastenrad wurde im Vergleich zum Fahrrad durch die veränderte Schwerpunktlage und angepasste Trägheitsmomente berücksichtigt, während für den Anhänger eine Anpassung der Bewegungsgleichungen erfolgte. Die Implementierung des Anhängers ließ sich nicht überprüfen, da in der Literatur keine vergleichbare Erweiterung eines Fahrradmodells gefunden wurde. Doch die Verläufe der charakteristischen Eigenmoden zeigten nach der Erweiterung des Basisfahrrades um einen Anhänger plausible und erklärbare Veränderungen.

Zusätzlich wurde das Modell um eine neuromuskuläre Übertragungsfunktion ergänzt, um die Verzögerung des Kraftaufbaus eines Menschen zu berücksichtigen. Die Regelung erfolgte mit einem LQ-Regler, dessen Ausgangsgrößen auf vergleichsweise hohem, aber plausiblen Niveau liegen.

Der Einsatz von Kenngrößen ermöglichte die Bewertung der einzelnen Fahrmanöver. Die Veränderung der Eigenwerte deutet bei allen drei Fahrrädern darauf hin, dass die Stabilität durch den Kindertransport erhöht wird. Die Betrachtung der Störanfälligkeit des geregelten Systems spricht dem zweirädrigen Lastenrad ein tendenziell stabileres Fahrverhalten als den anderen Transportvarianten zu, wobei der Einfluss der Beladung nicht zweifelsfrei identifizierbar ist.

Die Simulation der stationären Kreisfahrt offenbart eindeutigere Erkenntnisse. Das unbeladene, zweirädrige Lastenrad (Long John) zeigt im gesamten Geschwindigkeitsbereich ein wünschenswertes Verhalten mit relativ geringem negativem Lenkmoment. Durch die Beladung erhöht sich das notwendige Lenkmoment bei geringen Geschwindigkeiten deutlich und bleibt im negativen Bereich. Die Kurvenfahrt erfordert demnach einen höheren Kraftaufwand von dem oder der Fahrer:in. Wird das Basisfahrrad um einen Kindersitz erweitert, ergibt sich keine Veränderung im Kurvenverhalten. Mit der Ergänzung des Anhängers wird das Kurvenverhalten verbessert, wobei auch höhere Lenkmomente notwendig werden. Das beste Kurvenverhalten aller Transportvarianten ist von der Geschwindigkeit abhängig. Bei geringen Geschwindigkeiten zeigt das Fahrrad mit Kindersitz das beste Verhalten, bei mittleren Geschwindigkeiten das Fahrrad mit Anhänger und bei höheren Geschwindigkeiten das Lastenrad. Für alle betrachteten Fahrräder ist zu beobachten, dass sich das Kurvenverhalten durch den Kindertransport nicht verschlechtert. Für das Fahrrad mit Anhänger und das Lastenrad werden jedoch höhere Lenkmomente notwendig. Die Auswertung des Spurwechsels zeigt für beide verwendeten Kenngrößen ähnliche Verläufe und erlaubt belastbare Rückschlüsse auf die Agilität.

Das Lastenrad wird durch die Beladung im Bereich zwischen 1,5 und 4 m/s weniger agil. Bei höheren Geschwindigkeiten bleibt die Agilität gleich. Das Fahrrad mit Kindersitz oder Anhänger bietet bereits ab 1,5 m/s die gleiche Agilität und zeigt erst bei Geschwindigkeiten  $< 1,5$  m/s deutliche Unterschiede.

Mit dem Anhänger nimmt die Agilität in diesem Bereich zu, während der Kindersitz die Agilität des Basisfahrrades weiter reduziert. Im Bereich der Schrittgeschwindigkeit ist das beladene Lastenrad deutlich agiler als die anderen Transportvarianten. Ab 2 m/s kehrt sich der Trend um und das beladene Lastenrad ist träger als das Fahrrad mit Anhänger oder Kindersitz. Allgemein ist festzuhalten, dass die Auswirkungen des Kindertransports auf die Agilität der Fahrräder bei geringen Geschwindigkeiten am größten sind und mit steigender Geschwindigkeit abnehmen. Aus der Betrachtung der Überschlagsneigung geht hervor, dass sich diese mit der Montage eines Kindersitzes sowie durch das Ankoppeln eines Anhängers reduziert. Das gleiche Verhalten wird beim Beladen des Lastenrades festgestellt, das sich jedoch aufgrund seines langen Radstandes auch ohne Beladung gar nicht überschlagen kann.

Zum heutigen Zeitpunkt existieren nur wenige Forschungsarbeiten, die sich mit dem fahrdynamischen Vergleich verschiedener Fahrräder und Fahrradkonzepte befassen. Mit der Modellierung von Varianten des Kindertransports bieten die vorliegende Fahrdynamiksimulation Antworten auf eine Frage, die im wissenschaftlichen Kontext bisher kaum gestellt wurde und stellt einen Anknüpfungspunkt für weiterführende Forschungen dar. Das erstellte Modell kann durch entsprechende Erweiterungen schrittweise ergänzt und mit Berücksichtigung von Reifenverhalten, Steifigkeit, Beweglichkeit des Fahrers und Lagerreibung der Realität weiter angenähert werden. [VOR22]

Im Abgleich zu den Messungen mit dem Testfahrrad (s. Kapitel 4.1) zeigt sich, dass das fahrdynamische Modell die Realität recht gut abbildet. Als Beispiel sei die Grenzgeschwindigkeit des Trikes bei der stationären Kreisfahrt herangezogen. In der Simulation ergab sich, dass ab einer Geschwindigkeit von etwa 13 km/h das Fahrrad zu kippen beginnt. Die maximale Geschwindigkeit, die die Proband:innen bei den Fahrversuchen mit diesem Modell in der Kreisfahrt erreicht haben, lag bei 11,8 km/h. Andere fahrdynamische Kenngrößen ergaben vergleichbare Ähnlichkeiten.

Somit ist mit den physikalischen Modellen ein Werkzeug geschaffen, welches es erlaubt, das Fahrverhalten verschiedener Transportkonzepte in ganz unterschiedlichen und insbesondere auch kritischen Fahrsituationen zu untersuchen und zu bewerten. Der Einfluss der Sitzposition des Kindes, von zusätzlicher Beladung und auch von der unmittelbaren Dynamik eines spezifischen Fahrmanövers können so beurteilt werden.

Einschränkend ist zu erwähnen, dass sowohl Fahrer:in als auch das Kind als starre Massenpunkte dargestellt wurden. Das ist für die genannten grundsätzlichen Untersuchungen zunächst auch ausreichend. Für eine genauere Abbildung des Fahrverhaltens von Fahrrädern muss der Fahrende hinsichtlich seines dynamischen Verhaltens allerdings aktiviert werden. Das Führen eines Fahrrads hängt neben der eigentlichen Lenkbewegung im Wesentlichen von der Gewichtsverlagerung des Fahrenden ab. Darüber beeinflusst er maßgeblich die Trajektorie, mit der er beispielsweise eine Kurve durchfährt. Diese ergibt sich aus einem Zusammenwirken der Lenkbewegung (Lenkwinkel) und der Neigung in die Kurve (Lehnwinkel). Aber auch bei der reinen Geradeausfahrt beeinflusst der Fahrende durch eine permanente Verlagerung des Schwerpunkts, über die das Gleichgewicht des Fahrrads austariert wird, eine Beeinflussung der Dynamik des Fahrrads. Die Abbildung dieses „aktiven“ Fahrers ist ungleich kompliziert als oben beschriebene Modellbildung und ist derzeit Gegenstand einiger Forschungsarbeiten in diesem Bereich.

### 4.3 Untersuchungen zum Überholabstand

Mit dem Jahr 2020 ist eine Novelle in Kraft getreten, die das Überholen von Fahrradfahr:innen gesetzlich regelt. Innerorts sollen 1,5 m außerorts 2 m Abstand gehalten werden. Bisher gibt es allerdings wenig Untersuchungen dazu, inwiefern dieser geforderte Mindestabstand tatsächlich von Autofahrer:innen eingehalten wird. Um sich dieser Fragestellung zu nähern, wurde im Rahmen dieses Forschungsprojekts ein Feldversuch durchgeführt, in dem die Überholabstände zwischen Fahrrad und Fahrzeug vermessen wurden. Diese Untersuchungen wurden für alle Kindertransportarten durchgeführt.

#### 4.3.1 Rahmenbedingungen

Für den Feldversuch wurden vier verschiedene Transportszenarien untersucht (Vergleichsfahrrad, Fahrrad mit Kindersitz, Fahrrad mit Anhänger und Lastenfahrrad). Mit jeder Transportmethode wurde jeweils zwei Wochen lang die vorher festgelegte Route abgefahren. Dabei wurde eine Woche ohne Kindertransport und eine Woche mit Kindertransport gefahren. Ausgenommen das Vergleichsfahrrad, hierbei wurde durchgehend ohne Kind gefahren. Es wurden an fünf Tagen die Woche jeweils drei Messfahrten durchgeführt. Insgesamt wurden so über 3.600 Überholvorgänge bei einer Gesamtmesstrecke von rund 1.100 km erfasst.

#### 4.3.2 Messtechnik

Die Abstandserfassung erfolgte mit einem Lasersensor, um den Abstand der überholenden Pkw zu messen, einer VBOX Pro, die die vom Laser erfassten Abstände aufzeichnet und zusätzlich drei Kameras sowie einem GPS-Sensor. Die Kameras erfassen zusätzliche Informationen wie etwa Lichtverhältnisse oder Straßenzustand.

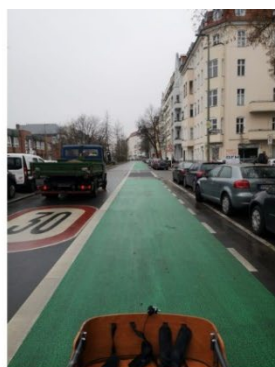
Der Lasersensor misst in einem Bereich zwischen 300 – 10.000 mm. Der Aufbau der Messtechnik soll an allen Fahrrädern identisch sein. Eine Kamera wird jeweils nach vorne gerichtet (Kamera 1), eine wird zur Seite neben dem Sensor (Kamera 2) auf dem Gepäckträger positioniert und eine Kamera (Kamera 3) wird nach hinten gerichtet ebenfalls auf dem Gepäckträger montiert. Die Kameras wurden dabei derart positioniert, dass weder Personen noch Nummernschilder von Pkw erfasst wurden. Lediglich die Fahrzeugseite und die Straßenoberfläche wurden in geringer Auflösung gefilmt. Unmittelbar nach Auswertung der Daten, wurden die Videodateien gelöscht.

#### 4.3.3 Route für Messfahrten

Die Messstrecke verlief im innerstädtischen Bereich in Berlin. Die Route hat eine Länge von 10,5 km mit 31 Straßen, die zwischen 6 m und 15 m breit sind. Von den 31 Straßen sind 20 Haupt- und 11 Nebenstraßen. Durchschnittlich werden 40 Minuten für eine Messfahrt benötigt. Entlang der Route waren viele verschiedene Arten von Radverkehrsinfrastruktur zu finden. Neben Abschnitten mit Rad- und Schutzstreifen, gab es Teilstrecken ganz ohne gesonderte Infrastruktur für Fahrräder. Auch eine Fahrradstraße mit zugelassenem Anliegerverkehr war Teil der Route (s. Abbildung 102).



Schutzstreifen



Radfahrstreifen



Straße



Fahrradstraße

Abbildung 102: Genutzte Fahrradinfrastruktur

#### 4.3.4 Auswertung

Die aufgezeichneten Messfahrten wurden in die von Racelogic zur Verfügung gestellte Software Circuit Tools eingespeist. Daraus konnten Daten wie Standort zum Zeitpunkt des Überholvorgangs, Geschwindigkeit des Fahrrads, Abstand, Uhrzeit und verstrichene Zeit ab dem Start der Messfahrt extrahiert werden.

Im Ergebnis dieser Untersuchung zeigt sich, dass rund 40 % aller Überholvorgänge mit einem Abstand von weniger als 1,50 m durchgeführt werden (Abbildung 103). Das gilt prinzipiell für alle Transportarten gleichermaßen, wobei der Überholabstand für Lastenräder tendenziell noch geringer war. Dieser Effekt verstärkt sich, wenn im Lastenrad kein Kind sitzt (Abbildung 104). Offensichtlich für eine breitere Bauart des Fahrrads dazu, dass ein geringer Überholabstand gewählt wird. Auch kann es sein, dass Überholende dem Lastenrad und dessen Fahrer:ineinen größeren Eigenschutz im Vergleich zum Standardfahrrad einräumen und deshalb einen geringeren Abstand in Kauf nehmen. Um das näher zu beleuchten, wären aber Untersuchungen zu den Handlungsmotiven von Überholenden notwendig.

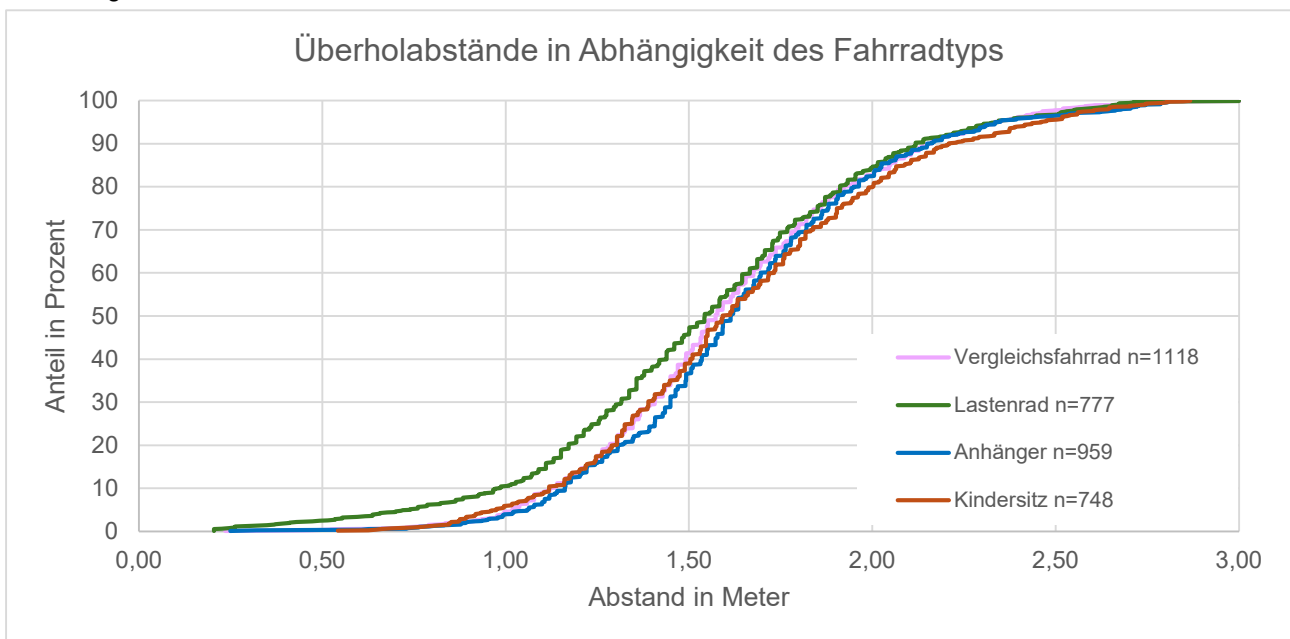


Abbildung 103: Überholabstand in Abhängigkeit der Transportart

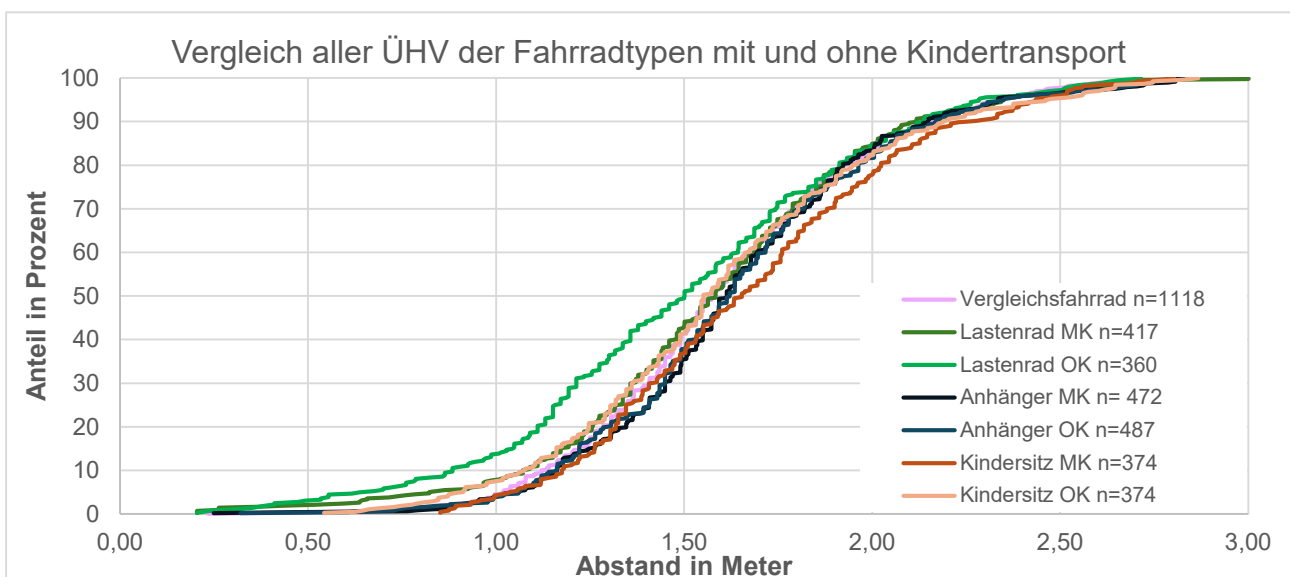
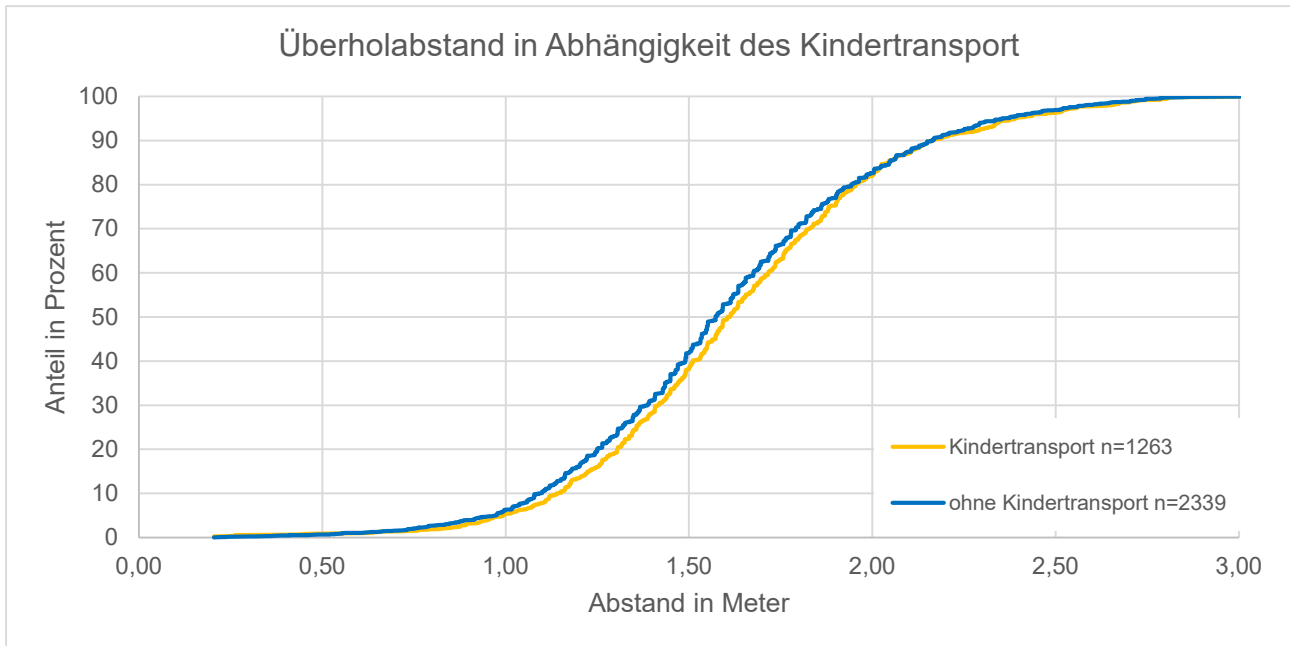


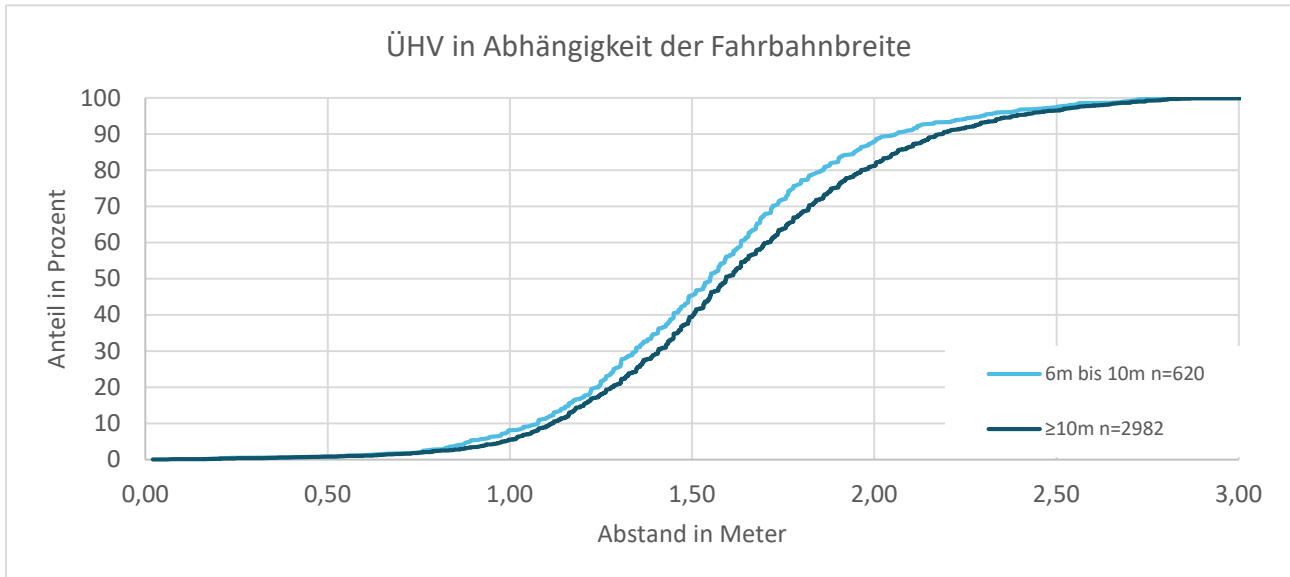
Abbildung 104: Überholabstand in Abhängigkeit von Transportart und Kind im Fahrrad

Betrachtet man jedoch den Einfluss eines mitfahrenden Kindes insgesamt über alle Transportarten, so ist der Effekt eines „leeren“ Fahrrads kaum zu erkennen (Abbildung 105). Hier scheint das Lastenrad eher eine Ausnahme darzustellen.



**Abbildung 105: Überholabstand in Abhängigkeit von Kind im Fahrrad**

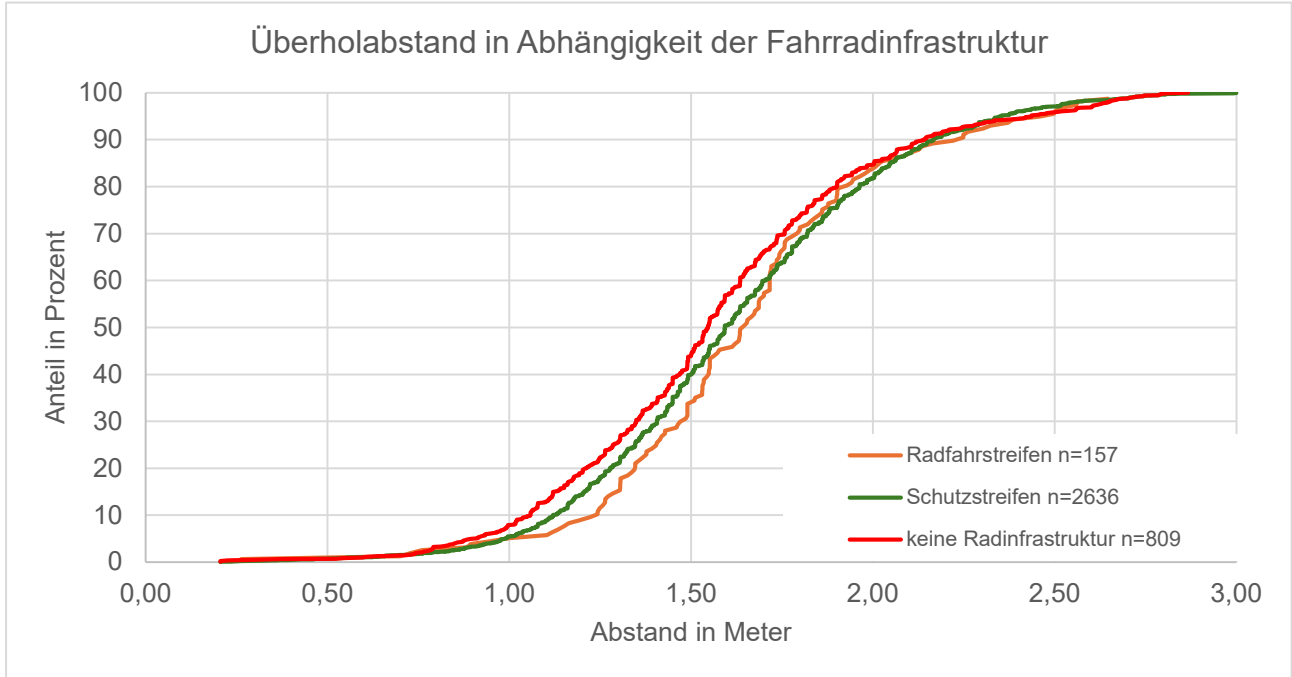
Ebenfalls einen Einfluss auf den Überholabstand hat die Breite der befahrenen Straße (Abbildung 106). So zeigt sich, dass der Abstand zum Fahrrad geringer ist, wenn die Straße schmaler ist. Das gilt gleichermaßen für alle Transportarten.



**Abbildung 106: Überholabstand in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite**

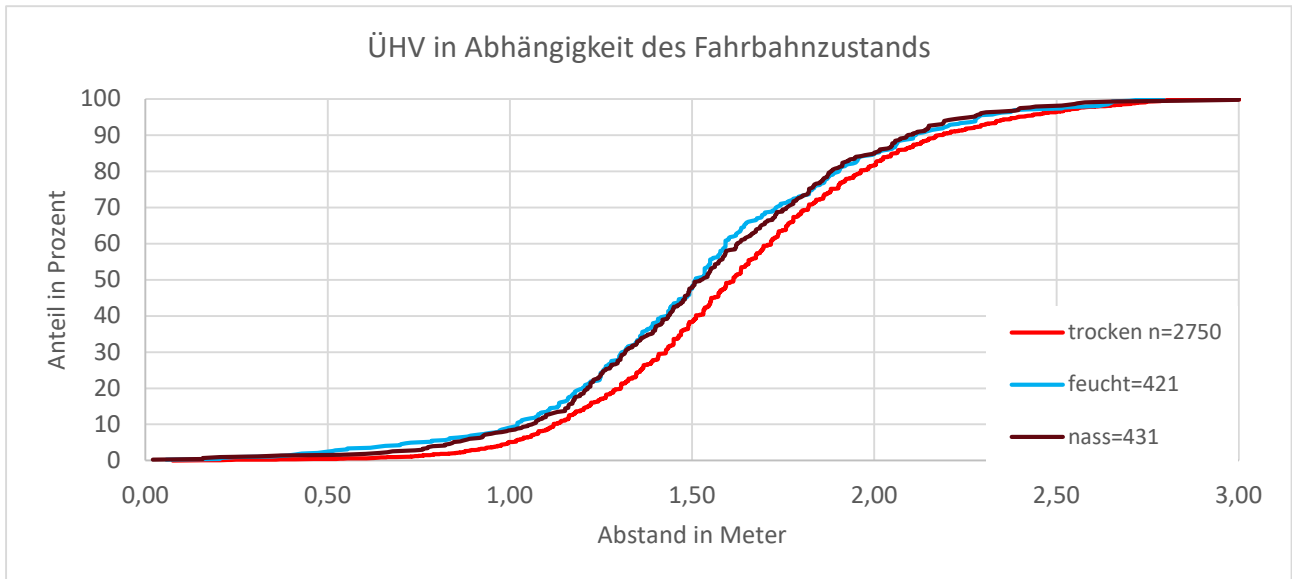
Eine Abhängigkeit des Überholabstands von der Radverkehrsinfrastruktur ist ebenfalls zu erkennen (Abbildung 107). Es spielt für den Abstand eine Rolle, ob sich der/die Radfahrende auf einem gesondert markierten Bereich befindet (Schutzstreifen oder Radfahrstreifen) oder ob eine derartige Infrastruktur nicht vorhanden ist. Wenn keine Infrastruktur vorhanden ist, finden rund 45 % der Überholvorgänge bei einem Abstand bis zu 1,50 m statt. Bei Radfahrstreifen bzw. Schutzstreifen reduziert sich dieser Wert auf 30 bzw. 40 %. Auch hier wäre eine ergänzende Untersuchung zum Wissen der Autofahrer:innen hilfreich. Zu klären wäre einerseits die Frage, ob sie sich dessen

bewusst sind, dass auch bei markierten Bereichen ein Überholstand von 1,50 m einzuhalten ist und andererseits, ob die rechtliche Unterscheidung zwischen Schutz- und Radfahrstreifen einen Einfluss auf ihr Überholverhalten hat.



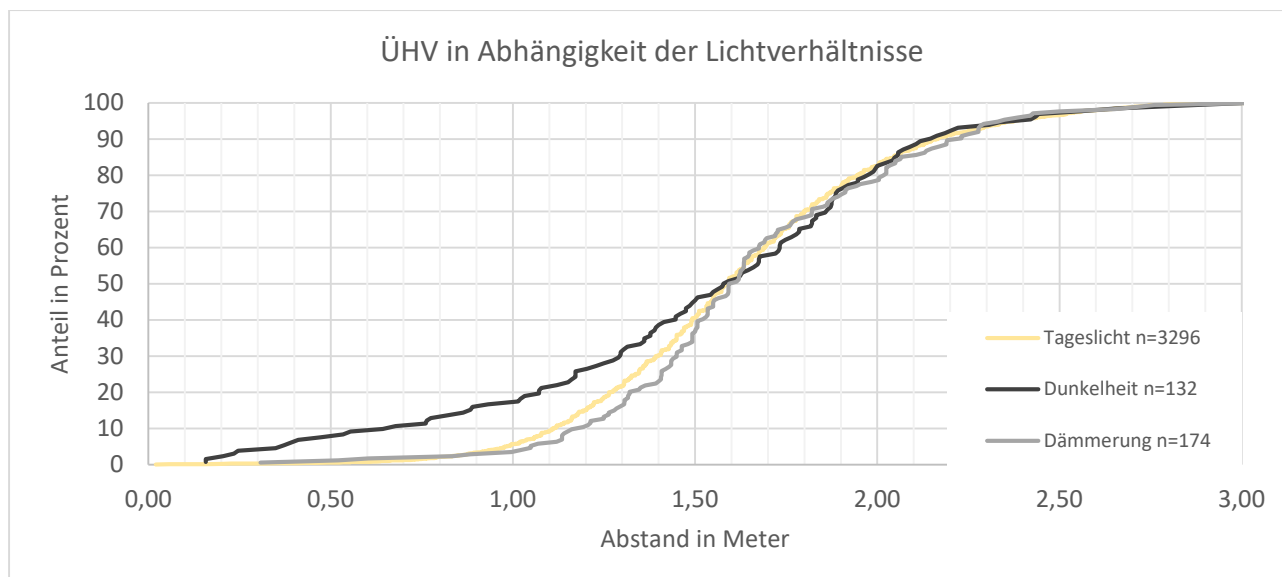
**Abbildung 107: Überholabstand in Abhängigkeit der Infrastruktur**

Überraschend ist die Tatsache, dass die Überholabstände mit schlechteren Witterungsverhältnis oder auch mit schlechteren Lichtverhältnissen abnehmen. So reduziert sich der Überholabstand sowohl bei feuchter und nasser Fahrbahn (Abbildung 108), als auch bei Dunkelheit (Abbildung 109).



**Abbildung 108: Überholabstand in Abhängigkeit der Fahrbahnzustands**





**Abbildung 109: Überholabstand in Abhängigkeit der Lichtverhältnisse**

#### 4.3.5 Zusammenfassung

Die Studie zum Überholabstand von Fahrradfahrer:innen hat ein zentrales Thema rund um die Sicherheit vom Radverkehr näher beleuchtet. Es zeigt sich, dass mit rund 40 % ein erheblicher Teil der Überholvorgänge unter dem gesetzlich geforderten Mindestabstand von 1,50 m liegt. Aus dieser Feststellung kann ein Handlungsbedarf abgeleitet werden. Einerseits kann das Problem dadurch adressiert werden, dass die Verkehrsinfrastruktur derart angepasst wird, dass Überholvorgänge mit einem geringeren Abstand nicht möglich sind. Andererseits scheint auch ein größeres Bewusstsein bei Autofahrer:innen für die Notwendigkeit eines hinreichend großen Überholabstands notwendig zu sein. In diesem Zusammenhang wäre es ratsam zu untersuchen, inwiefern Pkw-Fahrer:innen sich des tatsächlichen Abstands zum Fahrrad bewusst sind und ob das Unterschreiten des Mindestabstands eine bewusste Entscheidung ist oder auf eine schlechte Einschätzung des Abstandsstands zwischen Pkw und Fahrrad zurückzuführen ist.

## 4.4 Crash-Versuche zur Untersuchung der passiven Sicherheit

Basierend auf der Analyse der Unfalldaten in Kapitel 2 wurden in Abschnitt 2.5 Szenarien hergeleitet, die in Crash-Versuchen nachgestellt werden. Hierbei werden messtechnisch die für das Kind bzw. den Kinderdummy auftretenden Belastungen erfasst und analysiert. Die Versuche werden in Zusammenarbeit mit der Unfallanalyse Berlin durchgeführt. Als Referenz zur Beurteilung der Belastungen werden Grenzwerte nach dem European New Car Assessment Programme (Euro NCAP) [EUR23] und der Regelung Nr. 129 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) [WIR14] verwendet.

### 4.4.1 Verwendete Messinstrumente

Für die Crash-Versuche wird auf dem Fahrrad bzw. Lastenrad jeweils ein nicht-instrumentalisierter Dummy als Repräsentation eines durchschnittlichen Mannes hinsichtlich Größe und Gewicht verwendet. Zusätzlich wird ein vollinstrumentalisierter Q6-Dummy [HUM93], repräsentativ für ein 6-jähriges Kind im jeweiligen Transportmittel platziert und mit den vorhandenen Sicherheitsgurten gesichert (exemplarisch in Lastenrad s. Abbildung 110).

Ausgewertet werden Beschleunigungen an Kopf, Brust und Becken, Krafteinwirkung und Biegemoment am Hals sowie das Head Injury Criterion (HIC), welches eine Korrelation zwischen mechanischen Belastungen und der Wahrscheinlichkeit des Auftretens traumatischer Kopfverletzungen herstellt [DIG99].



Abbildung 110: Lastenrad mit Crash-Dummys

#### 4.4.2 Umkippen aus dem Stand

Das Umkippen aus dem Stand, etwa beim Aufsteigen oder nach dem Anhalten, geht aus den Unfalldaten als häufige Unfallursache bei Systemen mit Fahrradkindersitz hervor. Schwierigkeiten beim Halten des Gleichgewichts im Stand zeigen sich bei dieser Systemart ebenfalls im Rahmen der Fahrdynamikversuche (s. Kapitel 4.1).

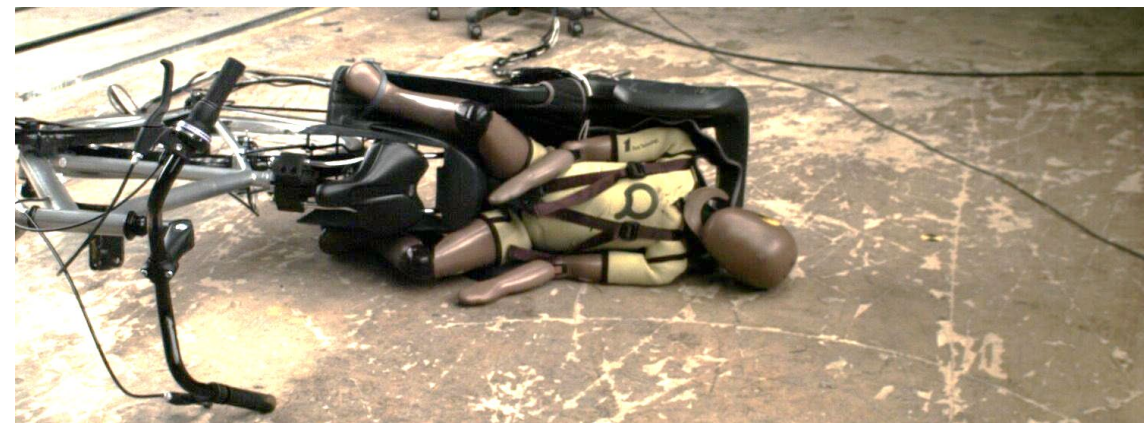


durchgeführt.  
Abbildung

111 und Abbildung 112 zeigen hierbei jeweils den Aufprall.



**Abbildung 111: Umkippen aus dem Stand (Kindersitz, mit Fahrradhelm)**



**Abbildung 112: Umkippen aus dem Stand (Kindersitz, ohne Fahrradhelm)**

Die in Tabelle 12 gezeigten Messwerte für die Kopfbelastungen zeigen erwartungsgemäß für beide Konstellationen sehr hohe Messwerte. Im Vergleich liegt der Kopfbeschleunigungswert mit 107 g im Versuch mit Helm sogar deutlich über dem Wert von 32 g im Versuch ohne Helm. Das scheint zunächst überraschend. Eine genaue Auswertung der Daten zeigt allerdings, dass im Versuch ohne Helm ein sehr kurzer und dafür sehr hoher Belastungsspeak gemessen wurde, welcher bei über 600 g lag, wohingegen diese Messspitze beim Versuch mit Helm bei lediglich 145 g lag. Aufgrund des standardisierten Auswerteverfahrens, werden diese Spitzen „herausgefiltert“, wodurch der dargestellte Messwert, der im Maximalbereich eine Art Mittelwert darstellt, im Versuch mit Helm deutlich höher ausfällt. Tatsächlich sorgt aber der Helm dafür, dass die hohe Belastungsspitze etwas abgemildert und über einen längeren Zeitraum verteilt wird. Insgesamt wird in diesem Versuch deutlich, dass die genutzten Dummies hier an die Grenze ihrer Validität stoßen. Diese sind als Insassen im Fahrzeug für Versuche ausgelegt, in denen zwar hohe Belastungen, aber kein direkter Kontakt zu einer harten Oberfläche stattfindet, wie es hier in diesem Versuch der Fall war. Entsprechend gilt das auch für die angegebenen Grenzwerte, die für den Dummy als Fahrzeuginsassen validiert wurden.

Unter der gegebenen Versuchskonfiguration ist der HIC-Kennwert (Head Injury Criterion) die besser geeignete Kenngröße, um die Kopfbelastungen zu bewerten. Dieser wertet über den gesamten Versuchsverlauf die Belastung

aus und wichtet diese über die Zeit. Hier zeigt sich deutlich, dass der Versuch mit Helm mit einem HIC von 666 deutlich geringer ist als im Vergleichsversuch ohne Helm, bei dem der Wert 5.438 beträgt. Unter Berücksichtigung der Limitierungen, die der genutzte Q-Dummy für diese Versuchskonfiguration mit sich bringt, kann anhand der gemessenen Belastungswerte also klar gesagt werden, dass ein Helm die Kopfbelastungen deutlich reduziert und somit zum Schutz des Kindes einen großen Beitrag leistet.

Wert	Mit Helm	Ohne Helm	(unterer) Grenzwert EURO NCAP	Grenzwert ECE-R129
Beschleunigung Kopf $a_{3ms}$	107 g	32 g	60 g	80 g
HIC	666	5438	500	800
Streckkraft Hals	0,7 kN	0,7 kN	1,7 kN	-
Biegemoment Hals	23 Nm	23 Nm	36 Nm	-
Beschleunigung Brust	44 g	36 g	67 g	55 g
Beschleunigung Becken	24 g	24 g	-	-

**Tabelle 12: Aufgezeichnete Belastungen beim Umkippen mit Kindersitz**

#### 4.4.3 Auffahrunfall

Der Auffahrunfall auf einen Fahrradanhänger wurde zunächst mit einem 7 km/h schnellen Pkw und anschließend in einem zweiten Durchlauf mit einem 12 km/h schnellen Pkw durchgeführt (s. Abbildung 113 und Abbildung 114). In beiden Fällen wurde beim Kinderdummy kein Fahrradhelm verwendet und das Gespann aus Fahrrad und Anhänger weisen eine Ausgangsgeschwindigkeit von 0 km/h auf.



**Abbildung 113: Auffahrunfall mit Anhänger, 7 km/h**



Abbildung 114: Auffahrunfall mit Anhänger, 12 km/h

Wert	7 km/h (Pkw)	12 km/h (Pkw)	(unterer) Grenzwert EURO NCAP	Grenzwert ECE-R129
Beschleunigung Kopf	7 g	11 g	60 g	80 g
HIC	2	7	500	800
Streckkraft Hals	0,123 kN	0,183 kN	1,7 kN	-
Biegemoment Hals	4 Nm	10 Nm	36 Nm	-
Beschleunigung Brust	4 g	9 g	67 g	55 g
Beschleunigung Becken	4 g	8 g	-	-

Tabelle 13: Belastungen beim Auffahrunfall mit Anhänger

In Tabelle 13 sind die im Auffahrunfall auftretenden Belastungen aufgeführt. In diesem Szenario werden die Grenzwerte nach EURO NCAP und ECE-R129 deutlich unterschritten. Der Anhänger wird lediglich verschoben und das Rahmenkonstrukt wird beim Aufprall nicht plastisch deformiert.

#### 4.4.4 Dooring-Unfall

##### 4.4.4.1 Kindersitz

Beim Nachstellen eines Dooring-Unfalls mit dem Kindersitz wird im Rahmen mehrerer Wiederholungen des Versuchs der Türöffnungswinkel des Pkw zwischen ca. 20 ° (s. Abbildung 115) und ca. 15 ° (s. Abbildung 116) variiert. Die Aufprallgeschwindigkeit des Fahrrads beträgt hierbei in jeder Iteration ca. 10 km/h und der Kinderdummy trägt in jeder Iteration einen Fahrradhelm.



Abbildung 115: Dooring mit Kindersitz und 20 ° Türöffnungswinkel



Abbildung 116: Dooring mit Kindersitz und 15 ° Türöffnungswinkel

Die aufgezeichneten Belastungen sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Wert	20 ° Türöffnungswinkel	15 ° Türöffnungswinkel	(unterer) Grenzwert EURO NCAP	Grenzwert ECE-R129
Beschleunigung Kopf	11 g	74 g	60 g	80 g
HIC	4	290	500	800
Streckkraft Hals	0,232 kN	0,466 kN	1,7 kN	-
Biegemoment Hals	10 Nm	24 Nm	36 Nm	-
Beschleunigung Brust	7 g	27 g	67 g	55 g
Beschleunigung Becken	10 g	23 g	-	-

Tabelle 14: Belastungen beim Dooring mit Kindersitz

Die höchsten Belastungen treten hierbei in dem Versuch mit ca. 15 ° Türöffnungswinkel auf. Hier wird das Fahrrad beim Aufprall seitlich abgelenkt und nur leicht gebremst zum Sturz gebracht. Bei diesem Sturz schlägt der Kinderdummy mit dem Kopf auf der Fahrbahn auf (s. Abbildung 117). Die Kopf-Beschleunigung übersteigt dabei den unteren Grenzwert nach EURO NCAP und erreicht beinahe den Grenzwert nach ECE-R129. Weitere Grenzwerte werden nicht erreicht.



**Abbildung 117: Kinderdummy schlägt nach Dooring mit Kopf auf Fahrbahn auf**

#### 4.4.4.2 Anhänger

Mit dem Anhänger wird ebenfalls ein Dooring-Unfall nachgestellt. Hierbei wird, bei ebenfalls ca. 10 km/h Aufprallgeschwindigkeit, der Türöffnungswinkel zwischen ca. 15 ° und 60 ° variiert. Der Kinderdummy im Anhänger trägt hierbei keinen Fahrradhelm. Das Verhalten des Systems nach dem Aufprall ist in Abbildung 118 und Abbildung 119 dargestellt. Während bei 15 ° Türöffnungswinkel das Fahrrad nach dem Aufprall seitlich abgelenkt und zum Sturz gebracht wird und der Anhänger ohne zu Kippen zum Stehen kommt, findet bei 60 ° eine frontale Kollision statt, bei der sich das Fahrrad auf das Vorderrad stellt und mit dem Hinterrad die Deichsel des Anhängers in die Luft zieht. Die Hinterräder verlieren hierbei kurzzeitig den Kontakt zum Boden, bevor der Anhänger wieder auf seinen Rädern landet. Die hierbei auftretenden Belastungen sind in Tabelle 15 aufgestellt.



Abbildung 118: Dooring mit Anhänger und 15 ° Türöffnungswinkel



Abbildung 119: Dooring mit Anhänger und 60 ° Türöffnungswinkel

Wert	15 ° Türöffnungswinkel	60 ° Türöffnungswinkel	(unterer) Grenzwert EURO NCAP	Grenzwert ECE-R129
Beschleunigung Kopf	3 g	4 g	60 g	80 g
HIC	1	5	500	800
Streckkraft Hals	0,066 kN	0,094 kN	1,7 kN	-
Biegemoment Hals	4 Nm	6 Nm	36 Nm	-
Beschleunigung Brust	2 g	3 g	67 g	55 g
Beschleunigung Becken	1 g	3 g	-	-

Tabelle 15: Belastungen beim Dooring mit Anhänger



Unabhängig vom Türöffnungswinkel liegen die erfassten Belastungen deutlich unter den Grenzwerten nach EURO NCAP und ECE-R129.

#### 4.4.4.3 Lastenrad

Bei der Durchführung der Dooring-Versuche mit dem Lastenrad wird bei einer Aufprallgeschwindigkeit von ca. 12 km/h der Türöffnungswinkel zwischen ca. 20 ° und ca. 80 ° variiert. In beiden Szenarien wird der Kinderdummy mit einem Fahrradhelm ausgestattet. Abbildung 120 und Abbildung 121 zeigen jeweils das System nach dem Aufprall. In beiden Fällen bleibt die Transportbox des Lastenrads intakt und das Lastenrad kommt infolge des Aufpralls abrupt zum Stehen. Bei der Durchführung des Versuchs mit einem Türöffnungswinkel von 20 ° öffnet sich beim Aufprall der Sicherheitsgurt und der Kinderdummy wird ans vordere Ende der Transportbox geschleudert.

Eine anschließende Inspektion des Lastenrads ergibt, dass weder der Sicherheitsgurt, noch der Verschlussmechanismus hierbei zerstört wurden. Der Gurt lässt sich nach dem Versuch weiterhin schließen. Ein solches Versagen bei einem Unfall ist kritisch, da das Kind besonders bei höheren Aufprallgeschwindigkeiten ungebremst aus der Transportbox geschleudert werden und mit Fahrzeugen, Gegenständen oder Personen kollidieren kann. Zudem wird in beiden Fällen der Erwachsenendummy in die Transportbox geschleudert, was in einer Kollision zwischen Fahrer:in und Kind resultieren kann.



Abbildung 120: Dooring mit Lastenrad und 80 ° Türöffnungswinkel



Abbildung 121: Dooring mit Lastenrad und 20 ° Türöffnungswinkel

Wert	20 ° Türöffnungswinkel	80 ° Türöffnungswinkel I	(unterer) Grenzwert EURO NCAP	Grenzwert ECE-R129
Beschleunigung Kopf	6 g	12 g	60 g	80 g
HIC	5	5	500	800
Streckkraft Hals	0,205 kN	0,409 kN	1,7 kN	-
Biegemoment Hals	12 Nm	10 Nm	36 Nm	-
Beschleunigung Brust	15 g	9 g	67 g	55 g
Beschleunigung Becken	14 g	8 g	-	-

Tabelle 16: Belastungen beim Dooring mit dem Lastenrad

Auffällig ist zunächst die Differenz in der Beschleunigung am Kopf zwischen den Szenarien. Bei genauer Betrachtung der Aufnahmen wird deutlich, dass der Kopf des Kinderdummys bei nicht versagendem Rückhaltegurt nach dem Aufprall infolge des Rebounds mit dem Lenker des Lastenrads und den Armen beziehungsweise Händen des Erwachsenendummys kollidiert (s. Abbildung 122). Dies erklärt die höheren Werte der Beschleunigung am Kopf im Szenario mit einem Türöffnungswinkel von 80 °. Grenzwerte nach EURO NCAP oder ECE-R129 werden nicht erreicht.



Abbildung 122: Kopf des Kinderdummys schlägt nach Dooring gegen Lenker des Lastenrads

#### 4.4.4.4 Vergleich zwischen den Methoden

In Tabelle 17 werden die jeweils höchsten Belastungen beim Dooring zwischen den getesteten Transportmethoden verglichen. Beim Kindersitz treten mit Abstand die höchsten Belastungen infolge des Sturzes nach dem Dooring auf. Die geringsten Belastungen infolge des Doorings erfährt der Kinderdummy im Anhänger.

Wert	Kindersitz	Anhänger	Lastenrad
Beschleunigung Kopf	74 g	4 g	12 g
HIC	290	5	5
Streckkraft Hals	0,466 kN	0,094 kN	0,409 kN
Biegemoment Hals	24 Nm	6 Nm	10 Nm
Beschleunigung Brust	27 g	3 g	9 g
Beschleunigung Becken	23 g	3 g	8 g

Tabelle 17: Vergleich der Belastungen beim Dooring

#### 4.4.5 Abbiegeunfall

Mit allen drei Transportmethoden wird ein Abbiegeunfall mit einem linksabbiegenden Pkw analog zu Abbiegeunfällen an Kreuzungen nachgestellt. Hierbei bremst der Pkw nach der Kollision ab.

##### 4.4.5.1 Kindersitz

Beim Kindersitz findet die Kollision in einem Kollisionswinkel von ca. 36° statt. Hierbei weist der Pkw zum Zeitpunkt der Kollision eine Geschwindigkeit von ca. 12 km/h auf, während das Fahrrad ca. 8 km/h schnell ist. Das Aufprallverhalten ist in Abbildung 123 abgebildet. Der Kinderdummy trägt hierbei einen Fahrradhelm.



**Abbildung 123: Kollision beim Abbiegeunfall mit Kindersitz**

Bei der Kollision verliert das Fahrrad den Bodenkontakt und wird auf die Motorhaube des Pkw gehoben. Der Kopf des Kinderdummys schlägt dabei auf der Motorhaube auf. Nach vollendeter Bremsung des Pkw infolge der Kollision prallt das Fahrrad vor dem Pkw auf den Boden auf (s. Abbildung 124). Hierbei kommt es beim Kopf des Kinderdummys nicht zum Bodenkontakt.



**Abbildung 124: Fahrrad mit Kindersitz prallt nach Abbiegeunfall auf dem Boden auf**

#### 4.4.5.2 Anhänger



**Abbildung 125: Kollision beim Abbiegeunfall mit Anhänger**

Beim Abbiegeunfall mit dem Anhänger wird erneut ein Kollisionswinkel von ca.  $36^\circ$  eingestellt. Bei der Kollision weist der Pkw eine Fahrgeschwindigkeit von 10 km/h auf, das Fahrrad bewegt sich mit 7 km/h voran. Der Kinderdummy trägt hierbei keinen Fahrradhelm. Der initiale Kontakt entsteht direkt zwischen dem Pkw und dem Fahrradanhänger. Wie in Abbildung 125 zu sehen wird der Fahrradanhänger infolge der Kollision seitlich verschoben und erfährt keine sichtbare plastische Deformation. Währenddessen werden Kotflügel und Frontschürze des Pkw bei der Kollision durch den Außenrahmen des Anhängers eingedrückt. Das Umkippen des Fahrrads nach der Kollision hat keinen Einfluss auf den Fahrradanhänger.

#### 4.4.5.3 Lastenrad

Beim Abbiegeunfall mit dem Lastenrad findet die Kollision in einem Winkel von  $32^\circ$  statt, während sowohl Pkw als auch Fahrrad eine Ausgangsgeschwindigkeit von 7 km/h aufweisen. Abbildung 126 zeigt das System unmittelbar nach der Kollision.



**Abbildung 126: Kollision beim Abbiegeunfall mit dem Lastenrad**

Infolge der Kollision wird die Transportbox des Lastenrads, vergleichbar mit dem Verhalten des Fahrradanhängers, seitlich verschoben. Bei der Kollision entstehen an der Transportbox des Lastenrads leichte Schäden (s. Abbildung 127). Der Erwachsenendummy wird über den Lenker hinweg auf die Motorhaube des Pkw geschleudert, während der Kinderdummy aufgrund der Rückhaltegurte in der ursprünglichen Position in der Transportbox verbleibt.



**Abbildung 127: Lastenrad und Pkw nach dem Abbiegeunfall**

#### **4.4.5.4 Belastungen in Vergleich**

Tabelle 18 zeigt für alle Transportmethoden die beim Abbiegeunfall auftretenden Belastungen.

Wert	Kindersitz	Anhänger	Lastenrad	(unterer) Grenzwert EURO NCAP	Grenzwert ECE- R129
Beschleunigung Kopf	10 g	5 g	10 g	60 g	80 g
HIC	16	5	5	500	800
Streckkraft Hals	0,257 kN	0,015 kN	0,145 kN	1,7 kN	-
Biegemoment Hals	23 Nm	13 Nm	9 Nm	36 Nm	-
Beschleunigung Brust	10 g	6 g	9 g	67 g	55 g
Beschleunigung Becken	9 g	10 g	8 g	-	-

**Tabelle 18: Belastungen beim Abbiegeunfall**

Grenzwerte nach EURO NCAP oder ECE R129 werden bei keinem der Abbiegeunfälle erreicht. Insgesamt werden im Fahrradanhänger hier die geringsten Belastungswerte aufgezeichnet. Die Belastungen am Hals und das HIC sind beim Lastenrad niedriger als beim Kindersitz, die anderen Belastungswerte sind bei Lastenrad und Kindersitz vergleichbar.

#### 4.4.6 Zusammenfassung

Ein Unfall mit dem Fahrrad-Kindersitz hat in den meisten Fällen auch das Umkippen des Fahrrads und damit einen Sturz aus rund 1,5 m Fallhöhe zur Folge. Besonders beim Umkippen aus einer beinahe senkrechten Ausgangslage birgt dies ein erhöhtes Verletzungsrisiko. Das Kind ist hierbei durch die Fixierung im Sitz mit Rückhaltgurten unweigerlich dem Umkippen und dem Aufprallen des Sitzes auf der Fahrbahn ausgesetzt. Ein Schutz vor Kontakt mit der Fahrbahn oder Kollisionsgegner:innen ist durch den Kindersitz kaum gegeben. Der seitliche Schutz in Kopfhöhe verhindert in der Regel nicht den direkten Kontakt mit der Fahrbahn.

Beim Fahrradanhänger wird im Rahmen der Crash-Versuche ein guter Rundumschutz beobachtet. Der steife Außenrahmen bildet eine integrale Fahrgastzelle und schützt die Insassen vor Interaktion mit der Fahrbahn. Bei zwei Insassen ist hierbei jedoch eine Interaktion zwischen diesen möglich.

Die starre Holzkiste des Lastenrads bietet den Insassen im Rahmen der hier getesteten Szenarien ebenfalls guten Schutz. Auch hier ist eine Interaktion zwischen Insassen möglich. Kritisch zu betrachten ist das Versagen des Gurtsystems. Augenscheinlich ist das hier getestete Modell nicht optimal für den Kindertransport ausgelegt. Ein Schutz der Insassen auf Kopfhöhe ist zudem nicht gegeben. Dies resultiert auch darin, dass die erwachsene Person bei einem Unfall in die Transportkiste beziehungsweise gegen die in Fahrtrichtung sitzenden Kinder geschleudert werden kann. Bei nicht versagenden Sicherheitsgurten führt der Rebound nach einer Kollision zudem dazu, dass in Fahrtrichtung sitzende Kinder mit dem Hinterkopf gegen den Lenker beziehungsweise die Hand der Fahrer:in schlagen.

Ein weiterer Punkt, der sich nicht aus den hier durchgeführten Crash-Tests, jedoch aus den Untersuchungen des ADAC [ADA21b] ergibt, ist die Tatsache dass Transportkisten mit glatter Oberfläche wie beim hier verwendeten Modell dazu führen, dass das Lastenrad nach einem Unfall weit über die Fahrbahn rutschen kann. In den Untersuchungen des ADAC rutschten die Lastenfahrräder bis zu 5 Meter weit. Hierbei kann es leicht dazu kommen, dass eine Sekundärkollision mit Objekten oder dem Gegenverkehr stattfindet.

## 4.5 FEM-Simulation zur Untersuchung der passiven Sicherheit

In diesem Kapitel wird die passive Sicherheit von Kindern beim Transport auf dem Fahrrad mittels FEM-Simulationen untersucht. Ergänzend zu den Crashtests in Kapitel 4.4 werden anhand von Simulationen einzelne Unfallszenarien abgebildet und deren Ergebnisse hinsichtlich der Belastungskennwerte eingeschätzt. Zur Ermittlung repräsentativer Werte werden drei verschiedene FEM-Modelle aufgebaut und mit dem LS-DYNA Solver für geeignete Crashtestszenarien berechnet. Als Grundlage der Transportvarianten dient ein Trekking-Damenrad mit niedrigem Einstieg.



Abbildung 128: Entwicklung vom Hardwarefahrrad zum FEM-Modell [RAW24]

### 4.5.1 Fahrrad

Im ersten Schritt wird mittels eines kamerabasierten 3D-Messsystems ein digitales Abbild des Fahrrades erstellt. Das daraus gebildete CAD-Modell wird an entsprechenden Stellen so reduziert, dass bei hinreichender Genauigkeit, Rechenzeit im späteren FEM-Modell eingespart werden kann. Dies betrifft Bauteile, welche für die Ermittlung der Belastungswerte des Kindermodells vernachlässigt werden können, wie beispielsweise die komplette Bremsanlage und der Kettentrieb (Abbildung 129). Es betrifft weitere Bauteile wie Kabellage, Schalthebel, Lichter, Reflektoren und Dynamo. Das FE-Modell wird anschließend in Hypermesh<sup>1</sup> und PRIMER<sup>2</sup> aufgebaut.

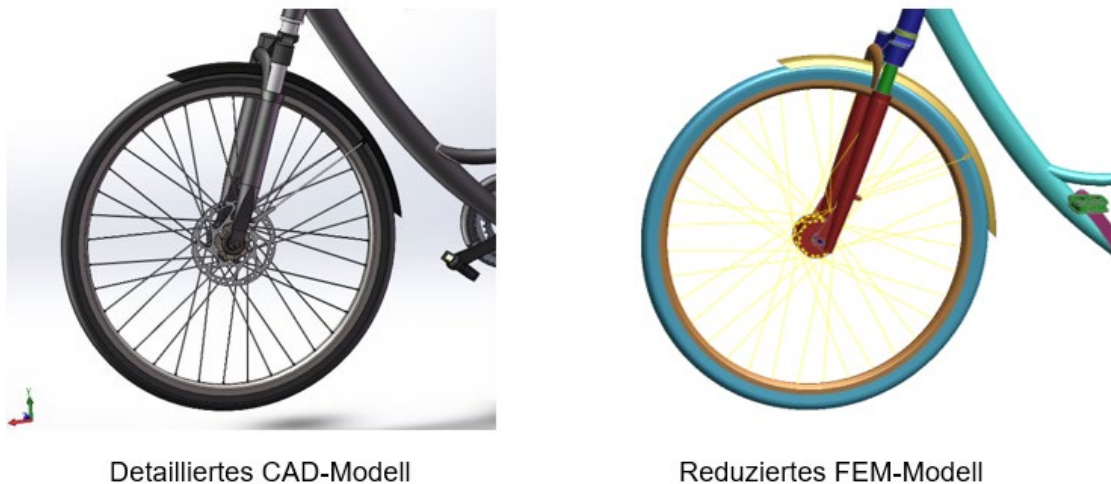


Abbildung 129: Vereinfachungen weniger relevanter Bauteile im FEM-Modell

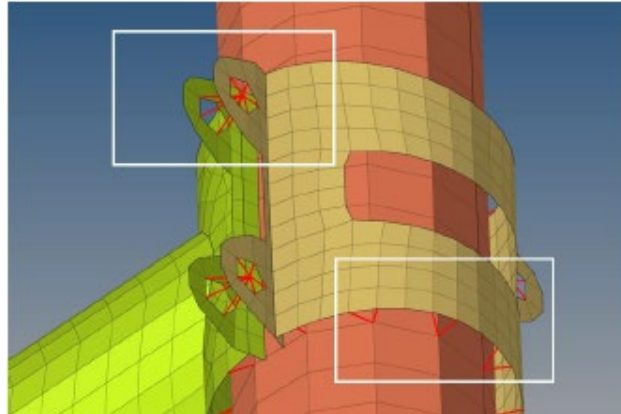
Es ist ein Modell entstanden, welches aus 48 Bauteilen besteht. Diese werden aus 135.000 Elementen und 120.000 Knoten modelliert. Dabei wurde das Netz an relevanten Stellen, wie zum Beispiel Kontaktbereiche und kritische Strukturen, feiner gewählt, um ein möglichst realistisches Materialverhalten zu gewährleisten. Der Hauptaufbau des

<sup>1</sup> ein Präprozessor der Firma Altair, welcher in diesem Projekt zur Vernetzung genutzt wurde

<sup>2</sup> ein Prä- und Postprozessor der Firma Oasys, welcher in diesem Projekt zum Modellaufbau genutzt wurde



Fahrrades wird aufgrund der Hohlkörperausprägung mit 2D-Elementen als quad und trias vernetzt. Um die Durchdringung der Elemente im Crashfall auszuschließen, wird ein globaler Automatic\_Single\_Surface-Kontakt erstellt. Im Crashfall hoch belastete Verbindungen werden dagegen mittels rigid-Elementen (starrten Verbindungen) ausgeführt (Abbildung 130).



**Abbildung 130: Modellierung der Anbindung des Lenkers an den Vorbau**

Die Materialien der einzelnen Bauteile werden durch Untersuchung des Hardwaremodells ermittelt und entsprechend in den Materialkarten umgesetzt. Der Grundaufbau des Fahrrades besteht hauptsächlich aus Aluminium-Bauteilen, welche durch Gummibauteile, wie Sattel oder Reifen, erweitert sind. Einzelne Anbindungen, wie beispielsweise die des Sattels, sind aus Stahl gefertigt. Das Gesamtgewicht des physischen Fahrrades beträgt 17 kg. Das in CAD modellierte Fahrrad, an dem die Vereinfachungen noch nicht vorgenommen wurden, wiegt 17,09 kg und weicht damit nur 0,5 % vom Originalmodell ab. Dies zeigt, dass sowohl die richtigen Materialien, als auch die richtigen Wandstärken modelliert wurden.



**Abbildung 131: Vermessung des Schwerpunktes des physischen Fahrrades**

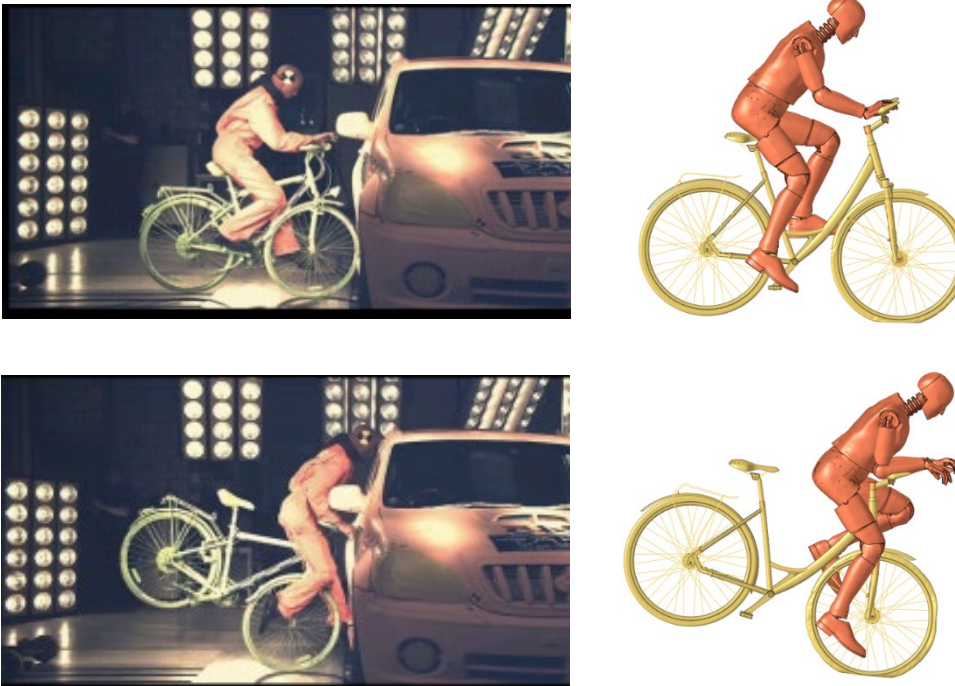
Der Schwerpunkt des Modells muss ebenfalls mit dem realen Fahrrad übereinstimmen, um im Crashfall eine realistische Kinematik abzubilden. Die Messmethode des Schwerpunktes ist in Abbildung 131 dargestellt. Das Fahrrad wird an zwei unterschiedlichen Punkten aufgehängt und beide Male an einem Seil befestigt, welches in ausgeglichener Lage eine Linie bildet. Der Schnittpunkt beider ausgegangener Seile wird ermittelt und so der Schwerpunkt des Fahrrades bestimmt. Dieser weicht in den drei Raumrichtungen wie folgt vom Originalmodell ab:  $(x = 4,65 \text{ mm} \mid y = 0 \text{ mm} \mid z = -20 \text{ mm})$ . Gemessen an der Genauigkeit der Ablesemethode sind diese Abweichungen hinreichend klein, um das Modell als valide einzustufen.

Der Gepäckträger, die Speichen und auch die Anbindung des Schutzbleches und Sattels werden aufgrund ihrer Dimensionen als Beam-Elemente dargestellt und nicht ausmodelliert. Die Reifen des Fahrrades sind mit Luft gefüllte Bauteile welche durch Airbag-Elemente modelliert werden könnten. Allerdings ist diese Art der Darstellung rechenaufwendig und komplex in der Validierung. Daher werden stattdessen die Materialkennwerte des Reifens so angepasst, dass das entsprechende realistische Verhalten der Bauteile nicht durch Komprimierung der Luft im Schlauch, sondern durch eine erhöhte Steifigkeit des Reifenmaterials hervorgerufen wird.



**Abbildung 132: FEM-Modell bestehend aus Trekkingrad und HIII-Dummy**

Auf dem Fahrrad wird ein Hybrid III – 50% male Dummy positioniert (siehe Abbildung 132), um eine realistische Schwerpunktlage und Gewichtsverteilung des Gesamtsystems im Crashfall abzubilden. Die Positionierung des Erwachsenenendummys erweist sich als aufwendig, da das Modell für eine Simulationsumgebung in einem Pkw entwickelt und validiert wurde und eine Anpassung für einen Fahrradsattel nicht vorgesehen ist. Das Modell muss im Rahmen einer Vorsimulation in Position gebracht und die Extremitäten entsprechend außerhalb ihrer Inertiallage bewegt werden. Dabei wird sowohl ein Fußgänger- als auch ein Insassendummy auf seine Tauglichkeit getestet. Am Ende zeigt sich, dass der Insassendummy, welcher über ein Sitzbecken verfügt, besser für diesen Versuchsaufbau geeignet ist. Die Handstellung wird nicht genauer ausgearbeitet, da für die Kinematik des Versuches nur ein Abstützen der Hände auf dem Lenker und kein Umschließen dargestellt werden muss. An dieser Stelle ist es nicht notwendig ein detailliertes Menschmodell zu verwenden, da dieses die Komplexität des Modells und damit die Rechenzeit unnötig erhöht und eine Auswertung der Belastungswerte des Fahrers nicht durchgeführt werden soll.



**Abbildung 133: Visuelle Validierung des kombinierten Fahrrad-Dummy-Modells mit einem Hardwareversuch [HÖV23]**

Zur ersten visuellen Validierung des Modells wird dieses mit Gravitation beaufschlagt und ein einfacher Versuchsaufbau simuliert. Das Fahrrad wird mit einem HIII-Dummy als Aufsassen bei einer Geschwindigkeit von  $v = 20 \text{ km/h}$  gegen eine starre Wand gefahren. In Abbildung 133 ist die beispielhafte Gegenüberstellung zweier Crashzeitpunkte zwischen der FEM-Simulation auf der rechten und dem Hardwareversuch auf der linken Seite dargestellt. Die Ergebnisse können optisch mit einem Hardware-Versuch eines Fahrrades in Kollision mit einem stehenden Fahrzeug verglichen werden. Die Reifenkennwerte und Positionierung des Dummys werden so angepasst, dass das gewünschte Verhalten in den Simulationsergebnissen sichtbar ist.

#### 4.5.2 Kindertransport

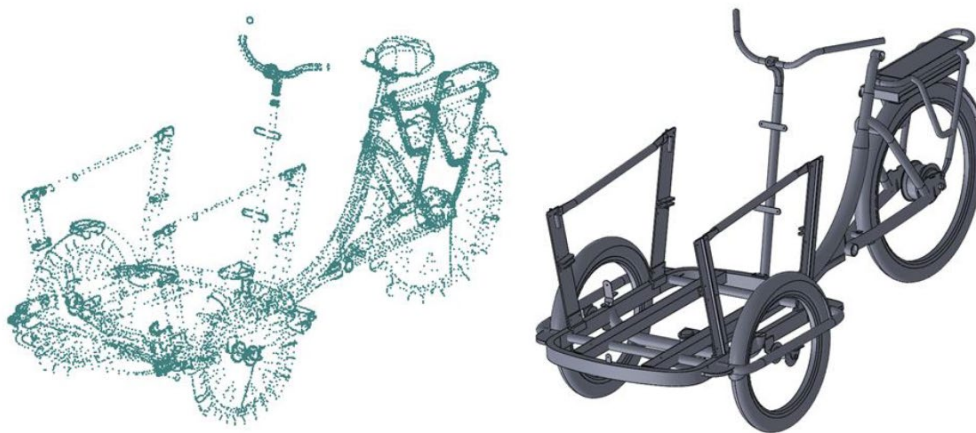
Nach der optischen Validierung des kinematischen Verhaltens des Fahrradmodells, werden die Transportmöglichkeiten für Kinder, nach der gleichen Vorgehensweise, vom Hardware-Modell in ein FEM-Modell überführt. Mit diesen Modellen sollen anschließend die durchgeführten Crashtests simulatorisch abgebildet und die FEM-Modelle mit den Versuchswerten validiert werden. Mit einem validen Modell lassen sich auch weitere Crashkonfigurationen simulieren und eine Aussage über die Belastung des Kindes treffen. Da keine Grenzwerte der Belastungskriterien auf Fahrrädern bestehen, werden für eine Einschätzung der Kindersicherheit die Grenzwerte von Zulassungstests von Kindersitzen im Pkw gemäß ECE-R 129 bzw. Euro NCAP verwendet. Diese Grenzwerte sollten auch bei dem Transport von Kindern auf dem Fahrrad eingehalten werden, um eine ausreichende Sicherheit zu gewährleisten. Die Forschungsfrage bezieht sich dabei nicht nur auf die Einhaltung der Grenzwerte, sondern vor allem den Vergleich verschiedener Transportmöglichkeiten (siehe Abbildung 134).



**Abbildung 134: Konstellationen der Transportmöglichkeiten für Kinder zur Abbildung in FEM-Modellen**

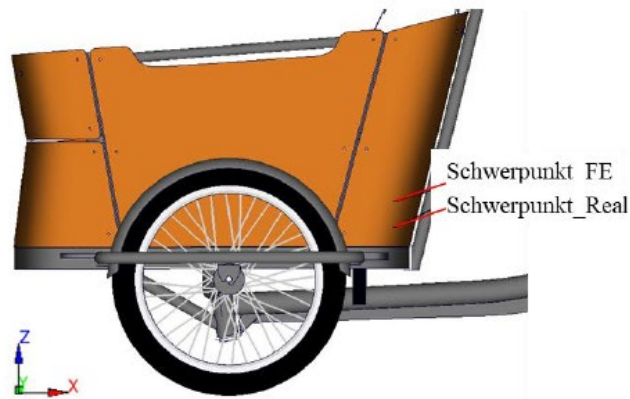
Aus diesem Grund werden neben dem Gepäckträgerkindersitz auf dem Fahrrad auch ein Fahrradanhänger und ein Lastenfahrrad als Transportmittel untersucht. Mit allen drei Transportmöglichkeiten werden in diesem Arbeitspaket ebenfalls Hardwareversuche durchgeführt. Für die Vergleichbarkeit und Validierung sollen neben dem Kindersitz als Anbauteil auch die beiden Fahrzeuge (Lastenrad und Fahrradanhänger) mit einem 3D-Messverfahren digital abgebildet werden. Es entstehen mit Hilfe dieser Scans CAD-Modelle, woraus ebenfalls entsprechende FEM-Modelle erstellt werden.

#### 4.5.2.1 Lastenfahrrad



**Abbildung 135: Punktwolke und CAD-Modell des Lastenrades ohne Transportkastens**

Das Lastenrad wird 3D-vermessen, eine Punktwolke generiert, daraus ein CAD-Modell erstellt (Abbildung 135) und dieses dann mittels der FEM vernetzt. Die Materialkennwerte werden auch bei diesem Modell zunächst aufgrund von Erfahrungswerten angenommen und über das Gewicht und den Schwerpunkt validiert. Die Masse des Lastenrades beträgt laut Hersteller 73 kg, während das FE-Modell 73,41 kg schwer ist und mit einer Abweichung von 0,5 % ein valides Ergebnis darstellt.



**Abbildung 136: Schwerpunktlage des Ausgangs- und FE-Modells**

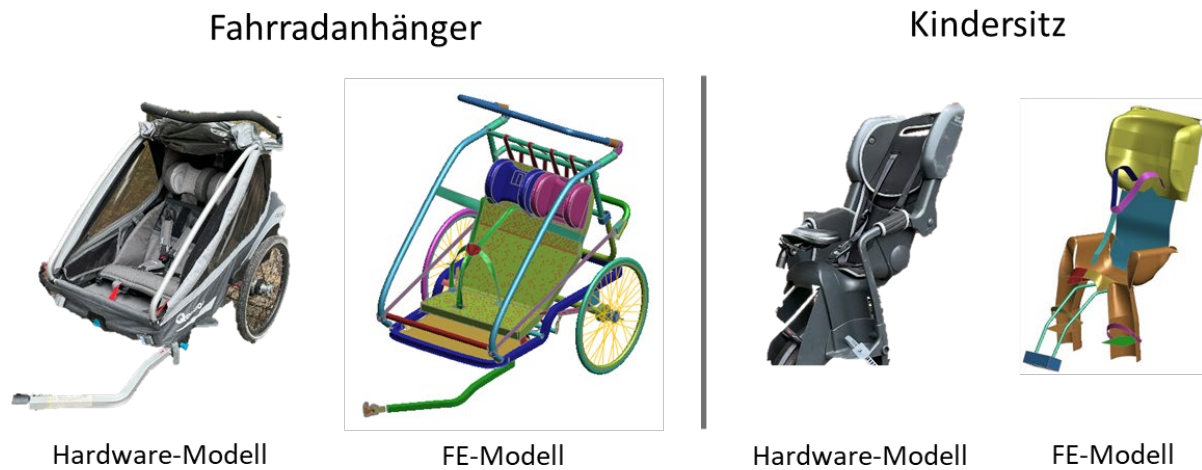
Die Schwerpunktlage unterscheidet sich in x- und y-Richtung vernachlässigbar wenig. Die Schwerpunkthöhe weist jedoch eine etwas größere Abweichung auf (siehe Abbildung 136). Diese kann auf die Vereinfachungen, die auch in diesem Modell getroffen wurden (komplette Bremsanlage, der Kettentrieb, Kabellage, Schalthebel, Lichter, Reflektoren und Dynamo), und die Auswahl der Materialien zurückgeführt werden. Bauteile aus Holz sind im Bereich der Crashsimulation nicht üblich, sodass nicht auf Erfahrungswerte zurückgegriffen werden kann und die realen Materialkennwerte der Transportbox sind nicht genau bekannt. Die Abweichung befindet sich jedoch in einem akzeptablen Rahmen und es sind keine signifikanten Auswirkungen auf die Messergebnisse zu erwarten.



**Abbildung 137: Reales Lastenrad und FE-Modell**

#### 4.5.2.2 Fahrradanhänger und Kindersitz

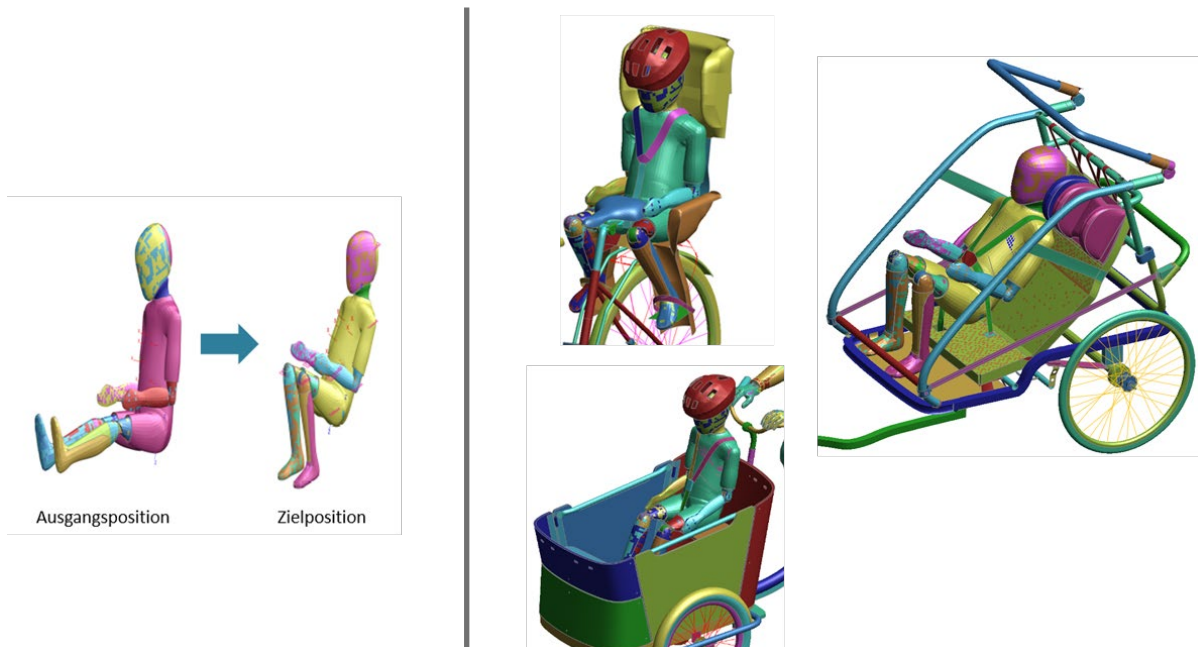
Nach der gleichen Vorgehensweise wurden sowohl der Kindersitz, als auch der Fahrradanhänger von einem physischen Modell zu einer 1-zu-1-Abbildung in ein FE-Modell überführt. Dies ist in Abbildung 137 dargestellt. Bei beiden Varianten wurde ebenfalls der Schwerpunkt und die Masse mit dem Realmodell abgeglichen, um eine erste Validierung des Grundmodells vorzunehmen. Der Fahrradanhänger wiegt laut Herstellerangaben 18,5 kg, während das FE-Modell eine Masse von 18 kg aufweist. Diese relativ geringe Abweichung ist durch die Vereinfachungen im Modell zu begründen. Die Kunststoffseitenwände wurden nicht im CAD-Modell abgebildet, da sie für Ergebnisse irrelevant sind und nur eine weitere Fehlerquelle und Validierungsaufwand bedeuten. Der Kindersitz liegt mit einer Masse von 6,2 kg im Modell in 5,7 kg in der Realität ebenfalls ausreichend nah an der Zielvorgabe.



**Abbildung 138: Fahrradanhänger und Kindersitz vom Hardware- zum FE-Modell**

#### 4.5.2.3 Einsetzen des Kinderdummys

In alle Transportvarianten wurde ein Kinderdummy eingesetzt, um die Belastungswerte zu ermitteln und anschließend gegenüberzustellen. Bei allen Konfigurationen wird die Abbildung eines 6-jährigen Kindes der Q-Serie (Q6) gewählt, da sowohl der Fahrradsitz, als auch das Anhänger bis zu diesem Alter zugelassen sind und aus sicherheitstechnischer Sicht die höchste Masse des Kindes die kritischste Situation darstellt. Um das Kindermodell in eine Sitzhaltung zu transformieren, wird ebenfalls eine Vorsimulation durchgeführt, in der die Gelenkwinkel angepasst werden. Nach erfolgreicher Positionierung wird das Kindermodell in die Transportsitze eingesetzt. Die Sitzflächen aller Transportvarianten sind nur mit einer dünnen Polsterung ausgestattet, sodass ein starkes Einsinken des Kindermodells nicht zu erwarten ist. An dieser Stelle muss folglich keine Vorsimulation für das Einsetzen selbst durchgeführt werden. Der Q6 wird auf dem Sitz positioniert und anschließend nach Bedarf angegurtet. Auch das Aufsetzen eines Sturzhelms kann nun realisiert werden. Sowohl Gurt als auch Helm können im Rahmen einer Parametervariation für die verschiedenen Simulationsszenarien verwendet oder weggelassen werden.



**Abbildung 139: Positionierung des Q6**

#### 4.5.2.4 Angurten und Helm

Die Feldbefragung und statistische Auswertung der Untersuchungsdaten hat ergeben, dass der Kindersitz die höchste Helm- und Anschnallquote erzielt. Dies ist aufgrund des fehlenden physischen Schutzes durch eine Holzkiste wie beim Lastenrad oder eine Rahmenkonstruktion wie beim Fahrradanhänger nachvollziehbar und ratsam. Doch auch im Lastenrad oder dem Fahrradanhänger sollten die Kinder zurückgehalten und vor Kopfkontakt mit harten Strukturen, Unfallgegner und Fahrbahn möglichst vermieden werden. Aus diesem Grund wurden sowohl bei den Realversuchen, als auch bei den Simulationen der Q6 im Anhänger und Lastenrad ebenfalls angegurtet. Der Anhänger weist einen vorinstallierten Kopfschutz auf, in den sich kein Helm integrieren lässt, sodass aus diesem Grund nur der Kinderdummy im Lastenrad und im Kindersitz mit einem Helm ausgestattet wird.

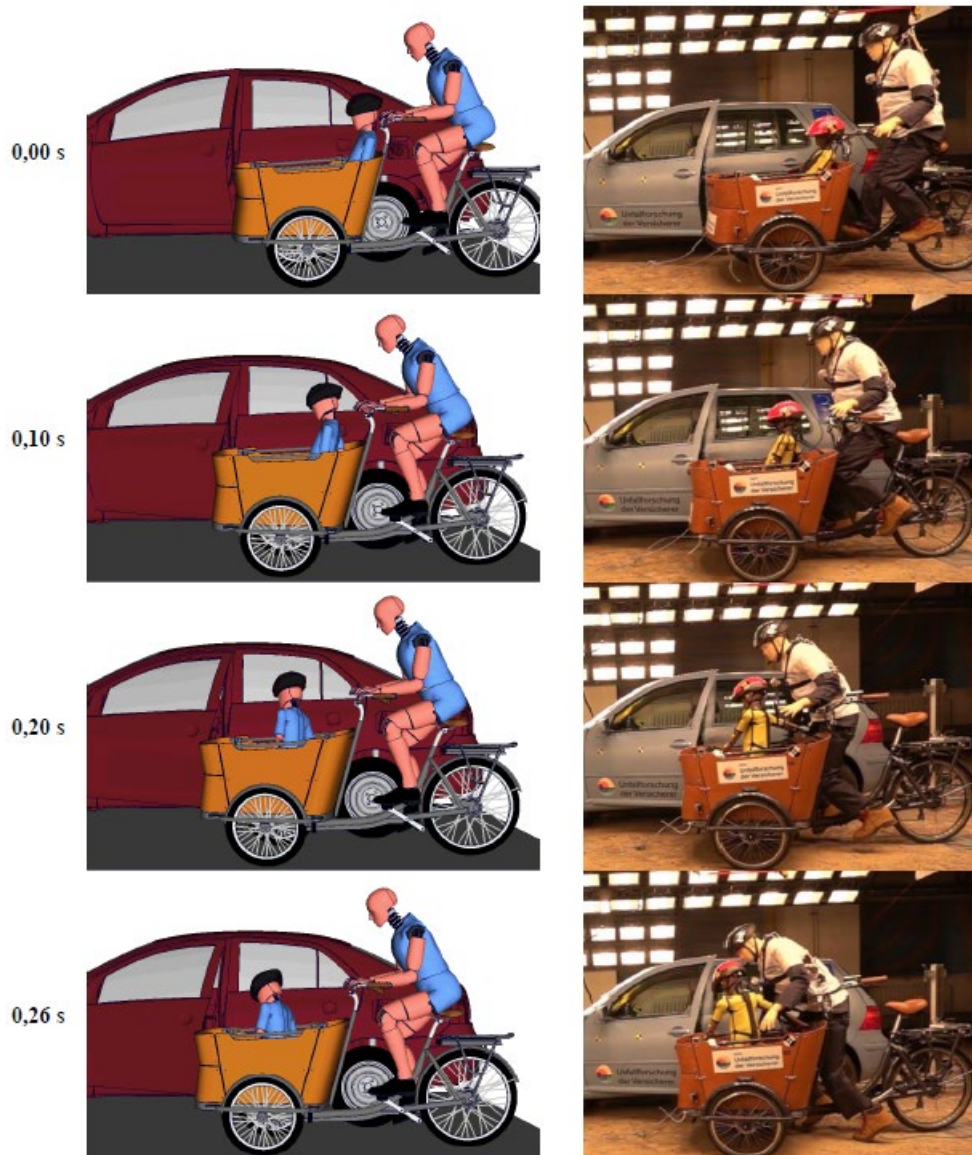


**Abbildung 140: Gurtsysteme aller Transportvarianten**

Lastenrad und Kindersitz verfügen über einen Dreipunktgurt, welcher im FE-Modell maßstabsgetreu umgesetzt wird. Im Fahrradanhänger ist ein Fünfpunktgurt verbaut, welcher eine bessere Rückhaltung des Kinderdummys annehmen lässt. Alle Gurtsysteme werden in ihren Abmaßen dem Original nachmodelliert und mit einem erprobten Gurtmaterial aus dem Fahrzeugbereich definiert. In Abbildung 140 sind alle Gurtsysteme der Transportvarianten dargestellt. Beim Kindersitz wird der das System noch um jeweils einen Gurt an der Fußablage erweitert, welcher die Beine in Position und damit fern von Speichen oder anderen Hindernissen halten soll.

#### 4.5.2.5 Validierung der Modelle

Nach dem erfolgreichen Einsitzen und Angurten des Kinderdummys in der vorgesehenen Position jeder Transportvariante, folgt die virtuelle Nachbildung der im Voraus durchgeführten realen Crashversuche. Dadurch soll es möglich sein die Kinematik der Dummys und Fahrräder in der Simulation mit der im Realversuch zu vergleichen und somit eine Aussage zur Validität der Modelle zu erzielen. Zu diesem Zweck werden die Dooring-Unfälle mit unterschiedlichen Türöffnungswinkeln (20 und 60 Grad) nachsimuliert. Das Lastenrad und der Fahrradanhänger wurde bei beiden Öffnungswinkel getestet, wohingegen der Kindersitz bei einem Türöffnungswinkel von 20 ° in Realität und Simulation geprüft wird. In den Realversuchen öffnete sich in einer Konfiguration beim Lastenrad das Gurtschloss des Q6-Gurtes. Dieses Szenario wird ebenfalls nachgestellt, um die Kinematik zu vergleichen. Die Gegenüberstellung der Simulation und Realversuch ist für einige Zeitschritte in Abbildung 141 exemplarisch dargestellt. Die anderen Konfigurationen wurden ebenfalls verglichen und anschließend durch geeignete Maßnahmen weiter validiert.



**Abbildung 141: Validierung des Lastenradmodells durch einen Dooring-Unfall bei 20°-Türöffnungswinkel**

In dieser und weiteren Ansichten wird festgestellt, dass sich die Kinematik des Lastenrades realitätsgetreu verhält. Auch der Kinderdummy führt die angestrebte Vorwärtsbewegung aus und rotiert, wie im Versuch, negativ um die eigene z-Achse. Um dieses Ergebnis zu erhalten wurden viele Validierungsschritte durchlaufen, in denen beispielsweise das Gurtmaterial, der Öffnungszeitpunkt des Gurtschlusses und der Kollisionspunkt an der Tür variiert wurden, um ein valides Ergebnis zu erhalten.

Ein wesentlicher Unterschied ist nur im Verhalten des H350-Dummys zu erkennen. Dieser zeigt in der Simulation eine wesentlich geringere Vorverlagerung. Ursache dafür könnte sein, dass im Realversuch der Biofidel-Dummy von CTS, statt des HybridIII-Dummys verwendet wurde. Dieser weist ein weniger steifes Verhalten auf und steht im Rahmen des Projektes nicht kostenfrei als FE-Modell zur Verfügung. Auch könnte das anfängliche „Fallenlassen“ des Erwachsenendummys im Versuch einen Einfluss auf dessen Kinematik haben. Da sich das Verhalten des Lastenrades und des Q6 in der Simulation realitätsgetreu zeigt, können mit diesem Ergebnis die zu untersuchenden Konfigurationen aufgebaut werden. Ebenso verhält es sich mit den anderen Transportvarianten.

#### 4.5.2.6 Crashszenarien

Die numerisch abzubildenden Crashszenarien sind in Tabelle 19 dargestellt. Alle drei Transportvarianten sollen bei einem Dooring-Unfall, einem Linksabbiegeunfall und in einer Kollision mit einer starren Wand abgebildet werden.

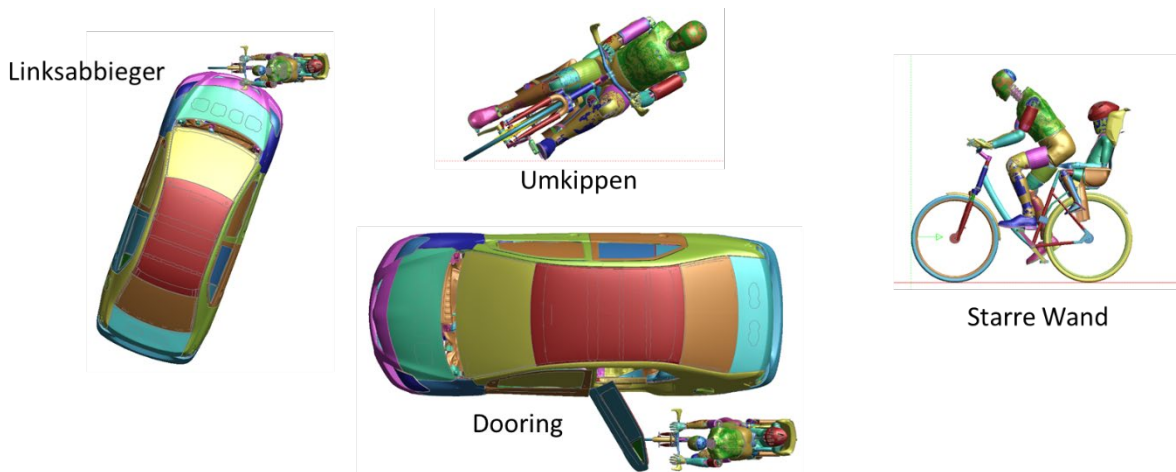


Der Kindersitz weist die Besonderheit auf, dass immer als Unfallfolge auch ein Umkippen des Fahrrades samt Kindersitzes auftritt. Auch dieses Szenario soll abgebildet werden.

Szenario	v PKW	v Rad	Transportart
Dooring mit Türöffnungswinkel 60°	0 km/h	25 km/h	alle
Linksabbiegen mit Kollisionswinkel 70°	30 km/h	25 km/h	alle
Starre Wand mit Kollisionswinkel 5°	-	25 km/h	alle
Umkippen mit Helm	-	-	Kindersitz
Umkippen ohne Helm	-	-	Kindersitz

**Tabelle 19: Simulationsmatrix der Crashkonfigurationen**

Beide Dummies sind für den Einsatz in einem Pkw-Crash ausgelegt, welcher in der Regel nach einer Dauer circa 100-150 ms beendet ist. Darüber hinaus laufen die Modelle nicht unbegrenzt stabil, sodass das Umkippen des Kindersitzes mit einer Gesamtdauer von 1.200 ms nicht direkt abgebildet werden kann. Stattdessen wird das Rad virtuell gekippt, bis der erste Teil des Erwachsenendummys, der Fuß samt Pedale, mit dem Boden in Kontakt kommt. Dieser Neigungswinkel beträgt 60 ° von der Vertikalen. Die Geschwindigkeit die das Modell zu diesem Zeitpunkt an jedem Punkt bereits aufgebaut hat, wird über das Matlab-Dynamikmodell aus dem früheren Teil des AP4 bestimmt und dem Modell als Initialgeschwindigkeit in z- und y-Richtung aufgeprägt. Der restliche Prozess des Fallens und der Primärkontakt am Boden können innerhalb von 400 ms abgebildet werden und sind damit rechenfähig in LS-DYNA.



**Abbildung 142: Crashkonfigurationen als FEM-Modelle**

Alle abzubildenden Crashkonfigurationen sind in Abbildung 142 exemplarisch mit dem Fahrradkindersitz dargestellt. Das Linksabbiege-Szenario wird mit einem Kollisionswinkel von 70 °, das Dooring mit einem Türöffnungswinkel von 60 °, das Umkippen mit einem Startneigungswinkel von 60 ° und die Kollision mit der starren Wand in einem Winkel von 5 ° aufgebaut, um ein unrealistisches Verhalten durch die Idealisierung der Randbedingungen und die ideale Symmetrie in der Simulation zu eliminieren.

Für alle Konfigurationen werden die Belastungskennwerte des Q6-Dummys aus Gesetzgebung und Verbraucherschutz bestimmt und miteinander verglichen. Dabei wurden für jeden Wert die strengsten Grenzen angenommen. Die Grenzwerte werden aus dem Euro NCAP und der UN-ECE R129 herangezogen, welche jeweils für einen Frontal-Pkw-Aufprall gelten. Grenzwerte für die Belastungen bei Unfällen auf dem Fahrrad bestehen nicht, daher müssen die genannten Größen herangezogen werden, auch wenn sie unter Umständen nur eine eingeschränkte Aussagekraft für diese Szenarien haben. Zusätzlich wurde auch die Beckenbeschleunigung

ausgewertet, welche keinen vorgegebenen Grenzwert hat, aber in den Simulationen des Linksabbiegeunfalls Werte in erwähnenswerter Höhe erreichen werden.

#### 4.5.2.7 Dooring-Unfall

Tabelle 20 zeigt die simulatorisch ermittelten Belastungskennwerte aller Transportvarianten im Dooring-Unfall bei einem Türöffnungswinkel von 60°. Der Dooring-Unfall stellt ein weniger kritisches Szenario dar, da die Tür durch Verformung und Öffnung Energie absorbiert und sich so ein eher weicher Puls ergibt.

Messstelle	Belastungswert	Lastenrad	Kindersitz	Anhänger	Grenzwerte Euro NCAP Higher
Kopf	Beschleunigung $a_{3ms}$	17,3 g	6,7 g	8,6 g	60 g
	HIC <sub>15</sub>	12	2	4	500
Hals	Kraft $F_z$	369,1 N	165,8 N	278,6 N	1700 N
	Moment $M_y$	33,5 Nm	0,8 Nm	23,7 Nm	36 Nm
Brust	Beschleunigung $a_{3ms}$	19,3 g	9,1 g	18,9 g	55 g (R129)
	Eindrückung s		1,1 mm	3,7 mm	30 mm
Becken	Beschleunigung $a_{3ms}$	19,7 g	10,5 g	16,2 g	-

**Tabelle 20: Belastungswerte aller Transportvarianten im Dooring-Unfall**

Die drei Transportvarianten zeigen über alle Kennwerte hinweg ein geringes Verletzungsrisiko für den Q6-Dummy. Der Insasse ist angegurtet und durch eine Holzbox bzw. eine Art Überlebensraum des Fahrradanhängers gut geschützt. Beim Kindersitz treten im Primärkontakt mit der Tür ebenfalls sehr geringe Belastungswerte auf. Allerdings ist davon auszugehen, dass es durch das Umkippen des Rades noch zu einem sekundären Kontakt mit der Karosserie des Fahrzeuges kommen wird. Bei dieser ist auch ein Kopfkontakt denkbar. An dieser Stelle sind folglich höhere Belastungswerte zu erwarten. Aufgrund sich anhäufender Rechenfehler ist die Simulation bei einer Rechendauer von 230 ms abgebrochen und konnte trotz zahlreicher Anpassungen nicht länger berechnet werden.

Der Anhänger und das Lastenrad konnten mit einer Simulationsdauer von 300 ms berechnet werden und bilden alle entscheidenden Lasteinträge innerhalb dieses Zeitraums ab. Trotz dessen sind die Belastungswerte über alle Messstellen hinweg in einem unkritischen Bereich. Lediglich beim Halsmoment weist die Konfiguration mit dem Lastenrad einen Wert von 33,5 Nm, welcher im Bereich des Grenzwertes des Euro NCAP von 36 Nm liegt. Werte die sich dem Grenzwert nähern werden hier und im Folgenden gelb dargestellt, während grenzüberschreitende Werte rot visualisiert werden. Die Brusteindrückung konnte beim Lastenradcrash aufgrund eines Rechnerfehlers nicht ermittelt werden.

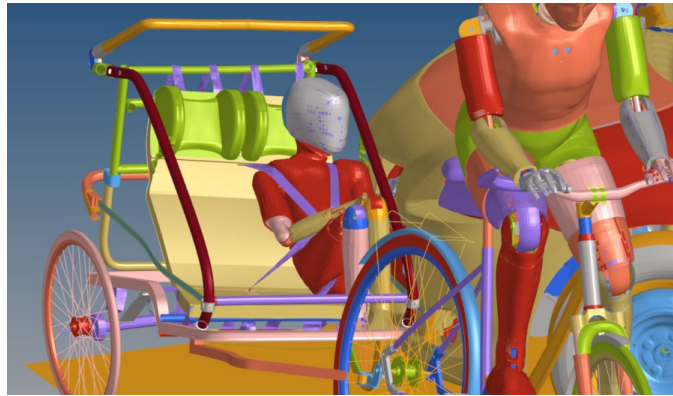
#### 4.5.2.8 Linksabbieger-Unfall

Ein weitaus belastenderes Ergebnis zeigt sich bei der Auswertung des Linksabbieger-Unfall-Szenarios (Tabelle 21). Hier zeigt der Fahrradanhänger an fast allen Messpunkten hohe Werte, die zum Großteil die Grenzwerte des Ratings überschreiten. Die Beckenbeschleunigung kann nicht mit einem Grenzwert verglichen werden, ist aufgrund der Höhe des Wertes jedoch auch rot gekennzeichnet, da auch hier von ernsten Verletzungen ausgegangen werden kann.

Messstelle	Belastungswert	Lastenrad	Kindersitz	Anhänger	Grenzwerte Euro NCAP Higher
Kopf	Beschleunigung $a_{3ms}$	21,1 g	49,2 g	75,3 g	60 g
	HIC <sub>15</sub>	30	102	816	500
Hals	Kraft $F_z$	195,2 N	274,6 N	445 N	1700 N
	Moment $M_y$	19,6 Nm	7,6 Nm	36,4 Nm	36 Nm
Brust	Beschleunigung $a_{3ms}$	41,8 g	35,2 g	95,8 g	55 g
	Eindrückung s		1,3 mm	3,4 mm	30 mm
Becken	Beschleunigung $a_{3ms}$	92,4 g	34,4 g	105 g	-

**Tabelle 21: Belastungswerte aller Transportvarianten im Linksabbieger-Unfall**

Der Fahrradanhänger zeigt hier einen großen Nachteil seines Konzepts. Der Insasse sitzt sehr niedrig, direkt über der Fahrbahn und damit auf Stoßstangenhöhe des stoßenden Fahrzeuges. Ebenfalls ist zu erkennen, dass trotz des Gurtes eine Rückhaltung des Q6 nicht vollständig gewährleistet werden kann. Der Kopf des Dummys verlagert sich über die Schaumstoffkopfstütze nach vorne und kommt in direkten Kontakt mit dem Aluminiumrahmen des Anhängers (Abbildung 143).



**Abbildung 143: Kopfkontakt Q6 mit Aluminiumrahmen des Fahrradanhängers bei Linksabbiegerunfall**

Genau im Gegensatz dazu zeigt der Kindersitz an dieser Stelle einen Vorteil, denn durch die hohe Sitzhöhe des Kinderdummys rutscht dieser über die Motorhaube des Fahrzeuges und kann die Verzögerung über längerem Weg ermöglichen. Aber auch bei dieser Konfiguration ist es wahrscheinlich, dass das Fahrrad samt Kindersitz nach dem Rutschen über die Motorhaube diese verlässt und ein Sekundärkontakt auf dem Boden stattfindet. Dabei kann es zu größeren Belastungswerten kommen. Das Lastenrad schützt den Insassen durch die starre Holzbox in nahezu allen Punkten ausreichend, obwohl der Kollisionspartner nur durch die Holzbox vom Q6 getrennt ist und keine Energieabsorption durch weitere verformbare Strukturen entsteht.

#### 4.5.2.9 Kollision mit der starren Wand

Die Kollision mit der starren Wand stellt im Gegensatz zum Dooring-Unfall einen härteren Puls im Frontalaufprall dar. Das Fahrrad hat eine Initialgeschwindigkeit von 25 km/h und die Wand ist als Starrkörper modelliert und kann keinerlei Energie absorbieren. Nichtsdestotrotz kann der Fahrradanhänger den Dummy mit geringen Belastungswerten in allen Kategorien schützen. Das Lastenrad zeigt erhöhte Werte in der Beckenbeschleunigung und dem Halsmoment um die y-Achse. Hier werden die Grenzwerte relativ knapp überschritten (Tabelle 22).

Messstelle	Belastungswert	Lastenrad	Kindersitz	Anhänger	Grenzwerte Euro NCAP Higher
Kopf	Beschleunigung $a_{3ms}$	40,4 g	56,9 g	8,7 g	60 g
	HIC <sub>15</sub>	93	146	3	500
Hals	Kraft $F_z$	388,6 N	211,9 N	258,5 N	1700 N
	Moment $M_y$	36,8 Nm	5,6 Nm	22,8 Nm	36 Nm
Brust	Beschleunigung $a_{3ms}$	60 g	39,3 g	14,8 g	55 g (R129)
	Eindrückung s	13,8 mm	3,1 mm	2,8 mm	30 mm
Becken	Beschleunigung $a_{3ms}$	40,2 g	14,8 g	14,9 g	-

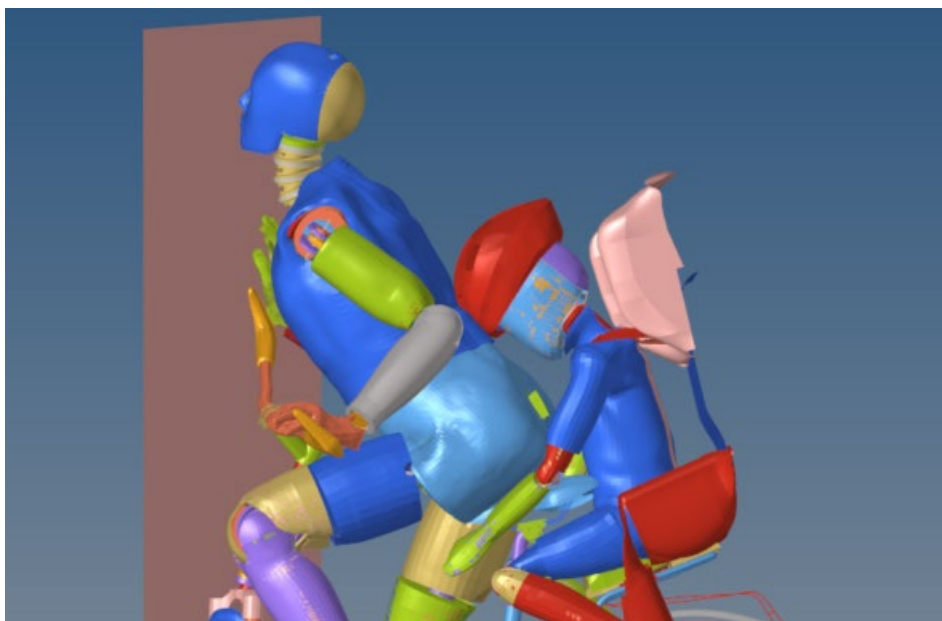
**Tabelle 22: Belastungswerte aller Transportvarianten im Unfall mit der starren Wand**

Das Lastenrad weist mit 73 kg Eigengewicht das höchste Gesamtgewicht aller Varianten auf und bringt damit die höchste kinetische Energie in das System. Des Weiteren hat das Lastenrad keine deformierbaren Strukturen an der Front, sodass die Last auf den Dummy direkt durch die Holzkiste eingeleitet wird. Das vermutlich größte Problem stellt hier jedoch der Fahrradfahrende da. Dieser stützt sich nicht vollständig auf dem Fahrrad ab und wird aufgrund seiner Trägheiten in die Holzkiste verlagert. Dabei kommt er mit dem Kopf des Q6 in Kontakt. Dies ist ein strukturelles Problem des Lastenrades und kann in anderen Konfigurationen noch stärker ausfallen (Abbildung 144).



**Abbildung 144: Interaktion beider Dummys aufgrund der Vorverlagerung des H350-Dummys im Frontalaufprall mit der starren Wand**

Erneut zeigt der Kindersitz niedrige Belastungswerte. Nur die Kopfbeschleunigung befindet sich im Grenzbereich. Dies ist auf die Interaktion zwischen den Dummys zurückzuführen. Aufgrund der Vorverlagerung des Q6 und der Zurückhaltung des H350-Dummys durch die starre Wand, trifft der Kopf des Q6-Dummys auf dem Rücken des Fahrenden und erfährt vergleichsweise hohe Kopfbeschleunigungen (Abbildung 145).



**Abbildung 145: Interaktion der Dummies beim Frontaufprall auf die starre Wand**

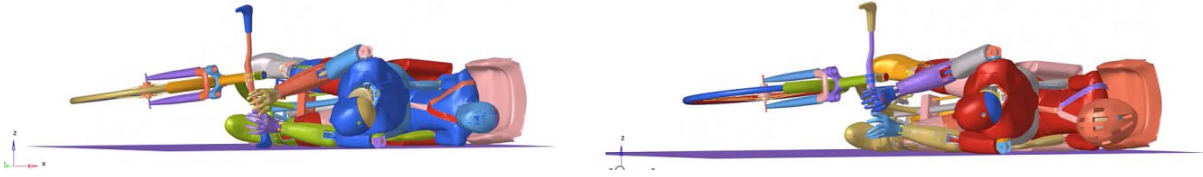
#### 4.5.2.10 Umkippen des Fahrrades mit Kindersitz

Dass alle anderen Werte in einem geringen Belastungsbereich liegen ist mitunter auf die Simulationsdauer zurückzuführen. Aufgrund der begrenzten maximal möglichen Berechnungsdauer in der Simulation der Crasheszenarien von etwa 300 ms wird ausschließlich der Primärkontakt mit der Fahrradvariante und der starren Wand abgebildet. Lastenrad und Fahrradanhänger verschieben und verformen sich elastisch, aber kippen nicht um und kommen am Ende des Crashes aufrecht zum Stehen. Dies gilt dabei nur für den Anhänger und nicht für das Zugfahrrad und Aufsassen. Diese werden umkippen, so wie es auch von dem Fahrrad mit dem Kindersitz zu erwarten ist. Dieser Sekundäraufprall auf der Fahrbahn kann innerhalb der Simulationsdauer nicht abgebildet werden. Aus diesem Grund wurde das Umkippen wie zuvor beschrieben einzeln mit initialem Kippwinkel simuliert. Dabei wurde ein statisches Kippen (Umkippen aus dem Stand) mit und ohne Helm und ein dynamisches Kippen simuliert, welches die Unfallfolge darstellen soll und eine Initialgeschwindigkeit von 25 km/h in x-Richtung aufweist.

Messstelle	Belastungswert	Kindersitz mit Helm dynamisch	Kindersitz ohne Helm dynamisch	Kindersitz mit Helm statisch	Kindersitz ohne Helm statisch	Grenzwerte Euro NCAP Higher
Kopf	Beschleunigung $a_{3ms}$	12,2 g	13,6 g	22,2 g	32,9 g	60 g
	HIC <sub>15</sub>	4	170	27	34	500
Hals	Kraft $F_z$	64 N	45,5 N	42 N	56,8 N	1700 N
	Moment $M_y$	3,2 Nm	5,9 Nm	5 Nm	7,6 Nm	36 Nm
Brust	Beschleunigung $a_{3ms}$	17 g	18 g	31 g	22,9 g	55 g
	Eindrückung s	0,1 mm	0,1 mm	0,5 mm	0,3 mm	30 mm
Becken	Beschleunigung $a_{3ms}$	7,9 g	6,9 g	8,4 g	9,7 g	-

**Tabelle 23: Belastungswerte des Umkippens statisch und dynamisch, mit und ohne Helm**

Die Ergebnisse der Tabelle 23 zeigen die des statischen und dynamischen Umkippens jeweils mit und ohne Helm. In beiden Varianten zeigen sich mit Helm geringere Kopfbelastungswerte. Es ist zu erwarten, dass sich der Unterschied in der Realität noch stärker zeigt, denn in der idealisierten Simulation kommt es in keiner Konfiguration zum Kopfkontakt mit der Fahrbahn. Für alle vier Varianten verbleibt der Kopf des Q6 innerhalb des Sitzes und kommt nur mit der Kopfstütze des Sitzes in Kontakt. Diese ist aus einem Kunststoff und nicht so steif wie die Fahrbahn, sodass hier der energieabsorbierende Effekt des Helmes weniger wirksam dargestellt wird.



**Abbildung 146: Gegenüberstellung Kopfkontakt beim Umkippen mit und ohne Helm**

Die Belastungswerte im Kopf sind bei einem Aufprall auf der Straße im Allgemeinen höher zu erwarten, als es in den Simulationen sichtbar ist. Ebendieser Aufprall ist die Folge und der Sekundärkontakt eines jeden Unfalls mit dem Kindersitz, sodass diese Werte auch bei der Beurteilung der Belastungssituation im Dooring-, Linksabbieger- und Unfall mit der starren Wand betrachtet werden müssen.

#### 4.5.2.11 Zusammenfassung und Einordnung der Ergebnisse

Die Simulationsergebnisse zeigen beim Fahrradanhänger, dass der Kinderdummy durch den Aluminiumrahmen bei einem Frontalaufprall gut geschützt ist. Im Seitenaufprall, bei einem Abbiegeunfall, treten hohe Belastungen im Dummy auf, welche die Grenzwerte aus Gesetzgebung und Verbraucherschutz an vielen Stellen überschreiten. Dies ist durch die niedrige Sitzhöhe des Dummies im Anhänger, auf Stoßhöhe des Fahrzeuges, zu begründen. Genau im Gegenteil dazu zeigt sich die Kinematik des Kindersitzes. In diesem sitzt der Kinderdummy wesentlich weiter oben und ist bei einem Abbiegeunfall nicht direkt auf Kontakthöhe. Der Q6 gleitet über die Motorhaube des Fahrzeuges und erfährt keine grenzüberschreitenden Lastenleitungen. Genau diese erhöhte Sitzposition stellt in anderen Konfigurationen wiederum einen Nachteil dar. Das Umkippen als Unfallfolge ergab in den Realversuchen sehr hohe Kopfbelastungen. Dies konnte in den Simulationen nicht abgebildet werden, da es aufgrund der idealen Kinematik zu keinem Kopfkontakt mit der Fahrbahn kam. Dies stellt eine Einschränkung der Simulation dar, mit der Folge, dass der Kindersitz in keiner Konfiguration Belastungswerte über den Grenzwerten aufweist. Lediglich beim Aufprall auf der starren Wand zeigen sich Kopfbelastungen nur wenig unter dem angegebenen Grenzwert. Diese sind auf den Kontakt des Q6-Kopfes auf dem Rücken des Erwachsenendummy zurückzuführen, welcher aufgrund der Vorverlagerung des Kinderdummies entsteht. Eine deutlich belastendere Situation zeigt sich beim Lastenrad wo die Hals- und Brustbelastungen im Szenario mit der starren Wand hohe Werte zeigen. Diese werden dadurch indiziert, dass der fahrende Erwachsenendummy aufgrund seiner Trägheit eine starke Vorverlagerung in die Holzbox des Q6 erfährt und sich am Kopf von diesem abstützt. Auch die niedrige Gurtanbindung der Schultergurte und die weit nach vorne verlagerte Anbindung des Beckengurtes stellen bei diesem Lastenradmodell einen Nachteil dar, da der Dummy im Linksabbieger-Szenario durch den Beckengurt hindurchrutscht und in den Frontalaufprall-Szenarien eine starke Vorverlagerung des Q6-Dummies zu erkennen ist.

Die FE-Simulationen stellen die prinzipbedingten Vor- und Nachteile der Transportvarianten deutlich dar. In Ergänzung zu den Realversuchen bieten sie die Möglichkeit weitere Unfallszenarien abzubilden und damit neue Erkenntnisse zu gewinnen. Ein weiterer Vorteil der numerischen Simulationen ist, dass Parameter, wie die Geschwindigkeit, beliebig angepasst werden können, ohne den Aufwand eines erneuten Versuches und den Materialverschleiß. So wurden alle Simulationen mit einer erhöhten Fahrradgeschwindigkeit von 25 km/h abgebildet, um die Effekte deutlicher sichtbar zu machen. Auch das Linksabbieger- und Starre-Wand-Szenario bieten einen Mehrwert zu den Versuchen, da sie nicht real durchgeführt wurden. Die Simulationsergebnisse können nicht uneingeschränkt zur Einschätzung der Belastungssituation verwendet werden. Sowohl der Q6-Dummy als auch der Erwachsenendummy sind für die Verwendung auf einem Fahrzeugsitz konzipiert und entwickelt worden. Daher lassen sie sich nicht ideal auf dem Fahrrad und den Kindertransportvarianten positionieren. Die Grenzwerte für diese Dummies beziehen sich auf Belastungen im Fahrzeugcrash und lassen sich nicht ohne Weiteres auf einen Fahrradunfall übertragen. Auch konnte keine Validierung der Szenarien auf dem höheren Geschwindigkeitsniveau vorgenommen werden, da keine Realversuche durchgeführt wurden. Trotz der vorhandenen Einschränkungen stellen die Ergebnisse der Simulationen einen erheblichen Mehrwert zur Bewertung der Belastungssituation von Kindern beim Transport auf dem Fahrrad dar. Die Kinematik und die Belastungswerte der Transportvarianten

wurden im Niedergeschwindigkeitsbereich mit den Realversuchen verglichen und die Modelle soweit angepasst, dass auch bei höheren Geschwindigkeiten von hinreichend validen Ergebnisse auszugehen ist. Es wurden bisher keine vergleichbaren Modelle aufgebaut und Ergebnisse veröffentlicht, sodass mit diesen Simulationen eine Grundlage für weitere Simulationen geschaffen wurde.

## 5 Ableitung von Empfehlungen anhand der Forschungsergebnisse

Die in diesem Forschungsprojekt gewonnenen Erkenntnisse zeichnen ein komplexes Bild. Der Transport von Kindern auf dem Fahrrad ist je nach gewählter Beförderungsart von zum Teil recht unterschiedlichen Randbedingungen gekennzeichnet. Grundsätzliche Herausforderungen jedoch, wie beispielsweise die Sicherung der Kinder im Fahrrad oder die bisweilen wenig geeignete Verkehrsinfrastruktur, sind für alle Transportarten gleichermaßen relevant.

In diesem Kapitel sollen nun die wesentlichen Erkenntnisse der vorherigen Arbeitspakete strukturiert zusammengefasst und daraus spezifische Handlungsempfehlungen abgeleitet werden. Als Adressaten für diese Empfehlungen wurden dabei drei Gruppen identifiziert: Die Nutzer:innen, welche im Alltag mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert sind, der Gesetzgeber und Behörden, welcher die Rahmenbedingungen sowohl für die Zulassung von Fahrrädern als auch für die Gestaltung der Infrastruktur festlegen und die Hersteller von Fahrrädern, Anhängern und Kindersitzen, welche einen unmittelbaren Einfluss auf die Nutzbarkeit der genannten Produkte haben.

Im Folgenden werden für die einzelnen Transportarten Fahrrad mit Kindersitz, Lastenrad und Fahrradanhänger Handlungsempfehlungen für die einzelnen Adressaten formuliert. Zunächst werden jedoch Empfehlungen gegeben, die für alle Varianten gleichsam geeignet erscheinen.

Die Autor:innen dieses Forschungsberichts sind sich dabei dem Umstand bewusst, dass sich alle genannten Empfehlungen am Ende unter einer Vielzahl realer Randbedingungen bewähren müssen und sich nicht alles sofort umsetzen ließe. Die Handlungsempfehlungen verstehen sich daher vor allem als konkrete Vorschläge dafür, welche Aspekte zukünftig im Themenkomplex des Transports von Kindern auf dem Fahrrad mitgedacht werden sollten.

### 5.1 Generelle Empfehlungen

#### **Nutzer:innen**

Für alle Transportkonzepte gilt, dass sie sich vom klassischen Fahrrad in vielen, zum Teil sehr grundsätzlichen Dingen unterscheiden. Entsprechend ist es unbedingt ratsam, dass sich Nutzer:innen, in der Regel Eltern, ausgiebig mit der Frage befassen, welche Transportart für ihren Anwendungsfall geeignet ist. Das hängt natürlich von finanziellen Rahmenbedingungen ab, genauso wie von den Möglichkeiten zum sicheren Abstellen des Fahrrads. Auch sollte die Frage bedacht werden, ob mit dem Transportmittel bestimmte Teilstrecken im ÖPNV zurückgelegt werden müssen. Dann scheiden das Lastenrad und in den meisten Fällen auch der Fahrradanhänger praktisch aus.

Ist eine grundsätzliche Entscheidung gefallen, sollte die gewählte Transportart vor dem Kauf getestet werden. Wie beschrieben, hat jedes Konzept seine spezifische Eigenart, an die es sich zu gewöhnen gilt. So erfordert der Anhänger beispielsweise deutlich mehr Platz beim Fahren und insbesondere beim Abbiegen, als das beim Fahrrad der Fall ist. Das Fahrrad mit Kindersitz hingegen hat einen hohen Schwerpunkt, der insbesondere beim Anhalten, Losfahren und bei langsamer Fahrt besondere Anforderungen an die Fahrstabilität und das Ausbalancieren stellt. Das Lastenrad erfordert ebenfalls vergleichsweise viel Platz und zeichnet sich durch eine hohe Masse aus. Insbesondere bei dreirädrigen Lastenrädern kommt mangels Kurvenneigung ein gewöhnungsbedürftiges Verhalten bei der Kurvenfahrt hinzu.

Ein neues Fahrrad sollte daher zunächst immer ausgiebig erprobt werden. Insbesondere kritische Situationen, wie plötzliches Ausweichen oder starkes Bremsen sollten geübt werden.

Nutzer:innen sollten sich weiterhin mit den spezifischen Möglichkeiten zur Sicherung des Kindes im Fahrrad vertraut machen und diese auch unbedingt auf jeder Fahrt nutzen. Dazu gehört auch die Nutzung des Helms.

#### **Gesetzgeber und Behörden**

Dem Gesetzgeber kommt die Rolle zu, die Rahmenbedingungen für einen möglichst sicheren Transport von Kindern auf dem Fahrrad zu schaffen. Das betrifft zunächst die Infrastruktur. Sichere Verkehrswege für Fahrräder zeichnen sich unter anderem dadurch aus, dass sie auch zum gegenseitigen Überholen genügend Platz bieten, dass sie genügend Abstand zum ruhenden und fließenden Verkehr ermöglichen und dass sich Verkehrsteilnehmer:innen auch insbesondere an Kreuzungspunkten gut und rechtzeitig sehen können. Diese Anforderungen sollten insbesondere in Hinblick auf Lastenräder und Fahrradanhänger bei der zukünftigen Gestaltung von Radfahrinfrastruktur berücksichtigt werden.



Weiterhin können Verkehrsbehörden einen erheblichen Beitrag zur Aufklärungsarbeit leisten. Diese muss sich an alle Verkehrsteilnehmer:innen gleichermaßen richten. Fahrradfahrer:innen sollten für die Notwendigkeit der Sicherung von Kindern im Fahrrad sensibilisiert werden, wozu unbedingt auch die Nutzung des Helmes gehört. Auch die Aufklärung die gesetzlichen Rahmenbedingungen zur Nutzung von Straßen, Radwegen und Fußwegen gehört dazu. Autofahrer:innen hingegen sollten darüber informiert werden, welche Vorschriften es im Zusammenhang mit Radverkehr gibt. Das betrifft unter anderem den einzuhaltenden Überholabstand innerorts und außerorts, die Nutzung von Radfahrstraßen, den Umgang mit Schutz- und Radfahrstreifen und nicht zuletzt auch die besondere Vorsicht beim Öffnen der Fahrzeughür.

Da sich bei den Untersuchungen zum Überholabstand gezeigt hat, dass der gesetzliche geforderte Überholabstand von 1,5 m zum Fahrrad häufig unterschritten wird, wäre eine geeignete Hilfestellung für die Autofahrer:innen sinnvoll. Mit Hilfe von System zum Umfelderkennung, wie sie in modern Autos vorhanden sind (Radar, Lidar, Kamera), kann der seitliche Abstand zu einem Fahrrad erfasst und dem Fahrer informativ angezeigt werden. Wird der geforderte Mindestabstand unterschritten kann eine Warnung erfolgen. Ein solches System kann vom Gesetzgeber verpflichtend vorgeschrieben werden. Der Intelligent Speed Assist (ISA), die in zukünftigen Fahrzeuggenerationen vorgeschrieben ist und warnt, wenn die vorgeschriebene Geschwindigkeit überschritten wird, ist ein vergleichbares Beispiel für ein solches System.

### **Hersteller**

Hersteller von Fahrrädern, Kindersitzen und Fahrradanhängern wird dringend empfohlen sicherstellen, dass ihr Produkt unter allen vorstellbaren Umständen sicher ist und den Kindern einen größtmöglichen Schutz bietet. Dazu gehört, dass geeignete Plätze für Kinder vorhanden sind, an denen sie derart gesichert werden können, dass sie im Fall eines Unfalls im Fahrrad bzw. im Anhänger bleiben und nach Möglichkeit vor einem Kontakt mit einem Kollisionspartner oder der Umwelt geschützt sind. Gleichzeitig sollten Eltern umfassende und leicht verständliche Informationen zur Nutzung der gewählten Transportart ausgehändigt werden. Die sollte klar beschreiben, für welche Größe, Gewicht und Alter des Kindes das System geeignet ist. Idealerweise werden diese Informationen auch mit leicht nachvollziehbaren Argumenten untermauert. Auch hier sollte auf die Notwendigkeit zur Nutzung von Gurten und Helmen hingewiesen werden.

In den Untersuchungen zur Fahrdynamik und auch in der Feldbefragung hat sich immer wieder gezeigt, dass Nutzer:innen beim Bremsen mit Fahrrädern, die Kinder transportieren, zum Teil erhebliche Probleme haben. Die hohe Masse, der hohe Schwerpunkt und eine instabile Fahrdynamik sind sicherlich Gründe dafür, dass das Gesamtsystem bei hohen Verzögerungen instabil wird und nur noch schwer zu kontrollieren ist. Dieses Problem kann mit unterstützenden Bremssystemen, wie beispielsweise einem ABS für Fahrräder adressiert und reduziert werden. Nicht zuletzt wird empfohlen, dass Hersteller das Verkaufspersonal ihrer Produkte schulen. In der Regel sind Verkäufer:innen die ersten Ansprechpartner:innen für interessierte Kund:innen. Da sollten sie unbedingt in der Lage sein insbesondere zu allen sicherheitsrelevanten Fragen und Themen, die damit in Verbindung stehen, verlässlich und substantiell Auskunft geben zu können.

## **5.2 Handlungsempfehlungen zu Kindersitzen**

### **Nutzer:innen**

Kindersitze am Fahrrad sorgen dafür, dass sich der Schwerpunkt des Gesamtsystems deutlich nach oben verlagert. Dieser Effekt steigt mit zunehmendem Gewicht des Kindes. Das führt insbesondere bei langsamer Fahrt zu einem deutlichen Stabilitätsverlust. Das sollte durch eine entsprechend defensive Fahrweise berücksichtigt werden. Beim Anfahren und Anhalten verstärkt sich dieser Effekt, so dass hier insbesondere eine hohe Sturzgefahr besteht. Besondere Vorsicht ist daher auch beim Einsetzen und Herausnehmen des Kindes aus dem Kindersitz geboten. Hier muss unbedingt auf einen sicheren Stand des Fahrrads geachtet werden. Die am Fahrrad üblicherweise verbauten Ständer sind dafür in der Regel nicht geeignet.

### **Gesetzgeber und Behörden**

Die in diesem Projekt durchgeführten Versuche zur passiven Sicherheit haben gezeigt, dass beim Sturz insbesondere der Kopf gefährdet ist. Ein Kontakt mit der Straße und ggf. mit einem anderen Verkehrsteilnehmer lässt sich kaum vermeiden. Die möglicherweise gravierenden Folgen lassen sich durch die Nutzung eines Helms deutlich reduzieren. Daher sollte darüber nachgedacht werden, ob für Kinder, die in einem Kindersitz auf dem Fahrrad befördert werden, das Tragen eines Helms verpflichtend ist.

Die Untersuchungen zur Fahrdynamik haben weiterhin gezeigt, dass der Transport von Kindern am oberen Gewichtslimit, in der Regel 22 kg, kaum sicher beherrschbar ist. Der Kindersitz entfaltet im Bezug zum Fahrrad eine derart große Dynamik die dazu führt, dass das Rad bereits in weniger kritischen Fahrsituationen kaum noch zu kontrollieren ist. Eine Anpassung der oberen Gewichtsgrenze sollte hier unbedingt geprüft werden.

Generell wäre zu erwägen Zulassungstests für Kindersitze, die grundsätzliche Anforderungen zum Schutz des Kindes abprüfen, zu etablieren. Neben Anforderungen an das Gurtsystem, wie sie in [NORMDIN 79010:2020-02] bereits beschrieben sind, könnten auch Belastungsgrenzen mittels geeigneter Dummies in Sturzversuchen überprüft werden. Die in diesem Projekt durchgeführten Crashtests und –simulationen haben gezeigt, dass insbesondere der Kopfbereich stark gefährdet ist.

#### **Hersteller**

Auch seitens der Hersteller ist zu überprüfen, inwieweit eine Reduzierung des Gewichtslimits für Kinder im Kindersitz notwendig ist. Mindestens aber muss über Risiken im Zusammenhang mit der Fahrstabilität deutlich aufgeklärt werden.

Wie oben beschrieben, ist bei einem Sturz insbesondere der Kopf des Kindes gefährdet. Eine Optimierung des seitlichen Schutzes wäre daher wünschenswert, für einige Kindersitzmodelle, die seitlich nahezu keinen Schutz bieten, sogar dringend erforderlich.

Wünschenswert wäre auch das Angebot geeigneter Ständer am Fahrrad, die das Einsetzen und Herausnehmen eines Kindes aus dem Sitz sicher ermöglichen.

### **5.3 Handlungsempfehlungen zu Fahrradanhängern**

#### **Nutzer:innen**

Fahradanhänger haben sich in den Versuchen zur Fahrdynamik als vergleichsweise leicht beherrschbar gezeigt. Herausfordernd für die Nutzer:innen war einerseits das Fahren um enge Kurven und die Vollbremsung. Daher gilt hier einmal mehr, dass eine hinreichend ausgiebige Erprobung insbesondere kritischer Situationen unabdingbar ist.

Auch wenn der Anhänger konstruktionsbedingt einen rechten guten Schutz für die Insassen bietet, sollte auch hier darauf geachtet werden, dass die Kinder immer angeschnallt sind und einen Helm tragen.

Weiterhin sollten Nutzer:innen auf einen verkehrssicheren Zustand des Anhängers achten. Dazu zählen eine ausreichende Beleuchtung, gut sichtbare Reflektoren und eine Fahne, die dafür sorgt, dass der flache Anhänger auch für Autofahrer gut sichtbar ist.

#### **Gesetzgeber und Behörden**

Neben den bereits oben beschriebenen generellen Empfehlungen an die Gesetzgeber und Behörden, sollte im Zusammenhang mit dem Fahrradanhänger darüber nachgedacht werden, ob die Nutzung der Fahne verpflichtend wird, wie es beispielsweise in Österreich der Fall ist. In der Auswertung von Unfällen zwischen Fahrrädern mit Anhänger und Pkw haben sich einige Fälle gezeigt, in denen der Verdacht nahelag, dass der Anhänger von den Pkw-Fahrer:innen schlicht übersehen wurde.

#### **Hersteller**

Während an die Hersteller adressiert auch für den Fahrradanhänger alle oben allgemeingültigen Aussagen zutreffen, sollte spezifisch für den Anhänger sichergestellt werden, dass die vorgesehenen und zum Teil auch vorgeschriebenen Sicherheitseinrichtungen langlebig gestaltet werden. So hat sich in der Feldbeobachtung gezeigt, dass die Beleuchtung häufig nicht funktioniert hat oder einfach gar nicht vorhanden war. Anstelle einfacher batteriebetriebener Lichter wäre ein System mit eigener Stromversorgung über einen Nabendynamo gut vorstellbar. Anforderungen an die Robustheit sollten auch für die Fahne gelten. Auch hier hat sich sehr häufig gezeigt, dass die am Anhänger nicht vorhanden war, da sie bereits verloren wurde oder abgebrochen ist. Eine Lösung, die sowohl das Verlieren als auch das Abbrechen, zum Beispiel durch einen Mechanismus zum Abklappen oder Einfahren, wäre denkbar.

Schließlich hat sich der Anhänger bei Vollbremsungen als kritisch herausgestellt. Bewegt sich dabei das ziehende Fahrrad nicht exakt gerade, schiebt der Anhänger von hinten das Fahrrad weiter und hebt das Hinterrad aus. Im schlechtesten Fall verliert der oder die Fahrer:in das Gleichgewicht und es kommt zum Sturz. Eine eigene Bremse am Anhänger, die beispielsweise über einen Auflaufmechanismus funktioniert, sollte dieses Problem mindestens deutlich reduzieren.

## 5.4 Handlungsempfehlungen zu Lastenrädern

### Nutzer:innen

Aus Sicht der Nutzer:innen bringt das Lastenrad die größte Veränderung im Vergleich zum gewöhnlichen Fahrrad mit sich. Hier ist die Gewöhnung und das Ausprobieren im Grenzbereich in besonderem Maß notwendig. Neben der richtigen Sicherung der Kinder muss auch auf eine gute Ladungssicherung, so diese im Rad mitgeführt wird, geachtet werden. Gegenstände, die nicht richtig gesichert sind, können sich schon bei vergleichsweise kleinen Ausweich- oder Bremsbewegung lösen und das Kind verletzen. Auch kann es zu unvorhersehbaren Gewichtsverlagerungen kommen, die einen Sturz zur Folge haben kann.

### Gesetzgeber und Behörden

Für den Gesetzgeber gibt es im Bereich der Lastenräder in besonderem Maß Handlungsbedarf. Während Lastenräder formal als Fahrräder gelten, können diese mittlerweile mehrere hundert Kilogramm wiegen und beträchtliche Ausmaße annehmen. Hier ist unbedingt zu klären, unter welchen Umständen für Lastenräder die gleichen Maßstäbe wie für Fahrräder anzulegen sind oder ob es dafür besondere Regelungen geben sollte. Das betrifft einerseits technische Details wie beispielsweise die Bremsen, andererseits aber auch Fragen des Verkehrsrechts. Es erscheint fragwürdig ob es sinnvoll ist, dass Lastenräder mit über 500 kg Gewicht und dank elektrischer Tretunterstützung im Regelfall auch bis 25 km/h schnell, hinsichtlich der Radwegnutzung die gleichen Rechte und Pflichten haben sollten wie der normale Radverkehr.

Für Lastenfahrräder, die zum Kindertransport gedacht sind, gelten diese Aussagen gleichermaßen, auch wenn sich die Maße des Gefährts hier sicherlich eher im Bereich bis 300 kg bewegt. Klare Festlegungen hinsichtlich der Anforderungen an ein Lastenrad zum Kindertransport hinsichtlich der technischen Systeme und auch der Sicherung der Kinder und der zu entfaltenden Schutzwirkung im Crashfall, sind zu definieren. Diese Anforderungen sollten dann auch in entsprechenden Zulassungstests abgeprüft werden.

### Hersteller

An die Hersteller gerichtet muss unbedingt die Forderung formuliert werden, dass dem Transport von Kindern in besonderem Maß Rechnung getragen wird. Diese sollte nicht nur als eine besondere Form von „Last“ betrachtet werden. Hinreichend ausgestaltete Sitze, die im Fall eines Unfalls eine gute Schutzwirkung entfalten, sind geboten. Dazu zählt auch ein robustes Gurtsystem, gepolsterte Gestänge und Kanten in Bereichen, gegen die der Kopf des Kindes stoßen kann und auch eine Art Überrollbügel, der Kinder schützt, wenn der Radfahrer selbst über den Fahrradlenker nach vorn stürzt.

Seitliche Rutschsicherungen, die die Reibung zur Fahrbahn erhöhen und verhindern, dass das Rad nach dem Umstürzen über die Fahrbahn gleitet, wären ebenfalls ein Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit.

## 6 Literaturverzeichnis

- [ADA20] ADAC; ADAC: Das Lastenfahrrad – eine Alternative zum Auto, Internet, (<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/zweirad/fahrrad-ebike-pedelec/lastenrad/lastenrad/>)
- [ADA21] ADAC: Fahrradanhänger oder Fahrradkindersitz: Was ist sicherer?, Internet, 2021-04-15, (<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/zweirad/fahrrad-ebike-pedelec/kauf-ausruestung/fahrradanhaenger-fahrradkindersitz/>)
- [ADA21] ADAC: Kinder auf dem Fahrrad mitnehmen: Praktisch – aber auch sicher?, Internet, 2021-09-11, (<https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/tests/fahrrad/kindertransport-fahrrad-systemvergleich/>)
- [ALE23] Alex Piccin; Westfälische Nachrichten: Auto kollidiert mit Fahrrad-Gespann, Internet, (<https://www.wn.de/muensterland/kreis-steynfurt/ochtrup/auto-kollidiert-mit-fahrrad-gespann-2699827>)
- [ALL22] All-In.de: Autofahrer übersieht Fahrradgespann beim Abbiegen, Internet, ([https://www.all-in.de/halblech/c-polizei/autofahrer-uebersieht-fahrradgespann-beim-abbiegen\\_a5167637](https://www.all-in.de/halblech/c-polizei/autofahrer-uebersieht-fahrradgespann-beim-abbiegen_a5167637))
- [ALL23] All-In.de: Drei Verletzte bei Unfall mit Lastenrad in Leutkirch, Internet, ([https://www.all-in.de/polizei/drei-verletzte-bei-unfall-mit-lastenrad-in-leutkirch\\_arid-297337](https://www.all-in.de/polizei/drei-verletzte-bei-unfall-mit-lastenrad-in-leutkirch_arid-297337))
- [ALL23] All-In.de: Fahrradanhänger kippt um - Zwei Kinder (3 und 5) bei Unfall in Kempten verletzt, Internet, ([https://www.all-in.de/polizei/fahrradanhaenger-kippt-um-zwei-kinder-3-und-5-bei-unfall-in-kempten-verletzt\\_arid-298891](https://www.all-in.de/polizei/fahrradanhaenger-kippt-um-zwei-kinder-3-und-5-bei-unfall-in-kempten-verletzt_arid-298891))
- [AMA11] Amazon: Prophete Kinder Sicherheits-kindersitz für Hinten Fahrrad kindersitz, Grau-Orange, M EU, Internet, ([https://www.amazon.de/Prophete-Sicherheits-Kindersitz-f%C3%BCr-hinten-Grau-Orange/dp/B006TXHOK6/ref=sr\\_1\\_2?crd=UG03R93AQLJX&keywords=prophete+kindersitz&qid=1651213491&srefix=prophete%2Caps%2C90&sr=8-2](https://www.amazon.de/Prophete-Sicherheits-Kindersitz-f%C3%BCr-hinten-Grau-Orange/dp/B006TXHOK6/ref=sr_1_2?crd=UG03R93AQLJX&keywords=prophete+kindersitz&qid=1651213491&srefix=prophete%2Caps%2C90&sr=8-2))
- [AMA12] Amazon: ROLAND Unisex Erwachsenen Trailer add + bike, Internet, ([https://www.amazon.de/ADD-BIKE-ECO-BLAU-GANGSCH/dp/B007MJV1CI/ref=sr\\_1\\_2?\\_\\_mk\\_de\\_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=26NR0Q5WMST06&keywords=roland+trailer+add&qid=1649248258&srefix=roland+trailer+add%2Caps%2C79&sr=8-2](https://www.amazon.de/ADD-BIKE-ECO-BLAU-GANGSCH/dp/B007MJV1CI/ref=sr_1_2?__mk_de_DE=%C3%85M%C3%85%C5%BD%C3%95%C3%91&crd=26NR0Q5WMST06&keywords=roland+trailer+add&qid=1649248258&srefix=roland+trailer+add%2Caps%2C79&sr=8-2))
- [ARG22] Argovia Today: 5-Jähriges Kind stirbt nach Kollision mit Baustellenfahrzeug, Internet, 2022-04-29, (<https://www.argoviatoday.ch/zentralschweiz/luzern/5-jaehriges-kind-stirbt-nach-kollision-mit-baustellenfahrzeug-146320418>)
- [ARG22] Argovia Today: Auto kollidiert mit 5-Jährigem Kind und fährt weiter, Internet, (<https://www.argoviatoday.ch/aargau-solothurn/fricktal/auto-kollidiert-mit-5-jaehrigem-kind-und-faehrt-weiter-146835941>)
- [BAB22] Babboe: Babboe Curve-E, Internet, (<https://www.babboe.de/babboe-curve-e>)
- [BAB22] Babboe: Lastenrad Neigetechnik | Babboe Carve, Internet, (<https://www.babboe.de/carve>)
- [BAD23] Badem, Serhat: Konzeption und Aufbau eines Messtechnikfahrrads. Bachelorarbeit, Berlin, Januar 2023, Internet, Januar 2023

- [BAY21] Bayreuther Tagblatt: 27-jährige Fahrradfahrerin bei Unfall mit anderem Fahrrad verletzt – zweijähriges Kind im Fahrradanhänger dabei, Internet, (<https://www.bayreuther-tagblatt.de/nachrichten-meldungen-news/27-jaehrige-mutter-bei-fahrradunfall-in-oberfranken-verletzt-zweijaehrige-tochter-dabei/>)
- [BEC23] Beck, Kristina; Hallo München: München: Lkw-Fahrer übersieht Fahrradfahrerin beim Rechtsabbiegen - Sohn im Kindersitz schwer verletzt, Internet, (<https://www.tz.de/muenchen/stadt/hallo-muenchen/unfall-muenchen-lkw-fahrrad-fahrerin-kind-verletzt-ampel-abbiegen-zenettistrasse-92229866.html>)
- [BEN22] Benzel, Caroline; ZDF: Teuer und nachlässig: E-Bike-Reparaturen - Wie gut checken und reparieren Fahrradwerkstätten?, Internet, 2022-04-25, (<https://www.zdf.de/verbraucher/wiso/e-lastenrad-inspektion-100.html>)
- [BER22] Berliner Kurier: Friedrichshain: Kind (2) bei Unfall schwer verletzt, Internet, (<https://www.berliner-kurier.de/kriminalitaet/polizei-ticker-berlin-news-blau-licht-polizei-feuerwehr-brandenburg-li.191434>)
- [BER22] Berliner Zeitung: Lastenrad-Papa fährt in entgegengesetzte Richtung – und kracht in Rennradfahrer, Internet, (<https://www.bz-berlin.de/berlin/pankow/lastenrad-papa-faehrt-in-entgegengesetzte-richtung-und-kracht-in-rennradfahrer>)
- [BIK22] Bikebox-Shop: Qeridoo Kidgoo2 Kinderanhänger, Internet, (<https://www.bikebox-shop.de/fahrradanhaenger/kinderanhaenger/qeridoo/kidgoo2-2020/a-15650/>)
- [BLI23] Blick Aktuell: Kind bei Unfall leicht verletzt, Internet, (<https://www.blick-aktuell.de/Nachrichten/Kind-bei-Unfall-leicht-verletzt-556990.html>)
- [BLI23] Blick-Aktuell.de: Fahrrad mit Anhänger von Auto erfasst: Zwei Kinder schwer verletzt, Internet, (<https://www.blick-aktuell.de/Nachrichten/Fahrrad-mit-Anhaenger-von-Auto-erfasst-Zwei-Kinder-schwer-verletzt-538464.html>)
- [BMV21] BMVI, PTV GROUP, ifok GmbH, Fraunhofer-Institut für System-und Innovationsforschung: Nationaler Radverkehrsplan 3.0, Berlin, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2021
- [BOU13] Boufous, Soufiane; Rome, Liz de, et al.: Single- versus multi-vehicle bicycle road crashes in Victoria, Australia, In: *Injury prevention : journal of the International Society for Child and Adolescent Injury Prevention* (Bd. 19), H. 5, S. 358–362
- [BR222] BR24: Unfall in Ansbach: Dreijährige im Fahrradanhänger verletzt, Internet, 2022-05-14, (<https://www.br.de/nachrichten/bayern/unfall-in-ansbach-dreijaehrige-im-fahrradanhaenger-verletzt,T5niO95>)
- [BUN21] Bundesanstalt für Straßenwesen: Kinderbeförderung auf Lastenfahrrädern, 1. Auflage, Bergisch Gladbach, Rostock, Druckerei des Bundesamtes für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2021
- [STV12] Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen: Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (2012)
- [STV13] Bundesverkehrsministerium: Straßenverkehrsordnung (2013)
- [BÜS23] Büsching, Annika: Dreijähriges Kind bei Fahrradunfall am Berliner Ring verletzt - Verursacher flüchtet, Internet, (<https://www.dieharke.de/lokales/nienburg-lk/nienburg/dreijaehrige-kind-bei-fahrradunfall-am-berliner-ring-verletzt-verursacher-fluechtet-KNWISPRR3JFGRGMOSUJHOCT32M.html>)

- [BUS22] Bussgeldkatalog.net: Fahrrad und Kind – Bußgeldkatalog Fahrrad (2022), (<https://www.bussgeldkatalog.net/fahrrad/kind/>)
- [BUS22] Bussgeldkatalog.org: Dooring: Die Autotür gegen den Fahrradfahrer, Internet, 2022-02-16, (<https://www.bussgeldkatalog.org/dooring/>)
- [CAR22] Cargobike: Lenkungstypen bei Lastenrädern, Internet, (<https://cargobike.org/lp/lenkungen-lastenrad-bakfiets-dreirad-kiste-vorne>)
- [CAR22] Cargobike: Personentransport auf dem Lastenrad, Internet, (<https://www.cargobike.jetzt/tipps/lastenrad-personentransport/>)
- [CAR99] Carvallo, E.: Théorie du mouvement du monocycle et de la bicyclette, 1899
- [CÖL23] Cölln, Hajo von: Kind bei Verkehrsunfall verletzt, Internet, (<https://www.maz-online.de/lokales/potsdam-mittelmark/werder-havel/gueterfelde-pkw-faehrt-fahrradanhaenger-an-kind-verletzt-oder-polizei-26-juli-2023-X3WWGLY5LZH5BP5W7O5BNZDSNQ.html>)
- [DAS22] dasKinderrad.de: Kinderfahrrad anhängen: Alle Möglichkeiten, Internet, 2022-03-07, (<https://daskinderrad.de/kinderfahrrad-anhaengen-alle-moeglichkeiten-dein-kind-zu-ziehen/>)
- [DEK20] DEKRA: DEKRA Verkehrssicherheitsreport 2020, Stuttgart, 2020
- [DER19] DerStandard.de: Prozess um für zwei Kinder tödlichen Unfall mit Fahrradanhänger startet, Internet, (<https://www.derstandard.de/story/2000111749031/prozess-um-fuer-zwei-kinder-toedlichen-unfall-mit-fahrradanhaenger-startet>)
- [DIE20] Dieltiens, Sien, Debrouwere, Frederik, Juwet, Marc, Demeester, Eric: Practical Application of the Whipple and Carvallo Stability Model on Modern Bicycles with Pedal Assistance, In: *Applied Sciences* (Bd. 10), H. 5672, S. 1–12
- [DIG99] Digges, Kennerly H.: Injury Measurements and Criteria, In: *RTO-MP* (Bd. 20)
- [NORMDIN EN 15918:2017-05]  
Norm NORM DIN EN 15918:2017-05: Fahrräder - Fahrradanhänger - Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfverfahren, Mai 2017
- [NORMDIN 79010:2020-02]  
Norm NORM DIN 79010:2020-02: Fahrräder - Transport- und Lastenfahrrad - Anforderungen und Prüfverfahren für ein- und Mehrspurige Fahrräder, Februar 2020
- [NORMDIN EN 14344:2022-08]  
Norm NORM DIN EN 14344:2022-08: Artikel für Säuglinge und Kleinkinder - Kindersitze für Fahrräder - Sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfverfahren, August 2022
- [DUB21] Dubisthalle.de: Fahrradfahrer mit Baby auf dem Kindersitz in Halle-Neustadt umgefahren, Halle, Internet, (<https://dubisthalle.de/radler-in-halle-neustadt-umgefahren>)
- [DUB23] Dubisthalle.de: Linksabbiegende Autofahrerin fährt gegen Fahrrad mit Kinderanhänger, Internet, (<https://dubisthalle.de/linksabbiegende-autofahrerin-faehrt-gegen-fahrrad-mit-kinderanhaenger>)
- [E-A21] E-Action.at: Tow-Whee Abschleppseil für Kinder flexibel, rot, für alle Größen, Internet, (<https://www.e-action.at/Tow-Whee-Abschleppseil-fuer-Kinder-flexibel-rot-fuer-alle-Groessen/12189>)
- [EHR20] Ehrenfeuchter, Martin: Lastenräder - Das große Risiko?, In: *Auto-Motor-Sport* (Bd. 20)

- [E-L22] E-Lastenrad.de: Kaufangebote Longtail Lastenräder, Internet, (<https://www.e-lastenrad.de/backpacker>)
- [ELE20] Elektrobike-Online: Die spannendsten Long-John-Lastenräder, Internet, 2020-04-24, (<https://www.elektrobike-online.com/spezial-e-bikes/die-spannendsten-long-john-lastenraeder-2020/>)
- [ELT22] Eltern.de: Kinderfahrradsitz-Test 2022: Die besten Fahrradsitze für Kinder im Vergleich, Internet, (<https://www.eltern.de/vergleich/kinderfahrradsitze/>)
- [ENT23] ENTLASTA: - Entwurfselemente und Netze für Lastenräder im Stadtverkehr; Forschungsprojekt, gefördert durch BMVI; Projektbeschreibung; Internet, 2024-04-02; <https://www.svpt.uni-wuppertal.de/de/home/forschung/projekte/entlasta-entwurfselemente-und-netze-fuer-lastenraeder-im-stadtverkehr/>
- [EUR23] EUROPEAN NEW CAR ASSESSMENT PROGRAMME (Euro NCAP): ASSESSMENT PROTOCOL – CHILD OCCUPANT PROTECTION, 2023
- [FAH22] Fahrrad.de: Adventure Bungee Abschleppseil rot, Internet, ([https://www.fahrrad.de/towwhee-adventure-bungee-abschleppseil-M973263.html?vgid=G1414575&\\_cid=21\\_1\\_-1\\_9\\_5316\\_1414575\\_501669780169\\_pla&ef\\_id=CjwKCAjw9LSSBhBsEiwAKtf0nyE0qXmG1MTs2hrraGg7XugojuvTPIf8FofagYtjgAmDAK-EwG0T-ABoC6x0QAvD\\_BwE&ev\\_chn=shop&campaign\\_detail=smart\\_shopping&gclid=CjwKCAjw9LSSBhBsEiwAKtf0nyE0qXmG1MTs2hrraGg7XugojuvTPIf8FofagYtjgAmDAK-EwG0T-ABoC6x0QAvD\\_BwE](https://www.fahrrad.de/towwhee-adventure-bungee-abschleppseil-M973263.html?vgid=G1414575&_cid=21_1_-1_9_5316_1414575_501669780169_pla&ef_id=CjwKCAjw9LSSBhBsEiwAKtf0nyE0qXmG1MTs2hrraGg7XugojuvTPIf8FofagYtjgAmDAK-EwG0T-ABoC6x0QAvD_BwE&ev_chn=shop&campaign_detail=smart_shopping&gclid=CjwKCAjw9LSSBhBsEiwAKtf0nyE0qXmG1MTs2hrraGg7XugojuvTPIf8FofagYtjgAmDAK-EwG0T-ABoC6x0QAvD_BwE))
- [FOR22] Forytta, Tamina: Unfall in Waltrop Dreijähriges Kind aus Lünen fällt vom Fahrrad – schwer verletzt, Internet, (<https://www.ruhrnachrichten.de/waltrop/unfall-in-waltrop-dreijaehriges-kind-aus-luenen-faellt-vom-fahrrad-schwer-verletzt-w672902-2000696091/>)
- [FRA23] Frankfurter Allgemeine: Hubschrauber rettet mit Fahrrad umgekipptes Kind, Internet, (<https://www.faz.net/aktuell/gesellschaft/ungluecke/rettungswagen-voll-hubschrauber-rettet-kind-nach-fahrradunfall-19206014.html>)
- [FRE21] SiFAr - Sicheres Fahren im Alter, In 2021
- [FRO20] Frommeyer, Lena: Faktencheck - Ist es sicher, Kinder auf dem Fahrrad zu transportieren?, Internet, 2020-02-06, (<https://www.spiegel.de/auto/faktencheck-ist-es-sicher-kinder-auf-dem-fahrrad-zu-transportieren-a-918901bf-4c21-421e-8d7b-08e99a93bf99>)
- [FUL23] Fuldaer Zeitung: Abstand beim Überholen missachtet: Auto streift Radfahlerin mit Kind - eine Person verletzt, Internet, (<https://www.fuldaerzeitung.de/unterfranken/unterfranken-auto-streift-radfahlerin-mit-kind-eine-person-verletzt-thomas-voeth-92477935.html>)
- [GDV16] GDV 19UDV Unfallforschung der VersichererImpressumGesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.: Typische Unfälle zwischen Pkw und Radfahrern: Unfallforschung kompakt, Berlin, 2016
- [GER21] Gerteis, Björn: Cargobike-Revolution - So fahren wir heute, In: *CARGOBIKE* (Bd. 21)
- [GRE22] Greenbike-Shop: Lastenrad FAQ's, Internet, (<https://www.greenbike-shop.de/lastenfahrrad/beratung/faq/#:~:text=3%2DR%C3%A4drige%20Lasten%C3%A4der%20haben%20meist,immer%20in%20der%20selben%20Position.>)
- [GRE22] Greenbike-Shop: Lastenrad-Arten, Internet, (<https://www.greenbike-shop.de/lastenfahrrad/beratung/lastenrad-arten/>)

- [GRO19] Große-Schuetzen-Kleine.at: Tödlicher Unfall mit Fahrradanhänger: Dennoch ist der Transport eine sichere Sache, Internet, (<https://grosse-schuetzen-kleine.at/toedlicher-unfall-mit-fahrradanhaenger-dennoch-ist-der-transport-eine-sichere-sache/>)
- [HAD23] Hadon, Sven: Kind (2) versinkt mit Radanhänger im Wassergraben, Internet, (<https://www.bild.de/regional/mecklenburg-vorpommern/mecklenburg-vorpommern-news/unfall-in-bandenitz-lebensgefahr-kind-2-rollt-mit-radanhaenger-ins-wasser-85445604.bild.html>)
- [HAL22] Halterner Zeitung: Zwei Fahrradunfälle in Haltern: Mutter und Sohn stürzen mit Lastenrad, Internet, 2022-05-01, (<https://www.halternerzeitung.de/haltern/zwei-fahrradunfaelle-in-haltern-mutter-und-sohn-stuerzen-mit-lastenrad-w1750216-3000507665/>)
- [HAM22] Hamburger Morgenpost: Bei Hamburg: Autofahrer überrollt Familie mit Kleinkind auf Radweg, Internet, (<https://www.mopo.de/im-norden/schleswig-holstein/drama-bei-hamburg-autofahrer-ueberrollt-familie-mit-baby-auf-radweg/>)
- [HIL23] Hille, Claudia; Gersie, Nora, et al.: ALADIN-Muster für kommunale Fahrradabstellanlagen, 2023
- [HÖN23] Hönle, Jonas: Fahrrad-Unfall in München - Vater und Kinder nach Kollision mit Taxi im Krankenhaus, Internet, (<https://www.tz.de/muenchen/stadt/hallo-muenchen/fahrrad-unfall-muenchen-vater-kinder-kollision-krankenhaus-taxi-maedchen-forstenrieder-allee-92465153.html>)
- [HÖV23] Crash-Test Hövding 2.0; [https://www.youtube.com/Crash-Test Hövding 2.0 Airbag](https://www.youtube.com/Crash-Test%20H%C3%B6vding%202.0%20Airbag), abgerufen am 03.02.2023
- [HUM93] Humanetics: Q-Series Q6 ATD 033-0001-B, Internet, (<https://www.humanetics-group.com/products/anthropomorphic-test-devices/child/q-series/q6-6-year-old-child>)
- [IDE22] IDEALO: Preisvergleich Fahrradanhänger, Internet, (<https://www.ideal.de/preisvergleich/ProductCategory/13252.html>)
- [IDE22] IDEALO: Preisvergleich Fahrradkindersitze, Internet, (<https://www.ideal.de/preisvergleich/ProductCategory/14740F1441044I16-15.html>)
- [ING19] Ingenlath, Philipp; CORVES, Burkhard (Mitarb.); BERTRAM, Torsten (Mitarb.) : Mehrkörpersimulationsgestützte Fahrradentwicklung. Diss, 2019, Internet, 2019
- [INN22] Innsalzach24.de: Vater (50) und Kind (2) auf Fahrrad von Auto angefahren und verletzt, Internet, (<https://www.innsalzach24.de/innsalzach/polizeimeldungen/burghausen-vater-und-kind-auf-dem-fahrrad-von-auto-angefahren-und-verletzt-91880729.html>)
- [KAL98] Kalliske, Ingo; Wobben, Dieter, et al.: Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern, Bremerhaven, Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss, 1998
- [KID22] KIDSCAB: Scandinavian Side Bike Fiber Beiwagen, Internet, (<https://www.kidscab.be/de/scandinavian-side-bike-fahrradanhanger/1249-710-scandinavian-side-bike-fiber-fahrradanhanger.html>)
- [KIR23] Kirchmeier, Elisabeth; BVZ: Nach Unfall bei Bad Sauerbrunn: Lenker stellte sich, Internet, (<https://www.bvz.at/mattersburg/reuig-nach-unfall-bei-bad-sauerbrunn-lenker-stellte-sich-poettsching-bad-sauerbrunn-360503271>)



- [KRE22] Kreisbote.de: Sechsjährige fällt in Gauting aus dem Kinderanhänger, Internet, (<https://www.kreisbote.de/lokales/starnberg/sechsjaehrige-faellt-in-gauting-aus-dem-fahradanhaenger-91593112.html>)
- [KRO21] Kroher, Thomas; GRABMEIER, Stefan (Mitarb.): Elektrische Lastenfahrräder im ADAC Test, 2021
- [KRO23] Kronen Zeitung: Auto-Lenker beging nach Unfall Flucht, Internet, (<https://www.krone.at/3101686>)
- [KUB21] Kubitzki, Jörg: Zweiradsicherheit im Überblick, 2021
- [KUB21] Kubitzki, Jörg: Zweiradsicherheit im Überblick, 2021
- [LEI23] Leipziger Volkszeitung: Auto erfasst Rad: Zwei Kinder bei Unfall nahe des Leipziger Zoos verletzt, Internet, (<https://www.lvz.de/lokales/leipzig/nahe-des-zoos-leipzig-unfall-mit-drei-verletzten-PEIMIDDXFVA3VLR3PPAFA23LV4.html>)
- [LÜB22] Lübecker Nachrichten: Polizei sucht Radfahrer nach Fahrerflucht, Internet, (<https://www.ln-online.de/lokales/luebeck/luebeck-polizei-sucht-radfahrer-nach-unfall-und-fahrerflucht-RYTPUYKNP7PV7WTC3AYLPCBJVY.html>)
- [LUZ22] Luzerner Zeitung: Kind stirbt nach Kollision mit Kippwagen, Internet, 2022-04-28, (<https://www.luzernerzeitung.ch/zentralschweiz/luzern/horw-kind-stirbt-nach-kollision-mit-baustellenfahrzeug-ld.2282101>)
- [MAI21] Pedelec user study: Safety insights into an emerging vehicle, In 2021
- [MAN17] Mantel: Welcher Fahrradkindersitz ist für dein Kind und dein Fahrrad geeignet? [Kaufberatung], Internet, (<https://www.mantel.com/blog/de/fahrradkindersitz-kaufberatung>)
- [MAY22] May, Laura; Merkur: Transporter erwischt Kinderanhänger von Radl-Papa, Internet, (<https://www.merkur.de/lokales/muenchen-lk/ottobrunn-ort29241/polizei-unfall-landkreis-muenchen-ottobrunn-transporter-kinderanhaenger-radl-papa-91959542.html>)
- [MAY23] Mayr, Raphael: Kinder bei Sturz unverletzt, Internet, ([https://www.meinbezirk.at/braunau/c-lokales/unfall-mit-e-lastenrad\\_a6208126](https://www.meinbezirk.at/braunau/c-lokales/unfall-mit-e-lastenrad_a6208126))
- [MEE21] Meetingpoint-Jl: Genthin: 5-Jähriges Kind bei Unfall schwerverletzt, Internet, (<https://meetingpoint-jl.de/neuigkeiten/artikel/84001-genthin-5-jaehriges-kind-bei-unfall-schwerverletzt>)
- [MEI19] Mein Fahrradhändler: Fahrrad-Kindersitz – Alles Wissenswerte zum Kauf, Internet, (<https://www.mein-fahrradhaendler.de/blog/produktberatung/fahrrad-kindersitz-alles-wissenswertes-zum-kauf/>)
- [MEI20] Mein Fahrradhändler: Kindersitze: So gelingt die Befestigung am Fahrrad, Internet, 2020-08-23, (<https://www.mein-fahrradhaendler.de/blog/werkstatt/kindersitze-so-gelingt-die-befestigung-am-fahrrad/>)
- [MEI22] Meinestadt.de: Heidelberg: 5-jähriges Kind im Lastenfahrrad der Mutter verletzt; Autofahrer flüchtet; Zeugenaufruf der Polizei, Internet, (<https://aktuell.meinestadt.de/mannheim/polizeimeldungen/624981>)
- [MEI22] Mein-Transporthelfer.de: Kaufangebote für Postfahrräder, Internet, (<https://www.mein-transporthelfer.de/Postfahraeder>)
- [MEL21] Fahrzeugtechnische Maßnahmen zur Erhöhung der Radverkehrssicherheit - das MARS Forschungsprojekt, 2021

- [MER22] Merkur: Weilheim-Schongau: Blaulichtticker mit allen Polizeimeldungen aus der Region im Juni 2022, Internet, (<https://www.merkur.de/lokales/weilheim/weilheim-ort29677/weilheim-schongau-blaulichtticker-polizei-region-juni-91587421.html>)
- [MER22] Merkurist.de: Mainzer (81) fährt Kind im Fahrradanhänger an und flüchtet, Internet, 2022-04-24, ([https://merkurist.de/mainz/goettelmannstrasse-mainzer-81-faehrt-kind-im-fahradanhaenger-an-und-fluechtet\\_OWV](https://merkurist.de/mainz/goettelmannstrasse-mainzer-81-faehrt-kind-im-fahradanhaenger-an-und-fluechtet_OWV))
- [MIT21] Mitteldeutsche Zeitung: Dunkler Pkw drängt 17-jährige Fahrradfahrerin mit Kind im Kindersitz in Straßengraben, Internet, (<https://www.mz.de/lokal/koethen/dunkler-pkw-drangt-17-jahrige-fahradfahrerin-mit-kind-im-kindersitz-in-strassengraben-3219885>)
- [MIY10] Miyamoto, S.; Inoue, S.: Reality and risk of contact-type head injuries related to bicycle-mounted child seats, In: *Journal of Safety Researcj* (Bd. 41), S. 501–505
- [MOO12] Moore, Jason Keith: Human Control of a Bicycle. Dissertation, Davis, Kalifornien, 2012, Internet, 2012
- [MOZ19] MOZ.de: Auto fährt gegen Fahrradanhänger – Kind verletzt, Internet, ([https://www.moz.de/lokales/oranienburg/unfall-auto-faehrt-gegen-fahradanhaenger\\_-\\_kind-verletzt-49044574.html](https://www.moz.de/lokales/oranienburg/unfall-auto-faehrt-gegen-fahradanhaenger_-_kind-verletzt-49044574.html))
- [MUR09] Murray, J.; Ryan-Krause, P.: Bicycle Attachments for Children: Bicycle Seats, Trail-a-bikes, and Trailers, In: *Journal of Pediatric Health Care* (Bd. 23)
- [NEU23] Neubert, Michael; Südkurier: Blaulichtreport: Fahrradanhänger mit achtmonatigem Baby überschlägt sich - das Kind hat Glück, Internet, (<https://www.suedkurier.de/region/hochrhein/kreis-waldshut/blaulichtreport-fahradanhaenger-mit-achtmonatigem-baby-ueberschlaegt-sich-das-kind-hat-glueck;art372586,11614869>)
- [NEU23] Neue Presse: Unfall in Coburg - Vater und Sohn schwer verletzt, Internet, (<https://www.np-coburg.de/inhalt.unfall-in-coburg-vater-und-sohn-schwer-verletzt.5267009d-c49d-456a-9472-f0e093a3b0f2.html>)
- [NEW80] Newman, James A.: Head Injury Criteria in Automotive Crash Testing, In: *SAE Transactions* (Bd. 89), S. 4098–4115
- [NEW22] News.de: Straelen - Dunkler PKW nach Unfall mit Lastenrad gesucht, Internet, 2022-05-19, (<https://www.news.de/lokales/856283805/blaulichtreport-aktuell-aus-straelen-am-19-05-2022-autounfall-in-straelen-heute/1/>)
- [NOK23] Nokzeit: Schwer- und ein Leichtverletzter nach Fahrradsturz, Internet, (<https://www.nokzeit.de/2023/06/15/funfjahriger-mit-hubschrauber-in-kinderklinik/>)
- [NOR22] Nordkurier: Schwerer Verkehrsunfall – Radfahrer mit Kindern angefahren, Internet, (<https://www.nordkurier.de/mecklenburg-vorpommern/schwerer-verkehrsunfall-radfahrer-mit-kindern-angefahren-1147440403.html>)
- [OSC23] Oscar-AmFreitag.de: Mutter und Kind leicht verletzt nach Unfall Gotha, Internet, (<https://www.oscar-am-freitag.de/beitraege-gotha/mutter-und-kind-leicht-verletzt-nach-unfall-in-gotha/>)
- [OST23] Ostsee Zeitung: Wismar: Fußgänger fällt mit über 4 Promille auf Fahrradanhänger mit Kind, Internet, (<https://www.ostsee-zeitung.de/lokales/nordwestmecklenburg/wismar/wismar-fussgaenger-faellt-mit-ueber-4-promille-auf-fahradanhaenger-mit-kind-XUNYRW2WTVFVWN5BGZUIWXH6XM.html>)

- [POL21] Polizei Brandenburg: Fahrradunfall mit Kind, Internet, (<https://polizei.brandenburg.de/pressemeldung/fahradunfall-mit-kind/2883385>)
- [POL22] Polizei Brandenburg: Radlerin und Kind bei Unfall verletzt, Internet, (<https://polizei.brandenburg.de/pressemeldung/radlerin-und-kind-bei-unfall-verletzt/3485658>)
- [POL21] Polizei Düren: POL-DN: Radfahrerin bei Unfall verletzt, Internet, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/8/4998198>)
- [POL20] Polizei Kempten: Schmerzhafter Unfall in Pfronten: Kleinkind (3) gerät mit dem Fuß in Fahrradspeichen, Internet, ([https://www.all-in.de/pfronten/c-polizei/schmerzhafter-unfall-in-pfronten-kleinkind-3-geraet-mit-dem-fuss-in-fahrradspeichen\\_a5093899](https://www.all-in.de/pfronten/c-polizei/schmerzhafter-unfall-in-pfronten-kleinkind-3-geraet-mit-dem-fuss-in-fahrradspeichen_a5093899))
- [POL22] Polizei Kleve: POL-KLE: Straelen - Dunkler PKW nach Unfall mit Lastenrad gesucht, Internet, 2022-05-18, (<https://www.blogspan.net/presse/pol-kle-straelen-dunkler-pkw-nach-unfall-mit-lastenrad-gesucht/810555/>)
- [POL23] Polizei Münster: POL-MS: Beifahrertür geöffnet - Radfahrer und dreijähriges Kind verletzt, Internet, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/11187/5611054>)
- [POL21] Polizei Paderborn: Unfall zwischen Rad mit Kinderanhänger und Auto - eine Leichtverletzte, Internet, (<https://paderborn.polizei.nrw/presse/unfall-zwischen-rad-mit-kinderanhaenger-und-auto-eine-leichtverletzte>)
- [POL23] Polizeidirektion Ludwigshafen: POL-PDLU: Kind bei Unfall verletzt, Internet, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/117688/5584645>)
- [POL22] Polizeiinspektion Diepholz: POL-DH: --- Bruchhausen-Vilsen, illegale Müllentsorgung - Diepholz, Fahrer eines Lastenrades durch Unfall verletzt ---, Diepholz, Internet, 2022-04-15, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/68439/5195175>)
- [POL23] Polizeiinspektion Northeim: POL-NOM: Mutter und Kind stürzen mit dem Fahrrad, Internet, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/57929/5550742>)
- [POL23] Polizeiinspektion Schwerin: POL-SN: Verletzte nach Verkehrsunfällen am vergangenen Wochenende, Internet, (<https://www.polizei.mvnet.de/Presse/Pressemitteilungen/?id=191056&processor=processor.sa.pressemitteilung>)
- [POL22] Polizeipräsidium Neubrandenburg: POL-NB: Verkehrsunfall mit einer schwer verletzten Person, Internet, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/108747/5338526>)
- [POL23] Polizeipräsidium Recklinghausen: POL-RE: Datteln: Kind bei Unfall leicht verletzt, Internet, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/42900/5580125>)
- [POW00] Powell, E. C.; Tanz, R. R.: Tykes and bikes: injuries associated with bicycle-towed child trailers and bicycle-mounted child seats, In: *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine* (2000), H. 154
- [PRE22] Presseportal: POL-Bremerhaven: Morgendlicher Unfall mit dem Fahrrad: Drei Anzeigen gegen Radlerin, Internet, (<https://www.presseportal.de/blaulicht/pm/134196/5312062>)
- [PTA19] Ptak, Mariusz; Wilhelm, Johannes, et al.: CHILD SAFETY ON VARIOUS BICYCLE-MOUNTED SEATS DURING VEHICLE IMPACT, Breslau, 2019, Internet, 2019
- [PTV22] PTV Planung Transport Verkehr GmbH: EUSKa - Elektronische Unfalltypensteckkarte, 2022
- [PUC23] Puchinger, Sebastian; MeinBezirk.at: Auto brachte Radfahrerin mit Kindern zum Sturz, Internet, ([https://www.meinbezirk.at/wienerwaldneulengbach/c-lokales/auto-brachte-radfahrerin-mit-kindern-zum-sturz\\_a6108476](https://www.meinbezirk.at/wienerwaldneulengbach/c-lokales/auto-brachte-radfahrerin-mit-kindern-zum-sturz_a6108476))

- [RAD22] Radfahren.de: Last? Lastenrad!, In: *Radfahren* (Bd. 04), S. 20–59
- [RAD20] RadMarkt: ECF und Corona: Daten bestätigen massives Radverkehrs-Wachstum, Internet, (<https://radmarkt.de/ecf-corona-daten-bestaetigen-massives-radverkehr-wachstum/>)
- [RAF16] Raftery, S. J.; Oxley, J., et al.: Transportation of children with bicycle seats, trailers, and other carriers: considerations for safety. Case Report, Adelaide, 2016, Internet, 2016
- [RAW24] Abbildung KTM-Pedelec; [www.radwelt-shop.de](http://www.radwelt-shop.de), abgerufen am 02.02.2024
- [REG22] Regiotrends.de: Unfall zwischen Pkw und Radlerin auf der Lorettostraße im Stadtteil Wiehre - Rad des Kinderanhängers verkeilt mit Karosserie des Pkws - Pkw-Fahrer alkoholisiert, Internet, 2022-05-03, (<https://www.regiotrends.de/de/polizeiberichte/index.news.480309.unfall-zwischen-pkw-und-radlerin-auf-der-lorettostrasse-im-stadtteil-wiehre---rad-des-kinderanhaengers-verkeilt-mit-karosserie-des-pkws---pkw-fahrer-alkoholisiert-.html>)
- [RHE23] Rheinische post: "Bakfiets"-Unfall in Bedburg-Hau, Internet, ([https://rp-online.de/nrw/staedte/kleve/bakfiets-unfall-in-bedburg-hau-frau-schwer-verletzt\\_aid-91382555](https://rp-online.de/nrw/staedte/kleve/bakfiets-unfall-in-bedburg-hau-frau-schwer-verletzt_aid-91382555))
- [RP-22] RP-Online: Mann und Kind bei Unfall in Lobberich verletzt, Internet, ([https://rp-online.de/nrw/staedte/nettetal/unfall-in-lobberich-mann-und-kind-verletzt-verursacher-flieht\\_aid-70225853](https://rp-online.de/nrw/staedte/nettetal/unfall-in-lobberich-mann-und-kind-verletzt-verursacher-flieht_aid-70225853))
- [SCH23] Schünemann, Arlena: Frau und Kleinkind in Osnabrück bei Dooring-Unfall verletzt, Internet, (<https://www.noz.de/lokales/osnabrueck/artikel/frau-und-kind-bei-dooring-unfall-in-osnabrueck-verletzt-44517055>)
- [SCH13] Schwab, A. L.; Meijaard, J. P.: A review on bicycle dynamics and rider control, In: *Vehicle System Dynamics* (Bd. 51), H. 7, S. 1059–1090
- [SEI22] Seiler, Patrick; Die Rheinpfalz: Fahrradunfall: Vater stürzt, einjähriger Sohn bleibt unverletzt, Internet, ([https://www.rheinpfalz.de/lokal/speyer\\_artikel,-fahrradunfall-vater-st%C3%BCrzt-einj%C3%A4hriger-sohn-bleibt-unverletzt-\\_arid,5355848.html](https://www.rheinpfalz.de/lokal/speyer_artikel,-fahrradunfall-vater-st%C3%BCrzt-einj%C3%A4hriger-sohn-bleibt-unverletzt-_arid,5355848.html))
- [SEN22] Senatsverwaltung für Umwelt, Mobilität, Verbraucher- und Klimaschutz: Radverkehrszählstellen - Bericht 2021, Berlin, 2022
- [SEN18] Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz: Fakten und Hintergründe: Dooring-Unfälle: Die wichtigsten Zahlen im Überblick, Berlin, 2018
- [SPR21] Shedding Light on the Dark-Field of Cyclists' Safety Critical Events: A Feasibility Study in Germany, In: , 2021
- [STA22] Stadler Zweirad-Center: Lastenrad-Angebot, Internet, (<https://shop.zweirad-stadler.de/fahrrad-shop/e-bikes/e-lastenrad/>)
- [STA19] Statistisches Bundesamt (Destatis): Verkehrsunfälle, 2019
- [STA20] Statistisches Bundesamt (Destatis): Verkehrsunfälle, 2020
- [STA21] Statistisches Bundesamt (Destatis): Verkehrsunfälle, 2021
- [STE22] STERN: 4Forest - Ein Fahrrad wie ein Maultier, Internet, ([https://www.stern.de/auto/news/4forest---ein-fahrrad-wie-ein-maultier\\_9409218-9409316.html](https://www.stern.de/auto/news/4forest---ein-fahrrad-wie-ein-maultier_9409218-9409316.html))
- [STI05] Stiftung Warentest: Fahrrad-Nachläufer: Lebensgefährlich, Internet, (<https://www.test.de/Kinderraeder-Enttaeuschend-schlecht-1254513-1254574/>)

- [STI21] Traffic Safety by a System Approach - The Potential of Vehicle and Road Infrastructure Interventions in bicyclist accidents, In: , 2021
- [STR21] Stroka, Benjamin; 24RHEIN: Köln: Zwei Kinder nach Unfall im Fahrradanhänger verletzt – Autotür traf Dreijährigen am Kopf, Internet, (<https://www.24rhein.de/koeln/kalk/koeln-kinder-unfall-fahrradanhaenger-verletzt-autotuer-ford-focus-frau-90188132.html>)
- [SÜD23] Südkurier: Mit Kind im Anhänger: 38-jährige Radfahrerin stößt mit Auto zusammen, Internet, (<https://www.suedkurier.de/region/kreis-konstanz/konstanz/mit-kind-im-anhaenger-38-jaehrige-radfahrerin-stoesst-mit-auto-zusammen;art372448,11515524>)
- [SÜD22] Südwest Presse: Fahrradanhänger überschlägt sich – Kinder werden durch die Luft geschleudert, Internet, ([https://www.swp.de/lokales/goeppingen/fahrradunfall-in-ebersbach-fahrradanhaenger-loest-sich-\\_kinder-werden-durch-die-luft-geschleudert-65975763.html](https://www.swp.de/lokales/goeppingen/fahrradunfall-in-ebersbach-fahrradanhaenger-loest-sich-_kinder-werden-durch-die-luft-geschleudert-65975763.html))
- [TAG23] Tagesspiegel: 39-Jährige schwer verletzt: Autofahrer fährt Radfahrerin in Berlin-Steglitz an, Internet, (<https://www.tagesspiegel.de/berlin/39-jahrige-schwer-verletzt-autofahrer-fahrt-radfahrerin-in-berlin-steglitz-an-9663593.html>)
- [TER22] Terashima, Takaaki; Kato, Kenshiro, et al.: Experimental study on car collisions with bicycles equipped with child seats, In: *Accident analysis and prevention* (Bd. 166)
- [TOP22] TopRatgeber24.de: Fahrradanhänger Vergleich 2022, Internet, (<https://www.topratgeber24.de/fahrradanhaenger/>)
- [UEL23] Uelzener Presse: Kind im Lastenrad bei Unfall leicht verletzt, Internet, (<https://uelzenerpresse.de/2023/03/16/kind-im-lastenrad-bei-unfall-leicht-verletzt/>)
- [UHR17] Uhr, Andrea; Allenbach, Roland, et al.: Sicherheit von Kindern im Straßenverkehr: bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung, In: *bfu-Sicherheitsdossier* (2017), H. 16, S. 142–148
- [UKO17] Kühn, Matthias; Lang, Antje; Bende, Jenö: “Pkw Heck- und Seitenkollisionen mit Fußgängern und Radfahrern - Unfallforschung kompakt”; Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.; Berlin, Juni 2017
- [VEL22] Velogut: Black-Iron-Horse Pony, Internet, (<https://velogut.de/black-iron-horse-pony/>)
- [VER22] Vergleich.org: Fahrradanhänger Vergleich 2022, Internet, (<https://www.vergleich.org/fahrradanhaenger/>)
- [VOL19] Vollmer, Jens; Wochenblatt Kaiserslautern: Unfall mit E-Bike und Kinder-Fahrradanhänger, Internet, ([https://www.wochenblatt-reporter.de/kaiserslautern/c-blaulicht/unfall-mit-e-bike-und-kinder-fahrradanhaenger\\_a62245](https://www.wochenblatt-reporter.de/kaiserslautern/c-blaulicht/unfall-mit-e-bike-und-kinder-fahrradanhaenger_a62245))
- [VOR22] Vortanz, Jakob: Aufbau eines Fahrdynamikmodells für ein Fahrrad in Matlab. Masterarbeit, Berlin, Oktober 2022, Internet, Oktober 2022
- [VOR22] Vortanz, Jakob; GROß, Clemens (Mitarb.): Aufbau eines Fahrdynamikmodells für ein Fahrrad in Matlab, Berlin, Oktober 2022, Internet, Oktober 2022
- [VSF21] VSF: Welches Lastenrad für wen? (2021), S. 12–15
- [WAR22] Warenvergleich.de: Fahrradanhänger Vergleich 2022, Internet, ([https://www.warenvergleich.de/fahrradanhaenger/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=dsa&utm\\_term=c-901991503-a120965118873-aud-651123831976%3Adsa-815826886296&gclid=Cj0KQCQjwma6TBhDIARIsAOKuANxxD6Hw\\_labfhDmi5TFBt8T3rWIDDE6PdOltep2ki90BgDoOhzAgIsaAr8yEALw\\_wcB](https://www.warenvergleich.de/fahrradanhaenger/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=dsa&utm_term=c-901991503-a120965118873-aud-651123831976%3Adsa-815826886296&gclid=Cj0KQCQjwma6TBhDIARIsAOKuANxxD6Hw_labfhDmi5TFBt8T3rWIDDE6PdOltep2ki90BgDoOhzAgIsaAr8yEALw_wcB))

- [WAR22] Warenvergleich.de: Kinderfahrradsitz Vergleich 2022, Internet, ([https://www.warenvergleich.de/kinderfahrradsitz/?utm\\_source=google&utm\\_medium=cpc&utm\\_content=search&utm\\_term=c-15346600283-a-&gclid=CjwKCAjw9qiTBhBbEiwAp-GE0bC8VnN-DSl1fNm0-wrSDDPMhmBjAavd63eigbxyOHhUD88kqKRXINBoCguUQAvD\\_BwE](https://www.warenvergleich.de/kinderfahrradsitz/?utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_content=search&utm_term=c-15346600283-a-&gclid=CjwKCAjw9qiTBhBbEiwAp-GE0bC8VnN-DSl1fNm0-wrSDDPMhmBjAavd63eigbxyOHhUD88kqKRXINBoCguUQAvD_BwE))
- [WEI20] Weißenborn, Stefan; SPIEGEL Mobilität: Lastenrad-Neuheiten, Internet, 2020-11-05, (<https://www.spiegel.de/auto/fahrberichte/lastenrad-boom-die-cargobike-neuheiten-fuer-2021-a-b6a72088-1640-436a-8b7a-532f1f48f162>)
- [WES19] Westdeutsche Zeitung: 2-Jährige bei Fahrradzusammenstoß in Brüggen verletzt, Internet, ([https://www.wz.de/nrw/kreis-viersen/2-jaehrige-bei-fahrrad-zusammenstoss-in-brueggen-verletzt\\_aid-42378577](https://www.wz.de/nrw/kreis-viersen/2-jaehrige-bei-fahrrad-zusammenstoss-in-brueggen-verletzt_aid-42378577))
- [WES22] Westfalenpost: Arnsberg: Unfall mit Kleinkind im Rad-Kindersitz, Internet, (<https://www.wp.de/staedte/arnsberg/arnsberg-unfall-mit-kleinkind-im-rad-kindersitz-id236151951.html>)
- [WHI99] Whipple, F.J.W.: Stability of the motion of a bicycle, In: *The Quarterly Journal of Pure and Applied Mathematics* (Bd. 30), S. 312–348
- [WIK22] Wikipedia: Fahrradanhänger, Internet, (<https://de.wikipedia.org/wiki/Fahrradanhänger>)
- [WIN22] Wingwheels: Chike E-Kids, Internet, ([https://www.wingwheels.com/Shop/E-Bikes/CHIKE-e-Kids.htm?SessionId=&a=article&ProdNr=A3056&VariantenNr=9283&p=3&gclid=Cj0KCQjw29CRBhCUARIsAOboZbl-wiV3TdZGKew0Kpt9BaVOiH0oU4Q9AzX9W\\_3UG9I\\_OuaCwQGAUUnoaAtfNEALw\\_wcB](https://www.wingwheels.com/Shop/E-Bikes/CHIKE-e-Kids.htm?SessionId=&a=article&ProdNr=A3056&VariantenNr=9283&p=3&gclid=Cj0KCQjw29CRBhCUARIsAOboZbl-wiV3TdZGKew0Kpt9BaVOiH0oU4Q9AzX9W_3UG9I_OuaCwQGAUUnoaAtfNEALw_wcB))
- [WIR14] Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE): Regelung Nr. 129 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von verbesserten Kinderrückhaltesystemen zur Verwendung in Kraftfahrzeugen (L 97), S. 21–128
- [WOB94] Wobben, Dieter; Zahn, Herwig: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport: Vorstudie, Bremerhaven, Wirtschaftsverl. NW Verl. für Neue Wiss, 1994
- [ZEI22] Zeit Online: Mutter stürzt mit Fahrrad: Sechsjährige schwer verletzt, Internet, ([https://www.zeit.de/news/2022-11/23/mutter-stuerzt-mit-fahrrad-sechsjaehrige-schwer-verletzt?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.zeit.de/news/2022-11/23/mutter-stuerzt-mit-fahrrad-sechsjaehrige-schwer-verletzt?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F))
- [ZEI23] Zeit Online: Lkw erfasst Radler neben Landstraße: Mädchen verletzt, Internet, (<https://www.zeit.de/news/2023-04/18/lkw-erfasst-radler-neben-landstrasse-maedchen-verletzt>)
- [ZEI23] Zeit Online: Senior stirbt bei Fahrradtour mit einjährigem Enkel, Internet, ([https://www.zeit.de/news/2023-02/05/senior-stirbt-bei-fahrradtour-mit-einjaehrigem-enkel?utm\\_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F](https://www.zeit.de/news/2023-02/05/senior-stirbt-bei-fahrradtour-mit-einjaehrigem-enkel?utm_referrer=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F))
- [ZIV21] ZIV: Zahlen – Daten – Fakten zum deutschen Fahrrad- und E-Bike Markt 2020 Fahrradindustrie mit Rückenwind - Großes Wachstum bei Absatz und Umsatz. 2021-03-10
- [ZWE22] Zweiradkraft: Fahrradanhänger Test: Vergleich & Testsieger 2022, Internet, (<https://www.zweiradkraft.com/fahrradanhaenger-test/>)

## 7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Long-John-Lastenfahrrad.....	8
Abbildung 2: Longtail-Lastenrad .....	9
Abbildung 3: Trike-Lastenrad (Tadpole) .....	9
Abbildung 4: Rücksitz mit Sattelstangenmontage .....	11
Abbildung 5: Kinderanhänger mit einarmiger Deichsel.....	12
Abbildung 6: Fahrrad mit Kinder-Beiwagen.....	13
Abbildung 7: Ausgangslage für Sturz-Tests, Links: Sitz ohne Kopfstütze, Rechts: Sitz mit Kopfstütze [TER22].....	15
Abbildung 8: Geprüftes Kollisionsszenario [TER22].....	16
Abbildung 9: Übersicht über die Versuchsszenarien [TER22].....	16
Abbildung 10: Simulationsmodell für den seitlichen Zusammenstoß [PTA19] .....	19
Abbildung 11: Übersicht über die betrachteten EUSKa-Daten.....	21
Abbildung 12: Unfallhäufigkeit nach Monat.....	22
Abbildung 13: Unfallhäufigkeit nach Wochentag .....	23
Abbildung 14: Unfallhäufigkeit in Abhängigkeit der Tageszeit.....	23
Abbildung 15: Geschlechterverteilung involvierter Radfahrer:innen.....	24
Abbildung 16: Verletzungsgrade der Radfahrer:innen .....	24
Abbildung 17: Verletzungsgrade der beförderten Kinder .....	25
Abbildung 18: Unfallgegner:innen in Untersuchungs- und Vergleichsgruppe .....	25
Abbildung 19: Hauptursache des Unfalls, wenn Unfallgegner:in HV ist.....	26
Abbildung 20: Hauptursache des Unfalls, wenn Radfahrer:in HV ist.....	27
Abbildung 21: Vergleich der Hauptursachen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Vergleichsgruppe .....	27
Abbildung 22: Vergleich der Hauptursachen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Untersuchungsgruppe.....	27
Abbildung 23: Vergleich der Unfallursachen zwischen den unterschiedlichen Transportmethoden .....	28
Abbildung 24: Unfalltyp .....	28
Abbildung 25: Art der Fahrurfälle .....	29
Abbildung 26: Vergleich der Unfalltypen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Vergleichsgruppe	29
Abbildung 27: Vergleich der Unfalltypen zwischen Pedelecs und herkömmlichen Fahrrädern in der Untersuchungsgruppe.....	30
Abbildung 28: Vergleich der Unfalltypen zwischen den Transportmethoden in der Untersuchungsgruppe.....	30
Abbildung 29: Versuchsszenario 1: Umkippen aus dem Stand mit Kindersitz .....	35
Abbildung 30: Versuchsszenario 2: Dooring-Unfall mit Kindersitz .....	36
Abbildung 31: Versuchsszenario 3: Kollision zwischen rechtsabbiegender Pkw und Fahrrad mit Kindersitz .....	36
Abbildung 32: Versuchsszenario 4: Dooring-Unfall mit Anhänger .....	37
Abbildung 33: Versuchsszenario 5: Auffahrunfall mit Anhänger.....	38
Abbildung 34: Versuchsszenario 6: Kollision mit Anhänger beim Linksabbiegen.....	38
Abbildung 35: Versuchsszenario 7: Dooring-Unfall mit Lastenrad .....	39
Abbildung 36: Versuchsszenario 8: Abbiegeunfall mit Lastenrad .....	39
Abbildung 37: Wohnumfeld der Befragten in der Online-Erhebung.....	41
Abbildung 38: Vorrangig genutzte Transportart zur Kinderbeförderung.....	42
Abbildung 39: Gelegenheiten, zu denen eine Kinderbeförderung mit dem Rad erfolgt.....	43
Abbildung 40: Gelegenheiten zur Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten.....	44

Abbildung 41: Gelegenheiten zur Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten.....	45
Abbildung 42: In der Online-Befragung genutztes Fotomaterial zur Visualisierung von Wegearten.....	46
Abbildung 43: Bevorzugte Wegearten bei der Kinderbeförderung auf dem Rad in der Gesamtstichprobe.....	47
Abbildung 44: Bevorzugte Wegearten bei der Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten.....	48
Abbildung 45: Gemiedene Wegearten bei der Kinderbeförderung auf dem Rad in der Gesamtstichprobe. ....	49
Abbildung 46: Gemiedene Wegearten bei der Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten. ....	50
Abbildung 47: Genutzte Wegearten bei der Kinderbeförderung auf dem Rad in der Gesamtstichprobe. ....	50
Abbildung 48: Genutzte Wegearten bei der Kinderbeförderung nach den häufigsten Transportarten. ....	51
Abbildung 49: Häufigkeit der kombinierten Nutzung mit dem ÖPNV.....	52
Abbildung 50: Zeiten der Kinderbeförderung mit dem Rad. ....	53
Abbildung 51: Anteil der Befragten, die ganzjährig Kinder mit dem Rad befördern nach Transportart.....	53
Abbildung 52: Wichtigkeit von Entscheidungsgrundlagen beim Erwerb der hauptsächlich genutzten Transportart für die Kinderbeförderung auf dem Rad.....	55
Abbildung 53: Nutzung der Transportarten aufgeteilt nach Radfahrerinnen und Radfahrern. ....	56
Abbildung 54: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher verändert werden (1/3).....	57
Abbildung 55: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher verändert werden (2/3).....	58
Abbildung 56: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher verändert werden (3/3).....	59
Abbildung 57: Verhaltensweisen, die bei Kinderbeförderung mit dem Rad eher nicht zutreffen. ....	60
Abbildung 58: Verhaltensweisen, die sich bei Kinderbeförderung mit dem Rad tendenziell nicht verändern (1/2).....	61
Abbildung 59: Verhaltensweisen, die sich bei Kinderbeförderung mit dem Rad tendenziell nicht verändern (2/2).....	62
Abbildung 60: Helmnutzung bei den beförderten Kindern nach Transportart. ....	63
Abbildung 61: Nutzung von Sicherheitseinrichtungen (z. B. Gurte bzw. Fußschnallen) bei den beförderten Kindern nach Transportart. ....	63
Abbildung 62: Häufigkeit der Angabe, ob während der Kinderbeförderung schon mal eine kritische Situation erlebt worden ist, in der Gesamtstichprobe.....	64
Abbildung 63: Häufigkeit der Angabe, ob während der Kinderbeförderung schon mal eine kritische Situation erlebt worden ist, aufgeschlüsselt nach den am häufigsten verwendeten Transportarten.....	65
Abbildung 64: Wahrgenommene Hauptursachen für kritische Situationen aufgeschlüsselt nach Transportart. ....	67
Abbildung 65: Vorrangig genutzte Transportart zur Kinderbeförderung.....	69
Abbildung 66: Transportart und Geschlecht der erwachsenen Radfahrenden.....	70
Abbildung 67: Helm- und Gurtnutzung bei den beförderten Kindern nach Transportart.....	72
Abbildung 68: Beobachtetes Radverkehrsaufkommen.....	76
Abbildung 69: Verteilung der beobachteten Methoden zum Kindertransport.....	77
Abbildung 70: Helmnutzung.....	77
Abbildung 71: Anteile elektromotorisierter Fahrräder.....	78
Abbildung 72: Anzahl der Kinder im Lastenrad.....	78
Abbildung 73: Sitzposition der Kinder im Lastenrad.....	79
Abbildung 74: Verhältnis Einspuriger Lastenräder zu zweispurigen Lastenrädern.....	79
Abbildung 75: Bremskraftsensor.....	80
Abbildung 76: Befestigung des Kraftsensors am Bremshebel.....	81
Abbildung 77: Befestigung des Messbox auf dem Messfahrrad.....	81
Abbildung 78: Elektronische Komponenten in der Messbox.....	82
Abbildung 79: Steuerungselement der Messbox.....	82
Abbildung 80: Messbox-Display zur Überwachung von Messungen.....	83
Abbildung 81: Schematische Darstellung des Messfahrrads.....	83



Abbildung 82: Anbringung der Messbox auf dem Lastenfahrrad .....	84
Abbildung 83: Fahrrad-Modell nach Whipple .....	85
Abbildung 84: Schematische Darstellung der Gefahrenbremsung .....	85
Abbildung 85: Schematische Darstellung der Slalom-Fahrt .....	86
Abbildung 86: Schematische Darstellung der Kreisfahrt .....	86
Abbildung 87: Schematische Darstellung des Ausweichmanövers .....	87
Abbildung 88: Kindersitz kippt nach vollendeter Bremsung.....	88
Abbildung 89: Anhänger stellt sich bei der Gefahrenbremsung quer .....	89
Abbildung 90: Berechnete Bremswege .....	89
Abbildung 91: Maximale Bremsverzögerung und Stabilitätsindex Lenkwinkel bei der Gefahrenbremsung .....	90
Abbildung 92: Slalom-Zeit und Stabilitätsindex Lenkwinkel .....	91
Abbildung 93: Lehnwinkelverlauf im Slalom: Oben: Vergleichsfahrrad, Unten: Kindersitz.....	92
Abbildung 94: Lastenrad kippt während der Kreisfahrt nach außen.....	93
Abbildung 95: Lehnwinkelverlauf eines kippenden Lastenrads in der Kreisfahrt.....	93
Abbildung 96: Erreichte Geschwindigkeiten und Lenkkennwerte in der Kreisfahrt.....	94
Abbildung 97: Lastenrad kippt während des Ausweichmanövers.....	95
Abbildung 98: Anhänger kippt während des Ausweichmanövers .....	95
Abbildung 99: Benötigte Versuche im Ausweichmanöver .....	96
Abbildung 100: Ausweichwinkel und Stabilitätsindex beim Ausweichmanöver .....	96
Abbildung 101: Transportkonzepte, die in der physikalischen Modellbildung umgesetzt wurden .....	98
Abbildung 102: Genutzte Fahrradinfrastruktur .....	100
Abbildung 103: Überholabstand in Abhängigkeit der Transportart .....	101
Abbildung 104: Überholabstand in Abhängigkeit von Transportart und Kind im Fahrrad .....	101
Abbildung 105: Überholabstand in Abhängigkeit von Kind im Fahrrad .....	102
Abbildung 106: Überholabstand in Abhängigkeit von der Fahrbahnbreite.....	102
Abbildung 107: Überholabstand in Abhängigkeit der Infrastruktur .....	103
Abbildung 108: Überholabstand in Abhängigkeit der Fahrbahnzustands .....	103
Abbildung 109: Überholabstand in Abhängigkeit der Lichtverhältnisse .....	104
Abbildung 110: Lastenrad mit Crash-Dummys .....	105
Abbildung 111: Umkippen aus dem Stand (Kindersitz, mit Fahrradhelm) .....	106
Abbildung 112: Umkippen aus dem Stand (Kindersitz, ohne Fahrradhelm).....	106
Abbildung 113: Auffahrunfall mit Anhänger, 7 km/h .....	107
Abbildung 114: Auffahrunfall mit Anhänger, 12 km/h .....	108
Abbildung 115: Dooring mit Kindersitz und 20 ° Türöffnungswinkel .....	109
Abbildung 116: Dooring mit Kindersitz und 15 ° Türöffnungswinkel .....	109
Abbildung 117: Kinderdummy schlägt nach Dooring mit Kopf auf Fahrbahn auf .....	110
Abbildung 118: Dooring mit Anhänger und 15 ° Türöffnungswinkel.....	111
Abbildung 119: Dooring mit Anhänger und 60 ° Türöffnungswinkel.....	111
Abbildung 120: Dooring mit Lastenrad und 80 ° Türöffnungswinkel .....	112
Abbildung 121: Dooring mit Lastenrad und 20 ° Türöffnungswinkel .....	113
Abbildung 122: Kopf des Kinderdummys schlägt nach Dooring gegen Lenker des Lastenrads.....	114
Abbildung 123: Kollision beim Abbiegeunfall mit Kindersitz .....	115
Abbildung 124: Fahrrad mit Kindersitz prallt nach Abbiegeunfall auf dem Boden auf .....	115
Abbildung 125: Kollision beim Abbiegeunfall mit Anhänger .....	116

Abbildung 126: Kollision beim Abbiegeunfall mit dem Lastenrad.....	117
Abbildung 127: Lastenrad und Pkw nach dem Abbiegeunfall .....	117
Abbildung 128: Entwicklung vom Hardwarefahrrad zum FEM-Modell [RAW24].....	119
Abbildung 129: Vereinfachungen weniger relevanter Bauteile im FEM-Modell .....	119
Abbildung 130: Modellierung der Anbindung des Lenkers an den Vorbau .....	120
Abbildung 131: Vermessung des Schwerpunktes des physischen Fahrrades.....	120
Abbildung 132: FEM-Modell bestehend aus Trekkingrad und HIII-Dummy .....	121
Abbildung 133: Visuelle Validierung des kombinierten Fahrrad-Dummy-Modells mit einem Hardwareversuch [HÖV23] .....	122
Abbildung 134: Konstellationen der Transportmöglichkeiten für Kinder zur Abbildung in FEM-Modellen .....	123
Abbildung 135: Punktwolke und CAD-Modell des Lastenrades ohne Transportkastens.....	123
Abbildung 136: Schwerpunktlage des Ausgangs- und FE-Modells .....	124
Abbildung 137: Reales Lastenrad und FE-Modell .....	124
Abbildung 138: Fahrradanhänger und Kindersitz vom Hardware- zum FE-Modell .....	125
Abbildung 139: Positionierung des Q6 .....	125
Abbildung 140: Gurtsysteme aller Transportvarianten .....	126
Abbildung 141: Validierung des Lastenradmodells durch einen Dooring-Unfall bei 20°-Türöffnungswinkel .....	127
Abbildung 142: Crashkonfigurationen als FEM-Modelle .....	128
Abbildung 143: Kopfkontakt Q6 mit Aluminiumrahmen des Fahrradanhängers bei Linksabbiegerunfall .....	130
Abbildung 144: Interaktion beider Dummies aufgrund der Vorverlagerung des H350-Dummys im Frontalaufprall mit der starren Wand .....	131
Abbildung 145: Interaktion der Dummies beim Frontaufprall auf die starre Wand .....	132
Abbildung 146: Gegenüberstellung Kopfkontakt beim Umkippen mit und ohne Helm .....	133

## 8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Herkunft der Befragten nach Postleitzahlenbereich des Wohnsitzes.....	41
Tabelle 2: Häufigkeit der Fahrradnutzung.....	42
Tabelle 3: Häufigkeit der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad.....	43
Tabelle 4: Häufigkeit der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad nach Transportart.....	43
Tabelle 5: Kategorisierte Angaben zur Vermeidung bestimmter Strecken nach Transportart.....	52
Tabelle 6: Absolute und prozentuale Häufigkeit des Verzichts auf Kinderbeförderung mit dem Rad bei unterschiedlichen Witterungsbedingungen.....	54
Tabelle 7: Kategorisierte Angaben von kritischen Situationen nach Transportart.....	65
Tabelle 8: Wörtliche Beschreibung der als Unfall klassifizierten kritischen Situationen.....	66
Tabelle 9: Häufigkeit der Kinderbeförderung auf dem Fahrrad.....	69
Tabelle 10: Altersverteilung der beförderten Kinder nach Transportart.....	70
Tabelle 11: Anmerkungen zur Wahrnehmung der Transportart durch die beförderten Kinder.....	71
Tabelle 12: Aufgezeichnete Belastungen beim Umkippen mit Kindersitz.....	107
Tabelle 13: Belastungen beim Auffahrunfall mit Anhänger.....	108
Tabelle 14: Belastungen beim Dooring mit Kindersitz.....	109
Tabelle 15: Belastungen beim Dooring mit Anhänger.....	111
Tabelle 16: Belastungen beim Dooring mit dem Lastenrad.....	113
Tabelle 17: Vergleich der Belastungen beim Dooring.....	114
Tabelle 18: Belastungen beim Abbiegeunfall.....	118
Tabelle 19: Simulationsmatrix der Crashkonfigurationen.....	128
Tabelle 20: Belastungswerte aller Transportvarianten im Dooring-Unfall.....	129
Tabelle 21: Belastungswerte aller Transportvarianten im Linksabbieger-Unfall.....	130
Tabelle 22: Belastungswerte aller Transportvarianten im Unfall mit der starren Wand.....	131
Tabelle 23: Belastungswerte des Umkippens statisch und dynamisch, mit und ohne Helm.....	132

## 9 Anhang

### 9.1 Aufbau der Online-Befragung

<https://thowl.questionpro.eu/Fahrradumfrage>



Vielen Dank für Ihre Teilnahme an dieser Befragung!

Ziel ist es, Informationen über die **Verkehrssicherheit von Kindern** zu erhalten, die **von einer/m Erwachsenen mit dem Fahrrad** befördert werden. Die Daten werden nicht für Verkaufs- oder Werbezwecke verwendet, sondern sollen einen Beitrag zur Verbesserung der Sicherheit von Kindern im Straßenverkehr leisten.

Im Folgenden werden Ihnen eine Reihe von Fragen gestellt. Bitte beantworten Sie jede Frage so gut Sie können. Bitte beachten Sie, dass es für die Qualität der Ergebnisse besonders wichtig ist, dass Ihre Angaben auf Ihrem tatsächlichen Verhalten und auf Ihren gemachten Erfahrungen beruhen. Selbstverständlich können Sie die Umfrage jederzeit und ohne Nachteile abbrechen. Wir möchten Sie allerdings bitten, sie bis zum Ende durchzuführen, da wir nur vollständige Datensätze für die Auswertung nutzen können. Die Dauer der Bearbeitung beträgt **ca. 20 Minuten**.

**Am Ende der Befragung haben Sie die Möglichkeit, an der Verlosung von fünf Online-Wunschgutscheinen in Höhe von jeweils 100 Euro teilzunehmen.**

Ihre Teilnahme an dieser Untersuchung ist freiwillig. Ihre Daten werden nur in anonymisierter Form ausgewertet und lassen keinen eindeutigen Schluss auf Ihre Person zu.

---

**Diese Befragung wird durchgeführt von der GKBerlin** in Kooperation mit der TU Berlin und der Technischen Hochschule OWL.

Gesellschaft für Kraftfahrzeugtechnik Berlin UG (GKBerlin)  
Gustav-Meyer-Allee 25/ TIB 13, 13355 Berlin  
info(at)gkberlin.com

**Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:**

Ich habe die Teilnahmeinformationen zur Kenntnis genommen und erkläre mich mit der zweckgebundenen Speicherung und Nutzung meiner Daten unter den oben aufgeführten Bedingungen einverstanden.

Ich erkläre mich nicht einverstanden. Mit Auswahl dieser Option beenden Sie die Befragung.

→ **Aufgrund Ihrer Angaben wurde die Befragung beendet.**

Die Regeln zur guten wissenschaftlichen Praxis sehen vor, dass Teilnehmende vor Beginn einer Befragung aktiv ihr Einverständnis bestätigen.

Bis hierhin wurden keine personenbezogenen Daten von Ihnen erhoben oder übermittelt.

**Bei Fragen oder Anregungen kontaktieren Sie bitte:**

Gesellschaft für Kraftfahrzeugtechnik Berlin UG (GKBerlin)  
Gustav-Meyer-Allee 25/ TIB 13, 13355 Berlin

info(at)gkberlin.com

1. Wie oft etwa nutzen Sie selbst **das Fahrrad** generell als Verkehrsmittel?

- täglich
   
  5 bis 6 Mal pro Woche
   
  3 bis 4 Mal pro Woche  
 1 bis 2 Mal pro Woche
   
  seltener

2. **Wie oft** befördern Sie ein oder mehrere Kinder mit dem Fahrrad?

- täglich
   
  5 bis 6 Mal pro Woche
   
  3 bis 4 Mal pro Woche  
 1 bis 2 Mal pro Woche
   
  seltener
   
  gar nicht (→ Frage 18.1)

3.1. Nutzen Sie zur Kinderbeförderung **ein eigenes Fahrrad**?

- Ja, ich nutze nur mein eigenes Fahrrad. (→ Frage 3.2.)  
 Ich nutze zur Kinderbeförderung nur ein Fahrrad, das ich nach Bedarf ausleihe. (→ Frage 3.2.)  
 Ja, ich nutze zur Kinderbeförderung mein eigenes Fahrrad, leihe mir dafür aber manchmal auch ein anderes Fahrrad aus. (→ Frage 3.3.)

3.2. Mit **welcher Art Fahrrad** sind Sie unterwegs, wenn Sie das Kind/ die Kinder befördern? (Mehrfachantworten möglichen)

- E-Bike oder S-Pedelec (zulassungspflichtig)
   
  Pedelec (nicht-zulassungspflichtig)  
 Klassisches City-Bike
   
  Trekking- bzw. Mountain-Bike  
 Falt- bzw. Klapprad
   
  Lastenrad  
 Weiteres: Freies Feld

3.3. Um **welche Art Fahrrad** handelt es sich bei Ihrem eigenen Rad, das Sie zur Kinderbeförderung nutzen? (Mehrfachangaben möglich)

- E-Bike oder S-Pedelec (zulassungspflichtig)
   
  Pedelec (nicht-zulassungspflichtig)  
 Klassisches City-Bike
   
  Trekking- bzw. Mountain-Bike  
 Falt- bzw. Klapprad
   
  Lastenrad  
 Weiteres: Freies Feld

3.4. Um **welche Art Fahrrad** handelt es sich bei dem Rad, das Sie sich zur Kinderbeförderung ausleihen? (Mehrfachangaben möglich)

- E-Bike oder S-Pedelec (zulassungspflichtig)
   
  Pedelec (nicht-zulassungspflichtig)  
 Klassisches City-Bike
   
  Trekking- bzw. Mountain-Bike  
 Falt- bzw. Klapprad
   
  Lastenrad  
 Weiteres: Freies Feld

4. **Wo leben** Sie?

- Großstadt Zentrum       Großstadt Außenbezirk       Umland einer Großstadt  
 Kleinstadt       Ländliche Region

5. Wie lautet Ihre **Postleitzahl**?

O \_ / \_ / \_ / \_ / \_

6.1. Zu welchen **Gelegenheiten** befördern Sie ein oder mehrere Kinder mit Ihrem Fahrrad? (Mehrfachantwort möglich)

- Bringen und Abholen von/ zur Kita (→ Frage 6.2.)  
 Bringen und Abholen von/ zur Schule (→ Frage 6.2.)  
 Freizeitaktivitäten des Kindes/ der Kinder  
 Gemeinsame Ausflüge  
 Einkaufen  
 Weg zur eigenen Arbeitsstätte  
 Andere Erledigungen (z. B. Arztbesuche, Behördengänge)  
 Weiteres: (Freies Feld)

6.2. Wie **weit ist die Strecke ungefähr**, die Sie zur Kinderbeförderung mit dem Fahrrad von/ zur Kita bzw. Schule normalerweise zurücklegen? (Einfache Wegstrecke, nur die Strecke mit dem Kind/ den Kindern)

- bis 1 km       1 bis 2 km       2 bis 3 km       3 bis 5 km  
 5 km bis 10 km       über 10 km       Weiß nicht

6.3. Wie **lange** sind Sie mit dem Kind/ den Kindern auf dem Weg zur von/ zur Kita bzw. Schule mit dem Fahrrad ungefähr unterwegs? (Einfache Wegstrecke, nur die Strecke mit dem Kind/ den Kindern)

- bis 10 Minuten       10 bis 20 Minuten       20 bis 30 Minuten  
 30 bis 40 Minuten       40 bis 50 Minuten       mehr als 50 Minuten  
 Weiß nicht

7. Welche Wege-Arten **nutzen** Sie, wenn Sie das Kind/ die Kinder befördern? (Mehrfachantwort möglich)

- Fahrbahn auf Bundes- oder Landstraße (außerorts)  
 Fahrbahn im Hauptstraßennetz  
 Nicht baulich getrennte Radfahrstreifen oder Schutzstreifen auf der Fahrbahn  
 Baulich abgetrennte Radwege auf der Fahrbahn  
 Fahrbahn in 30er-Zone  
 Fahrradstraßen

- Verkehrsberuhigter Bereich (Schrittgeschwindigkeit für motorisierten Verkehr)
- Separate Radwege
- Wege, die sowohl für Rad- als auch Fußverkehr zugelassen sind
- Wege die dem Fußverkehr vorbehalten sind (z.B. Gehweg oder Fußgängerzone)
- Wege bei denen ich unsicher bin, ob Sie für den Radverkehr zugelassen sind

8.1. Welche Wege-Arten **bevorzugen** Sie, wenn Sie das Kind/ die Kinder befördern (Mehrfachantwort möglich)

- Fahrbahn auf Bundes- oder Landstraße (außerorts)
- Fahrbahn im Hauptstraßennetz
- Nicht baulich getrennte Radfahrstreifen oder Schutzstreifen auf der Fahrbahn
- Baulich abgetrennte Radwege auf der Fahrbahn
- Fahrbahn in 30er-Zone
- Fahrradstraßen
- Verkehrsberuhigter Bereich (Schrittgeschwindigkeit für motorisierten Verkehr)
- Separate Radwege
- Wege, die sowohl für Rad- als auch Fußverkehr zugelassen sind
- Wege die dem Fußverkehr vorbehalten sind (z.B. Gehweg oder Fußgängerzone)
- Wege bei denen ich unsicher bin, ob Sie für den Radverkehr zugelassen sind

8.2. **Warum bevorzugen** Sie diese Wege-Arten?

Freies Feld

9.1. Welche Wege-Arten **vermeiden** Sie, wenn Sie mit Ihrem Fahrrad ein Kind/ Kinder befördern?

- Fahrbahn auf Bundes- oder Landstraße (außerorts)
- Fahrbahn im Hauptstraßennetz
- Nicht baulich getrennte Radfahrstreifen oder Schutzstreifen auf der Fahrbahn
- Baulich abgetrennte Radwege auf der Fahrbahn
- Fahrbahn in 30er-Zone
- Fahrradstraßen
- Verkehrsberuhigter Bereich (Schrittgeschwindigkeit für motorisierten Verkehr)
- Separate Radwege
- Wege, die sowohl für Rad- als auch Fußverkehr zugelassen sind
- Wege die dem Fußverkehr vorbehalten sind (z.B. Gehweg oder Fußgängerzone)
- Wege bei denen ich unsicher bin, ob Sie für den Radverkehr zugelassen sind

9.2. **Warum vermeiden** Sie diese Wege-Arten oder diese Infrastruktur?

Freies Feld

10.1. Gibt es **konkrete Strecken**, die Sie vermeiden, wenn Sie mit Ihrem Fahrrad ein Kind/ Kinder befördern (z.B. aufgrund von Fahrbahnbeschaffenheit, Verkehrsaufkommen)?

Freies Feld

10.2. **Warum** vermeiden Sie diese konkrete Strecke?

Freies Feld

11.1. Mit **welchen Verkehrsmitteln** transportieren Sie Ihr Fahrrad, während Sie das Kind/ die Kinder befördern? (Mehrfachangaben möglich)

Während der Kinderbeförderung kein Transport des Fahrrads in weiteren Verkehrsmitteln

Regionalbahn (→ Frage 11.2.)

S-Bahn (→ Frage 11.2.)

U-Bahn (→ Frage 11.2.)

Weiteres: Freies Feld (→ Frage 11.2.)

11.2. In **welchen Situationen** nutzen Sie diese Verkehrsmittel zum Transport des Fahrrads während der Kinderbeförderung? (Mehrfachangaben möglich)

Regelmäßig für alltägliche Fahrten

Für spezielle Fahrten (z. B. Ausflüge)

Bei ungünstigen Witterungsbedingungen (z. B. Regen)

Bei Zeitknappheit

Aus Bequemlichkeit

Weiteres: Freies Feld

11.3. Ergeben sich bei der Nutzung weiterer Verkehrsmittel und/ oder **beim Umsteigen** Probleme oder Schwierigkeiten?

Ja (→ Frage 11.4.)

Nein

11.4. Welche **Schwierigkeiten oder Probleme** ergeben sich beim Umsteigen oder bei der Nutzung weiterer Verkehrsmittel mit einem Fahrrad, wenn Sie ein Kind/ Kinder befördern?

Freies Feld



12.1. Zu welchen **Verkehrszeiten** sind Sie hauptsächlich unterwegs, wenn Sie mit Ihrem Fahrrad ein Kind/ Kinder befördern? (Mehrfachantwort möglich)

- vor dem morgendlichen Berufsverkehr (bis 7 Uhr)
- morgendlicher Berufsverkehr (7 bis 9 Uhr)
- vormittags oder mittags (9 bis 14 Uhr)
- Nachmittagsberufsverkehr (14 bis 17 Uhr)
- abends (17 bis 20 Uhr)
- später als 20 Uhr

12.2. Zu **welchen Verkehrszeiten vermeiden** Sie es, mit dem Fahrrad unterwegs zu sein, wenn Sie das Kind/ die Kinder befördern?

Freies Feld

12.3. **Warum** vermeiden Sie es zu diesen Zeiten, das Kind/ Kinder mit dem Fahrrad zu befördern?

Freies Feld

13. Zu welchen **Jahreszeiten** nutzen Sie Ihr Fahrrad zur Kinderbeförderung? (Mehrfachantwort möglich)

- Frühling
- Sommer
- Herbst
- Winter
- Ich verzichte zu keiner besonderen Jahreszeit auf die Kinderbeförderung mit dem Fahrrad.

14. Bei **welchen Witterungsbedingungen im Jahresverlauf verzichten** Sie darauf, Ihr Kind/ Ihre Kinder mit dem Fahrrad zu befördern? (Mehrfachantwort möglich)

- Leichter Regen
- Dauerregen
- Nebel
- Kälte
- Starke Hitze
- Dämmerung
- Dunkelheit
- Sturm
- Schneefall
- Glätte
- Laubfall
- Weiteres: Freies Feld
- Ich verzichte zu keinen besonderen Witterungsbedingungen auf die Kinderbeförderung mit dem Fahrrad.

15.1. Wo stellen Sie **Ihr Fahrrad mit den Beförderungsmöglichkeiten** für Kinder typischer Weise **bei sich zu Hause** ab? (Mehrfachantworten möglich)

- Fahrrad-Keller
- ebenerdige abschließbare Räumlichkeiten (z.B. Garage, Schuppen)
- witterungsgeschützte Abstellflächen für Fahrräder
- offene Abstellflächen für Fahrräder
- öffentliches Straßenland
- eigenes Grundstück
- Weiteres: Freies Feld

15.2. Wo stellen Sie **Ihr Fahrrad mit den Beförderungsmöglichkeiten** für Kinder typischer Weise **unterwegs** ab? (Mehrfachantworten möglich)

- ebenerdige abschließbare Räumlichkeiten (z.B. Garage, Schuppen)
- Fahrrad-Parkhaus
- witterungsgeschützte Abstellflächen für Fahrräder
- offene Abstellflächen für Fahrräder
- öffentliches Straßenland
- Weiteres: Freies Feld

16. Was trifft während der Kinderbeförderung auf **Ihr Verkehrsverhalten im Vergleich zu Ihrem sonstigen Verhalten auf dem Fahrrad** zu?

Wenn ich mit dem Fahrrad ein oder mehrere Kinder befördere...	das trifft zu, wenn ich Kinder befördere	das trifft nicht zu	das tue ich auch, wenn ich keine Kinder befördere	weiß nicht
... achte ich auf mehr seitlichen Abstand zu parkenden Autos.				
... verzichte ich an Kreuzungen eher auf meinen Vorrang.				
... fahre ich eher auch mal auf dem Gehweg, wenn das sicherer erscheint.				
... fahre ich eher auch mal auf dem Gehweg, wenn es bequemer ist.				
... kontrolliere ich eher, ob das Fahrrad verkehrssicher ist (z.B. Licht).				
... verhalte ich mich besonders besonnen, defensiv und rücksichtsvoll.				
... bin ich tendenziell langsamer unterwegs.				
... achte ich eher darauf, Handzeichen (z.B. beim Abbiegen) zu geben.				
... achte ich eher darauf, über die Schulter zu blicken (z.B. Überholen).				
... vermeide ich es eher, Andere zu überholen oder an ihnen vorbeizufahren.				
... bin ich eher bereit, mein Fahrrad zu schieben, wenn ich muss (z.B. auf dem Zebrastreifen oder auf dem Gehweg).				

17. **Was nutzen Sie vorrangig**, um ein oder mehrere Kinder mit dem Fahrrad zu befördern?

- Fahrrad mit Kindersitz (→ Frage 17.1.1.)
- Fahrrad mit Anhänger (→ Frage 17.2.1.)
- Lastenrad (→ Frage 17.3.1.)
- Weiteres: Freies Feld → Frage 18.

#### <Wenn in Frage 17. Kindersitz>

17.1.1. Wie **alt** ist das Kind aktuell, die Sie mit einem Kindersitz befördern?

- bis 2 Jahre       3 bis 4 Jahre       5 bis 6 Jahre       über 6 Jahre  
 Weiß nicht

17.1.2. Wie **schwer** ist das Kind aktuell, die Sie befördern?

- bis 10 kg       10 bis 15 kg       15 bis 20 kg       20 bis 25 kg  
 25 bis 30 kg       über 30 kg       Weiß nicht

17.1.3. Wie **groß** ist das Kind aktuell, das Sie befördern?

- bis 70 cm       70 bis 80 cm       80 bis 90 cm       90 bis 100 cm  
 100 cm bis 110 cm       über 110 cm       Weiß nicht

17.1.4. **Welchen Kindersitz** nutzen Sie (vorwiegend)?

Hersteller: Freies Feld

Modell: Freies Feld

17.1.5. **Wie lange** nutzen Sie diesen Kindersitz bereits?

- bis 6 Monate       6 Monate bis 1 Jahr       1 bis 2 Jahre       über 2 Jahre  
 Weiß nicht

17.1.6. Was trifft auf den **Erwerb** dieses Kindersitzes zu?

- Neukauf in Fachhandel       Neukauf über das Internet  
 Gebrauchtkauf über persönlichen Kontakt       Gebrauchtkauf über das Internet  
 habe ich von persönlichem Kontakt übernommen       wurde mir neu geschenkt  
 Ich nutze den Kindersitz nur leihweise, er gehört mir nicht.  
 Weiteres: Freies Feld

17.1.7. Was waren die **ausschlaggebendes Gründe**, warum Sie sich für diesen Kindersitz entschieden haben? (Mehrfachantworten möglich)

- Funktionalität (z. B. zweckdienlich, praktisch)       Qualität (z. B. robust, hochwertig)  
 Bedienbarkeit (z. B. Installation, Handhabung)       Design (z. B. Form, Farbe, Gestaltung)  
 Preis-Leistungs-Verhältnis       Marke  
 Sitzkomfort für Kind/ Kinder       Sicherheit im Straßenverkehr  
 Haltbarkeit und Schutz gegen Witterungseinflüsse       Erfahrungsberichte Anderer  
 Unabhängige Testberichte (z.B. Warentests)       Weiteres: Freies Feld  
 Habe mich nicht bewusst für dieses Modell entschieden

17.1.8. Wie haben Sie sich **im Vorfeld** über dieses und über vergleichbare Produkte informiert? (Mehrfachantworten möglich)

- Händlergespräche
- Testung des Produkts vor dem Kauf
- Recherche von Internetangeboten
- Erfahrungsberichte Anderer
- Unabhängige Testberichte (z.B. Warentests)
- Befragen persönlicher Kontakte
- Weiteres: Freies Feld
- Keine Vorab-Information eingeholt

17.1.9. Auf einer Skala von 1="sehr schlecht" bis 6="sehr gut": Wie **bewerten Sie folgende Aspekte** bei der Nutzung dieses Kindersitzes?

	sehr schlecht			sehr gut			irrelevant
	1	2	3	4	5	6	
Funktionalität (z. B. zweckdienlich, praktisch)							
Qualität (z. B. robust, hochwertig)							
Haltbarkeit und Schutz vor Witterungseinflüssen							
Bedienbarkeit (z. B. Installation, Handhabung)							
Design (z. B. Form, Farbe, Gestaltung)							
Preis-Leistungs-Verhältnis							
Sitzkomfort für Kind/ Kinder							
Sicherheitsempfinden im Straßenverkehr							
Kontrollempfinden das Rad jederzeit zu beherrschen							
Geringes Kipp-Risiko und Vermeidung von Stürzen							
Fahrkomfort im Vergleich zum Fahren ohne Kindersitz							
Schutz vor Verletzung bei normaler Nutzung (Kinder)							
Schutz vor Verletzungen bei einem Unfall (Kinder)							
Umfang an Zubehör							
Geringer Wartungs- und Reparaturbedarf							
Platzbedarf beim Parken und Abstellen des Fahrrads mit Kindersitz							
Diebstahlschutz beim Abstellen des Fahrrads mit Kindersitz							

17.1.10.1 Würden Sie diesen Kindersitz anderen **weiterempfehlen**?

- ja (→ Frage 17.1.10.2.)
- nein (→ Frage 17.1.10.3.)
- weiß nicht (→ Frage 17.1.10.4.)

<Wenn in 17.1.10.1 ja>

17.1.10.2. Warum würden Sie ihn weiterempfehlen?

Freies Feld

<Wenn in 17.1.10.1 nein>

17.1.10.3. Warum würden Sie ihn nicht weiterempfehlen?

Freies Feld

<Wenn in 17.1.10.1. weiß nicht>

17.1.10.4. Was lässt sie unentschlossen bei einer Weiterempfehlung?

Freies Feld

17.1.11. Wie **sichern** Sie das Fahrrad mit dem Kindersitz beim Abstellen? (Mehrfachantworten möglich)

- Eine Kombination aus mehreren Fahrradschlössern  
 Mit einem separaten Fahrradschloss  
 Ich sichere den Kindersitz, indem ich ihn nicht am Fahrrad lasse.  
 Weiteres: Freies Feld
- GPS-Sender  
 Keine Sicherung

17.1.12. Achten Sie bei der Kinderbeförderung mit dem Kindersitz darauf, dass **das Kind einen passenden Fahrrad-Helm** trägt?

- ja, und zwar stets  
 ja, aber nicht immer  
 nein

17.1.13. Achten Sie bei der Kinderbeförderung darauf, dass das Kind im Kindersitz **gesichert** ist (Gurt, Fußschnallen usw.)?

- ja, und zwar stets  
 ja, aber nicht immer  
 Keine Sicherungen vorhanden  
 nein

### <Wenn in Frage 17 Anhänger>

17.2.1. Wie **viele Kinder** befördern Sie typischer Weise mit dem Anhänger?

- regelmäßig zwei Kinder  
 manchmal ein Kind, manchmal zwei  
 regelmäßig ein Kind  
 mehr als zwei Kinder

17.2.2. Wie **alt** ist das Kind/ sind die Kinder, die Sie mit einem Anhänger befördern? (Mehrfachantwort möglich, wenn Sie mehr als ein Kind befördern)

- bis 2 Jahre  
 3 bis 4 Jahre  
 5 bis 6 Jahre  
 über 6 Jahre  
 Weiß nicht

17.2.3. Wie **schwer** ist das Kind/ sind die Kinder, die Sie befördern? (Mehrfachantwort möglich, wenn Sie mehr als ein Kind befördern)

- bis 10 kg  
 25 bis 30 kg  
 10 bis 15 kg  
 über 30 kg  
 15 bis 20 kg  
 Weiß nicht  
 20 bis 25 kg

17.2.4. Wie **groß** ist das Kind/ sind die Kinder, das Sie befördern? (Mehrfachantwort möglich, wenn Sie mehr als ein Kind befördern)

- bis 70 cm                     70 bis 80 cm                     80 bis 90 cm                     90 bis 100 cm  
 100 cm bis 110 cm     über 110 cm                     Weiß nicht

17.2.5. **Welchen Anhänger** nutzen Sie (vorwiegend)?

Hersteller: Freies Feld

Modell: Freies Feld

17.2.6. **Wie lange** nutzen Sie diesen Anhänger bereits?

- bis 6 Monate                     6 Monate bis 1 Jahr                     1 bis 2 Jahre                     über 2 Jahre  
 Weiß nicht

17.2.7. Was trifft auf den **Erwerb** dieses Anhängers zu?

- Neukauf in Fachhandel                     Neukauf über das Internet  
 Gebrauchtkauf über persönlichen Kontakt                     Gebrauchtkauf über das Internet  
 habe ich von persönlichem Kontakt übernommen                     wurde mir neu geschenkt  
 Ich nutze den Anhänger nur leihweise, er gehört mir nicht.  
 Weiteres: Freies Feld (optional)

17.2.8. Was waren die **ausschlaggebendes Gründe**, warum Sie sich für diesen Anhänger entschieden haben? (Mehrfachantworten möglich)

- Funktionalität (z. B. zweckdienlich, praktisch)                     Qualität (z. B. robust, hochwertig)  
 Bedienbarkeit (z. B. Installation, Handhabung)                     Design (z. B. Form, Farbe, Gestaltung)  
 Preis-Leistungs-Verhältnis                     Marke  
 Sitzkomfort für Kind/ Kinder                     Sicherheit im Straßenverkehr  
 Haltbarkeit und Schutz gegen Witterungseinflüsse                     Erfahrungsberichte Anderer  
 Unabhängige Testberichte (z.B. Warentests)                     Weiteres: Freies Feld  
 Habe mich nicht bewusst für dieses Modell entschieden

17.2.9. Wie haben Sie sich **im Vorfeld** über dieses und über vergleichbare Produkte informiert? (Mehrfachantworten möglich)

- Händlergespräche                     Testung des Produkts vor dem Kauf  
 Recherche von Internetangeboten                     Erfahrungsberichte Anderer  
 Unabhängige Testberichte (z.B. Warentests)                     Befragen persönlicher Kontakte  
 Weiteres: Freies Feld                     Keine Vorab-Information eingeholt

17.2.10. Auf einer Skala von 1="sehr schlecht" bis 6="sehr gut": Wie **bewerten Sie folgende Aspekte** bei der Nutzung dieses Anhängers?

	sehr schlecht				sehr gut		irrelevant
	1	2	3	4	5	6	
Funktionalität (z. B. zweckdienlich, praktisch)							
Qualität (z. B. robust, hochwertig)							
Haltbarkeit und Schutz vor Witterungseinflüssen							
Bedienbarkeit (z. B. Installation, Handhabung)							
Design (z. B. Form, Farbe, Gestaltung)							
Preis-Leistungs-Verhältnis							
Sitzkomfort für Kind/ Kinder							
Sicherheitsempfinden im Straßenverkehr							
Kontrollempfinden das Rad jederzeit zu beherrschen							
Geringes Kipp-Risiko und Vermeidung von Stürzen							
Fahrkomfort im Vergleich zum Fahren ohne Anhänger							
Schutz vor Verletzung bei normaler Nutzung (Kinder)							
Schutz vor Verletzungen bei einem Unfall (Kinder)							
Umfang an Zubehör							
Geringer Wartungs- und Reparaturbedarf							
Platzbedarf beim Parken und Abstellen des Fahrrads mit Anhänger							
Diebstahlschutz beim Abstellen des Fahrrads mit Anhänger							

17.2.11.1 Würden Sie diesen Anhänger anderen **weiterempfehlen**?

ja (→ Frage 17.2.11.2.)

nein (→ Frage 17.2.11.3.)

weiß nicht (→ Frage 17.2.11.4.)

<Wenn in 17.2.11.1 ja>

17.2.11.2. Warum würden Sie ihn weiterempfehlen?

Freies Feld

<Wenn in 17.2.11.1 nein>

17.2.11.3. Warum würden Sie ihn nicht weiterempfehlen?

Freies Feld

<Wenn in 17.2.11.1. weiß nicht>

17.2.11.4. Was lässt sie unentschlossen bei einer Weiterempfehlung?

Freies Feld

17.2.12. Wie **sichern** Sie Ihren Anhänger beim Abstellen? (Mehrfachantworten möglich)

Eine Kombination aus mehreren Fahrradschlössern

Mit einem separaten Fahrradschloss

GPS-Sender

Ich sichere den Anhänger, indem ich ihn nicht am Fahrrad lasse.  Keine Sicherung

Weiteres: Freies Feld

17.2.13. Achten Sie bei der Kinderbeförderung darauf, dass **das Kind/ die Kinder im Anhänger einen passenden Fahrrad-Helm** trägt/ tragen?

ja, und zwar stets  ja, aber nicht immer  nein

17.2.14. Achten Sie bei der Kinderbeförderung darauf, dass das Kind/ die Kinder im Anhänger mit Gurt **gesichert** ist/ sind?

ja, und zwar stets  ja, aber nicht immer  Keine Gurte vorhanden  nein

17.2.15. **Wozu nutzen** Sie den Anhänger außer zur Kinderbeförderung noch? (Mehrfachantwort möglich)

- Ausschließlich zur Beförderung von Kindern  Beförderung von Tieren  
 Transport von Arbeits- oder Baumaterialien  Transport von Einkäufen  
 Transport von Abfall oder Recycling-Produkten  Weiteres: Freies Feld

### <Wenn in Frage 17. Lastenrad>

17.3.1. **Wie viele Kinder** befördern Sie typischer Weise im Lastenrad?

- regelmäßig zwei Kinder  regelmäßig ein Kind  
 manchmal ein Kind, manchmal zwei  mehr als zwei Kinder

17.3.2. Wie **alt** ist das Kind/ sind die Kinder, die Sie mit dem Lastenrad befördern? (Mehrfachantworten möglich, wenn Sie mehr als ein Kind befördern)

- bis 2 Jahre  2 bis 3 Jahre  4 bis 5 Jahre  5 bis 6 Jahre  
 über 6 Jahre  Weiß nicht

17.3.3. Wie **schwer** ist das Kind/ sind die Kinder, die Sie befördern? (Mehrfachantworten möglich, wenn Sie mehr als ein Kind befördern)

- bis 10 kg  10 bis 15 kg  15 bis 20 kg  20 bis 25 kg  
 25 bis 30 kg  über 30 kg  Weiß nicht

17.3.4. Wie **groß** ist das Kind/ sind die Kinder, die Sie befördern? (Mehrfachantworten möglich, wenn Sie mehr als ein Kind befördern)

- bis 70 cm  70 bis 80 cm  80 bis 90 cm  90 bis 100 cm  
 100 cm bis 110 cm  über 110 cm  Weiß nicht

17.3.5. **Welches Lastenrad** nutzen Sie zur Beförderung von Kindern (vorwiegend)?



Hersteller: Freies Feld

Modell: Freies Feld

17.3.6. Um **welche Art** Lastenrad handelt es sich?

- Zweirädrig       Dreirädrig       Anderes: Freies Feld

17.3.7. **Wie lange** nutzen Sie das Lastenrad bereits?

- bis 6 Monate       6 Monate bis 1 Jahr       1 bis 2 Jahre       über 2 Jahre  
 Weiß nicht

17.3.8. Was trifft auf den **Erwerb** des Lastenrads zu?

- Neukauf in Fachhandel       Neukauf über das Internet  
 Gebrauchtkauf über persönlichen Kontakt       Gebrauchtkauf über das Internet  
 Ich habe von persönlichem Kontakt übernommen       wurde mir neu geschenkt  
 Ich nutze das Lastenrad nur leihweise, es gehört mir nicht.  
 Weiteres: Freies Feld

17.3.9. Was waren die **ausschlaggebenden Gründe**, warum Sie sich für dieses Lastenrad entschieden haben? (Mehrfachantworten möglich)

- Funktionalität (z. B. zweckdienlich, praktisch)       Qualität (z. B. robust, hochwertig)  
 Bedienbarkeit (z. B. Installation, Handhabung)       Design (z. B. Form, Farbe, Gestaltung)  
 Preis-Leistungs-Verhältnis       Marke  
 Sitzkomfort für Kind/ Kinder       Sicherheit im Straßenverkehr  
 Haltbarkeit und Schutz gegen Witterungseinflüsse       Erfahrungsberichte Anderer  
 Unabhängige Testberichte (z.B. Warentests)       Weiteres: Freies Feld  
 Habe mich nicht bewusst für dieses Modell entschieden

17.3.10. Wie haben Sie sich **im Vorfeld** über dieses und über vergleichbare Produkte informiert? (Mehrfachantworten möglich)

- Händlergespräche       Testung des Produkts vor dem Kauf  
 Recherche von Internetangeboten       Erfahrungsberichte Anderer  
 Unabhängige Testberichte (z.B. Warentests)       Befragen persönlicher Kontakte  
 Weiteres: Freies Feld       Keine Vorab-Information eingeholt

17.3.11. Auf einer Skala von 1="sehr schlecht" bis 6="sehr gut": Wie **bewerten Sie folgende Aspekte** bei der Nutzung dieses Lastenrads?

	sehr schlecht			sehr gut			irrelevant
	1	2	3	4	5	6	
Funktionalität (z. B. zweckdienlich, praktisch)							
Qualität (z. B. robust, hochwertig)							
Haltbarkeit und Schutz vor Witterungseinflüssen							
Bedienbarkeit (z. B. Installation, Handhabung)							
Design (z. B. Form, Farbe, Gestaltung)							
Preis-Leistungs-Verhältnis							
Sitzkomfort für Kind/ Kinder							
Sicherheitsempfinden im Straßenverkehr							
Kontrollempfinden das Rad jederzeit zu beherrschen							
Geringes Kipp-Risiko und Vermeidung von Stürzen							
Fahrkomfort im Vergleich zum Fahren ohne Kinder							
Schutz vor Verletzung bei normaler Nutzung (Kinder)							
Schutz vor Verletzungen bei einem Unfall (Kinder)							
Umfang an Zubehör							
Geringer Wartungs- und Reparaturbedarf							
Platzbedarf beim Parken und Abstellen des Lastenrads							
Diebstahlschutz beim Abstellen des Lastenrads							

17.3.12.1 Würden Sie dieses Lastenrad anderen **weiterempfehlen**?

ja (→ Frage 17.3.12.2.)

nein (→ Frage 17.3.12.3.)

weiß nicht (→ Frage 17.3.12.4.)

<Wenn in 17.3.12.1 ja>

17.3.12.2. Warum würden Sie es weiterempfehlen?

Freies Feld

<Wenn in 17.3.12.1 nein>

17.3.12.3. Warum würden Sie es nicht weiterempfehlen?

Freies Feld

<Wenn in 17.3.12.1. weiß nicht>

17.3.12.4. Was lässt sie unentschlossen bei einer Weiterempfehlung?

Freies Feld

17.2.13. Achten Sie bei der Kinderbeförderung darauf, dass **das Kind/ die Kinder im Lastenrad einen passenden Fahrrad-Helm** trägt/ tragen?

ja, und zwar stets     ja, aber nicht immer     nein

17.2.14. Achten Sie bei der Kinderbeförderung darauf, dass das Kind/ die Kinder im Lastenrad mit Gurt **gesichert** ist/ sind?

ja, und zwar stets     ja, aber nicht immer     Keine Gurte vorhanden     nein

17.3.15. **Wozu nutzen** Sie das Lastenrad außer zur Kinderbeförderung noch? (Mehrfachantwort möglich)

- Ausschließlich zur Beförderung von Kindern     Beförderung von Tieren  
 Transport von Arbeits- oder Baumaterialien     Transport von Einkäufen  
 Transport von Abfall oder Recycling-Produkten     Weiteres: Freies Feld

<Wenn in Frage 2. Ich befördere keine Kinder mit dem Rad>

18.1 **Haben Sie Kinder**, die Sie mit dem Fahrrad befördern könnten?

Ja, ich habe Kinder, die ich mit dem Fahrrad befördern könnte, tue das aber nicht. (→ Frage 18.2.)

Nein. → **Aufgrund Ihrer Angaben wurde die Befragung beendet.**

Leider bezieht sich diese Umfrage nur auf Personen, die mindestens gelegentlich ein oder mehrere Kinder mit ihrem Fahrrad transportieren.

**Bei Fragen oder Anregungen kontaktieren Sie bitte:**

Gesellschaft für Kraftfahrzeugtechnik Berlin UG (GKBerlin)  
 Gustav-Meyer-Allee 25/ TIB 13, 13355 Berlin  
[info\(at\)gkberlin.com](mailto:info(at)gkberlin.com)

<Wenn in 18.1. Kinder ja, aber keine Beförderung mit dem Rad>

18.2. **Warum** befördern Sie keine Kinder mit dem Fahrrad? (Mehrfachantwort möglich)

- Transportmittel wie Kindersitz, Anhänger oder Lastenrad sind in ihrem Gebrauch unpraktisch.  
 Transportmittel sind mir zu teuer.  
 Ich habe Sorgen wegen der (Verkehrs-)Sicherheit. (→ Frage 18.3.)  
 Kinderbeförderung mit dem Fahrrad macht das Radfahren für mich unbequem.  
 Kinderbeförderung mit dem Fahrrad ist für mein Kind/ meine Kinder unbequem.  
 Das Kind/ die Kinder sollen möglichst früh mit dem eigenen Fahrrad unterwegs sein.  
 Weiteres: Freies Feld

<Wenn in 18.2. Sorge wegen der (Verkehrs-)Sicherheit>

18.3. **Welche konkreten Bedenken oder Sorgen** haben Sie wegen der (Verkehrs-)Sicherheit bei der Kinderbeförderung mit dem Fahrrad?

Freies Feld (optional)

19.1 Haben Sie während der Kinderbeförderung mit dem Fahrrad schon mal eine oder mehrere **kritische Situationen** erlebt (z. B. Unfall oder beinahe Zusammenstoß)?

nein

ja (→ Frage 19.2.)

<Wenn in 19. Ja>

19.2. **Bitte beschreiben** Sie kurz die Sicht kritische Situation. Bei mehreren kritischen Situationen bitte die aus Ihrer Sicht kritischste Situation.

Freies Feld

19.3. Was hat aus Ihrer Sicht diese kritische Situation **verursacht**? (Mehrfachantworten möglich)

Unzulänglichkeiten in der Infrastruktur (z. B. Unebenheiten, Poller, enge Durchfahrten) (→ Frage 19.4.)

Eigenes falsches Verhalten oder Unachtsamkeit im Straßenverkehr

Verhalten oder Unachtsamkeit des beförderten Kindes

Materialfehler/ Verschleiß des Transportmittels zur Kinderbeförderung

Falsche Nutzung des Transportmittels zur Kinderbeförderung (→ Frage 19.5.)

Falsches Verhalten oder Unachtsamkeit eines anderen Verkehrsteilnehmers

Äußere Umstände (Witterung, Dämmerung, etc.)

Weiß nicht

Weiteres: Freies Feld

<Wenn in 19.3. Unzulänglichkeiten in der Infrastruktur >

19.4. Was war es **genau in der Infrastruktur**, das zur kritischen Situation geführt hat?

Freies Feld

<Wenn in 19.3. falsche Nutzung des Transportmittels zur Kinderbeförderung>

19.5. Wie kam die falsche Nutzung **zustande**?

Fehlende Wartung

Falsche Installation

Übersehen von Schutzvorkehrungen (→ Frage 19.6.)

Bewusste Nicht-Nutzung von Schutzvorkehrungen (→ Frage 19.7.)

Nicht zugelassene Nutzung (z.B. Zuladung, Nutzung außerhalb von Grenzwerten)

Eingriff durch das Kind

Weiteres: Freies Feld

<Wenn in 19.5. Schutzvorkehrung übersehen >

19.6. Welche **Schutzvorkehrung** ist übersehen worden?

Freies Feld

<Wenn in 19.5. Schutzvorkehrung bewusst nicht genutzt >

### 19.7. Welche **Schutzvorkehrung** wurde bewusst nicht genutzt?

Freies Feld

#### Abschließend bitten wir um einige Angaben zu Ihrer Person.

20. Welches **Geschlecht** haben Sie?

Weiblich                       Männlich                       Divers                       Keine Angabe

21. Wie **alt** sind Sie?

Freie Angabe in Jahren (Ganzzahlige Werte bis max. 99)

22. Tragen Sie selbst einen **Fahrrad-Helm**, wenn Sie mit dem Fahrrad unterwegs sind?

ja, und zwar stets       ja, aber nur wenn ich Kinder befördere       ja, aber nicht immer  
 nein                       Antwort mit Erläuterung (freies Feld)

23. Haben Sie **Anmerkungen zu dieser Befragung** oder ein Feedback für uns?

Freies Feld (optional).

<Abschluss>

#### **Vielen Dank für Ihre Unterstützung!**

Wenn Sie an der Verlosung von fünf Online-Wunschgutscheinen in Höhe von jeweils 100 Euro teilnehmen möchten, klicken Sie bitte auf diesen Link und tragen Sie anschließend Ihre E-Mail-Adresse ein.

Wenn Sie nicht teilnehmen möchten, können Sie das Browser-Fenster jetzt schließen.

#### **Bei Fragen oder Anregungen kontaktieren Sie bitte:**

Gesellschaft für Kraftfahrzeugtechnik Berlin UG (GKBerlin)  
 Gustav-Meyer-Allee 25/ TIB 13, 13355 Berlin  
 info(at)gkberlin.com

<Instruktion Verlosungsaktion>

Im Folgenden haben Sie die Möglichkeit, an der Verlosung von fünf Online-Wunschgutscheinen in Höhe von jeweils 100 Euro teilzunehmen. Ihre Teilnahme an der Verlosung ist **freiwillig**.

**Hinweis: Die Angabe Ihrer E-Mailadresse kann zu keinem Zeitpunkt mit Ihren Angaben in der Befragung in Verbindung gebracht werden.**

Bei Teilnahme erklären Sie sich mit **folgenden Bedingungen** einverstanden:

- Ich bin damit einverstanden, dass meine E-Mailadresse zweckgebunden gespeichert wird. Mailadressen werden nicht an Dritte weitergegeben und nach Abschluss der Verlosung unverzüglich gelöscht.
- Ich bin damit einverstanden, unter der angegebenen E-Mailadresse im Gewinnfall kontaktiert zu werden.
- Mit Teilnahme am Gewinnspiel erkläre ich, dass ich das 18. Lebensjahr abgeschlossen habe.
- Der Rechtsweg ist im Hinblick auf die Ziehung der Gewinner ausgeschlossen.

Bitte wählen Sie eine der folgenden Antworten:

Ich erkläre mich nicht einverstanden. Mit Auswahl dieser Option nehmen Sie nicht am Gewinnspiel teil. (→ **Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Befragung!**)

Ich habe die Teilnahmebedingungen gelesen und erkläre mich mit der zweckgebundenen Speicherung und Nutzung meiner Daten unter den oben ausgeführten Bedingungen einverstanden.

Bitte tragen Sie hier die E-Mailadresse ein unter der wir Sie im Gewinnfall benachrichtigen dürfen:

Freies Feld

Bitte wiederholen Sie Ihre E-Mailadresse:

Freies Feld

<Abschluss>

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an der Befragung!

*Hinweise:*

- *Filterfragen sind zwingend durch die Teilnehmenden zu beantworten (forced choice).*
- *Alle anderen Single-Choice-Fragen, Multiple-Choice-Fragen und Fragen mit freien Textfeldern werden bei Nicht-Beantwortung zurückgemeldet und können nachträglich beantwortet werden. Alternativ kann ausgewählt werden „Fahren Sie fort, ohne zu antworten“.*
- *Die Zurück-Navigation ist an jeder Stelle möglich.*
- *Pro Endgerät kann nur einmal an der Verlosungsaktion teilgenommen werden.*
- *IP-Adressen werden nicht gespeichert.*
- *Befragungsdaten und Kontaktdaten (E-Mailadressen) sind in separaten Dateien gespeichert und können fallweise untereinander nicht zugeordnet werden.*
- *Die Antwortoptionen in den Fragen 7, 8.1. und 9.1. werden mit folgenden Bildern visualisiert (eigene Schutzrechte):*



Fahrbahn auf Bundes- oder Landstraße (außerorts)



Fahrbahn im Hauptstraßennetz



bahn

Nicht baulich getrennte Radfahrstreifen oder Schutzstreifen auf der Fahr-



Baulich abgetrennte Radwege auf der Fahrbahn



Fahrbahn in 30er-Zone



Fahrradstraßen



kehr)

Verkehrsberuhigter Bereich (Schrittgeschwindigkeit für motorisierten Ver-



Separate Radwege

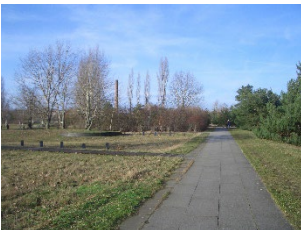


Wege, die sowohl für Rad- als auch Fußverkehr zugelassen sind



gerzone)

Wege die dem Fußverkehr vorbehalten sind (z.B. Gehweg oder Fußgängerzone)



sind

Wege bei denen ich unsicher bin, ob Sie für den Radverkehr zugelassen sind

## 9.2 Aufbau des Interviewleitfadens und Beobachtungsprotokolls der Felduntersuchung

### Ansprache:

- Durchführung eines Projekts zum Thema „Kinderbeförderung auf dem Fahrrad“
- Unabhängiges Forschungsprojekt in Kooperation der TU Berlin und der GKBerlin
- Ziel: Verbesserung der Verkehrssicherheit von Kindern und Erwachsenen auf dem Fahrrad im Straßenverkehr
- Interview zu Ihren Erfahrungen beim Kindertransport auf dem Fahrrad, speziell zur Nutzung von unterschiedlichen Transportmitteln
- Etwa 5 Minuten Zeit?

### Kodierung durch Interviewer: Aktuell genutztes Transportmittel:

Kindersitz                       Anhänger                       Lastenrad (2 Räder)                       Lastenrad (3 Räder)

### Kodierung durch Interviewer: Anzahl der aktuell beförderten Kinder:

0                       1                       2                       3                       \_\_\_\_\_

### Frage 1: Wie regelmäßig befördern Sie ein Kind/ Kinder mit dem Fahrrad?

täglich (inkl. Wochenende)     5 bis 6 Mal pro Woche  3 bis 4 Mal pro Woche  
 1 bis 2 Mal pro Woche  seltener

### Frage 2: Wie ist Ihr Ablauf, bevor Sie die Fahrt beginnen? (ggf. demonstrieren lassen)



**Frage 3: Gibt es etwas, auf das Sie vor dem Losfahren nochmal besonders achten? Wenn ja, was? (ggf. demonstrieren lassen)**

**Frage 4: Wie empfindet Ihr Kind/ Ihre Kinder die Sicherheit und die Beförderung mit diesem Transportmittel?**

**Frage 5: Gibt es Probleme in der Benutzung und/ oder im Umgang mit dem Transportmittel? Wenn ja, welche?**

**Frage 6: Um welches Transportmittel handelt es sich? (ggf. ablesen)**

**Hersteller:** \_\_\_\_\_ **Modell:** \_\_\_\_\_

*Kodierung durch Interviewer:*

<b>Trägt das Kind/ die Kinder einen Helm?</b>	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein	<input type="radio"/> nicht alle
<b>Ist das Kind/ sind die Kinder angeschnallt?</b>	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein	<input type="radio"/> nicht alle
<b>Ist der Gurt einigermaßen straff?</b>	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein	<input type="radio"/> nicht alle
<b>Wird eine Babyschale genutzt?</b>	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein	<input type="radio"/> nicht relevant
<b>Trägt die erwachsene Person einen Helm?</b>	<input type="radio"/> ja	<input type="radio"/> nein	
<b>Allgemeiner Zustand des Fahrrads</b>	<input type="radio"/> in Ordnung	<input type="radio"/> Kommentar:	
<b>Zustand des Transportmittels</b>	<input type="radio"/> in Ordnung	<input type="radio"/> Kommentar:	

**Frage 7: Ist der heutige Zustand anders als sonst?**

**Frage 8: Alter der beförderten Kinder:**

*Kodierung durch Interviewer:* **Geschlecht der befragten Person:**  weiblich  männlich  divers



GDV

**Unfallforschung  
der Versicherer**

---

**Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.**

Wilhelmstraße 43/43 G, 10117 Berlin

Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

Tel. 030 2020-5000, Fax 030 2020-6000

[www.gdv.de](http://www.gdv.de), [berlin@gdv.de](mailto:berlin@gdv.de)