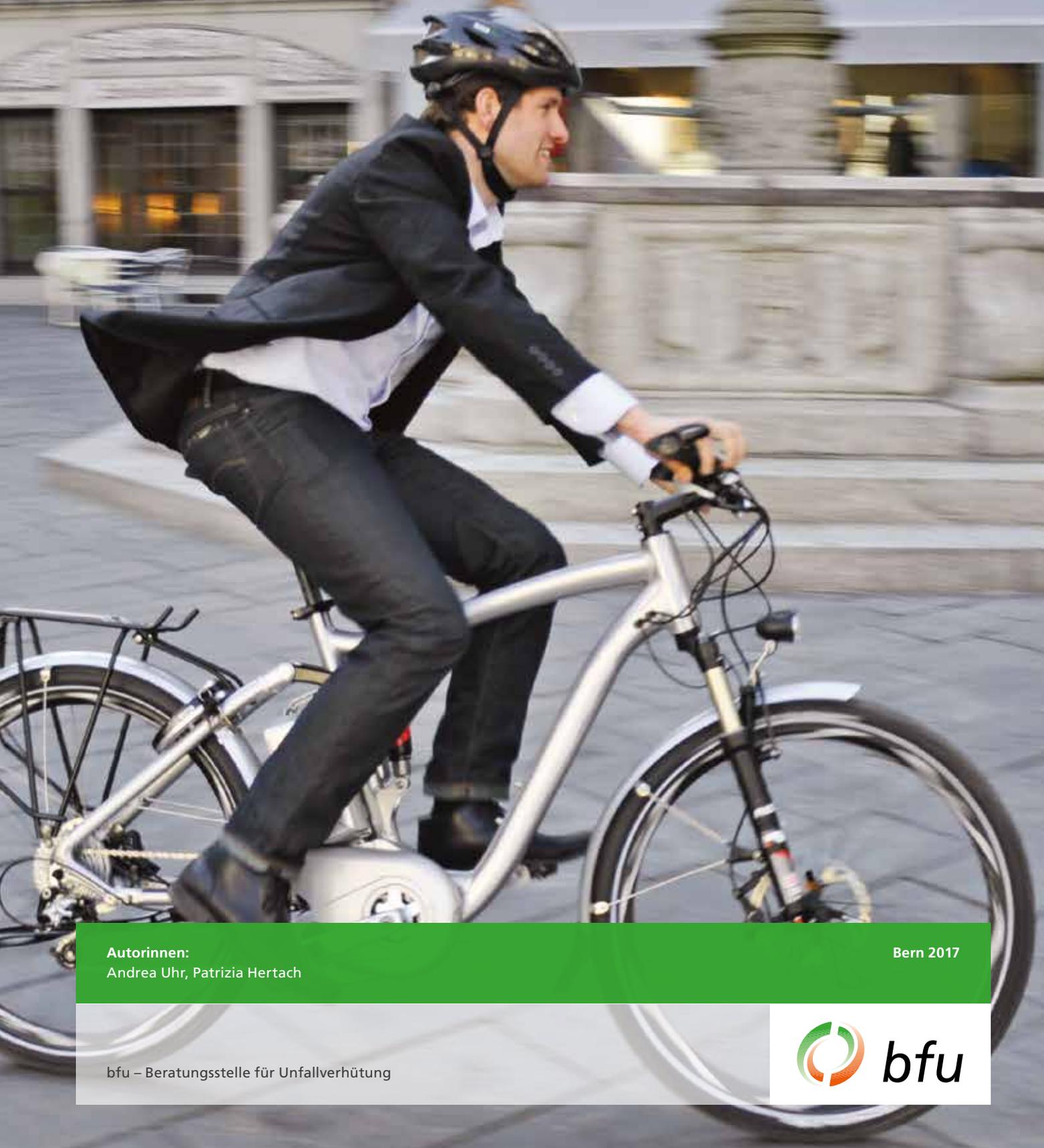


bfu-Report Nr. 75

Verkehrssicherheit von E-Bikes mit Schwerpunkt Alleinunfälle



Autorinnen:
Andrea Uhr, Patrizia Hertach

Bern 2017

bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung



bfu-Report Nr. 75

Verkehrssicherheit von E-Bikes mit Schwerpunkt Alleinunfälle

Autorinnen:
Andrea Uhr, Patrizia Hertach

Bern 2017

Autorinnen



Andrea Uhr

Wissenschaftliche Mitarbeiterin Forschung, bfu, a.uhr@bfu.ch

MSc in Psychologie; Studium an der Universität Zürich mit Schwerpunkt Sozial-, Wirtschafts- sowie Arbeits- & Organisationspsychologie. Seit 2013 wissenschaftliche Mitarbeiterin der Forschungsabteilung der bfu. Schwerpunkte: Risikokommunikation, Entwicklungspsychologie, Fahrradverkehr.



Patrizia Hertach

Wissenschaftliche Mitarbeiterin Forschung, bfu, p.frei@bfu.ch

Dr. phil. nat.; Studium der Umweltnaturwissenschaften an der ETH Zürich, Doktorat in Epidemiologie am Schweizerischen Tropen- und Public-Health-Institut. Seit 2016 wissenschaftliche Mitarbeiterin der bfu. Schwerpunkte: Kinderrückhaltesysteme, E-Bikes, Sichtbarkeitsprodukte.

Impressum

Herausgeberin	bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung Postfach CH-3001 Bern Tel. +41 31 390 22 22 Fax +41 31 390 22 30 info@bfu.ch www.bfu.ch Bezug auf www.bestellen.bfu.ch , Art.-Nr. 2.340
Autoren	Andrea Uhr, MSc in Psychologie, Wissenschaftliche Mitarbeiterin Forschung, bfu Patrizia Hertach, Dr. phil. nat., Wissenschaftliche Mitarbeiterin Forschung, bfu
Redaktion	Mario Cavegn, lic. phil., Teamleiter Forschung Strassenverkehr, bfu
Projektteam	Steffen Niemann, M.A., Wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschung, bfu Céline Zbinden, Projektassistentin Forschung, bfu
Druck/Auflage	Bubenberg Druck- und Verlags-AG, Monbijoustrasse 61, CH-3007 Bern 1/2017/250 Gedruckt auf FSC-Papier
© bfu 2017	Alle Rechte vorbehalten. Verwendung unter Quellenangabe (siehe Zitativorschlag) erlaubt. Kommerzielle Nutzung ausgeschlossen.
Zitativorschlag	Uhr A, Hertach P. <i>Verkehrssicherheit von E-Bikes mit Schwerpunkt Alleinunfälle</i> . Bern: bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung; 2017. bfu-Report 75. ISBN 978-3-906814-06-3 DOI 10.13100/bfu.2.340.01 Aus Gründen der Lesbarkeit verzichten wir darauf, konsequent die männliche und weibliche Formulierung zu verwenden. Wir bitten die Lesenden um Verständnis.

Vorwort

Schon seit dem ersten Aufkommen von E-Bikes auf den Schweizer Strassen beschäftigt sich die bfu mit der Sicherheit von E-Bike-Fahrenden. Im Jahr 2015 veröffentlichte sie den ersten Report mit einer allgemeinen Übersicht zum Thema. Eine zentrale Erkenntnis war es, dass Alleinunfälle leider häufig vorkommen, dass deren Ursachen und Hergänge aber noch weitgehend unbekannt sind. Für eine wirkungsvolle Prävention solcher Unfälle ist es allerdings unabdingbar zu wissen, wie und weshalb sie sich ereignen.

Die vorliegende Arbeit bringt nun Licht ins Dunkel. Für eine eigens durchgeführte Umfrage konnten mehr als 4000 E-Bikerinnen und E-Biker gewonnen werden, etwas über 800 Befragte schilderten die genaueren Umstände ihres Alleinunfalls. Unter anderem zeigte sich, dass längst nicht nur ältere Personen von Alleinunfällen betroffen sind: auch bei den jüngeren Fahrern berichtet ungefähr jeder sechste von einem solchen Unfall. Dem Forscherteam ist es im Weiteren gelungen, zum ersten Mal das expositionsbereinigte Unfallrisiko von E-Bike-Fahrern und Radfahrern zu vergleichen.

Bei der Rekrutierung der Teilnehmenden durften wir auf eine tatkräftige Mithilfe zahlreicher Partnerorganisationen zählen. An dieser Stelle möchten wir uns herzlich bei all denen bedanken, die zum Gelingen der Studie beigetragen haben.

Diese Arbeit liefert zudem eine aktualisierte Übersicht zu verschiedenen Verkehrssicherheitsaspekten von E-Bikes. Die gewonnenen Erkenntnisse wird die bfu nun als Basis für ihre zukünftige Präventionsarbeit nutzen. Damit das E-Bike-Fahren auf den Schweizer Strassen auch weiterhin viel Spass bereitet.

bfu



Stefan Siegrist, Dr. phil., EMBA

Leiter Forschung / Beratung / Produktesicherheit

Stv. Direktor

Inhalt

Vorwort	5
I. Kurzfassung / Version abrégée / Riassunto / Condensed version	11
1. Verkehrssicherheit von E-Bikes mit Schwerpunkt Alleinunfälle	11
1.1 Einleitung	11
1.2 Unfallanalyse	11
1.3 Literaturanalyse	12
1.4 Befragung Alleinunfälle	13
1.5 Diskussion	14
2. Sécurité routière des utilisateurs de vélos électriques (étude centrée sur les accidents individuels)	18
2.1 Introduction	18
2.2 Analyse accidentologique	18
2.3 Analyse de la littérature scientifique	19
2.4 Enquête sur les accidents individuels	20
2.5 Discussion	21
3. Sicurezza stradale delle bici elettriche con particolare riguardo agli incidenti per colpa propria	25
3.1 Introduzione	25
3.2 Analisi degli incidenti	25
3.3 Analisi della letteratura	26
3.4 Indagine sugli incidenti a veicolo isolato	27
3.5 Discussione	28
4. Road safety of e-bikes with a focus on single-vehicle accidents	31
4.1 Introduction	31
4.2 Accident analysis	31
4.3 Literature analysis	31
4.4 Survey of single-vehicle accidents	33
4.5 Discussion	34
II. Einleitung	37
1. Ausgangslage	37
2. Aufbau des Berichts	37
3. Begriffserklärungen	37
4. Rechtliche Bestimmungen	38

5.	E-Bike-Fahren in der Schweiz	39
6.	Vergleich Schweiz – Deutschland – Österreich	41
III.	Unfallanalyse	42
1.	Einleitung	42
2.	Entwicklung des Unfallgeschehens	43
3.	Betroffene Personen: Alter und Geschlecht	43
4.	E-Bike-Typ	44
5.	Unfallschwere und Fahrzeugtyp	45
6.	Unfallrisiko	47
7.	Unfalltyp	48
8.	Alleinunfälle	49
8.1	Unfallort und –zeit bei Alleinunfällen	49
8.2	Umgebungsfaktoren bei Alleinunfällen	51
8.3	Ursachen von Alleinunfällen	51
9.	Helmtragquote	52
10.	Zusammenfassung Unfallanalyse	53
IV.	Literaturanalyse	55
1.	Einleitung	55
2.	Literatur zu Sicherheitsaspekten von E-Bikes	55
2.1	Fahrgeschwindigkeit	56
2.2	Verhalten	61
2.3	Voraussetzungen und Sicherheitsgefühl	63
2.4	Kritische Situationen und Unfälle	65
2.5	Verletzungsschwere	69
2.6	Technische Sicherheit	72
2.7	Einschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer	73
2.8	Infrastruktur	75
3.	Fokus Alleinunfälle	76
3.1	Alleinunfälle von E-Bike-Fahrern	76
3.2	Alleinunfälle von Fahrradfahrern	78
3.3	Fazit Alleinunfälle	79
4.	Zusammenfassung Literaturanalyse	79
V.	Befragung Alleinunfälle	82
1.	Ausgangslage	82
2.	Methoden	82

2.1	Datenerhebung	82
2.2	Fragebogen	83
2.3	Stichprobe	84
2.4	Datenbereinigung, Datenaufbereitung und Datenanalyse	84
3.	Resultate	85
3.1	Deskriptive Statistik über E-Bike-Fahrende generell	85
3.1.1	Soziodemografische Variablen	85
3.1.2	E-Bike-Typ	85
3.1.3	Fahrhäufigkeit und Fahrzweck	86
3.1.4	Voraussetzungen (Fitness, Vorerfahrungen, E-Bike-Kurs)	87
3.1.5	Sicherheitsgefühl und Unfall Erfahrung	88
3.1.6	Risiko Alleinunfall im Strassenverkehr	88
3.2	Alleinunfälle	89
3.2.1	Unfalljahr, E-Bike-Typ, Personenmerkmale	90
3.2.2	Unfallhergänge	90
3.2.3	Rahmenbedingungen	92
3.2.4	Unfallursachen (Einflussfaktoren)	93
3.2.5	Relevante Faktoren für die häufigsten Unfallhergänge	94
3.2.6	Verletzungsschwere, Registrierung durch Polizei	98
3.3	Ergebnisse Befragung von E-Bike-Fahrenden ohne Alleinunfall	100
3.3.1	Schutzausrüstung	100
3.3.2	Erfahrungen im Strassenverkehr	101
3.3.3	Ideen zur Erhöhung der Sicherheit von E-Bike-Fahrenden	103
4.	Stärken und Schwächen	104
5.	Zusammenfassung Befragung Alleinunfälle	105
VI.	Diskussion	108
1.	Einleitung	108
2.	Befunde	108
2.1	Unfall- und Verletzungsrisiko	108
2.2	Merkmale von kritischen Situationen und Unfällen	110
2.3	Fokus Alleinunfälle	111
2.4	Geschwindigkeit	113
2.5	Fahrzeug(-typ)	114
2.6	Voraussetzungen, Sicherheitsgefühl und Schutzverhalten von E-Bike-Fahrern	115
2.7	Andere Verkehrsteilnehmer	116
2.8	Infrastruktur	116

3. Präventionsmöglichkeiten	116
3.1 Einleitung	116
3.2 Sensibilisierung und Ausbildung (Education)	117
3.3 Fahrzeugtechnik und Infrastruktur (Engineering)	118
3.3.1 Fahrzeug	118
3.3.2 Persönliche Schutzausrüstung	119
3.3.3 Infrastruktur	119
3.4 Gesetz und Vollzug (Enforcement)	120
4. Forschungsbedarf	121
VII. Anhang	123
1. Unfallanalyse	123
1.1 Ergebnisse der logistischen Regressionen	123
2. Befragung Alleinunfälle	124
2.1 Fragebogen	124
2.1.1 Fragebogen für Personen mit E-Bike-Alleinunfall im Strassenverkehr	124
2.1.2 Fragebogen für Personen ohne E-Bike-Alleinunfall im Strassenverkehr	130
2.2 Stichprobenbeschreibung nach Rekrutierungsquelle	134
2.3 Ergebnisse logistische Regression Risiko Alleinunfall	135
2.4 Ergebnisse logistische Regressionen der vier häufigsten Unfallhergänge	136
2.5 Ergebnisse logistische Regression Verletzungsschwere	142
2.6 Ideen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von E-Bikes	144
Quellen	146

I. Kurzfassung / Version abrégée / Riassunto / Condensed version

1. Verkehrssicherheit von E-Bikes mit Schwerpunkt Alleinunfälle

1.1 Einleitung

In den letzten Jahren hat sich das E-Bike auf Schweizer Strassen etabliert. Mit über 75 500 verkauften Stück machten E-Bikes 2016 beinahe $\frac{1}{4}$ des Gesamttotals des Fahrradmarktes aus. Bei den verkauften Fahrzeugen handelte es sich zu 78 % um langsame E-Bikes mit Tretunterstützung bis 25 km/h und zu 22 % um schnelle E-Bikes mit Tretunterstützung bis 45 km/h. Nachdem E-Bikes in früheren Jahren eher als Fahrräder für ältere Personen wahrgenommen wurden, setzen nun vermehrt auch jüngere Personen auf Zweiräder mit elektrischer Unterstützung.

Während die zunehmende Verbreitung von E-Bikes verschiedene Vorteile mit sich bringt (z. B. ökologische Vorteile gegenüber dem motorisierten Individualverkehr, Entlastung der Strasseninfrastruktur oder des öffentlichen Verkehrs), ergeben sich auch Herausforderungen für die Verkehrssicherheit. Bereits 2015 hat die bfu eine Analyse zu dieser Thematik verfasst [10]. Im vorliegenden Report werden die Befunde aus dem Jahr 2015 aktualisiert und um neue Erkenntnisse ergänzt. Neben einer generellen **Unfall- und Literaturanalyse** (Kapitel III, S. 42 und IV, S. 55) wird ein besonderer Fokus auf **Alleinunfälle**

von E-Bike-Fahrerinnen und -Fahrern¹ gelegt. Die Resultate einer umfassenden **Befragung** zu diesem Thema werden in Kapitel V, S. 82 präsentiert.

1.2 Unfallanalyse

In der Strassenverkehrsunfallstatistik der Schweiz werden E-Bikes seit 2011 als separate Fahrzeugkategorie erfasst. In den Jahren von 2011 bis 2016 hat sich die Anzahl der Personenschäden bei E-Bike-Fahrern mehr als verdreifacht. Diese **Entwicklung** widerspiegelt die Zunahme der E-Bikes im Strassenverkehr.

Bei den E-Bike-Fahrern findet sich in der Unfallstatistik ein höherer Anteil an **schweren Verletzungen** als bei den Radfahrern. Ein wichtiger Grund dafür sind Unterschiede in der Altersstruktur der Nutzer: E-Bike-Fahrer sind im Durchschnitt älter und damit verletzlicher als Radfahrer. Bei Alleinunfällen (nicht aber bei Kollisionen) spielt auch der Fahrzeugtyp eine Rolle: Lenker schneller E-Bikes verletzen sich bei diesem Unfalltyp schwerer als Lenker langsamer E-Bikes oder Radfahrer.

Bezogen auf die Fahrleistung (pro gefahrenen Kilometer) werden bei den E-Bike-Fahrern mehr schwere Unfälle registriert als bei den Radfahrern. Mit zunehmendem Alter steigt das **expositions-bereinigte Risiko** für schwere Unfälle an. Zurzeit müssen die Befunde zum expositionsbereinigten Unfallrisiko der E-Bike-Fahrer aufgrund der geringen

¹ Zugunsten der Lesbarkeit wird nachfolgend nur noch die männliche Formulierung verwendet.

Datenbasis aber noch mit Vorsicht interpretiert werden.

Im Vergleich zu den Radfahrern fällt bei den E-Bike-Fahrern der Anteil an **Alleinunfällen** an allen registrierten Unfällen signifikant grösser aus. Vor allem Lenker langsamer E-Bikes erleiden verhältnismässig oft schwere Alleinunfälle. Auch dieser Befund ist primär auf die Altersstruktur der Nutzer zurückzuführen (grösserer Anteil an Alleinunfällen bei älteren Personen, die wiederum häufiger ein langsames E-Bike fahren). Die häufigsten polizeilich registrierten Hauptursachen bei Alleinunfällen von E-Bike-Fahrern sind Unaufmerksamkeit und Ablenkung, Alkohol, mangelhafte Fahrzeugbedienung und Geschwindigkeit. Im Vergleich zu den Radfahrern finden sich diesbezüglich keine nennenswerten Unterschiede.

1.3 Literaturanalyse

Die Literaturanalyse gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu den sicherheitsrelevanten Aspekten von E-Bikes. Im Bereich der Alleinunfälle wird zudem auch Literatur zum konventionellen Fahrradverkehr beigezogen. Da in den verfügbaren Studien unterschiedliche E-Bike-Typen (bzgl. Leistung, Anteil an schnellen E-Bikes) und Altersgruppen vertreten waren, sollten die Befunde immer vor dem Hintergrund der betreffenden Stichprobe beurteilt werden.

Studien zur **Fahrgeschwindigkeit** zeigen erwartungsgemäss, dass E-Bike-Fahrer schneller unterwegs sind als Radfahrer. Auch die Variation der Geschwindigkeiten fällt bei E-Bike-Fahrten grösser aus. Die potenziell höheren Geschwindigkeiten werden vor allem von Fahrern schneller E-Bikes, jüngeren Personen und Männern realisiert. In anspruchsvollen

Situationen und auf Infrastrukturen mit vielen Interaktionen wird generell langsamer gefahren. Infolge der höheren Geschwindigkeiten überholen E-Bike-Fahrer auch häufiger andere Radfahrer als die Lenker von konventionellen Fahrrädern. Dies trifft wiederum überwiegend auf schnelle E-Bikes zu. Langsame E-Bikes überholen vor allem in Steigungen häufiger.

Es ist davon auszugehen, dass die meisten E-Bike-Fahrer die nötigen **Voraussetzungen** für das Lenken eines E-Bikes mitbringen. Die Mehrheit ist vor Beginn der E-Bike-Nutzung mehr oder weniger regelmässig Rad gefahren. Auch die potenziellen E-Bike-spezifischen Gefahren (höhere Geschwindigkeit, längerer Anhalteweg, Unterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer) scheinen relativ gut bekannt zu sein. Möglicherweise nehmen aber die Fähigkeiten, die für das sichere E-Bike-Fahren nötig sind, mit zunehmendem Alter ab (bzgl. Stabilisierung, mentale Arbeitsbelastung, Reaktionszeit). Dieser Effekt ist aber unabhängig vom Fahrzeugtyp (Fahrrad oder E-Bike).

Das **Konfliktgeschehen** von E-Bike-Fahrern scheint jenem der Radfahrer weitgehend zu entsprechen. Häufigkeit, Art und Ursachen der kritischen Situationen sind vergleichbar. Ein auffallender Unterschied findet sich jedoch an Kreuzungen, an denen E-Bike-Fahrer stärker durch Vortrittsmissachtung von Motorfahrzeug-Lenkern gefährdet sind. Dies dürfte damit zusammenhängen, dass die Geschwindigkeit der E-Bikes stärker unterschätzt wird als jene der Radfahrer. Im Gegensatz zur vorliegenden Unfallanalyse wurden in der Literatur bisher keine Unterschiede in der tatsächlichen **Unfallhäufigkeit** zwischen E-Bike- und Radfahrern nachgewiesen. Expositionsbezogene Daten (z. B. Fahrleistung) wurden bis anhin jedoch nur

ungenügend berücksichtigt (z. B. auf Basis des Fahrzeugbestands).

Die vorhandenen Studien zum Vergleich der **Verletzungsschwere** von verunfallten E-Bike- und Radfahrern sind sowohl in Bezug auf die Methodik (z. B. berücksichtigte Unfallschwere) wie die Ergebnisse inhomogen. Deshalb lässt sich aus der Literatur aktuell kein eindeutiges Fazit ziehen. Es existieren aber Anzeichen für schwerere Verletzungen auf Seiten der E-Bike-Lenker.

Auch international stellen **Alleinunfälle** den bedeutsamsten Unfalltyp von E-Bike-Fahrern dar. Kollisionen mit Hindernissen auf und neben der Fahrbahn, Gleichgewichtsverlust bei geringer Geschwindigkeit resp. beim Auf- und Absteigen sowie Ausrutschen scheinen häufige Hergänge zu sein. Als Ursachen werden oft falsches bzw. zu starkes Bremsen, unangepasste Geschwindigkeit, Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, Alkoholkonsum sowie infrastrukturelle Faktoren (z. B. Zustand der Strassenoberfläche wie Nässe, Eis oder Tramschienen) genannt. Zwischen den Alleinunfällen von E-Bike- und Radfahrern scheinen viele Parallelen zu bestehen.

Im Bereich der **Infrastruktur** besteht in der Schweiz vor allem bezüglich der schnellen E-Bikes Handlungsbedarf. Deren Überholvorgänge können teilweise nur unter erschwerten Bedingungen stattfinden (z. B. ungenügender Abstand). Weitere Probleme werden u. a. bezüglich der generellen Radwegbenutzungspflicht wie auch bezüglich Mischverkehrssituationen mit dem Fussverkehr geortet.

1.4 Befragung Alleinunfälle

Im Fokus der durchgeführten bfu-Befragung standen die Ursachen und Hergänge von E-Bike-Alleinunfällen im Strassenverkehr. Darüber hinaus konnten diverse weitere Informationen über E-Bike-Fahrer in der Schweiz (z. B. Alter, E-Bike-Typ) und deren Erfahrungen gewonnen werden. Insgesamt wurden über 4000 E-Bike-Fahrerinnen und -Fahrer befragt. Die Daten wurden gewichtet, sodass die Stichprobe die E-Bike-Fahrer in der Schweiz relativ gut beschreiben dürfte. Selbstselektionseffekte sind aber nicht auszuschliessen.

Rund jeder dritte Teilnehmer ist bereits mit dem E-Bike verunfallt (Kollision, Alleinunfall im Gelände oder auf der Strasse). 17 % erlitten mindestens einen Alleinunfall im Strassenverkehr. Zwischen den Altersklassen zeigt sich dabei kein Unterschied. Die höchste relative **Wahrscheinlichkeit** (Odds Ratio) für einen Alleinunfall im Strassenverkehr weisen erwartungsgemäss Personen mit hoher Exposition auf, d. h. Personen, die häufig mit dem E-Bike unterwegs sind, oft auch im Winter. Ebenfalls signifikant erhöht ist die Wahrscheinlichkeit bei den Männern und bei Personen, die das E-Bike am häufigsten für den Fahrzweck «Arbeitsweg / Schulweg» nutzen (wobei konfundierende Faktoren wie die Routenwahl nicht auszuschliessen sind). Viele Personen, die einen Alleinunfall erleiden, sind nach eigener Auskunft routinierte E-Bike-Fahrer. Das gilt auch für die Senioren.

Der mit Abstand am häufigsten berichtete **Unfallhergang** ist das Ausrutschen (v. a. wegen Eis- oder Schneeglätte). An zweiter bis vierter Stelle folgen Überqueren einer Schwelle (v. a. im Zusammenhang mit Randsteinen), Tramschiene/Bahngleis (v. a. in die

Schiene geraten oder darauf ausrutschen) und Ausweichen (v. a. anderen Verkehrsteilnehmern). Für jeden der vier häufigsten Hergänge konnten verschiedene (Einfluss)faktoren identifiziert werden, die öfters mit dem jeweiligen Hergang einhergingen. Betroffen von Alleinunfällen durch Ausrutschen waren beispielsweise häufiger jüngere, überdurchschnittlich fitte und routinierte E-Bike-Fahrer. Des Weiteren zeigte sich, dass bei diesem Unfallhergang auch rutschige Strassenoberflächen, zu starkes Bremsen sowie Kurven, Kreuzungen / Einmündungen und Kreisel eine Rolle spielen. Der E-Bike-Typ (langsameres oder schnelles E-Bike) stellte bei keinem der vier häufigsten Unfallhergänge einen signifikanten Einflussfaktor dar.

Auch von den Betroffenen selber wird das E-Bike eher selten als (Mit)ursache für den Unfall erachtet. Über 80 % der Befragten gehen davon aus, dass ihr Unfall auch mit einem normalen Fahrrad passiert wäre. Etwas weniger als 20 % orten beim **E-Bike** eine **(Mit)ursache**, wobei unangepasste Geschwindigkeit, unerwartete Reaktionen des E-Bikes, eine falsche Fahrzeugbedienung oder fehlende Vertrautheit mit dem Fahrzeug, das hohe Gewicht, Gleichgewichtsverlust, zu steile Anstiege oder zu enge Kurven öfters eine Rolle spielten.

$\frac{3}{4}$ der Alleinunfälle enden glimpflich (keine oder nur leichte Verletzung). 18 % der Befragten haben sich mittelschwer (ambulante Behandlung z. B. in einer Arztpraxis) und 7 % schwer (stationäre Behandlung im Spital) verletzt. Frauen, ältere Personen und Lenker von schnellen E-Bikes verletzen sich häufiger (mittel)schwer als Männer, jüngere Personen und Lenker von langsamen E-Bikes. Personen, die zu nahe am Randstein gefahren sind oder die beim Unfall alkoholisiert waren, weisen ebenfalls eine hö-

here Wahrscheinlichkeit für (mittel)schwere Verletzungen auf. Bezüglich der gefahrenen Geschwindigkeit gehen die Tendenzen in die erwartete Richtung.

Lenker von schnellen E-Bikes scheinen öfters **kritische Situationen** zu erleben als jene von langsamen E-Bikes (z. B. Beinahe-Kollisionen). Generell scheinen sich E-Bike-Fahrer auf Schweizer Strassen aber relativ sicher zu fühlen. Es sind dennoch diverse Ideen vorhanden, wie die Sicherheit von E-Bike-Fahrern erhöht werden könnte. Bereits jetzt schützen sich relativ viele mit **lichtreflektierenden Materialien** (z. B. Sicherheitswesten) und/oder **Helm**. Lenker von schnellen E-Bikes zeigen diese Verhaltensweisen häufiger als Lenker von langsamen E-Bikes, wobei bei Ersteren auch eine Helmtragepflicht besteht.

1.5 Diskussion

In diesem Report konnten anhand verschiedener Quellen diverse Erkenntnisse über die Verkehrssicherheit von E-Bikes und spezifisch über Ursachen und Hergänge von Alleinunfällen gewonnen werden. Zusammenfassende Aussagen über die verschiedenen Quellen hinweg zu treffen ist aber oftmals anspruchsvoll, denn die Befunde können divergieren (z. B. aufgrund von Unterschieden im Schweregrad der analysierten Unfälle).

In der vorliegenden Unfallanalyse konnte zum ersten Mal das expositionsbereinigte **Unfallrisiko** von E-Bike- und Radfahrern verglichen werden. Dabei zeigte sich, dass bei E-Bikes pro gefahrenen Kilometer mehr schwere Unfälle registriert werden als bei Fahrrädern. Ein erhöhtes Unfallrisiko mit E-Bikes zeigt sich bei allen Altersklassen und bei beiden

Geschlechtern. Mit zunehmendem Alter steigt das expositionsbereinigte Risiko für schwere Unfälle an.

In Bezug auf das **Verletzungsrisiko** lässt sich aus der Literatur bisher kein eindeutiges Fazit ziehen. Es existieren aber Anzeichen, dass sich E-Bike-Fahrer schwerer verletzen als Radfahrer. Die Analyse der Schweizerischen Strassenverkehrsunfall-Statistik zeigt ein differenzierteres Bild: E-Bikes gehen im Vergleich zu Fahrrädern nicht generell mit einem höheren Verletzungsrisiko einher. Nur bei schnellen E-Bikes ist das Verletzungsrisiko signifikant erhöht (im Vergleich zu langsamen E-Bikes und Fahrrädern) und dies auch nur bei Alleinunfällen (nicht bei Kollisionen). Das Verletzungsrisiko bei Unfällen mit langsamen E-Bikes und Fahrrädern unterscheidet sich hingegen nicht. Lenker von langsamen E-Bikes weisen im Durchschnitt zwar auch schwerere Verletzungen auf als Radfahrer. Dies ist aber nicht durch den Fahrzeugtyp bedingt, sondern erklärt sich durch das höhere Alter (und damit die höhere Verletzlichkeit) der Lenker von langsamen E-Bikes.

E-Bike- und Radfahrer erleben ähnliche **kritische Situationen und Unfälle**. Auch die Ursachen sind weitgehend vergleichbar. E-Bike-Fahrer scheinen jedoch stärker durch Vortrittsmissachtungen von Motorfahrzeug-Lenkern gefährdet zu sein.

Da in den Unfallstatistiken die Geschwindigkeit zum Unfallzeitpunkt nicht erfasst wird, lässt sich anhand der verfügbaren Daten nicht eindeutig empirisch belegen, dass die (potenziell) höhere Geschwindigkeit von E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern zu einem höheren Unfall- und Verletzungsrisiko führt. Die erwähnten Befunde (bzgl. Unfallrisiko, Verletzungsrisiko, Vortrittsmissachtungen durch andere Verkehrsteilnehmende) liefern aber **Hinweise**, die in diese Richtung deuten. Insbesondere die Lenker von

schnellen E-Bikes, bei denen auch tatsächlich höhere Geschwindigkeiten gemessen werden, dürften im Strassenverkehr stärker gefährdet sein als Radfahrer.

Im realen Unfallgeschehen ereignen sich mehr **Alleinunfälle** als Kollisionen. In der Polizeistatistik dürften Erstere infolge der hohen Dunkelziffer aber deutlich unterschätzt werden. Von Alleinunfällen sind alle Altersklassen und oftmals auch routinierte E-Bike-Fahrer betroffen. Die höchste relative Wahrscheinlichkeit (Odds Ratio) für einen Alleinunfall im Strassenverkehr weisen erwartungsgemäss Personen mit hoher Exposition auf, d. h. Personen, die häufig mit dem E-Bike unterwegs sind, oft auch im Winter. Die häufigsten Hergänge bei E-Bike-Alleinunfällen sind gemäss dieser Befragung das Ausrutschen und Unfälle im Zusammenhang mit dem Überqueren einer Schwelle, mit Tramschienen / Bahngleisen sowie Ausweichen.

Ob im Gesamtunfallgeschehen der E-Bike-Fahrer neben der (potenziell) höheren Geschwindigkeit auch das E-Bike an sich bzw. dessen (Fahr)eigenschaften eine Rolle spielen, kann zurzeit nicht eindeutig beantwortet werden. Möglicherweise spielen das höhere Gewicht oder spezifische Fahreigenschaften (z. B. beim Anfahren) bei gewissen Unfällen eine Rolle. Da in der Befragung zu den Alleinunfällen das E-Bike aber eher selten als (Mit)ursache für den Unfall erachtet wurde, dürfte nur ein geringer Anteil aller E-Bike-Unfälle auf das Fahrzeug an sich zurückzuführen sein.

Für die **Prävention** von E-Bike-Unfällen sind verschiedene Massnahmen zu empfehlen. Mit **Sensibilisierungsmassnahmen** sollte einerseits das Bewusstsein geschärft werden, dass bereits geringfügige Geschwindigkeitserhöhungen das Unfall- und

Verletzungsrisiko deutlich erhöhen können. Andererseits sollte die Problematik der Geschwindigkeitsunterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer thematisiert werden. Entsprechende Botschaften sollten nicht nur an die E-Bike-Fahrer selber, sondern auch an die Motorfahrzeuglenker gerichtet werden. Zur Prävention von Alleinunfällen empfiehlt sich zudem die Sensibilisierung für die häufigsten Ursachen und Hergänge. Neben der Sensibilisierung sollten bei all diesen Themen konkrete Handlungsempfehlungen zur Reduktion der Unfallgefahr abgegeben werden (z. B. Erhöhung der eigenen Sichtbarkeit durch das Tragen reflektierender Jacken / Westen, Winterreifen).

Auch im Bereich der **Fahrzeugtechnik** besteht Potenzial, das E-Bike-Fahren sicherer zu machen. Sinnvoll wären beispielsweise die serienmässige Ausstattung der Fahrzeuge mit einer Lichteinschaltautomatik, die Entwicklung von Techniken zur besseren Unterscheidbarkeit der E-Bikes von Fahrrädern (z. B. individuelles Design oder Beleuchtungsmuster) und die Förderung von adäquaten Bremssystemen (inkl. ABS und Kombibremsten). Ebenfalls zu empfehlen ist die Förderung von **Helmen** mit höherem Stossdämpfungsvermögen, als es die Fahrradhelmnorm (EN 1078) vorschreibt. Erste Produkte nach neuen Vorgaben sind bereits auf dem Markt.

Die zunehmende Verbreitung von E-Bikes stellt auch eine Herausforderung für die **Radverkehrsinfrastruktur** dar. Fahrradanlagen sollten ausreichend breit geplant und realisiert werden und nicht nur Mindestmasse aufweisen. In Bezug auf Mischverkehrssituationen mit dem Fussverkehr empfiehlt sich die Erarbeitung von neuen Grundsätzen für gemischte Rad-/Gehwege. Die Gewährleistung von genügend Sichtweiten an Knoten und Kreiseln ist für die Sicherheit von E-Bike-Fahrern ebenfalls eine

wichtige Massnahme. Die entsprechenden Normen sollten hinsichtlich E-Bike-Tauglichkeit überprüft werden. Weiter zu empfehlen ist die Überprüfung der bestehenden Infrastruktur (z. B. im Rahmen von Road Safety Inspections) zur Durchsetzung der aktuellen Minimalwerte.

Der Strassenzustand hat sich in der vorliegenden Befragung als zentraler Einflussfaktor bei Alleinunfällen herausgestellt (rutschige Strassenoberfläche, schlechter Strassenzustand). Ein regelmässiger **Unterhalt** der Radverkehrsanlagen mit Reinigung und Winterdienst ist deshalb dringend zu empfehlen. Bordsteine und Vertikalversätze sind auf den für den Fahrradverkehr vorgesehenen Flächen gemäss einem dem Radverkehr entsprechenden sicheren Standard umzusetzen.

Auch hinsichtlich Tramschienen / Bahngleisen besteht grosses Verbesserungspotenzial (Separierung von Radrouten und Tramlinien, Erarbeitung von zufriedenstellenden technischen Lösungen zur Abdeckung der Schienenrillen).

Auf **gesetzlicher** Seite prüfenswert wäre die Einführung eines Lichteinschaltobligatoriums für E-Bikes auch tagsüber sowie die Einführung von Möglichkeiten der Geschwindigkeitskontrolle und Sanktionierung für schnelle E-Bikes (z. B. Tachopflicht).

In zukünftigen **Forschungsarbeiten** sollten aufgrund der aktuell noch relativ geringen Datenbasis weitere Daten über Exposition und Unfallrisiko verschiedener Subgruppen von E-Bike-Fahrern (z. B. langsame vs. schnelle E-Bikes) erhoben werden. Die Sicherheitswirkung einer allfälligen Aufhebung der Radwegbenutzungspflicht – wie dies zurzeit diskutiert wird – sollte unter Berücksichtigung von positiven und negativen Effekten näher untersucht werden. Um abschätzen zu

können, ob die Manipulation von E-Bikes (geschwindigkeitserhöhende Massnahmen) ein bedeutendes Sicherheitsproblem darstellt, müsste eine diesbezügliche Erhebung durchgeführt werden.

2. Sécurité routière des utilisateurs de vélos électriques (étude centrée sur les accidents individuels)

2.1 Introduction

Ces dernières années, le vélo électrique a pris pied sur les routes suisses. Avec plus de 75 500 exemplaires écoulés en 2016, il représente près du quart du marché helvétique du cycle. 78 % des modèles vendus sont des vélos électriques lents (assistance au pédalage jusqu'à 25 km/h) et 22 %, des vélos électriques rapides (assistance au pédalage jusqu'à 45 km/h). Alors qu'à ses débuts, le vélo électrique était plutôt considéré comme un moyen de locomotion pour personnes âgées, les plus jeunes sont de plus en plus nombreux à l'adopter.

Si la croissance du vélo électrique présente divers atouts (p. ex. avantages écologiques par rapport au trafic motorisé individuel, délestage des infrastructures routières ou des transports publics), elle entraîne également des défis pour la sécurité routière, si bien que le bpa a réalisé une analyse à ce sujet dès 2015 [10]. Le présent rapport entend désormais actualiser et compléter ces résultats. Après une **analyse générale de l'accidentalité et de la littérature scientifique** (chap. III, p. 42 et IV, p. 55), il examine en particulier les **accidents individuels** des cyclistes motorisés. Le chap. V, p. 82 présente quant à lui les résultats d'une **enquête** approfondie en la matière.

2.2 Analyse accidentologique

Depuis 2011, les vélos électriques constituent une catégorie de véhicules distincte dans la statistique des accidents de la circulation routière en Suisse. Entre 2011 et 2016, le nombre de dommages

corporels subis par des utilisateurs de vélos électriques a plus que triplé – une **évolution** qui reflète la hausse des vélos électriques dans le trafic routier suisse.

La statistique des accidents révèle que la proportion de **blessures graves** est plus élevée chez les cyclistes motorisés que non motorisés. La structure des âges de ces usagers de la route explique dans une large mesure cette différence: les utilisateurs de vélos électriques sont en moyenne plus âgés, et donc physiquement plus vulnérables. Le type de véhicule joue également un rôle dans les accidents individuels (mais pas dans les collisions): dans ce type d'accidents, les utilisateurs de vélos électriques rapides se blessent plus grièvement que les utilisateurs de vélos électriques lents ou les cyclistes classiques.

Les utilisateurs de vélos électriques présentent un nombre d'accidents graves rapporté aux prestations kilométriques (c.-à-d. par kilomètre parcouru) plus élevé que les cyclistes conventionnels. Leur **risque d'accident grave corrigé de l'exposition** progresse avec l'âge. Toutefois, la prudence reste de mise quant à l'interprétation de ce résultat en raison de la faible quantité de données sur laquelle il se fonde.

Par rapport aux cyclistes classiques, la proportion des **accidents individuels** est considérablement plus élevée chez les cyclistes motorisés. En particulier les utilisateurs de vélos électriques lents subissent proportionnellement plus d'accidents individuels graves, ce qui s'explique là encore en premier lieu par la structure des âges (plus grande part d'accidents individuels chez les personnes âgées, qui optent plus souvent pour un vélo électrique lent). Les causes principales les plus fréquentes des accidents individuels d'utilisateurs de vélos électriques

enregistrés par la police sont l'inattention / la distraction, l'alcool, l'utilisation inadéquate du véhicule et la vitesse. A cet égard, aucune différence notable n'est constatée par rapport aux cyclistes conventionnels.

2.3 Analyse de la littérature scientifique

Cette analyse a permis d'obtenir un aperçu de l'état actuel de la recherche relative aux aspects sécuritaires déterminants du vélo électrique. En matière d'accidents individuels, la littérature scientifique sur le trafic cycliste conventionnel a par ailleurs été consultée. Comme les études disponibles portent sur des types de vélos électriques différents (en termes de puissance; quant à la proportion de vélos électriques rapides) et des groupes d'âge différents, leurs résultats devraient toujours être analysés en tenant compte de l'échantillon considéré.

Comme escompté, les études consacrées à la **vitesse des cyclistes** montrent que les cyclistes motorisés circulent plus vite que les cyclistes non motorisés. De même, les vitesses varient davantage sur les trajets à vélo électrique. L'adoption de vitesses potentiellement plus élevées est surtout le fait d'utilisateurs de vélos électriques rapides, de personnes jeunes et d'hommes. Les vitesses sont généralement plus faibles dans les situations de trafic complexes ainsi que sur les infrastructures qui donnent lieu à de nombreuses interactions. Du fait de ces vitesses plus élevées, les utilisateurs de vélos électriques dépassent plus souvent d'autres cyclistes que les cyclistes conventionnels. Ceci vaut là encore majoritairement pour les vélos électriques rapides. Quant aux modèles lents, c'est surtout dans les montées qu'ils dépassent plus fréquemment.

On peut procéder de l'hypothèse que la plupart des cyclistes motorisés possèdent les **prérequis** nécessaires à la conduite d'un vélo électrique. En effet, la majorité d'entre eux a fait plus ou moins régulièrement du vélo classique avant d'utiliser un vélo à assistance électrique. De même, ils semblent relativement bien connaître les dangers spécifiques à ce moyen de locomotion (vitesse plus élevée, distance d'arrêt plus longue, sous-estimation de la vitesse par les autres usagers de la route). Selon toute vraisemblance, les capacités requises par la conduite sûre d'un vélo électrique (stabilisation, charge mentale, temps de réaction) diminuent toutefois avec l'âge. Cet effet est cependant indépendant du type de véhicule (vélo conventionnel ou électrique).

Les **conflits routiers** auxquels les cyclistes motorisés doivent faire face semblent largement similaires à ceux des cyclistes non motorisés. Le type, la fréquence et les causes des situations critiques sont comparables, à l'exception des carrefours, où les utilisateurs de vélos électriques sont davantage exposés aux refus de priorité des conducteurs motorisés. Cette différence pourrait s'expliquer par le fait que la vitesse des vélos électriques est plus fortement sous-estimée que celle des vélos classiques. Contrairement à la présente analyse accidentologique, la littérature scientifique ne répertorie aucune divergence quant à la **fréquence des accidents**, mais elle a jusqu'ici insuffisamment tenu compte des données rapportées à l'exposition (p. ex. prestations kilométriques; p. ex. sur la base du parc de véhicules).

Les études traitant de la **gravité des blessures** des cyclistes motorisés et non motorisés sont hétérogènes et donc difficilement comparables, tant en termes de méthode (p. ex. gravité des accidents

considérée) que de résultats. C'est pourquoi la littérature scientifique ne permet pas, pour l'heure, de tirer de conclusion claire en la matière. Certains éléments portent toutefois à croire que les blessures des cyclistes motorisés sont plus graves.

En Suisse comme au niveau international, les **accidents individuels** constituent le principal type d'accidents subis par les utilisateurs de vélos électriques. Des circonstances fréquentes d'accident semblent être une collision avec un obstacle sur ou au bord de la chaussée, une perte d'équilibre à faible vitesse, au moment d'enfourcher le vélo ou d'en descendre ainsi que le fait de glisser. Un freinage incorrect ou trop appuyé, une vitesse inadaptée, une interaction avec un autre usager de la route, l'alcool ou des facteurs relatifs à l'infrastructure routière (p. ex. état de la route comme revêtement mouillé ou verglacé, ou rails de tram) sont souvent cités comme causes. Il semble que de nombreux parallèles puissent être tracés entre les accidents individuels des cyclistes motorisés et non motorisés.

En matière d'**infrastructures routières** en Suisse, les insuffisances concernent en particulier les vélos électriques rapides. En effet, leurs manœuvres de dépassement s'effectuent parfois dans des conditions difficiles (p. ex. distance insuffisante). Les autres problèmes identifiés portent notamment sur l'obligation générale d'utiliser les pistes cyclables et les situations de trafic mixte piétons-vélos.

2.4 Enquête sur les accidents individuels

Les causes et le déroulement des accidents individuels de vélos électriques dans le trafic routier étaient au cœur de l'enquête réalisée par le bpa. Celle-ci a par ailleurs permis d'obtenir diverses

informations sur les utilisateurs de vélos électriques en Suisse (p. ex. leur âge, leur type de vélo ou leur expérience). Plus de 4000 cyclistes motorisés ont ainsi été interrogés. Les données collectées ont ensuite été pondérées, si bien que l'échantillon donne une relativement bonne représentation des utilisateurs de vélos électriques en Suisse. Des effets d'autosélection ne peuvent toutefois pas être exclus.

Un tiers environ des participants à l'enquête a déjà eu un accident à vélo électrique (collision, accident individuel sur la route ou en terrain naturel). Ils sont 17 % à avoir subi au moins un accident individuel dans la circulation routière. Aucune différence n'a pu être constatée entre les tranches d'âge. Comme on pouvait s'y attendre, les personnes avec une forte exposition (c.-à-d. celles qui circulent souvent à vélo électrique, notamment en hiver) présentent le **risque** relatif le plus élevé (odds ratio) d'avoir un accident individuel dans le trafic routier. Ce risque est aussi significativement plus élevé chez les hommes et les personnes qui utilisent leur vélo électrique le plus souvent pour se rendre au travail ou à l'école (des facteurs confondants comme le choix de l'itinéraire ne sont toutefois pas à exclure). Parmi les personnes interrogées ayant subi un accident individuel, nombreuses sont celles qui prétendent être expérimentées à vélo électrique. Ceci vaut également pour les seniors.

Les utilisateurs de vélos électriques indiquent de loin le plus souvent avoir glissé (surtout sur une surface enneigée ou verglacée). Les autres **déroulements** principaux des accidents individuels sont, dans l'ordre, le passage d'un obstacle (surtout bordure de trottoir), la roue prise dans un rail de tram ou ayant glissé sur une voie ferrée, ou un écart (des autres usagers de la route en particulier). Pour chacun de

ces quatre déroulements prédominants, différents facteurs (d'influence) récurrents ont pu être identifiés. Ainsi, les utilisateurs de vélos électriques ayant glissé sont globalement plus jeunes, en bonne forme physique et expérimentés. Dans les accidents individuels qui se déroulent de cette manière, une chaussée glissante, un freinage trop appuyé ou encore un virage ou un carrefour (intersection, débouché ou giratoire) jouent également un rôle. En revanche, le type de vélo électrique (rapide ou lent) ne s'est révélé être un facteur d'influence significatif pour aucun des quatre principaux déroulements.

Les utilisateurs de vélos électriques accidentés considèrent plutôt rarement leur engin comme étant la cause (concomitante) de l'accident. Plus de 80 % des personnes interrogées estiment que l'accident aurait eu lieu même avec un vélo conventionnel. Un peu moins de 20 % d'entre eux envisagent le **vélo électrique** comme une **cause (concomitante)** de l'accident; vitesse inadaptée, caractère inattendu de la façon de réagir du vélo, utilisation inadéquate du vélo ou familiarisation insuffisante avec celui-ci, poids élevé, perte d'équilibre, montée trop raide ou virage trop serré jouent fréquemment un rôle à cet égard.

¾ des accidents individuels sont bénins (pas de blessures ou blessures légères). En revanche, 18 % des personnes interrogées ont subi des blessures de gravité moyenne (traitement ambulatoire, p. ex. dans un cabinet médical) et 7 %, des blessures graves (traitement en milieu hospitalier). Les femmes, les personnes âgées et les utilisateurs de vélos électriques rapides s'en tirent plus souvent avec des blessures graves à moyennement graves. Le risque de telles blessures est également plus élevé chez les cyclistes motorisés qui serrent trop la bordure du

trottoir ou qui étaient alcoolisés au moment de l'accident. Quant à la vitesse adoptée par les utilisateurs de vélos électriques, la tendance correspond aux attentes.

Les usagers de vélos électriques rapides semblent confrontés plus souvent à des **situations critiques** (p. ex. presque accidents). Globalement, les cyclistes motorisés se sentent relativement en sécurité sur les routes suisses. Diverses mesures permettraient pourtant de renforcer leur sécurité. Ils sont déjà relativement nombreux à se protéger à l'aide d'**éléments réfléchissants** (p. ex. gilet fluorescent) et/ou d'un **casque**. Ces comportements sont plus répandus parmi les utilisateurs de vélos électriques rapides, sachant toutefois que le port du casque est obligatoire pour ces derniers.

2.5 Discussion

Sur la base de différentes sources, la présente étude a permis d'obtenir des informations sur la sécurité routière des usagers de vélos électriques et, plus particulièrement, sur les causes et le déroulement de leurs accidents individuels. Il s'est toutefois souvent avéré complexe de tirer des conclusions valables pour les différentes sources, car leurs résultats peuvent diverger (p. ex. par suite des différentes définitions de la gravité des accidents).

Pour la première fois, la présente analyse des accidents a permis une comparaison du **risque d'accident** corrigé de l'exposition entre les cyclistes motorisés et non motorisés. Elle a révélé que le nombre d'accidents graves par kilomètre parcouru est plus élevé chez les utilisateurs de vélos électriques que chez les cyclistes classiques. Ce sursurrisque d'accident à vélo électrique concerne toutes les tranches d'âge

et les deux sexes. Avec l'âge, le risque d'accident grave corrigé de l'exposition augmente.

S'agissant du **risque de blessure**, la littérature scientifique ne permet pas de tirer de conclusion claire; certains éléments portent cependant à croire que les cyclistes motorisés se blessent plus grièvement que les cyclistes conventionnels. Or, l'analyse de la statistique suisse des accidents de la circulation routière livre un constat plus différencié: comparés aux vélos classiques, les vélos électriques ne vont pas forcément de pair avec un surrisque de blessure. Celui-ci est seulement significatif pour les vélos électriques rapides (en comparaison des vélos électriques lents et des cycles classiques) et, de surcroît, en cas d'accident individuel (pas en cas de collision). En revanche, dans la comparaison vélo électrique lent-vélo conventionnel, le risque de blessure accidentelle ne diverge pas. Les utilisateurs de vélos électriques lents présentent certes des blessures en moyenne plus graves que les cyclistes non motorisés; ceci n'est toutefois pas lié au type de vélo, mais à l'âge plus avancé des usagers (et par conséquent à leur plus grande vulnérabilité physique).

Les cyclistes motorisés et non motorisés subissent des **situations critiques et accidents** similaires. Leurs causes sont également comparables. Les utilisateurs de vélos électriques semblent toutefois davantage exposés aux refus de priorité des autres conducteurs motorisés.

Puisque la statistique des accidents ne renseigne pas sur la vitesse au moment de l'accident, les données disponibles ne permettent pas de prouver empiriquement sans équivoque que la vitesse (potentiellement plus élevée) des vélos électriques par rapport aux vélos classiques est à l'origine d'un surrisque d'accident et de blessure. Ces conclusions (relatives

au risque d'accident/de blessure, à la priorité des cyclistes motorisés que les autres usagers de la route ne respectent pas) fournissent toutefois des **éléments allant dans ce sens**. En particulier les utilisateurs de vélos électriques rapides, dont les vitesses mesurées sont effectivement plus élevées, semblent plus menacés dans le trafic routier que les cyclistes conventionnels.

En réalité, les **accidents individuels** sont plus nombreux que les collisions. Selon toute vraisemblance, les premiers sont cependant largement sous-estimés dans la statistique des accidents de la police car nombre d'entre eux ne sont simplement pas recensés. Ce type d'accidents concerne toutes les tranches d'âge et souvent aussi les utilisateurs de vélos électriques expérimentés. Comme escompté, les personnes qui se caractérisent par une grande exposition (c.-à-d. celles qui se déplacent souvent à vélo électrique, même en hiver) présentent le risque relatif le plus élevé (odds ratio) de subir un accident individuel dans la circulation routière. Selon la présente enquête, les accidents individuels de vélo électrique se déroulent le plus souvent comme suit: le cycliste motorisé a glissé, il a passé un seuil, sa roue s'est prise dans un rail de tram, il a franchi une voie ferrée, ou lui ou un autre usager de la route a fait un écart.

A l'heure actuelle, il n'est pas possible d'affirmer avec certitude qu'outre la vitesse (potentiellement plus élevée des cyclistes motorisés, le vélo électrique lui-même, ou plus précisément ses caractéristiques (de conduite), ont une influence sur l'accidentalité globale des utilisateurs de vélos électriques. Il est toutefois probable que le poids plus élevé de ces vélos ou certaines propriétés spécifiques à ceux-ci (p. ex. au moment de démarrer) jouent un rôle dans certains accidents. Puisque l'enquête sur les

accidents individuels a montré que le vélo électrique est considéré plutôt rarement comme la cause (concomitante) d'un accident, il y a lieu de penser que seule une faible proportion d'accidents de vélos électriques est à mettre sur le compte du cycle lui-même.

Différentes mesures pourraient permettre de **prévenir** les accidents de vélos électriques. Les **mesures de sensibilisation** devraient attirer l'attention, d'une part, sur la nette hausse du risque d'accident et de blessure que peut induire une augmentation – même faible – de la vitesse et, d'autre part, sur la sous-estimation de la vitesse des vélos électriques par les autres usagers de la route. Ces mesures ne sont pas seulement destinées aux utilisateurs de vélos électriques, mais à l'ensemble des conducteurs motorisés. Pour prévenir les accidents individuels, il convient par ailleurs de sensibiliser les cyclistes aux causes et déroulements principaux de ce type d'accidents. Ce travail de sensibilisation devrait toujours être accompagné de consignes comportementales concrètes en vue de réduire le risque d'accident (p. ex. améliorer sa propre visibilité en portant une veste/un gilet réfléchissants, pneus d'hiver).

La **technologie des vélos électriques** peut, elle aussi, contribuer à améliorer la sécurité routière des cyclistes motorisés. Citons à cet égard p. ex. l'enclenchement automatique de l'éclairage comme équipement de série, des éléments qui permettraient de mieux distinguer les vélos électriques des vélos classiques (comme un design ou un éclairage spécifiques) ou un système de freinage adéquat (y compris ABS et freinage couplé). Il est également recommandé d'encourager le port de **casques** dont les propriétés d'amortissement des chocs sont améliorées par rapport à la norme relative aux casques

cyclistes (EN 1078). Certains modèles répondant à ces exigences plus élevées sont déjà disponibles.

L'augmentation du parc de vélos électriques représente aussi un défi pour les **infrastructures routières cyclistes**. Celles-ci devraient être suffisamment larges, c.-à-d. aller au-delà des valeurs minimales qui figurent dans les normes. S'agissant du trafic mixte piétons-vélos, il est conseillé de définir de nouveaux principes pour le partage piste cyclable/chemin pour piétons. La garantie d'une visibilité suffisante aux carrefours (traditionnels ou giratoires) est également essentielle pour la sécurité des cyclistes motorisés. Il convient de contrôler que les normes applicables en la matière satisfont aux exigences des vélos électriques. Il est par ailleurs recommandé de passer au crible les infrastructures existantes (p. ex. dans le cadre de Road Safety Inspections) afin de veiller au respect des valeurs minimales actuelles.

L'enquête sur les accidents individuels a révélé que l'état de la route (revêtement glissant, route en mauvais état) constitue un facteur d'influence central pour ce type d'accidents. Il est dès lors vivement recommandé d'assurer un **entretien** régulier (nettoyage, service hivernal) des installations pour cyclistes. Sur les surfaces destinées au trafic cycliste, les bordures et décrochements verticaux respectent des standards sûrs pour les cyclistes.

Les rails de tram/voies ferrées recèlent eux aussi un important potentiel d'amélioration pour les cyclistes motorisés (séparation des itinéraires cyclables et des lignes de tram, élaboration de solutions techniques satisfaisantes pour recouvrir la gorge des rails).

Au plan **légal**, l'introduction de l'obligation d'allumer l'éclairage des vélos électriques même de jour

et la possibilité de procéder à des contrôles de vitesse des modèles rapides et de sanctionner (p. ex. compteur de vitesse obligatoire) méritent d'être examinés.

Compte tenu de la quantité de données encore relativement faible disponible à l'heure actuelle, les futurs **travaux de recherche** devraient collecter de nouvelles données sur l'exposition et le risque d'accident de différents sous-groupes d'utilisateurs de vélos électriques (p. ex. lents vs rapides). Les effets (positifs et négatifs) en termes de sécurité routière d'une éventuelle abrogation de l'obligation pour les vélos électriques d'utiliser les pistes cyclables – une mesure actuellement en cours de discussion – devraient être examinés plus en détail. Il y a par ailleurs lieu de réaliser une enquête afin de déterminer si la manipulation des vélos électriques (modifications destinées à augmenter leur vitesse) constitue un problème de sécurité significatif.

3. Sicurezza stradale delle bici elettriche con particolare riguardo agli incidenti per colpa propria

3.1 Introduzione

Negli ultimi anni, sulle strade svizzere si sono affermate le biciclette elettriche come mezzo di spostamento. Con oltre 75 500 veicoli venduti, nel 2016 le e-bike costituivano quasi ¼ dell'insieme del mercato delle biciclette. Nel 78 % dei casi si trattava di bici elettriche lente con pedalata assistita fino a 25 km/h, contro il 22 % di biciclette veloci con pedalata assistita fino a 45 km/h. Negli anni precedenti il boom, le e-bike venivano percepite piuttosto come una bicicletta per anziani, mentre adesso sono sempre di più le persone giovani che puntano sulla due ruote con assistenza elettrica.

Nonostante la crescente diffusione di e-bike compaiono diversi vantaggi (ad es. vantaggi ecologici rispetto al traffico motorizzato individuale, sgravio dell'infrastruttura stradale o dei mezzi di trasporto pubblici), per la sicurezza stradale si pongono sfide non indifferenti. L'upi aveva svolto uno studio su questo argomento già nel 2015 [10]. Il presente rapporto aggiorna i risultati emersi nel 2015, completandoli con i nuovi sviluppi. Oltre a una generale **analisi d'incidente e della letteratura** (capitoli III, p.42 e IV, p.55), l'attenzione si concentra in particolare sugli **incidenti a veicolo isolato** dei conducenti di e-bike. I risultati di un'ampia **indagine** sull'argomento vengono presentati al capitolo V, p. 82.

3.2 Analisi degli incidenti

Nella statistica degli incidenti stradali le bici elettriche vengono registrate dal 2011 come categoria di

veicoli separata. Negli anni tra il 2011 e il 2016 il numero di danni alla persona degli e-biker è più che triplicato. Questa **evoluzione** rispecchia l'aumento delle biciclette elettriche nella circolazione stradale.

Nella statistica d'incidente, i conducenti di e-bike evidenziano un tasso superiore di **lesioni gravi** rispetto ai ciclisti. Una delle principali cause risiede nelle differenze della struttura d'età degli utenti: gli e-biker infortunati sono mediamente di età più avanzata e quindi più vulnerabili dei ciclisti. Negli incidenti a veicolo isolato (escluse le collisioni), c'entra anche il tipo di veicolo: i conducenti di e-bike veloci, in questo tipo d'incidente riportano lesioni più gravi rispetto ai conducenti di e-bike lente o ai ciclisti.

In riferimento ai chilometri percorsi, negli e-biker si registra un numero maggiore di incidenti gravi rispetto ai ciclisti. Con l'avanzare dell'età aumenta il **rischio al netto dell'esposizione** di subire un incidente grave. Attualmente, i risultati relativi al rischio d'incidente al netto dell'esposizione richiedono un'interpretazione cauta, vista l'esigua base di dati disponibile.

In confronto ai ciclisti, nei conducenti di e-bike emerge una percentuale nettamente più significativa di **incidenti a veicolo isolato** rispetto a tutti gli incidenti registrati. Sono soprattutto i conducenti di biciclette elettriche lente a causare relativamente spesso gravi incidenti senza coinvolgimento di terzi. Anche questo risultato è principalmente riconducibile alla struttura d'età degli utenti (tasso superiore di incidenti a veicolo isolato nelle persone anziane, che sono anche gli utenti più frequenti di e-bike lente). Le cause principali più frequentemente registrate dalla polizia negli incidenti a veicolo isolato degli e-biker sono la disattenzione e la distrazione, l'alcol, l'imperizia nell'uso del proprio mezzo e la

Anche a livello internazionale **gli incidenti a veicolo isolato** costituiscono il tipo d'incidente più significativo tra gli e-biker. Le collisioni contro ostacoli su e fuori della carreggiata, la perdita dell'equilibrio alle velocità basse per salire e scendere dal veicolo nonché lo scivolamento sembrano essere dinamiche frequenti. Le cause indicate sono spesso una frenatura sbagliata o eccessiva, la velocità inadeguata, l'interazione con altri utenti della strada, il consumo di alcol e fattori legati all'infrastruttura (ad es. piano stradale bagnato o ghiacciato oppure binari del tram). Tra gli incidenti senza coinvolgimento di terzi di e-biker e ciclisti sembrano esistere molti punti in comune.

Nell'ambito dell'**infrastruttura**, in Svizzera la necessità d'intervento si rileva soprattutto in relazione alle biciclette elettriche veloci. I loro sorpassi in parte possono avvenire solo in condizioni difficoltose (ad es. distanza di sicurezza insufficiente). Ulteriori problemi sono stati individuati tra l'altro per ciò che concerne l'obbligo generale di uso delle piste ciclabili, oltre che nelle situazioni di traffico misto con il traffico pedonale.

3.4 Indagine sugli incidenti a veicolo isolato

L'indagine condotta dall'upi si è focalizzata sulle cause e le dinamiche degli incidenti senza coinvolgimento di terzi delle e-bike nella circolazione stradale. Oltre a questo è stato possibile evincere diverse altre informazioni sui conducenti di e-bike in Svizzera (ad es. età, profilo e-biker) e sulle loro esperienze. Complessivamente, il numero di conducenti di bici elettriche intervistati superava i 4000. I dati sono stati ponderati, in modo da consentire un campione di riferimento che descrive relativamente bene

gli e-biker in Svizzera. Cionondimeno, non è possibile escludere eventuali effetti di autoselezione.

Circa ogni terzo utente si è già infortunato con l'e-bike (collisione, incidente a veicolo isolato su terreno o su strada). Il 17 % ha subito almeno un incidente a veicolo isolato nella circolazione stradale. Tra le fasce d'età non emergono per contro differenze. Ovviamente, le persone maggiormente esposte presentano la **probabilità** relativa più alta (odds ratio) di causare un incidente senza coinvolgimento di terzi nella circolazione stradale. Si tratta di utenti che viaggiano spesso con la bici elettrica, anche in inverno. La stessa cosa vale per gli uomini e le persone che usano più frequentemente l'e-bike per il «tragitto lavorativo o casa-scuola»: corrono un rischio nettamente più alto (anche se non si possono escludere altri fattori di diversa natura come la scelta del percorso). Numerose persone che subiscono un incidente a veicolo isolato dichiarano di essere e-biker esperti. Questo anche nel caso degli utenti anziani.

La **dinamica dell'incidente** di gran lunga più spesso indicata è lo scivolamento (soprattutto a causa fondo ghiacciato o innevato). Seguono al secondo, terzo e quarto posto l'attraversamento di una soglia (soprattutto cordoli stradali), i binari del tram o della ferrovia (soprattutto finire nel solco del binario o scivolarvi sopra) e lo scansamento (soprattutto di altri utenti della strada). Per ognuna delle quattro dinamiche più frequenti è stato possibile identificare diversi fattori (d'influenza) che spesso si possono associare alla relativa dinamica. A essere maggiormente colpiti dagli incidenti senza coinvolgimento di terzi sono ad esempio più spesso i giovani, le persone con una forma fisica superiore alla media e gli e-biker esperti. Inoltre, per questa dinamica dell'infortunio è emerso che influiscono anche

Anche a livello internazionale **gli incidenti a veicolo isolato** costituiscono il tipo d'incidente più significativo tra gli e-biker. Le collisioni contro ostacoli su e fuori della carreggiata, la perdita dell'equilibrio alle velocità basse per salire e scendere dal veicolo nonché lo scivolamento sembrano essere dinamiche frequenti. Le cause indicate sono spesso una frenatura sbagliata o eccessiva, la velocità inadeguata, l'interazione con altri utenti della strada, il consumo di alcol e fattori legati all'infrastruttura (ad es. piano stradale bagnato o ghiacciato oppure binari del tram). Tra gli incidenti senza coinvolgimento di terzi di e-biker e ciclisti sembrano esistere molti punti in comune.

Nell'ambito dell'**infrastruttura**, in Svizzera la necessità d'intervento si rileva soprattutto in relazione alle biciclette elettriche veloci. I loro sorpassi in parte possono avvenire solo in condizioni difficoltose (ad es. distanza di sicurezza insufficiente). Ulteriori problemi sono stati individuati tra l'altro per ciò che concerne l'obbligo generale di uso delle piste ciclabili, oltre che nelle situazioni di traffico misto con il traffico pedonale.

3.4 Indagine sugli incidenti a veicolo isolato

L'indagine condotta dall'upi si è focalizzata sulle cause e le dinamiche degli incidenti senza coinvolgimento di terzi delle e-bike nella circolazione stradale. Oltre a questo è stato possibile evincere diverse altre informazioni sui conducenti di e-bike in Svizzera (ad es. età, profilo e-biker) e sulle loro esperienze. Complessivamente, il numero di conducenti di bici elettriche intervistati superava i 4000. I dati sono stati ponderati, in modo da consentire un campione di riferimento che descrive relativamente bene

gli e-biker in Svizzera. Cionondimeno, non è possibile escludere eventuali effetti di autoselezione.

Circa ogni terzo utente si è già infortunato con l'e-bike (collisione, incidente a veicolo isolato su terreno o su strada). Il 17 % ha subito almeno un incidente a veicolo isolato nella circolazione stradale. Tra le fasce d'età non emergono per contro differenze. Ovviamente, le persone maggiormente esposte presentano la **probabilità** relativa più alta (odds ratio) di causare un incidente senza coinvolgimento di terzi nella circolazione stradale. Si tratta di utenti che viaggiano spesso con la bici elettrica, anche in inverno. La stessa cosa vale per gli uomini e le persone che usano più frequentemente l'e-bike per il «tragitto lavorativo o casa-scuola»: corrono un rischio nettamente più alto (anche se non si possono escludere altri fattori di diversa natura come la scelta del percorso). Numerose persone che subiscono un incidente a veicolo isolato dichiarano di essere e-biker esperti. Questo anche nel caso degli utenti anziani.

La **dinamica dell'incidente** di gran lunga più spesso indicata è lo scivolamento (soprattutto a causa fondo ghiacciato o innevato). Seguono al secondo, terzo e quarto posto l'attraversamento di una soglia (soprattutto cordoli stradali), i binari del tram o della ferrovia (soprattutto finire nel solco del binario o scivolarvi sopra) e lo scansamento (soprattutto di altri utenti della strada). Per ognuna delle quattro dinamiche più frequenti è stato possibile identificare diversi fattori (d'influenza) che spesso si possono associare alla relativa dinamica. A essere maggiormente colpiti dagli incidenti senza coinvolgimento di terzi sono ad esempio più spesso i giovani, le persone con una forma fisica superiore alla media e gli e-biker esperti. Inoltre, per questa dinamica dell'infortunio è emerso che influiscono anche

i piani stradali scivolosi, le frenature eccessive nonché le curve, gli incroci/sbocchi e le rotatorie. Il profilo dell'e-biker (mezzo lento o veloce) non ha rappresentato un fattore d'influenza significativo per nessuna delle quattro dinamiche più ricorrenti.

Anche gli stessi interessati raramente considerano l'e-bike (con)causa dell'incidente. Oltre l'80 % degli intervistati parte dal presupposto che l'incidente si sarebbe verificato anche con una bicicletta normale. Poco meno del 20 % ritiene che l'**e-bike** sia **una (con)causa**; spesso a incidere sono la velocità inadeguata, le reazioni inaspettate dell'e-bike, l'imperizia nell'uso del mezzo, il peso elevato, la perdita dell'equilibrio, le salite troppo ripide o le curve troppo strette.

$\frac{3}{4}$ degli incidenti a veicolo isolato hanno conseguenze lievi (nessuna lesione o solo ferite leggere). Il 18% degli intervistati ha riportato ferite di media gravità (con trattamento ambulatoriale ad es. in uno studio medico) e il 7 % lesioni gravi (trattamento stazionario in ospedale). Donne, persone anziane e conducenti di e-bike veloci subiscono più frequentemente lesioni gravi (o di media gravità) rispetto agli uomini, ai giovani e ai conducenti di e-bike lente. Le persone che viaggiavano troppo vicine al cordolo stradale o che hanno bevuto dell'alcol, presentano altresì una probabilità più elevata di riportare ferite gravi (o di media entità). Per quanto riguarda la velocità percorsa, le tendenze sono quelle prevedibili.

I conducenti di bici elettriche veloci sembrano essere coinvolti in misura superiore dei conducenti di e-bike lente nelle **situazioni critiche** (ad es. quasi collisioni). In generale si può affermare che gli e-biker si sentono abbastanza sicuri sulle strade svizzere. Ciononostante, si delineano diverse misure per aumentare il livello di sicurezza dei

conducenti di biciclette elettriche. Sono già relativamente numerose le persone che si proteggono con **materiali rifrangenti** (ad es. gilet di sicurezza) e/o **casco**, soprattutto i conducenti di e-bike veloci rispetto a quelli di e-bike lente, ma va considerato che i primi sottostanno all'obbligo di indossare il casco.

3.5 Discussione

Nel presente rapporto, varie fonti hanno consentito di estrapolare diverse conclusioni sulla sicurezza stradale delle bici elettriche e, nello specifico, sulle cause e le dinamiche degli incidenti senza coinvolgimento di terzi. Giungere ad affermazioni riassuntive a partire dalle varie fonti, in molti casi è estremamente laborioso, poiché i risultati possono essere divergenti (ad es. a causa delle differenze nei gradi di gravità degli incidenti analizzati).

Nella presente analisi d'incidente per la prima volta si è confrontato il **rischio d'incidente** di e-biker e ciclisti, al netto dell'esposizione. A tale riguardo è emerso che il numero di incidenti gravi registrati per chilometro percorso nelle e-bike è superiore a quello delle biciclette. Le e-bike presentano un maggiore rischio d'incidente in tutte le fasce d'età e in entrambi i sessi. Con l'avanzare dell'età il rischio al netto dell'esposizione di subire un incidente grave aumenta.

Per quanto riguarda il **rischio di ferirsi**, finora dalla letteratura non è possibile trarre conclusioni univoche, anche se si può ipotizzare che gli e-biker s'infortunino più gravemente dei ciclisti. L'analisi della statistica svizzera degli incidenti stradali delinea un quadro più differenziato: rispetto alle biciclette, le e-bike generalmente non comportano un rischio maggiore di ferirsi. Un rilevante aumento di

quest'ultimo si può attribuire alle biciclette elettriche veloci (rispetto alle e-bike lente e alle biciclette) e in ogni caso solo negli incidenti a veicolo isolato (non per quanto riguarda le collisioni). Al contrario, il rischio di ferirsi negli incidenti con e-bike lente non differisce da quello con le biciclette. Mediamente, i conducenti di bici elettriche lente presentano altresì lesioni più gravi rispetto ai ciclisti, ma questo non dipende tanto dal tipo di veicolo quanto piuttosto dalla fascia d'età più alta (e quindi dalla maggiore vulnerabilità).

E-biker e ciclisti sono esposti a casi del tutto simili di **situazioni critiche e incidenti**. Anche le cause sono in ampia misura comparabili. Tuttavia, i conducenti di bici elettriche sembrano più esposti al rischio di inosservanza della precedenza da parte dei conducenti di veicoli a motore.

Poiché attualmente nelle statistiche d'incidente non viene registrata la velocità al momento dell'incidente, i dati disponibili non costituiscono una prova empirica a sostegno dell'affermazione che la velocità (potenzialmente) più elevata delle e-bike rispetto alle biciclette comporta un rischio maggiore d'incidente e di lesioni. I risultati menzionati (relativi al rischio d'incidente, al rischio di ferirsi, all'inosservanza della precedenza da parte di altri utenti della strada) forniscono però **indizi** che vanno in questa direzione. In particolare si può dedurre che i conducenti di e-bike veloci, per i quali vengono effettivamente rilevate velocità più elevate, nella circolazione stradale sono più a rischio dei ciclisti.

Nell'incidentalità reale si verifica un numero superiore di **incidenti a veicolo isolato** che di collisioni; la statistica della polizia non ne tiene tuttavia sufficientemente conto, poiché è probabile che i primi vengano ampiamente trascurati a causa dell'elevata

cifra oscura. Gli incidenti senza coinvolgimento di terzi interessano tutte le fasce d'età e spesso anche e-biker esperti. Ovviamente, le persone con un'elevata esposizione presentano la **probabilità** relativa più alta (odds ratio) di causare un incidente a veicolo isolato nella circolazione stradale. Si tratta di utenti che viaggiano spesso con la bici elettrica, anche in inverno. Secondo l'indagine condotta, le dinamiche più frequenti negli incidenti di e-bike senza coinvolgimento di terzi sono lo scivolamento e gli incidenti legati all'attraversamento di una soglia, ai binari del tram o della ferrovia nonché agli scansamenti.

Attualmente non è possibile stabilire univocamente se, oltre alla velocità (potenzialmente) più elevata nell'incidentalità globale degli e-biker incida anche la bici elettrica in sé, ossia le caratteristiche (prestazioni) del veicolo. Può essere che il peso più alto o le specifiche caratteristiche delle prestazioni (ad es. alla partenza) influiscano sulla dinamica di determinati incidenti. Dal momento che nell'indagine svolta sugli incidenti senza coinvolgimento di terzi l'e-bike è stata raramente citata come (con)causa dell'incidente, si presume che solo una percentuale esigua di tutti gli incidenti con bicicletta elettrica siano riconducibili al veicolo in sé.

Per la **prevenzione** degli incidenti con bici elettrica si consigliano diverse misure. Da un lato, le **misure di sensibilizzazione** dovrebbero promuovere la consapevolezza che già a partire da una velocità leggermente più alta il rischio d'incidente e di ferimento aumenta in modo significativo. Dall'altro, è necessario rendere attenti al fatto che gli altri utenti della strada sottovalutano la velocità delle biciclette elettriche. I messaggi in tal senso vanno rivolti agli e-biker, ma anche ai conducenti di veicoli a motore. Per la prevenzione degli incidenti a veicolo isolato si raccomanda inoltre la sensibilizzazione alle cause e

dinamiche più frequenti. Oltre all'informazione, riguardo a tutte queste tematiche occorre formulare raccomandazioni pratiche (ad es. rendersi più visibili indossando giacche/giubbotti in materiale rifrangente o montando le gomme termiche).

Anche nell'ambito della **tecnica di costruzione dei veicoli** sussiste un buon potenziale per rendere più sicura la guida delle e-bike. Sarebbe ad esempio ragionevole introdurre un equipaggiamento di serie che preveda un dispositivo di accensione automatica delle luci, lo sviluppo di tecniche per distinguere meglio le e-bike dalle biciclette (ad es. design o schema di illuminazione individuali) e promuovere i sistemi di frenatura adeguati (incl. ABS e sistema frenante combinato). Si raccomanda altresì la promozione di **caschi** con una capacità superiore di assorbimento degli urti rispetto a quella prescritta dalla norma sui caschi bici (EN 1078). I primi prodotti secondo le nuove disposizioni sono già sul mercato.

La crescente diffusione delle e-bike rappresenta tuttavia anche una sfida per l'infrastruttura del **traffico ciclistico**. Nella pianificazione e realizzazione delle piste ciclabili, l'ampiezza dovrebbe essere superiore alle dimensioni minime previste. Per quanto riguarda le situazioni di traffico misto con il traffico pedonale si raccomanda l'elaborazione di nuovi principi per le ciclopiste e le strade pedonali. Anche la garanzia di distanze di visibilità sufficienti nei nodi e nelle rotonde è un'importante misura per i conducenti di bici elettriche. Occorre esaminare le relative norme per valutare se soddisfano le nuove esigenze poste dalle bici elettriche. È inoltre consigliabile verificare l'infrastruttura esistente (ad es. nell'ambito di Road Safety Inspection) per imporre gli attuali parametri minimi.

Nella presente indagine le condizioni stradali si sono rivelate un fattore d'influenza fondamentale per quanto concerne gli incidenti a veicolo isolato (piano stradale scivoloso, cattive condizioni stradali). Si raccomanda quindi caldamente una manutenzione regolare delle piste ciclabili che preveda la pulizia e un servizio di **manutenzione** invernale. Sulle superfici dedicate al traffico ciclistico, cordoli e dossi verticali vanno realizzati secondo uno standard sicuro per il traffico ciclistico.

Anche per quanto riguarda i binari del tram o della ferrovia sussiste un grande potenziale di miglioramento (separazione di ciclopiste e binari del tram, elaborazione di soluzioni tecniche soddisfacenti per la copertura dei solchi dei binari).

Sul fronte **legale** sarebbe auspicabile per le e-bike un regime obbligatorio dell'uso delle luci anche di giorno, oltre che la possibilità di controllo della velocità e l'applicazione di sanzioni per le bici elettriche troppo veloci (ad es. obbligo di un tachimetro).

Considerata la base di dati attualmente relativamente esigua, nei **lavori di ricerca** futuri occorrerà rilevare altri dati sull'esposizione e sul rischio d'incidente di diversi sottogruppi di e-biker (ad es. conducenti di e-bike veloci vs conducenti di e-bike lente). Le ripercussioni sulla sicurezza di un'eventuale abolizione dell'obbligo di utilizzare le piste ciclabili, ora in discussione, dovrebbero essere analizzate più a fondo, tenendo conto degli effetti positivi e negativi). Per valutare se la manipolazione di e-bike (adattamenti volti ad aumentare la velocità) costituisca o meno un problema significativo per la sicurezza è necessario svolgere una rilevazione a questo proposito.

4. Road safety of e-bikes with a focus on single-vehicle accidents

4.1 Introduction

In recent years, e-bikes have gained wide popularity on Swiss roads. With more than 75,500 units sold, e-bikes accounted for almost a quarter of the entire cycle market in 2016. Of the vehicles sold, 78 % were slow e-bikes with pedal support up to 25 kph and 22 % were fast e-bikes with pedal support up to 45 kph. In the past, e-bikes were perceived more as bicycles for older people, but now younger people are also increasingly turning to two-wheelers with electrical support.

While the increasing spread of e-bikes is accompanied by various advantages (e.g. ecological advantages compared to motorised private transport, relief of the road infrastructure or public transport), road safety also faces challenges. Already in 2015, the bfu wrote an analysis on this topic [10]. This report updates the findings from 2015 and adds new insights. In addition to a general **Accident and literature analysis** (Chapters III, p. 42 and IV, p. 55), particular focus is placed on e-bike riders' **single-vehicle accidents**. The results of a comprehensive **survey** on this topic are presented in Chapter V, p. 82.

4.2 Accident analysis

Since 2011, e-bikes have been included as a separate vehicle category in Switzerland's road accident statistics. Between 2011 and 2016, the number of injured by e-bike riders has more than tripled. This **development** reflects the growth of e-bikes in road traffic.

The accident statistics show that the proportion of **serious injuries** among e-bike riders is higher than among cyclists. One important reason for this is the differences in users' age structure: on average, e-bike riders are older and therefore more vulnerable than cyclists. The type of vehicle also plays a role in single-vehicle accidents (but not in collisions): riders of fast e-bikes are more severely injured than riders of slow e-bikes or cyclists in this type of accident.

In terms of distance covered (measured in kilometres), more serious accidents are registered among e-bike riders than among cyclists. With increasing age, the **exposure-adjusted risk** of serious accidents increases. At present, however, the findings on the exposure-adjusted accident risk of e-bike riders still need to be interpreted with caution due to the low data basis.

Compared to cyclists, the proportion of **single-vehicle accidents** among all accidents registered for e-bike riders is significantly higher. Riders of slow e-bikes in particular suffer serious single-vehicle accidents fairly often. This finding is also primarily due to the age structure of the users (larger share of single-vehicle accidents among elderly people who, in turn, ride slow e-bikes more often). The main causes of single-vehicle e-bike accidents registered by the police are inattentiveness and distraction, alcohol, poor e-bike control and speed. Compared to cyclists, there are no significant differences in this respect.

4.3 Literature analysis

An analysis of the literature provides an overview of the current state of research on the safety-relevant aspects of e-bikes. In the area of single-vehicle accidents, literature on conventional bicycle traffic is

also included. Since different types of e-bikes (in terms of performance, proportion of fast e-bikes) and age groups were represented in the available studies, the findings should always be assessed against the background of the relevant sample.

As expected, studies on **riding speed** show that e-bike riders ride at higher speeds than cyclists. The variation in speed is also greater for e-bike trips. The potentially higher speeds are mainly achieved by riders of fast e-bikes, younger people and men. In demanding situations and on infrastructures involving a high number of interactions, riding is generally slower. As a result of the higher speeds, e-bike riders also overtake other cyclists more often than riders of conventional bicycles. This in turn applies mainly to fast e-bikes. Slow e-bikes largely overtake more often on inclines.

It can be assumed that most e-bike riders have the necessary **prerequisites** for riding an e-bike. The majority of people have been cycling more or less regularly before the start of e-bike use. The potential e-bike-specific dangers (higher speed, longer stopping distance, being underestimated by other road users) also seem to be relatively well known. The skills required for safe e-bike riding may, however, decrease with age (in terms of stabilisation, mental workload, reaction time). However, this effect is independent of the vehicle type (bicycle or e-bike).

The **conflicts** that e-bike riders get involved in seem to be largely similar to those among cyclists. The frequency, nature and causes of critical situations are comparable. However, there is one striking difference at crossroads, where e-bike riders are more at risk of having their right of way disregarded by motor vehicle drivers. This is probably due to the fact that motor vehicle drivers underestimate the speed

of e-bikes to a greater degree than that of cyclists. In contrast to the present accident analysis, no differences in the actual **frequency of accidents** between e-bike riders and cyclists have been established in the literature to date. However, exposure-related data (e. g. distance covered) has so far been insufficiently taken into account (e.g. based on the number of vehicles on the roads).

Existing studies on comparisons of the **severity of injuries** suffered by e-bike riders and cyclists in accidents are inhomogeneous both in terms of methodology (e. g. the severity of the accidents included) and the results. Therefore, no clear conclusion can be drawn from the literature at present. However, there are signs of more serious injuries on the part of e-bike riders.

On an international basis, **single-vehicle accidents** are also the most significant type of accident suffered by e-bike riders. Collisions with obstacles on and close to the roadway, loss of balance at low speed or when getting on or off an e-bike as well as skidding seem to be frequent events. Causes often include incorrect or excessive braking, inappropriate speed, interactions with other road users, alcohol consumption and factors involving the infrastructure (e.g. road surface conditions such as wet conditions, ice or tram rails). There appear to be many parallels between the single-vehicle accidents suffered by e-bike riders and cyclists.

With regard to **infrastructure** in Switzerland, action is primarily required where fast e-bikes are concerned. Their overtaking manoeuvres can sometimes only take place under difficult conditions (e. g. insufficient distance). Other problems have also been identified with regard to the general obligation

to use cycle paths as well as mixed traffic situations with pedestrian traffic.

4.4 Survey of single-vehicle accidents

The survey conducted by the bfu focused on the causes and circumstances of single-vehicle e-bike accidents in road traffic. Additional information on e-bike riders in Switzerland (e. g. age, e-bike type) and their experiences was also acquired. A total of over 4,000 e-bike riders were surveyed. The data was weighted so that the sample should describe e-bike riders in Switzerland relatively well. However, self-selection effects cannot be ruled out.

Approximately one in three participants has already been involved in an e-bike accident (collision, single-vehicle accident off-road or on the road). 17 % suffered at least one single-vehicle road accident. There is no difference between the age groups. As expected, the highest relative **probability** (odds ratio) for a single-vehicle road traffic accident concerns riders with high exposure, i.e. persons who frequently travel by e-bike, often in winter as well. The probability is also significantly increased among men and people who use their e-bikes most often for the purpose of «commuting to work/school» (although confounding factors such as the choice of route cannot be ruled out). Many people who suffer single-vehicle accidents are, according to their own statement, experienced e-bike riders. This also applies to the elderly.

By far the most frequently reported **event** is skidding (in particular, due to ice or snow). Second to fourth place are taken by crossing a threshold (especially related to kerbstones), tram/railway tracks (especially getting into or skidding on the rails) and evasive actions (other road users, in particular). For

each of the four most frequent events, different factors were identified, which were often associated with the respective event. For example, young, above-average fit and experienced e-bike riders were more frequently affected by single-vehicle accidents due to skidding. In addition, it was also found that slippery road surfaces, excessive braking as well as bends in the road, intersections/junctions and roundabouts also play a role in this accident event. The type of e-bike (slow or fast e-bike) was not a significant factor in any of the four most frequent accident events.

Those affected by an accident rarely consider the **e-bike** to be a **(contributing) cause** of the accident. More than 80 % of the respondents assume that their accident would also have happened with a normal bicycle. Just under 20 % identify their e-bike to be a (contributing) cause, whereby inappropriate speed, unexpected reactions on the part of the e-bike, incorrect e-bike operation or lack of familiarity with the e-bike, high weight, loss of balance, excessively steep ascents or excessively narrow bends often played a role.

Three quarters of single-vehicle accidents are not serious (no or only minor injuries). 18 % of the respondents suffered moderate injuries (outpatient treatment, e.g. in a doctor's practice) and 7 % serious injuries (inpatient treatment in a hospital). Women, elderly people and riders of fast e-bikes are more often (fairly) seriously injured than men, younger people and riders of slow e-bikes. People who rode too close to the kerb or had consumed alcohol also have a higher probability of (fairly) serious injuries. With regard to speed, the tendencies go in the direction expected.

Riders of fast e-bikes seem to experience **critical situations** more often than those of slow e-bikes (e.g. near-collisions). In general, however, e-bike riders seem to feel relatively safe on Swiss roads. Nevertheless, there are various ideas on how to increase the safety of e-bike riders. A fairly large number of people already protect themselves with **light-reflecting materials** (e. g. safety jackets) and/or **helmets**. Riders of fast e-bikes exhibit this behaviour more often than riders of slow e-bikes, whereas helmet wear is also mandatory for the first group.

4.5 Discussion

In this report, various sources have been used to gain various insights into the road safety of e-bikes and, specifically, into the causes and events of single-vehicle accidents. However, it is often difficult to make summarising statements across the various sources, since the findings may differ (e.g. due to differences in the severity of the accidents analysed).

In the present accident analysis, it was possible for the first time to compare the exposure-adjusted **accident risk** of e-bike riders and cyclists. This showed that the number of serious accidents per kilometre registered among e-bikes is higher than for bicycles. There is an increased risk of accidents with e-bikes in all age groups and for both sexes. With increasing age, the exposure-adjusted risk of serious accidents increases.

With regard to the **risk of injury**, no clear conclusion can be drawn from the literature to date, but there are indications that e-bike riders suffer more serious injuries than cyclists. An analysis of the Swiss road traffic accident statistics reveals a more differentiated picture: compared with bicycles, e-bikes do not generally entail a higher risk of injury. The risk

of injury is only significantly increased with fast e-bikes (compared to slow e-bikes and bicycles) and this only in single-vehicle accidents (not in the case of collisions). However, the risk of injury in accidents involving slow e-bikes and bicycles does not differ. It is true that, on average, riders of slow e-bikes have more serious injuries than those of cyclists. However, this is not caused by the type of bicycle, but is explained by the higher age (and thus the greater vulnerability) of the riders of slow e-bikes.

E-bike riders and cyclists experience similar **critical situations and accidents**. The causes are also largely comparable. E-bike riders, however, appear to be more at risk of having their right of way disregarded by motor vehicle drivers.

Since speed at the time of the accident is not recorded in the accident statistics, the available data do not provide clear empirical evidence that the (potentially) higher speed of e-bikes compared to bicycles leads to a higher risk of accidents and injuries. However, the above-mentioned findings (in terms of accident risk, risk of injury, other road users not yielding the right of way) provide **indications** that point in this direction. Riders of fast e-bikes, in particular, for whom actually higher speeds are recorded, are likely to be more at risk in road traffic than cyclists.

In real-life accidents, more **single-vehicle accidents** occur than collisions. In police statistics, however, the former are likely to be significantly underestimated due to the high number of unreported cases. Single-vehicle accidents affect all age groups and, frequently, experienced e-bike riders, too. As expected, the highest relative probability (odds ratio) for a single-vehicle road traffic accident affects persons with high exposure, i.e. persons who frequently travel by e-bike, often in winter as well.

According to this survey, the most common causes of single-vehicle e-bike accidents are skidding and accidents associated with crossing thresholds, with tram/rail tracks and evading other road users/obstacles.

There is no clear answer at this time as to whether e-bikes themselves or their (running) characteristics play a role in the overall accident situation of e-bike riders alongside the (potentially) higher speed. The greater weight or specific running characteristics (e. g. when setting off) may play a role in certain accidents. However, since the participants of the survey did not consider the e-bike to be a (contributing) cause for the accident very often, only a small proportion of all e-bike accidents is probably due to the e-bike itself.

Various measures are recommended for the **prevention** of e-bike accidents. On the one hand, **awareness-raising measures** should increase people's appreciation of the fact that even minor speed increases can significantly increase the risk of accidents and injuries. On the other hand, the problem of other road users underestimating e-bike speeds should be addressed. Corresponding messages should not only be addressed to e-bike riders themselves, but also to motor vehicle drivers. For the prevention of single-vehicle accidents, it is also advisable to raise people's awareness of the most common causes and events. In addition to awareness-raising measures, specific recommendations for action should be given on all these topics in order to reduce the risk of accidents (e. g. increasing riders' visibility by wearing reflective jackets/vests, the use of winter tyres).

There is also potential in the field of **vehicle technology** to make e-bike riding safer. It would make

sense, for example, to equip e-bikes as standard with an automatic light switching system, to develop technologies to better differentiate between e-bikes and bicycles (e. g. individual design or lighting patterns) and to promote adequate braking systems (including ABS and combined brakes). It is also advisable to promote **helmets** with a higher shock-absorbing capacity than prescribed by the bicycle helmet standard (EN 1078). The first products according to new specifications are already on the market.

The increasing popularity of e-bikes is also a challenge for the **cycling infrastructure**. Cycling pathways should be planned and realised to be sufficiently wide and should not only be of a minimum size. With regard to mixed traffic situations with pedestrian traffic, the development of new principles for shared cycle pathways / footpaths is recommended. Ensuring sufficient visibility at junctions and roundabouts is also an important measure for the safety of e-bike riders. The corresponding standards should be checked with regard to e-bike suitability. It is also recommended that the existing infrastructure be examined (e.g. within the framework of road safety inspections) in order to enforce the current minimum values.

In the present survey, road conditions have proved to be a central influencing factor in single-vehicle accidents (slippery road surface, poor road condition). Regular **maintenance** of bicycle pathways with cleaning and winter service is therefore urgently recommended. Kerbstones and differences in vertical levels must be arranged on surfaces intended for bicycles in accordance with a safe standard that meets the needs of bicycles.

There is also great potential for improvement with regard to tram/railway tracks (separation of cycle routes and tram lines, development of satisfactory technical solutions for covering the grooves formed by the rails).

On the **legal** side, the introduction of mandatory daytime running lights for e-bikes would be worth examining, as well as the introduction of the possibility of speed controls and sanctions for fast e-bikes (e. g. mandatory speedometers).

In **future research work**, further data on the exposure and accident risk of various subgroups of e-bike riders (e. g. slow vs. fast e-bikes) should be collected due to the currently fairly small database. The safety impact of any possible lifting of the obligation to use cycle paths - as is currently being discussed - should be examined in greater detail, taking into account the positive and negative effects. The question whether the manipulation of e-bikes (speed-enhancing measures) is a significant safety problem, would have to be assessed in a study.

II. Einleitung

1. Ausgangslage

In den letzten Jahren hat sich das E-Bike auf Schweizer Strassen etabliert. Jährlich steigende Verkaufszahlen deuten auf eine ungebrochene Nachfrage hin. Nachdem E-Bikes in früheren Jahren eher als Fahrräder für ältere Personen wahrgenommen wurden, setzen nun vermehrt auch jüngere Personen auf Zweiräder mit elektrischer Unterstützung. Dabei steht ihnen heutzutage eine grosse Auswahl an unterschiedlichen Modellen zur Verfügung. Während die zunehmende Verbreitung von E-Bikes verschiedene Vorteile mit sich bringt (z. B. ökologische Vorteile gegenüber dem motorisierten Individualverkehr, Entlastung der Strasseninfrastruktur oder des öffentlichen Verkehrs), ergeben sich auch Herausforderungen für die Verkehrssicherheit. Bereits 2015 hat die bfu eine Analyse zu dieser Thematik verfasst [10]. Damals stand die Forschung erst am Anfang und die Unfallstatistik liess noch keine allzu detaillierten Auswertungen zu. Inzwischen wurden einige weitere Forschungsarbeiten publiziert und die Unfallstatistik umfasst nun mehr Fälle. Im vorliegenden Report werden die Befunde aus dem Jahr 2015 aktualisiert und um neue Erkenntnisse ergänzt. Neben einer generellen Unfall- und Literaturanalyse wird ein besonderer Fokus auf Alleinunfälle von E-Bike-Fahrenden gelegt, da dieser Unfalltyp einen bedeutenden Anteil des Unfallgeschehens ausmacht und in der letzten Analyse diesbezüglich Forschungsbedarf geortet wurde.

2. Aufbau des Berichts

Der nachfolgende Teil dieser **Einleitung** gibt einen Überblick über wichtige Begriffe und rechtliche Bestimmungen, Verbreitung und Nutzergruppen von E-Bikes in der Schweiz sowie über nationale Besonderheiten. In Kapitel III, S. 42 folgt der erste empirische Teil mit einer **Analyse des Unfallgeschehens** von E-Bikes auf Schweizer Strassen. Neben einer generellen Auswertung des Unfallgeschehens nach verschiedenen Merkmalen (z. B. Alter und Geschlecht, E-Bike-Typ, Unfalltypen) werden auch Alleinunfälle detaillierter analysiert. Anschliessend wird in einer **Literaturanalyse** (Kap. IV, S. 55) der aktuelle Forschungsstand zur Sicherheit von E-Bike-Fahrern aufgezeigt. Thematisiert werden u. a. die Fahrgeschwindigkeit, die Verletzungsschwere sowie die Einschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer. Um Erkenntnisse zu Ursachen und Hergängen von E-Bike-Alleinunfällen zu gewinnen, wurde eine **Befragung** durchgeführt. Sie wird in Kapitel V, S. 82 präsentiert. Aufbauend auf diesen drei Analysen werden am Ende dieses Berichts **Schlussfolgerungen** gezogen und **Präventionsmassnahmen** abgeleitet (Kap. VI).

3. Begriffserklärungen

Unter dem Begriff E-Bike werden Fahrräder² mit Motorunterstützung verstanden. Der Elektromotor wirkt in der Regel nur, wenn der Fahrer in die Pedale tritt. Ab einer bestimmten Geschwindigkeit setzt die Tretunterstützung aus. Gewisse Modelle verfügen

² Rechtlich betrachtet handelt es sich bei dieser Fahrzeugkategorie um Motorfahrräder (vgl. Kap. II.4).

zudem über Vorrichtungen, mit welchem sich das E-Bike bis zu einer gewissen Geschwindigkeit auch ohne in die Pedale zu treten fahren lässt. In der Regel sind diese Vorrichtungen als Schiebe- oder Anfahrthilfen gedacht.

Je nach erreichbarer Höchstgeschwindigkeit mittels Tretunterstützung (25 km/h oder 45 km/h) wird in der Schweiz umgangssprachlich von «schnellen und langsamen» E-Bikes gesprochen. Im deutschen Sprachraum wird auch der Begriff «Pedelec» verwendet, der dann teilweise vom Begriff «E-Bike» abgegrenzt wird. Der Unterschied zwischen diesen beiden Bezeichnungen bezieht sich auf die Art der Geschwindigkeits-Regulierung: «Pedelects» können ausschliesslich durch Pedalieren fortbewegt werden, «E-Bikes» zusätzlich über einen Drehgriff oder Ähnliches. «Schnelle» Pedelects werden als «S-Pedelec» bezeichnet.

4. Rechtliche Bestimmungen

E-Bikes sind in der Schweiz in der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) geregelt. Gemäss Art. 18 VTS gehören E-Bikes zur Fahrzeugart «Motorfahräder» (Mofa).

Die in der Schweiz umgangssprachlich als «**schnell**» bezeichneten E-Bikes gehören zu den Mofas (Motorfahräder). Dies sind «... einplätzig, einspurige Fahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit³ bis 30 km/h, höchstens 1 kW Motorleistung und ... einem Elektromotor, der bei einer allfälligen Tretunterstützung bis höchstens 45 km/h wirkt».

³ Die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit ist diejenige Höchstgeschwindigkeit, die ein Fahrzeug ohne weitere Hilfs-

Die in der Schweiz landläufig als «**langsam**» bezeichneten E-Bikes gehören zu den so genannten Leicht-Motorfahrädern. Dies sind «Motorfahräder mit einem Elektromotor von höchstens 0,5 kW Motorleistung, einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 20 km/h und einer allfälligen Tretunterstützung, die bis höchstens 25 km/h wirkt».

Einspurige Motorfahrzeuge, deren Tretunterstützung über 45 km/h hinausgeht und die über mehr als 1 kW Motorleistung verfügen, gelten als Kleinmotorräder. Sie sind nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Je nach E-Bike-Typ gelten für die Lenker unterschiedliche Vorschriften, u. a. bezüglich Helmtragepflicht und Fahrzeugausweis. Tabelle 1 gibt einen Überblick über ausgewählte Vorschriften für schnelle und langsame E-Bikes.

Tabelle 1 Ausgewählte Vorschriften für langsame und schnelle E-Bikes	
Tretunterstützung bis 45 km/h (schnelle E-Bikes)	Tretunterstützung bis 25 km/h (langsame E-Bikes)
Motorleistung max. 1000 Watt	Motorleistung max. 500 Watt
Velohelm gemäss Norm EN 1078 obligatorisch (wenn Tretunterstützung über 25 km/h)	Helmtragen empfohlen
Kinderanhänger erlaubt	
Benützung Radweg obligatorisch	
Führerausweis Kategorie M (Mindestalter 14 Jahre)	Kein Führerausweis erforderlich (Ausnahme 14- und 15-Jährige: Kategorie M)
Fahrzeugausweis erforderlich	Fahrzeugausweis nicht erforderlich
Durchfahrt bei Verbot für Motorfahräder nur mit abgeschaltetem Motor	Durchfahrt bei Verbot für Motorfahräder gestattet

mittel erreichen kann. Beim E-Bike ist dies die Höchstgeschwindigkeit, die im reinen Elektrobetrieb (ohne zu treten) gefahren werden kann.

5. E-Bike-Fahren in der Schweiz

E-Bikes erfreuen sich in der Schweiz grosser Beliebtheit. Über die letzten 10 Jahre war ein markanter Anstieg der Verkaufszahlen zu verzeichnen (Abbildung 1). Die stärksten jährlichen Zunahmen zeigten sich in der ersten Hälfte dieser Dekade (bis ca. 2010). Aber auch im Jahr 2016 wurden noch 14 % mehr E-Bikes abgesetzt als im Vorjahr. Mit über 75 500 verkauften Stück machten E-Bikes 2016 beinahe $\frac{1}{4}$ des Gesamttotal des Fahrradmarktes aus. Bei den im Jahr 2016 verkauften E-Bikes handelte es sich zu 78 % um langsame und zu 22 % um schnelle E-Bikes. Knapp $\frac{3}{4}$ waren City-E-Bikes (mit Ausrüstung), etwas mehr als $\frac{1}{4}$ waren E-Mountainbikes (ohne Ausrüstung). Letztere hatten damit gegenüber dem Vorjahr um 36 % zugelegt [1].

Werden die jährlichen Verkaufszahlen kumuliert, zeigt sich, dass von 2006 bis 2016 in der Schweiz knapp 440 000 E-Bikes verkauft worden sind. Der **E-Bike-Bestand** dürfte jedoch etwas geringer sein. Konkrete Zahlen liegen keine vor. Bezogen auf die Haushalte liefert der Mikrozensus des Bundesamts für Statistik aber verschiedene interessante Informationen. Im Jahr 2015 fand sich in rund 7 % der

Schweizer Haushalte mindestens ein E-Bike (5 %: 1 E-Bike, 2 %: 2 E-Bikes). Damit hat sich der Anteil der Haushalte mit E-Bikes innerhalb von fünf Jahren verdreifacht. Bei den in den Haushalten verfügbaren E-Bikes handelte es sich bei 6 % um langsame, bei etwas über 1 % um schnelle E-Bikes [2]. Hochgerechnet befanden sich 2015 in der Schweiz gemäss diesen Daten ca. 320 000 E-Bikes in den Haushalten.

Zwischen den **Sprachregionen** und den Urbanisierungsgraden zeigten sich bei der Erhebung im Jahr 2015 einige Unterschiede (Abbildung 2). In der Deutschschweiz verfügte ein grösserer Anteil der Haushalte über ein E-Bike als in der Romandie und in der italienischsprachigen Schweiz (8 % vs. 5 % vs. 3 %). In Bezug auf den Urbanisierungsgrad fand sich der grösste Anteil in den Agglomerationen (9 %), der kleinste im städtischen Kernraum (6 %) [2].

Bis anhin wurden E-Bikes vor allem von Kunden im mittleren Alter erworben. Das **Durchschnittsalter** der E-Bike-Besitzer im Jahr 2014 lag bei 53,5 Jahren. Vermutlich hat es sich seither aber etwas nach unten verschoben. Darauf weist zum einen eine Studie zur

Abbildung 1
Anzahl verkaufte E-Bikes in der Schweiz, 2006–2016

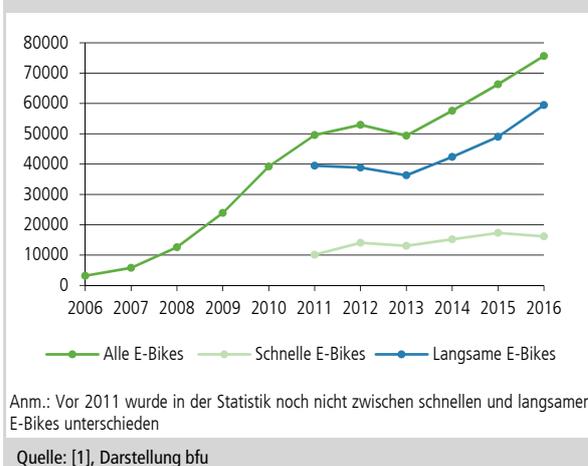
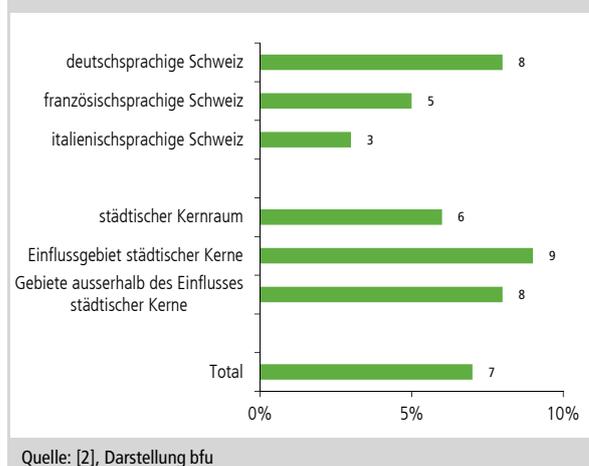


Abbildung 2
E-Bike-Besitz der Haushalte (mind. 1 E-Bike im Haushalt) nach Sprachregion und Urbanisierungsgrad, 2015



E-Bike-Käuferschaft hin, die 2014 publiziert wurde. Darin zeigte sich, dass das Durchschnittsalter beim Kauf des E-Bikes zwischen 2005 und 2012 noch bei 51 Jahren lag, 2013/2014 dann bei 47 Jahren [11]. Ein weiterer Hinweis auf die Verjüngung der E-Bike-Fahrenden über die Zeit liefert die Unfallstatistik. Darin zeigen sich Hinweise auf einen Anstieg der schweren Personenschäden bei den 25- bis 44-Jährigen in den letzten beiden Jahren (vgl. Kap.III, S. 42).

Über das **Geschlecht** der E-Bike-Besitzenden in der Schweiz lassen sich aus dem Mikrozensus keine Angaben entnehmen. Zwei frühere Studien fanden jedoch keine allzu grossen Unterschiede (schweizweite Online-Befragung 2014: 54 % Männer vs. 46 % Frauen [11], Befragung der Käuferschaft im Kanton Basel-Stadt 2002–2011: 50 % Männer vs. 50 % Frauen [12]). Beide Studien zeigten zudem, dass die E-Bike-Käuferschaft ein etwas höheres Bildungsniveau und ein höheres **Einkommensniveau** aufweist, als der schweizerische Durchschnitt [11,12]. Dass der E-Bike-Besitz mit zunehmendem Einkommen steigt, wurde auch im Mikrozensus 2015 deutlich. Während von den Haushalten mit einem monatlichen Gesamteinkommen von höchstens 4000 Franken 4 % über ein E-Bike verfügten, waren es bei den Haushalten mit über 12 000 Franken 10 % [2].

Die **Hauptgründe für den Kauf** eines E-Bikes sind zum einen verschiedene Vorteile gegenüber dem Fahrrad (weniger Anstrengung, höherer Komfort, grössere Distanzen zurücklegen, höhere Geschwindigkeit), zum anderen das Fahren an sich (Genuss und Spass, Erhalt / Verbesserung der Gesundheit). Für 80 % der Befragten in der erwähnten schweizweiten Online-Befragung stellte das E-Bike zum Befragungszeitpunkt das wichtigste oder das

zweitwichtigste Verkehrsmittel im Rahmen der Alltagsmobilität dar. Rund 70 % nutzten bzw. besaßen neben dem E-Bike mindestens ein weiteres Fahrrad. Personen unter 65 Jahren verwendeten das E-Bike am häufigsten für den Arbeitsweg. Bei den über 65-Jährigen standen Fahrradtouren im Vordergrund [11].

Beim Vergleich von Fahrrad- und E-Bike-Fahrten zeigt sich erwartungsgemäss, dass mit dem E-Bike grössere **Distanzen** zurückgelegt werden als mit dem Fahrrad. Gemäss den Daten aus dem Mikrozensus 2015 beträgt die mittlere Tagesdistanz von E-Bike-Fahrern rund 12 Kilometer, jene der Radfahrer (ab 14 Jahren) etwas unter 10 Kilometer. Mit beiden Zweiradtypen legen die Männer grössere Tagesdistanzen zurück als die Frauen (vgl. Abbildung 3). Auch bezüglich E-Bike-Typ finden sich die erwarteten Unterschiede: Mit dem schnellen E-Bike werden von den Lenkern im Durchschnitt Tagesdistanzen von rund 15 km, mit dem langsamen E-Bike Tagesdistanzen von 11 km zurückgelegt. Distanzunterschiede zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern wurden auch in Bezug auf den Arbeitsweg gefunden. Während der durchschnittliche Arbeitsweg, der mit dem E-Bike zurückgelegt wird, ca. 8–9 km

Abbildung 3
Mittlere Tagesdistanzen (in km) von E-Bike- und Fahrradfahrern nach Geschlecht, 2015



Quelle: ARE/BFS, Mikrozensus, Auswertung bfu

lang ist, weist die durchschnittliche Fahrradfahrt im Arbeitsverkehr hingegen «nur» eine Länge von ca. 3 km auf [11].

Schnelle und langsame E-Bikes scheinen tendenziell von unterschiedlichen Personengruppen für unterschiedliche Fahrzwecke und Distanzen genutzt zu werden. Eine neue Analyse mit Daten aus dem Jahr 2014 zeigt, dass schnelle E-Bikes mehrheitlich von erwerbstätigen Männern, langsame E-Bikes mehrheitlich von Frauen und Senioren gefahren werden. Schnelle E-Bikes werden oft zum Pendeln benutzt und die damit zurückgelegten Distanzen sind deutlich grösser als die Distanzen, die mit langsamen E-Bikes gefahren werden (Auswertung: [3], Daten: [11]).

6. Vergleich Schweiz – Deutschland – Österreich

Auch in Deutschland und Österreich steigen die Verkaufszahlen der sogenannten Pedelecs stetig an. Die Entwicklung der Nutzergruppen scheint ebenfalls entsprechend der Schweiz zu verlaufen (vorwiegend Personen mittleren und höheren Alters, aber Trend zu jüngeren Kunden) [13-16]. **Bedeutsame Unterschiede** zwischen der Schweiz, Deutschland und Österreich liegen in der Art der gefahrenen E-Bikes. In der Schweiz und in Österreich sind stärkere E-Bikes zugelassen als in Deutschland. E-Bikes mit Tretunterstützung bis 25 km/h (Pedelec 25) dürfen in der Schweiz eine Motorleistung von bis zu 500 Watt aufweisen, in Österreich bis 600 Watt und in Deutschland nur bis zu 250 Watt. Bei schnellen E-Bikes mit Tretunterstützung bis 45 km/h (S-Pedelec) beträgt die maximale Leistung in der Schweiz

1000 Watt, in Deutschland 500 Watt und in Österreich 4000 Watt [17,18]. Ein weiterer Unterschied zwischen den drei Ländern zeigt sich bezüglich Anteil an schnellen E-Bikes. Der Marktanteil für schnelle E-Bikes lag in Deutschland im Jahr 2016 nach Angaben des Zweirad-Industrie-Verbands (ZIV) nur bei ca. 1 % [14], in der Schweiz hingegen bei 22 % [1]. Der Anteil an schnellen E-Bikes in Österreich liess sich nicht eruieren. Da aber bis vor kurzem bei Herstellern und Händlern Unklarheiten über rechtliche Vorgaben bestanden (bzgl. Genehmigungsdatenbank und -nachweise), was zu Problemen mit der Typengenehmigung führte, dürfte der Anteil an zugelassenen schnellen E-Bikes tief sein [16,19].

Aufgrund dieser Unterschiede ist zu vermuten, dass E-Bike-Fahrer in der Schweiz im Durchschnitt mit höheren Geschwindigkeiten unterwegs sind als in Deutschland, eventuell auch als in Österreich. Diese Vermutung sollte berücksichtigt werden, wenn Aussagen aus Studien aus Nachbärländern mit anderen Zulassungsbedingungen auf die Schweiz übertragen werden möchten.

III. Unfallanalyse

1. Einleitung

Die folgenden Auswertungen basieren auf den Daten der **polizeilich registrierten Strassenverkehrsunfälle** des Bundesamts für Strassen (ASTRA). E-Bikes werden in dieser Statistik seit dem Jahr 2011 als separate Fahrzeugkategorie erfasst. Um statistische Zufallsschwankungen auszugleichen, werden in dieser Unfallanalyse häufig Summen- oder Durchschnittswerte über 5 Jahre berechnet (2012–2016). Da die Anzahl der E-Bikes im Strassenverkehr – und damit auch die Anzahl der E-Bike-Unfälle – in diesem Zeitraum aber stark angestiegen sind, sind die 5-Jahres-Daten der E-Bikes noch nicht gleich stabil wie jene von anderen Fahrzeugkategorien.

Wie bei allen amtlichen Verkehrsunfallstatistiken gilt es eine gewisse **Dunkelziffer** zu berücksichtigen, weil nicht bei jedem Unfall die Polizei beigezogen wird. Vor allem Unfälle mit leichten Verletzungsfolgen und Alleinunfälle haben eine geringere Wahrscheinlichkeit, erfasst zu werden. Zudem können die angelasteten Unfallursachen gelegentlich von den effektiven (z. B. mit Unfallrekonstruktion ermittelt) abweichen.

Die **Verletzungsschwere** der Unfallbeteiligten wird durch die Polizei bestimmt und im Unfallaufnahmeprotokoll entsprechend registriert. Als leichte Verletzung gelten geringe Beeinträchtigungen (z. B. oberflächliche Hautverletzungen, leichte Bewegungseinschränkungen), die eine medizinische Behandlung nach sich ziehen können, die aber das Verlassen der Unfallstelle aus eigener Kraft erlau-

ben. Die schweren Verletzungen wurden im Unfallprotokoll im Jahr 2015 neu definiert. Vor 2015 galt ein Unfallbeteiligter als schwer verletzt, wenn er länger als einen Tag im Spital behandelt oder von seinen alltäglichen Aktivitäten abgehalten wurde. Seit 2015 werden schwere Verletzung in zwei neue Kategorien, «erheblich verletzt» und «lebensbedrohlich verletzt», unterteilt [20,21]. Eine erhebliche Verletzung ist mit einer stationären Behandlung, eine lebensbedrohliche mit einer Versorgung auf der Intensivstation verbunden. Um einen Vergleich über mehrere Jahre hinweg ziehen zu können, werden in den nachfolgenden Analysen «erheblich» und «lebensbedrohlich» Verletzte zusammengefasst und als «schwer Verletzte» bezeichnet. Die Definition der tödlichen Verkehrsunfälle blieb über die letzten Jahre unverändert: Zu den Getöteten zählen Personen, die auf der Unfallstelle oder innerhalb von 30 Tagen an den Unfallfolgen sterben. In den folgenden Analysen werden oft Verunfallte mit unterschiedlichen Verletzungsgraden zusammengefasst. Unter der Bezeichnung **Personenschäden** werden alle verletzten Personen (leicht, schwer und tödlich verletzt) zusammengefasst, unter der Bezeichnung **schwere Personenschäden** nur schwer und tödlich Verletzte.

2. Entwicklung des Unfallgeschehens

Seit Beginn der detaillierten Erfassung von E-Bikes in der Strassenverkehrsunfallstatistik im Jahr 2011 ist die Zahl der verunfallten E-Bike-Fahrer auf Schweizer Strassen deutlich angestiegen. Während im Jahr 2011 noch 2 Getötete, 67 Schwerverletzte und 127 Leichtverletzte registriert wurden, waren es im Jahr 2016 9 Getötete, 201 Schwerverletzte und 464 Leichtverletzte. Somit hat sich die Zahl der Personenschäden in diesem Zeitraum mehr als verdreifacht (Abbildung 4). Die Entwicklung des Unfallgeschehens in diesen 6 Jahren widerspiegelt die Zunahme der E-Bikes im Strassenverkehr: Auch das Total der verkauften E-Bikes (Approximation für die im Verkehr zirkulierenden E-Bikes) nahm in diesem Zeitraum um mehr als das 3-Fache zu.

3. Betroffene Personen: Alter und Geschlecht

In absoluten Zahlen waren die meisten schweren Personenschäden bei E-Bike-Fahrenden in den letzten 6 Jahren stets in der **Altersklasse** der 45- bis 64-Jährigen zu verzeichnen (Abbildung 5). An zweiter Stelle folgen die 65-Jährigen und älteren. Die Un-

fallzahlen scheinen sich aber unterschiedlich entwickelt zu haben. Während die schweren Personenschäden bei den 65-Jährigen und älteren nach Jahren starker Zunahme in den letzten beiden Jahren stagniert haben, sind die Unfallzahlen der 45- bis 64-Jährigen stetig angestiegen. Möglicherweise steigen in Zukunft auch die Unfallzahlen der 25- bis 44-Jährigen stärker an, denn im Vergleich zum Vorjahr haben sich ihre schweren Personenschäden verdoppelt. Es ist anzunehmen, dass diese unterschiedlichen altersspezifischen Entwicklungen auf Veränderungen in der Altersstruktur der Nutzer, d. h. auf eine Verjüngung der E-Bike-Fahrenden, zurückzuführen sind.

Die schwersten E-Bike-Unfälle erleiden aufgrund ihrer hohen körperlichen Verletzlichkeit die **Senioren**. Ziehen sie sich bei einem E-Bike-Unfall Verletzungen zu, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sie daran sterben, 7-mal höher als bei den 45- bis 64-Jährigen. Dementsprechend machen 65-Jährige und ältere auch den grössten Anteil an den getöteten E-Bike-Fahrern aus (75 %). Bei den Schwerverletzten beträgt ihr Anteil hingegen nur 31 % (Abbildung 6, S. 44).

Abbildung 4
Entwicklung der Personenschäden bei E-Bike-Fahrern nach Verletzungsschwere, 2011–2016

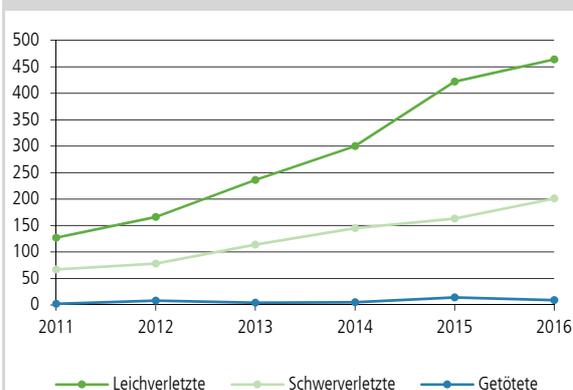
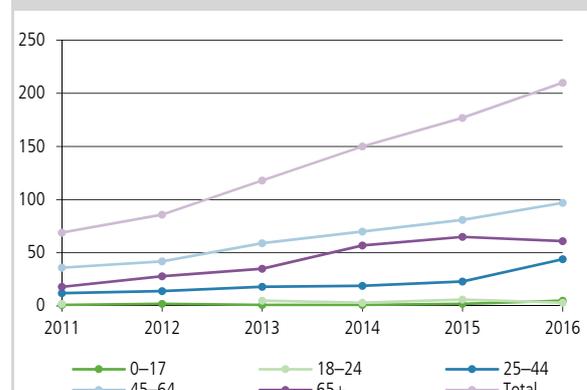


Abbildung 5
Entwicklung der schweren Personenschäden bei E-Bike-Fahrern nach Alter, 2011–2016



Das **Geschlechtsverhältnis** im Unfallgeschehen von E-Bike-Fahrenden fällt je nach Alterskategorie unterschiedlich aus. Über alle Altersklassen hinweg sind Männer aber übervertreten (55 % vs. 45 %) (Abbildung 7). Dies dürfte v. a. darauf zurückzuführen sein, dass sie eine höhere Exposition aufweisen als die Frauen.

Beim Vergleich der schweren Personenschäden von E-Bike- und Fahrradfahrern hinsichtlich Geschlecht und Alter werden zwei Unterschiede deutlich: Erstens ist der Unterschied zwischen den Geschlechtern bei den E-Bike-Fahrern deutlich kleiner als bei den Fahrradfahrern (Abbildung 7). Während bei den E-Bike-Fahrern 55 % der schweren Personenschäden Männer betrafen, waren es bei den Radfahrern 70 %. Zweitens sind **E-Bike-Fahrende** im Durchschnitt **älter als Fahrradfahrende**. Über die letzten 5 Jahre hinweg waren 68 % der schwer verunfallten E-Bike-Fahrer über 50 Jahre alt (Abbildung 8). Bei den Radfahrern betrug dieser Anteil 43 %. Das Durchschnittsalter der schwer und tödlich Verletzten lag in diesem Zeitraum bei den E-Bike-Fahrern bei 57 Jahren ($SD = 16$), bei den Fahrradfahrern bei knapp 46 Jahren ($SD = 19$). Auch wenn jeweils nur die 14-Jährigen und älteren berücksichtigt werden (Alter ab welchem E-Bike-Fahren erlaubt ist), zeigt

sich noch ein deutlicher Altersunterschied (Durchschnittsalter E-Bike: 57 Jahre, Fahrrad: 48 Jahre).

4. E-Bike-Typ

Von allen Personen, die in den Jahren von 2012–2016 bei einem E-Bike-Unfall schwer verletzt wurden, waren 76 % mit einem langsamen, 24 % mit einem schnellen E-Bike unterwegs. Dies deckt sich in etwa mit den Verkaufszahlen. Bei den Getöteten sind die **langsamen E-Bikes** im Vergleich zu den Verkaufszahlen hingegen übervertreten. Dies dürfte in erster Linie auf einen Alterseffekt zurückzuführen sein. Ältere Personen fahren häufiger ein langsames E-Bike als jüngere. Da die Verletzlichkeit mit dem Alter zunimmt, fällt der Anteil der älteren Personen

Abbildung 7
Verteilung der schweren Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Geschlecht, Ø 2012–2016

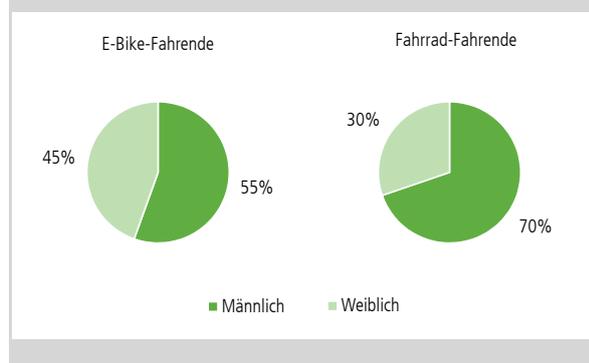


Abbildung 6
Verteilung der schweren Personenschäden bei E-Bike-Fahrern nach Alter, Ø 2012–2016

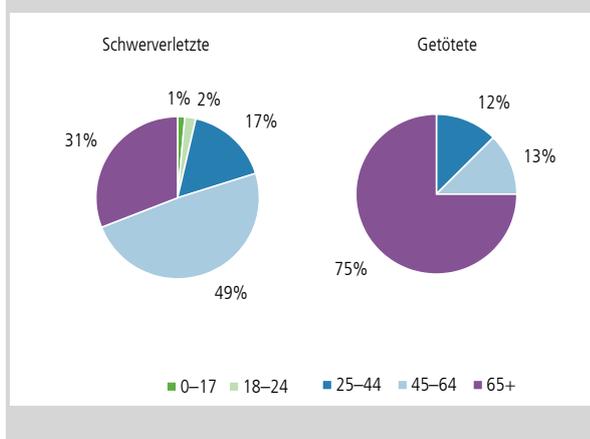
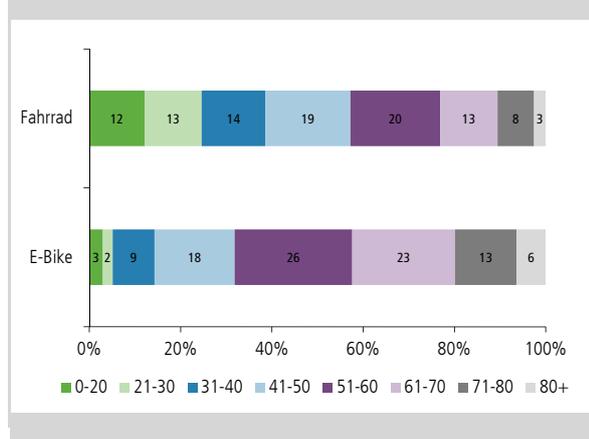


Abbildung 8
Verteilung der schweren Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Alter, Ø 2012–2016



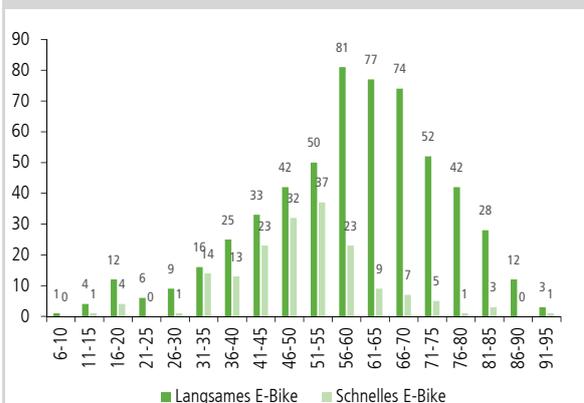
(und damit auch der langsamen E-Bikes) an den Getöteten überproportional hoch aus.

Eine Darstellung der schweren Personenschäden nach Alter und E-Bike-Typ findet sich in Abbildung 9. Das Durchschnittsalter der schwer verunfallten Lenker von schnellen E-Bikes liegt bei 50 Jahren ($SD = 13$), das der Lenker von langsamen E-Bikes bei 59 Jahren ($SD = 16$).

5. Unfallschwere und Fahrzeugtyp

In der Unfallstatistik findet sich bei den E-Bike-Fahrenden ein höherer Anteil an schweren Verletzungen als bei den Fahrradfahrenden. Im Durchschnitt der letzten 5 Jahre betrug der Anteil der schweren Personenschäden an allen verletzten E-Bike-Fahrern ab 14 Jahren⁴ 32 % (Abbildung 10). Bei den Fahrradfahrern ab 14 Jahren lag dieser Anteil mit 28 % tiefer. Bei den Lenkern von langsamen E-Bikes fällt der Anteil der schweren Personenschäden an allen Verletzten leicht höher aus als bei den Lenkern von schnellen E-Bikes (32 % vs. 30 %).

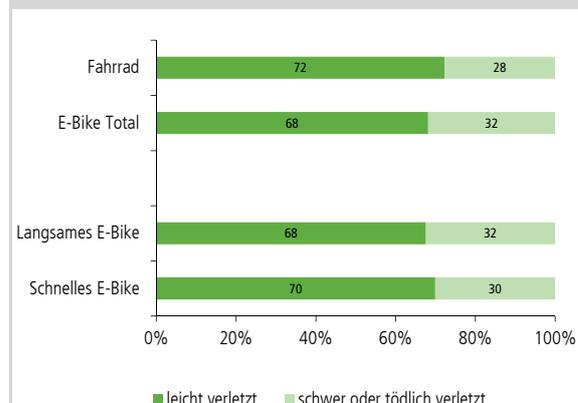
Abbildung 9
Schwere Personenschäden nach Alter und E-Bike-Typ, Σ 2012-2016



⁴ Da die Verletzungsschwere massgeblich vom Alter des Verunfallten abhängt und E-Bike-Fahren erst ab 14 Jahren erlaubt ist,

Um zu prüfen, ob der Zweiradtyp einen Einfluss auf die Unfallschwere hat und um weitere Einflussfaktoren zu identifizieren, wurden mehrere logistische Regressionen durchgeführt. Da die Verletzungsschwere bei Alleinunfällen (Unfälle ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer) und Kollisionen von unterschiedlichen Faktoren abhängig sein könnte, wurden für die beiden Unfalltypen separate Modelle berechnet. Als abhängige Variable wurde jeweils die Verletzungsschwere verwendet (2 Ausprägungen: leichte Verletzung vs. schwere / tödliche Verletzung). In allen Modellen wurden die vier unabhängigen Variablen Alter (in 8 Kategorien), Geschlecht, Fahrzeugtyp (langsames E-Bike, schnelles E-Bike, Fahrrad) und Ortslage des Unfalls (innerorts, ausserorts) eingesetzt. Implizit werden mit den unterschiedlichen Fahrzeugtypen verschiedene Geschwindigkeiten assoziiert. Ob sich die Geschwindigkeiten beim Unfall aber tatsächlich unterschieden haben, kann mangels entsprechender Angaben im Unfallprotokoll leider nicht überprüft werden. Berechnet wurden Modelle mit und ohne Interaktionen (z. B. Interaktion von Fahrzeugtyp und Alter) der Variablen. Die Tests

Abbildung 10
Anteil der schweren Personenschäden bei verletzten Fahrrad- und E-Bike-Fahrern (ab 14 J.), $\bar{\Sigma}$ 2012-2016



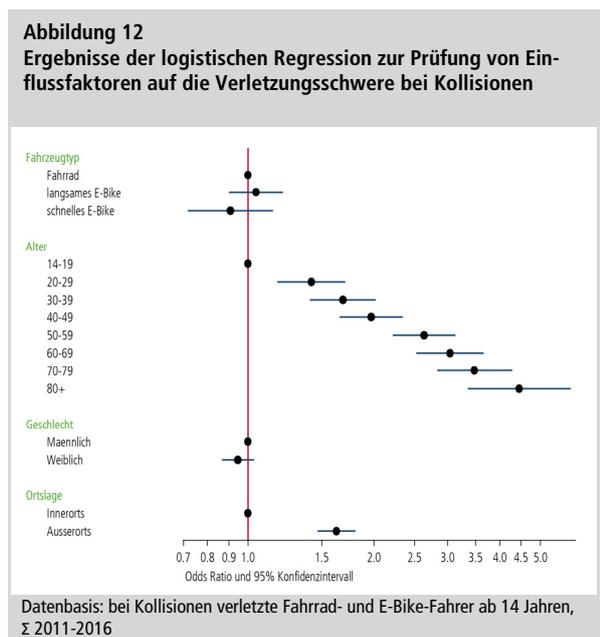
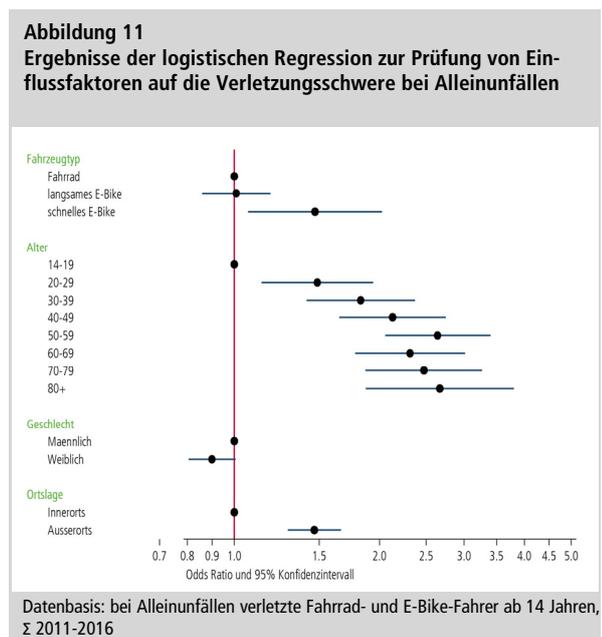
werden für den Vergleich von E-Bike- und Fahrradunfällen hinsichtlich Unfallschwere nur 14-Jährige und ältere berücksichtigt.

zur Prüfung der Interaktionen (Likelihood-Ratio Test) ergaben keine signifikanten Resultate. Aus diesem Grund wurde sowohl bei den Alleinunfällen wie bei den Kollisionen das Modell ohne Interaktionsterm beibehalten. Die Ergebnisse finden sich in Abbildung 11 und Abbildung 12, Tabellen mit den numerischen Resultaten im Anhang (Tabelle 4 und Tabelle 5, S. 123).

In Bezug auf die **Alleinunfälle** (Abbildung 11) ergab die Analyse einen signifikanten Einfluss von **Fahrzeugtyp, Alter und Ortslage** auf die Verletzungsschwere. Während sich Lenkende von langsamen E-Bikes bei Alleinunfällen nicht schwerer verletzen als Radfahrer, zeigt sich bei Lenkenden von schnellen E-Bikes im Vergleich zu Radfahrern eine um 50 % höhere relative Wahrscheinlichkeit für eine schwere Verletzung (OR 1,47, 95 %CI 1,07-2,02). Zusätzliche Analysen zeigten zudem, dass auch zwischen den beiden E-Bike-Typen ein signifikanter Unterschied besteht (höhere relative Wahrscheinlichkeit für schwere Verletzungen bei Fahrern von schnellen E-Bikes als bei Fahrern von langsamen E-Bikes). Im Vergleich zu der jüngsten Altersklasse ziehen sich die älteren Altersklassen häufiger

schwere Verletzungen zu. Mit zunehmendem Alter steigt diese Wahrscheinlichkeit weiter an. Ebenfalls erhöht ist die relative Wahrscheinlichkeit für schwere Verletzungen bei Alleinunfällen ausserorts (im Vergleich zu Alleinunfällen innerorts). Vermutlich ist dieser Unterschied auf Geschwindigkeitsunterschiede zurückzuführen. Hinsichtlich des Geschlechts fanden sich bei den Frauen tendenziell weniger schwere Verletzungen als bei den Männern. Der Unterschied war aber nur marginal signifikant ($p = 0,07$).

Bei der Analyse der **Kollisionen** (Abbildung 12) fanden sich nur zwei statistisch signifikante Einflussfaktoren: das **Alter** und die **Ortslage**. Bezüglich des Alters zeigt sich ein regelmässiger Risikoanstieg für schwere Verletzungen mit zunehmendem Alter. Im Vergleich zu der jüngsten Altersklasse (14–19 Jahre) haben beispielsweise die 40- bis 49-Jährigen eine doppelt so hohe relative Wahrscheinlichkeit, bei einer Kollision mit dem E-Bike- oder Fahrrad schwer oder tödlich verletzt zu werden (OR 2,13, 95 %CI 1,65–2,75), die älteste Altersklasse (80+) gar eine 4,5-mal höhere relative Wahrscheinlichkeit (OR 4,45, 95 %CI 3,35–5,92).



Wie bei den Alleinunfällen gehen Kollisionen ausserorts mit einer höheren relativen Wahrscheinlichkeit für schwere Verletzungen einher als Kollisionen innerorts. Der **Fahrzeugtyp** ergab hingegen **kein signifikantes Resultat**. Ebenfalls kein signifikanter Einfluss ergab sich hinsichtlich des Geschlechts.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass das Alter sowohl bei Alleinunfällen wie auch bei Kollisionen den bedeutendsten Einflussfaktor für die Verletzungsschwere darstellt. Ebenfalls bei beiden Unfalltypen relevant ist die Ortslage. Der Fahrzeugtyp spielt für die Verletzungsschwere hingegen nur bei den Alleinunfällen eine Rolle. Während sich Lenkende langsamer E-Bikes bei einem Alleinunfall nicht schwerer verletzen als Radfahrer, zeigt sich bei den schnellen E-Bikes eine höhere relative Wahrscheinlichkeit für eine schwere Verletzung (sowohl im Vergleich zu Radfahrern wie zu Lenkern von langsamen E-Bikes). Es muss jedoch angemerkt werden, dass die beiden Regressionsmodelle nur eine tiefe Modellgüte aufweisen (Pseudo $R^2 = 0,02$ resp. $0,03$).

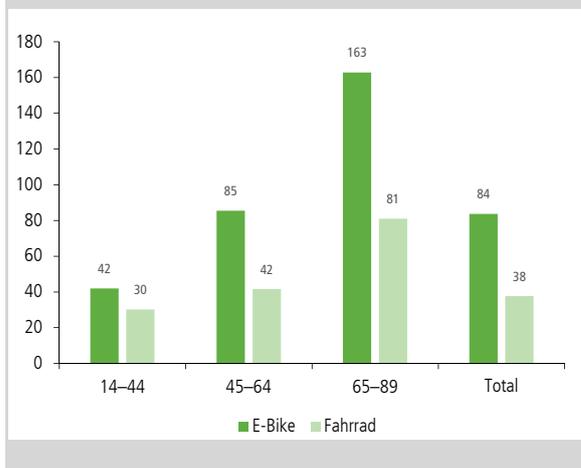
6. Unfallrisiko

Im Jahr 2015 wurden in der Schweiz im Rahmen des Mikrozensus zum ersten Mal Daten zur Exposition von E-Bike-Lenkenden erhoben [2]. Somit lassen sich nun Aussagen zur **expositionsbereinigten** Häufigkeit von schweren E-Bike-Unfällen und Vergleiche mit den Fahrradfahrern machen. Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass die Datenbasis bei den E-Bike-Fahrenden noch sehr klein ist (sowohl die Datenbasis zur Exposition wie auch die Anzahl der schweren Personenschäden im Jahr 2015). Daher können noch keine allzu detaillierten Auswertungen vorgenommen werden

und die Resultate sind noch wenig robust. Allfällige Unterschiede könnten auch auf Zufallsschwankungen zurückzuführen sein.

Im Jahr 2015 wurden pro 100 Mio. zurückgelegte Kilometer 84 schwer oder tödlich verletzte E-Bike-Fahrer registriert. Bei den Fahrradfahrern waren es mit 38 deutlich weniger. Dieser Unterschied in der expositionsbereinigten Häufigkeit der schweren Personenschäden zwischen Fahrrad- und E-Bike-Fahrern zeigt sich bei allen Altersklassen (Abbildung 13). Unterschiede in der Registrierungswahrscheinlichkeit der Unfälle können dabei aber nicht ausgeschlossen werden (z. B. könnten E-Bike-Unfälle der Polizei eher gemeldet werden als Fahrradunfälle). Weiter zeigt sich auch bei der expositionsbereinigten Darstellung der schweren Personenschäden ein Alterseffekt: Mit zunehmendem Alter steigt das kilometerbezogene Risiko für schwere Unfälle an. Dies gilt sowohl für E-Bike- wie für Fahrradfahrer. Pro 100 Mio. Personenkilometer kommt es bei den 65- bis 89-jährigen E-Bike-Fahrern beispielsweise zu 163, bei den 45- bis 64-jährigen «nur» zu 85 schweren Personenschäden.

Abbildung 13
Schwere Personenschäden pro 100 Mio. Personenkilometer von E-Bike- und Fahrradfahrern (ab 14 J.) nach Alter, 2015



Auch die Analyse der expositionsbereinigten schweren Personenschäden nach Geschlecht liefert interessante Erkenntnisse (Abbildung 14): Einerseits zeigt sich, dass beide Geschlechter mit dem E-Bike ein höheres expositionsbezogenes Risiko für schwere Personenschäden aufweisen als mit dem Fahrrad. Bei den Frauen fällt dieser Risikounterschied grösser aus als bei den Männern. Andererseits lässt sich erkennen, dass bei den Radfahrenden die Männer ein höheres kilometerbezogenes Risiko aufweisen als die Frauen. Bei den E-Bike-Fahrenden ist es umgekehrt.

Ein Vergleich des kilometerbezogenen Risikos nach E-Bike-Typ lässt sich zurzeit noch nicht durchführen. Die Datenbasis bei den schnellen E-Bikes ist noch zu klein.

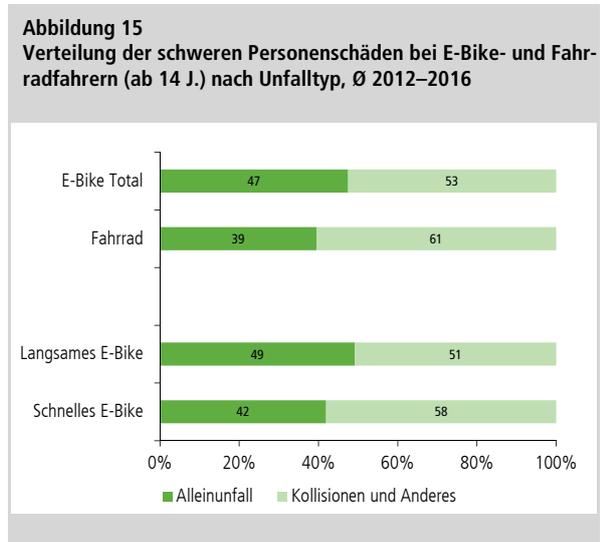
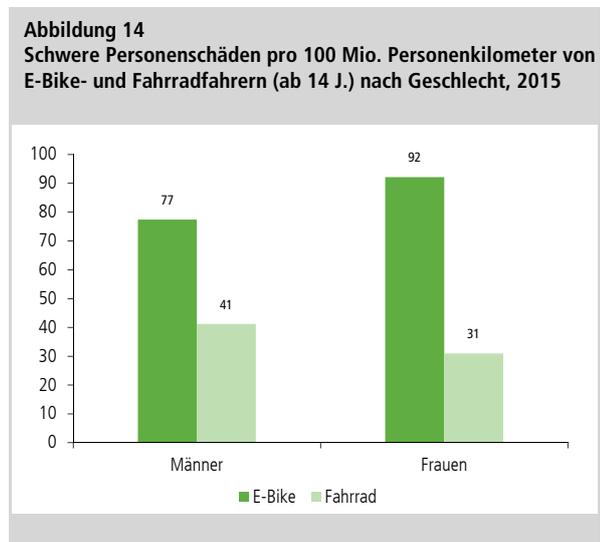
7. Unfalltyp

Im Folgenden werden zwei Kategorien von Unfalltypen gebildet: **Alleinunfälle** sind Unfälle, an denen nur ein Fahrzeug, d. h. nur der E-Bike- oder Radfahrer, beteiligt ist. Er kann dabei auch mit einem Objekt bzw. Hindernis kollidiert sein, nicht aber mit einem anderen Verkehrsteilnehmer. Bei der Kategorie **Kollisionen und Anderes** handelt es

sich grösstenteils um Kollisionen von mindestens zwei Verkehrsteilnehmern (auch aufgrund von Schleudern eines Fahrzeugs). Einen kleinen Anteil dieser Kategorie machen Kollisionen mit Tieren, Parkierunfälle (d. h. Kollisionen, an denen mindestens ein aus- oder einparkierendes Fahrzeug beteiligt ist) und andere Unfalltypen (z. B. Steinschlag, umfallender Baum oder wenn Unfalltyp nicht genau ermittelt werden kann) aus.

Bei E-Bike-Fahrenden werden anteilmässig häufiger schwere Alleinunfälle registriert als bei Radfahrenden. In den Jahren 2012–2016 ereigneten sich 47 % der schweren Personenschäden von E-Bike-Fahrenden bei Alleinunfällen, bei den Radfahrenden (ab 14 Jahren) betrug dieser Anteil 39 % (Abbildung 15). Der Unterschied in der Verteilung der beiden Unfalltypen zwischen Fahrrad- und E-Bike-Fahrern ist statistisch signifikant ($X^2(1, N=4834) = 16,55, p < 0,001$).

Bei der differenzierten Darstellung der E-Bike-Typen zeigt sich, dass vor allem Lenker von langsamen E-Bikes verhältnismässig oft schwere Alleinunfälle erleiden. Obwohl in der Polizeistatistik bei Alleinunfällen von einer höheren Dunkelziffer ausgegangen werden muss als bei Kollisionen, finden sich in der



Statistik bei langsamen E-Bikes mit 49 % beinahe gleich viele schwere Alleinunfälle wie schwere Kollisionen. Bei den Lenkern von schnellen E-Bikes liegt der Anteil an schweren Alleinunfällen mit 42 % tiefer. Auch der Vergleich der Anteile der Unfalltypen zwischen den drei Fahrzeugkategorien ergibt ein statistisch signifikantes Resultat ($\chi^2(2, N=4834) = 19,44, p < 0,001$).

Detaillierte Analysen mittels logistischer Regression zeigen, dass der soeben erwähnte erhöhte Anteil an Alleinunfällen bei den Lenkern langsamer E-Bikes in erster Linie auf einen **Alterseffekt (Konfundierung)** zurückzuführen ist. Die Analysen ergaben, dass die relative Wahrscheinlichkeit (Odds) für einen Alleinunfall (vs. Kollision und Anderes) mit zunehmendem Alter steigt. Bei Senioren fällt der Anteil an Alleinunfällen demnach höher aus als bei jüngeren Personen. Da ältere Personen häufiger ein langsames E-Bike fahren als jüngere, ergibt sich auch bei den langsamen E-Bikes ein höherer Anteil an Alleinunfällen. Wird diese Interaktion zwischen Alter und Fahrzeugtyp in der Regression berücksichtigt, findet sich zwischen den drei Fahrzeugtypen hinsichtlich des Anteils an Alleinunfällen kein signifikanter Unterschied mehr. Tendenzen in Richtung grösserer Anteil an Alleinunfällen bei den Lenkern langsamer E-Bikes bleiben aber bestehen. Als weitere Einflussfaktoren auf den Anteil an Alleinunfällen wurden die Ortslage des Unfalls und das Geschlecht geprüft. Bezüglich der Ortslage ergab sich ein signifikanter Unterschied: Bei Unfällen ausserorts ist der Anteil an Alleinunfällen erwartungsgemäss grösser als bei Unfällen innerorts. Bezüglich des Geschlechts konnte hingegen kein Unterschied bezüglich der Unfalltypen festgestellt werden.

Der restliche Teil dieser Unfallanalyse beschäftigt sich ausschliesslich mit Alleinunfällen. Detailliertere

Informationen über E-Bike-Kollisionen finden sich im bfu-Report Nr. 72 [10].

8. Alleinunfälle

Von 2012–2016 wurden im jährlichen Durchschnitt 169 E-Bike-Fahrende bei Alleinunfällen verletzt oder getötet. 99 davon wurden leicht, 67 schwer und 3 tödlich verletzt. 82 % davon waren mit einem langsamen, 18 % mit einem schnellen E-Bike unterwegs.

Mit 57 Jahren ($SD = 16,37$) waren E-Bike-Fahrende, die sich bei einem Alleinunfall verletzten (leichte, schwere oder tödliche Verletzung), im Durchschnitt um 6 Jahre **älter** als E-Bike-Fahrende, die sich bei einem anderen Unfalltyp (Kollision und Anderes) verletzten (Durchschnittsalter 51 J., $SD = 17,45$). Dieser Altersunterschied ist statistisch signifikant ($t(464) = 3,667, p < 0,001$).

Unter den Personen, die sich in den letzten 5 Jahren bei einem E-Bike-Alleinunfall verletzten, befanden sich etwas mehr Männer als Frauen (im jährlichen Durchschnitt 99 Männer und 70 Frauen). Bei den anderen Unfalltypen (Kollision und Anderes) fiel das **Geschlechterverhältnis** praktisch gleich aus (149 Männer, 148 Frauen). Die beiden Verteilungen nach Geschlecht (Alleinunfall vs. Kollision und anderes) unterscheiden sich statistisch jedoch nicht signifikant ($\chi^2(1, N=466) = 3,061, p = 0,080$).

8.1 Unfallort und -zeit bei Alleinunfällen

Im Folgenden werden Alleinunfälle von E-Bike- und Radfahrern hinsichtlich Unfallort, Unfallzeit und Umgebungsfaktoren verglichen. Einbezogen werden alle Alleinunfälle mit Verletzungsfolge (leichte,

schwere oder tödliche Verletzungen) der Jahre 2012–2016. Zwischen Unfällen mit schweren und leichten Verletzungsfolgen konnten bei der vorgängigen Prüfung keine wesentlichen Unterschiede in Bezug auf die interessierenden Variablen gefunden werden.

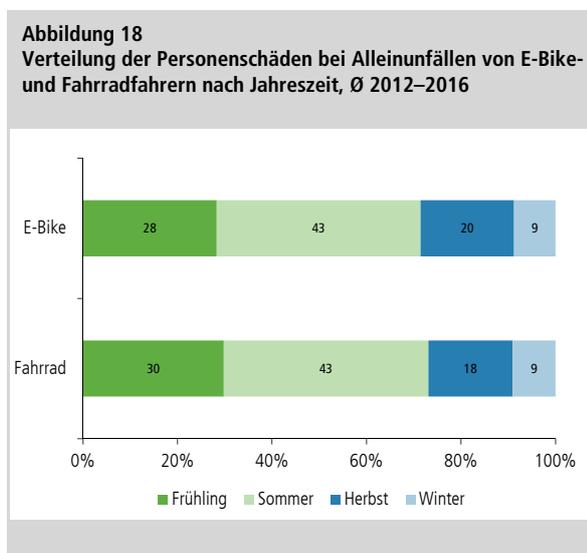
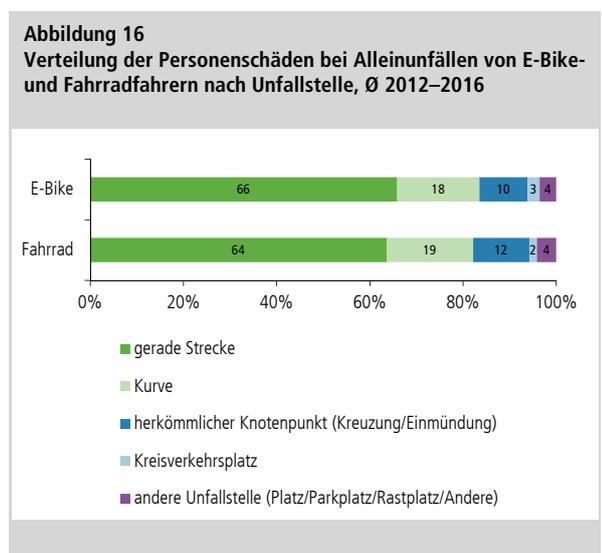
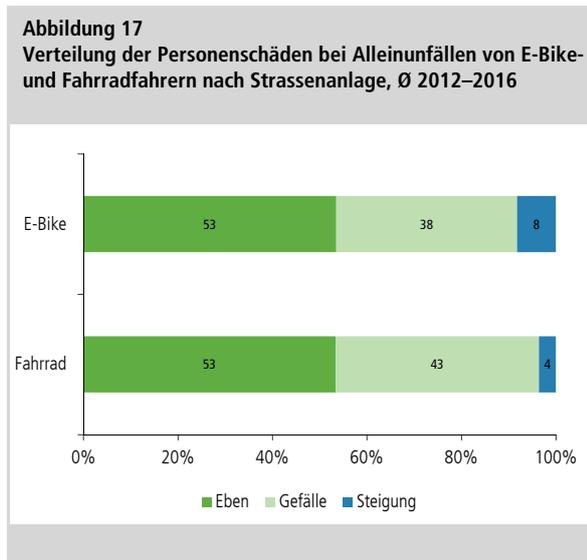
Der mit Abstand grösste Teil der E-Bike-Alleinunfälle ereignete sich in den letzten Jahren auf **gerader Strecke** (66 %). Der zweitgrösste aber deutlich kleinere Teil geschah in Kurven (18 %). Bei den Alleinunfällen von Radfahrern zeigt sich ein vergleichbares Bild (Abbildung 16).

In Bezug auf die Strassenanlage passierten die meisten E-Bike-Alleinunfälle auf **ebenen** Strassen (53 %), gefolgt von Unfällen im **Gefälle** (38 %). E-Bike-Alleinunfälle in der Steigung kamen deutlich seltener vor (8 %), jedoch signifikant häufiger als bei den Radfahrern (4 %) (Abbildung 17). Bei den Radfahrern fiel der Anteil an Alleinunfällen im Gefälle hingegen signifikant grösserer aus als bei den E-Bike-Fahrern (43 % vs. 38 %).

Der Zeitpunkt der E-Bike-Alleinunfälle dürfte die Exposition widerspiegeln. Rund 70 % der Unfälle mit Verletzungsfolgen ereigneten sich im **Frühling und Sommer**, 20 % im Herbst und knapp 10 % im Winter (Abbildung 18). Bei der differenzierten Betrachtung von Unfällen mit schweren und leichten Verletzungsfolgen zeigte sich, dass der Anteil der Winter-Unfälle bei den schweren E-Bike-Alleinunfällen signifikant höher ausfiel als bei den Unfällen mit leichten Verletzungsfolgen (12 % vs. 6 %). Bezüglich Wochentag geschahen rund 70 % der E-Bike-Alleinunfälle werktags, knapp 30 % am Wochenende.

Zwischen Fahrrad- und E-Bike-Alleinunfällen zeigten sich hinsichtlich der Jahreszeit keine bedeutenden Unterschiede. Alleinunfälle von Radfahrern

Zeigten sich hinsichtlich der Jahreszeit keine bedeutenden Unterschiede. Alleinunfälle von Radfahrern



ereigneten sich aber signifikant häufiger am Wochenende als Alleinunfälle von E-Bike-Fahrern (35 % vs. 29 %).

8.2 Umgebungsfaktoren bei Alleinunfällen

Der grösste Teil (knapp 75 %) der E-Bike-Alleinunfälle mit Verletzungsfolgen passierte bei **Tageslicht**, knapp 5 % bei Dämmerung und rund 20 % bei Dunkelheit. Bei den Radfahrern zeigte sich ein vergleichbares Bild (Abbildung 19). Auch bezüglich Strassenzustand zeigten sich zwischen Alleinunfällen von E-Bike- und Fahrradfahrern keine bedeutenden Unterschiede: Die meisten Personenschäden ereigneten sich bei beiden Zweiradtypen auf **trockener Strasse** (79–80 %). Der Rest verteilt sich auf nasse (9–10 %), feuchte (6–7 %) und verschneite oder vereiste (4 %) Strassen (Abbildung 20).

Zusätzliche Informationen zum Strassenzustand wie Öl, Rallsplitt oder Schlaglöcher sind in den Unfallprotokollen nur sehr selten aufgeführt, so dass eine Auswertung nicht sinnvoll ist.

8.3 Ursachen von Alleinunfällen

Bei Alleinunfällen von E-Bike-Fahrern wurden von der Polizei in den letzten 5 Jahren vor allem vier Hauptursachen registriert: **Unaufmerksamkeit und Ablenkung** (bei 21 % aller Personenschäden), **Geschwindigkeit** (15 %), **Alkohol** (19 %) und **mangelhafte Fahrzeugbedienung** (17 %) (Abbildung 21, S. 52). In die Kategorie «Andere» fällt eine Vielzahl von Ursachen, wie zum Beispiel spitzwinklige Gleisquerung (bei 3 % aller Personenschäden), mangelhafter Strassenzustand (z. B. Öl, Schlagrinnen) (2 %) oder Fehlverhalten bei Links-/Rechtsfahren oder Einspuren (3 %). Technische Defekte spielten bei weniger als 1 % der Unfälle eine Rolle.

Die Verteilung der Hauptursachen bei **Alleinunfällen von Radfahrern** unterscheidet sich nur geringfügig von jener der E-Bike-Fahrenden. Selbst der Anteil der Personenschäden, der auf die Hauptursache Geschwindigkeit zurückgeführt wurde, liegt bei den E-Bike-Fahrern nur wenig höher als bei den Fahrradfahrern (15 % vs. 13 %).

Zwischen den beiden E-Bike-Typen zeigt sich diesbezüglich ein deutlicherer (jedoch statistisch nicht

Abbildung 19
Verteilung der Personenschäden bei Alleinunfällen von E-Bike- und Fahrradfahrern nach Lichtverhältnis, Ø 2012–2016

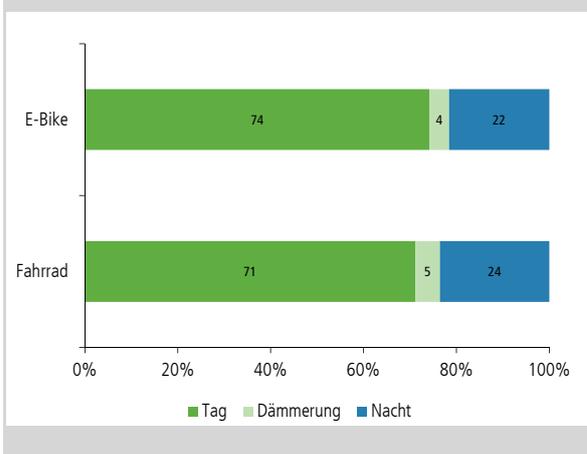
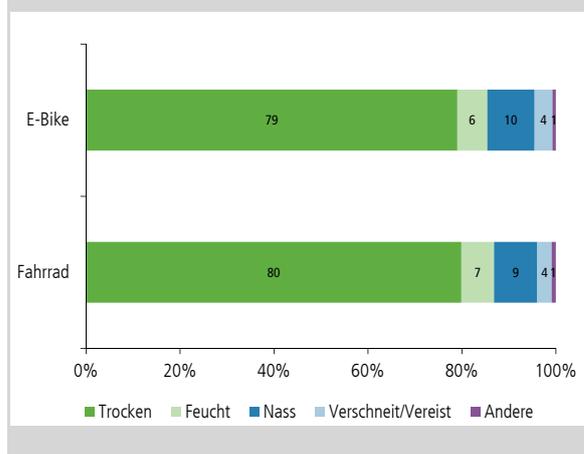


Abbildung 20
Verteilung der Personenschäden bei Alleinunfällen von E-Bike- und Fahrradfahrern nach Strassenzustand, Ø 2012–2016



signifikanter) Unterschied: Bei schnellen E-Bikes betrug der Anteil der geschwindigkeitsbedingten Alleinunfälle gemäss Polizeiprotokoll 20 %, bei langsamen E-Bikes 13 %. Bei Letzteren fielen dagegen die Anteile der Hauptursachen Unaufmerksamkeit und Ablenkung sowie Alkohol grösser aus (Abbildung 21).

Bei Betrachtung der Verteilung der Hauptursachen der Alleinunfälle von E-Bike-Fahrern **nach Alter** fällt vor allem ein altersbezogener Unterschied bezüglich Alkohol auf (Abbildung 22). Während der Alkohol bei der jüngsten Altersklasse (14–44 Jahre) die dominierende Hauptursache darstellt, nimmt der Anteil mit zunehmendem Alter ab und spielt bei der ältesten Altersgruppe (65 +) eine untergeordnete

Rolle (signifikanter Unterschied gegenüber den jüngeren beiden Altersklassen). Bei den 65-Jährigen und älteren machen Unaufmerksamkeit und Ablenkung den grössten Anteil der Personenschäden aus.

9. Helmtragquote

86 % aller 14-jährigen und älteren Lenker von schnellen E-Bikes, die sich in den Jahren von 2012–2016 bei einem polizeilich registrierten Unfall verletzt, trugen beim Unfall einen Helm. Bei den Lenkern von langsamen E-Bikes betrug dieser Anteil 50 %, bei den Radfahrern 43 % (Abbildung 23). Von allen E-Bike-Fahrern, die in diesem Zeitraum getötet wurden, trugen 35 % einen Helm. Bei den Leicht- und Schwerverletzten waren es je 59 % (Abbildung 24).

Abbildung 21
Verteilung der Hauptursachen bei Alleinunfällen mit Personenschäden (ab 14 J.) nach Fahrzeugtyp, Ø 2012–2016

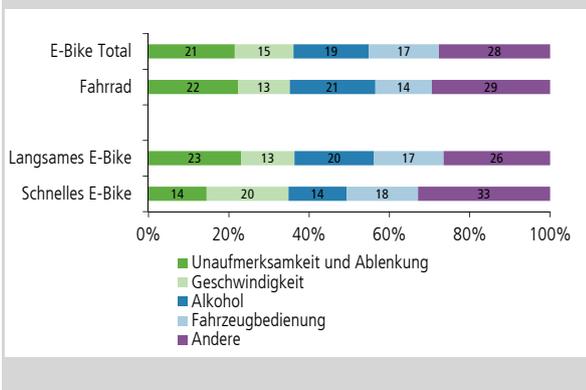


Abbildung 23
Helmtragquote bei verletzten Fahrrad- und E-Bike-Fahrern (ab 14 J.) nach Fahrzeugtyp, Ø 2012–2016

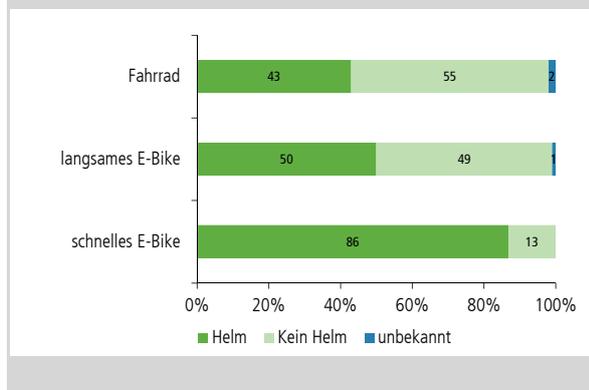


Abbildung 22
Verteilung der Hauptursachen bei E-Bike-Alleinunfällen mit Personenschäden (ab 14 J.) nach Altersklasse, Ø 2012–2016

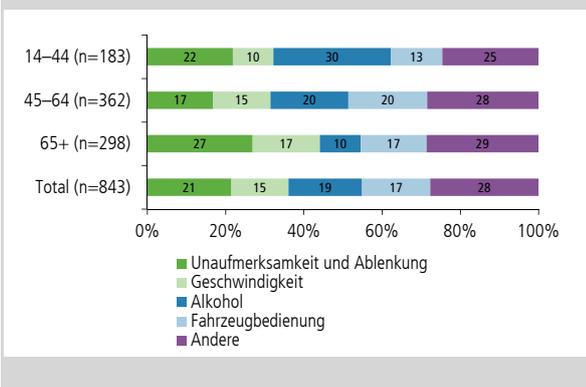
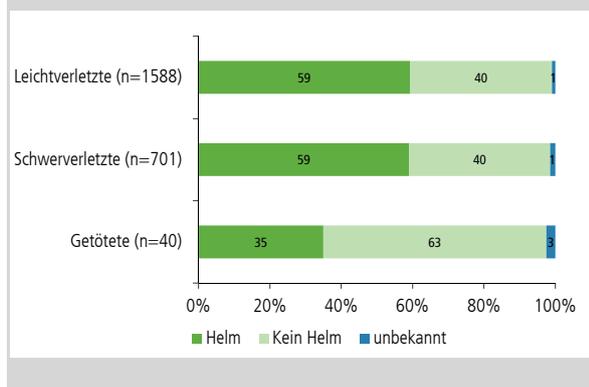


Abbildung 24
Helmtragquote bei verletzten E-Bike-Fahrern nach Verletzungsschwere, Ø 2012–2016



Auch wenn von den Getöteten überdurchschnittlich viele keinen Helm trugen, kann nicht geschlossen werden, dass der fehlende Helm (Mit)ursache für den Todesfall war. Es kann nicht eruiert werden, ob die Getöteten an Kopfverletzungen gestorben sind.

10. Zusammenfassung Unfallanalyse

Die Strassenverkehrsunfallstatistik der Schweiz lässt relativ detaillierte Auswertungen über E-Bike-Unfälle zu. Da sich das Unfallgeschehen der E-Bike-Fahrenden seit Erfassung dieser Fahrzeugkategorie im Unfallprotokoll im Jahr 2011 aber verändert hat (starke Zunahme der Unfälle, tendenzielle Veränderung der Altersstruktur der Nutzer), sind die Daten noch nicht gleich stabil, wie jene von anderen Fahrzeugkategorien. Möglicherweise kommen zukünftige Auswertungen zu anderen Schlussfolgerungen. Ebenfalls einschränkend zu erwähnen sind die Dunkelziffer, von der bei offiziellen Statistiken ausgegangen werden muss, sowie mögliche Abweichungen der registrierten von den effektiven Unfallursachen. Folgende Schlussfolgerungen zum Unfallgeschehen von E-Bike-Fahrenden in der Schweiz lassen sich aus der Strassenverkehrsunfallstatistik ziehen:

1. Die Anzahl der Personenschäden bei E-Bike-Fahrenden hat sich von 2011 bis 2016 mehr als verdreifacht. Diese Entwicklung widerspiegelt die Zunahme der E-Bikes im Strassenverkehr.
2. Je nach Altersklasse verlief die Entwicklung der schweren Personenschäden seit 2011 unterschiedlich: Während die Unfallzahlen der 45- bis 64-Jährigen stetig angestiegen sind, haben jene der 65-Jährigen und älteren nach Jahren starker Zunahme in den letzten beiden Jahren stagniert.
3. Absolut betrachtet finden sich die meisten schwer verunfallten E-Bike-Fahrer in der Altersklasse der 45- bis 64-Jährigen. Die verhältnismässig schwersten E-Bike-Unfälle erleiden die Senioren.
4. Bei den E-Bike-Fahrenden findet sich in der Unfallstatistik ein höherer Anteil an schweren Verletzungen als bei den Radfahrenden. Ein wichtiger Grund dafür sind Unterschiede in der Altersstruktur der Nutzer: E-Bike-Fahrende sind im Durchschnitt älter und damit verletzlicher als Radfahrende. Der Fahrzeugtyp spielt für die Verletzungsschwere nur bei den Alleinunfällen eine Rolle. Während sich Lenkende langsamer E-Bikes bei einem Alleinunfall nicht schwerer verletzen als Radfahrer, zeigt sich bei den schnellen E-Bikes eine höhere relative Wahrscheinlichkeit für eine schwere Verletzung (sowohl im Vergleich zu Radfahrern wie zu Lenkern von langsamen E-Bikes).
5. Bezogen auf die Fahrleistung (pro gefahrenen Kilometer) werden bei den E-Bike-Fahrern mehr schwere Unfälle registriert als bei den Radfahrern. Frauen weisen auf dem E-Bike ein höheres expositionsbereinigtes Risiko für schwere Unfälle auf als Männer. Mit zunehmendem Alter steigt das expositionsbereinigte Risiko für schwere Unfälle an.
6. Bei E-Bike-Fahrern fällt der Anteil an Alleinunfällen an allen registrierten Unfällen signifikant grösser aus als bei den Fahrradfahrern. Vor allem Lenkende von langsamen E-Bikes erleiden verhältnismässig oft schwere Alleinunfälle. Auch dieser Befund ist primär auf die Altersstruktur der Nutzer zurückzuführen (grösserer Anteil an Alleinunfällen bei älteren Personen, die wiederum häufiger ein langsames E-Bike fahren).
7. In Bezug auf Unfallort, -zeit und Umgebungsfaktoren ereignet sich jeweils der grösste Teil der Alleinunfälle von E-Bike-Fahrern: auf gerader Strecke, auf ebenen Strassen (gefolgt vom Gefälle), im Frühling / Sommer, bei Tageslicht,

auf trockener Strasse. Bei den Radfahrern zeigt sich ein vergleichbares Bild.

8. Die häufigsten Hauptursachen bei Alleinunfällen von E-Bike-Fahrenden sind Unaufmerksamkeit und Ablenkung, Alkohol, mangelhafte Fahrzeugbedienung und Geschwindigkeit. Im Vergleich zu den Radfahrern finden sich diesbezüglich keine nennenswerten Unterschiede. Bei den schnellen E-Bikes ist der Anteil an geschwindigkeitsbedingten Unfällen grösser (statistisch jedoch nicht signifikant) als bei den langsamen E-Bikes.

IV. Literaturanalyse

1. Einleitung

Mit der zunehmenden Verbreitung von E-Bikes sind auch die Unfallzahlen angestiegen. Damit wurde dieses Fortbewegungsmittel immer mehr zum Thema für die Verkehrssicherheit. Bereits 2015 wurde im bfu-Report Nr. 72 «E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse» die verfügbare wissenschaftliche Literatur analysiert. Damals wurde festgestellt, dass die Forschung erst am Anfang steht. Inzwischen wurden einige neue Studien publiziert. Nachfolgend wird die Literaturanalyse aus dem letzten Bericht aktualisiert und mit den neusten Erkenntnissen ergänzt. **Ziel** ist es, einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu den sicherheitsrelevanten Aspekten von E-Bikes zu schaffen. Um einen tieferen Einblick in die Ursachen und Hergänge von Alleinunfällen zu gewinnen und etwaige Unterschiede zwischen E-Bike- und Fahrradunfällen zu identifizieren, wird im Bereich der Alleinunfälle auch Literatur aus der Forschung zum konventionellen Fahrradverkehr beigezogen.

Für die **Literaturrecherche** wurde auf die Datenbank PubMed, Suchmaschinen und wissenschaftliche Journals zurückgegriffen. Berücksichtigt wurde nur deutsch- und englischsprachige Literatur (zumindest das Abstract). Obwohl in China viele Studien zum Thema E-Bike publiziert werden, wurden diese Arbeiten mangels Vergleichbarkeit mit dem schweizerischen Kontext (z. B. bzgl. E-Bike-Typen, Nutzergruppe, Verhalten der Nutzer, Infrastruktur) nicht einbezogen.

Diese Literaturanalyse ist in **vier Teile** gegliedert. Im Anschluss an diese Einleitung folgt ein Überblick über die internationalen Forschungsergebnisse zu den Sicherheitsaspekten von E-Bikes (Kap. IV.2, S. 55). In Kapitel IV.3, S. 76 wird spezifisch die Literatur zum Thema Alleinunfälle dargestellt (E-Bike und Fahrrad). Am Ende dieses Kapitels folgt ein Fazit.

Da sich verschiedene Länder in Bezug auf Art (z. B. erlaubte Höchstleistung) und Anteile der verwendeten E-Bike-Typen wie vermutlich auch in Bezug auf Infrastruktur, Normen und Verhalten der Zweiradfahrer unterscheiden, sollten die **Erkenntnisse immer im jeweiligen Kontext** gesehen und nur unter Vorbehalt auf andere Länder transferiert werden. Des Weiteren gilt es zu beachten, dass sich der Marktanteil der E-Bikes, die technische Entwicklung und die Käuferschaft über die letzten Jahre verändert hat bzw. sich auch in Zukunft verändern könnte (z. B. vermehrt jüngere Käufer). Aus diesem Grund sollte ebenfalls Vorsicht gewahrt werden, wenn es darum geht, Befunde aus früheren Jahren auf die Zukunft zu übertragen.

2. Literatur zu Sicherheitsaspekten von E-Bikes

Die Sicherheit von E-Bike-Fahrten wird international (ausgenommen China) erst seit ca. sieben Jahren untersucht. Dennoch wurde bereits eine breite Palette von Themen behandelt. Diese werden in dieser Darstellung in folgende Bereiche gegliedert: Fahrgeschwindigkeit, Verhalten, Voraussetzungen und Sicherheitsgefühl, kritische Situationen und

Unfälle, Verletzungsschwere, technische Sicherheit, Einschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer und Infrastruktur.

2.1 Fahrgeschwindigkeit

Durch die Unterstützung des Elektromotors bieten E-Bikes den Lenkern die Möglichkeit, höhere Geschwindigkeiten zu erzielen als mit konventionellen Fahrrädern. Verschiedene Studien haben gezeigt, dass E-Bike-Fahrende diese Möglichkeit tatsächlich nutzen und schneller unterwegs sind als Fahrradfahrer. Je nach E-Bike-Typ, Nutzergruppe oder Situation fallen die Geschwindigkeitsdifferenzen aber unterschiedlich aus.

Die Geschwindigkeit von E-Bikes und Fahrrädern kann mit verschiedenen Methoden erfasst werden. Bei Fahrverhaltensbeobachtungen wird die Geschwindigkeit während der Fahrt aufgezeichnet. Verwendet werden dafür instrumentierte Fahrzeuge oder stationäre Geschwindigkeitsmessinstrumente. Bei der Unfallrekonstruktion wird die Geschwindigkeit anhand der Spuren an der Unfallstelle rekonstruiert. Auch Lenkerbefragungen werden zur Erhebung der Geschwindigkeit eingesetzt. Es ist aber davon auszugehen, dass auf Selbstauskunft basierende Geschwindigkeitsangaben nicht sehr zuverlässig sind, denn viele Personen scheinen keine genauen Angaben zu ihren gefahrenen Geschwindigkeiten machen zu können (vgl. [vgl.: 22]). Nachfolgend werden deshalb nur Erkenntnisse aus Fahrverhaltensbeobachtungen und der Unfallrekonstruktion berichtet.

a) Erkenntnisse aus Fahrverhaltensbeobachtungen mit instrumentierten Fahrzeugen

Mit instrumentierten E-Bikes (Videokameras, Sensoren, GPS) kann das Verhalten von E-Bike-Fahrenden im realen Umfeld umfassend erforscht werden. Bei der Literaturrecherche konnten fünf wissenschaftliche Studien aus Deutschland, Schweden, den Niederlanden und den USA identifiziert werden, welche diese Methode anwendeten. Nur zwei dieser Studien basieren auf Fahrverhaltensbeobachtungen, bei denen die Teilnehmenden mit dem eigenen Fahrzeug teilnahmen. Beide Studien verwendeten denselben Datenpool. Es handelt sich dabei um die «German naturalistic cycling study» [4]; sowie um eine spezifische Analyse dieser Daten im Zusammenhang mit Konflikten im Strassenverkehr [23]. Die Daten stammen von 90 Teilnehmenden (Durchschnittsalter 51,5 Jahre, +/- 17,2), deren Fahrverhalten während 4 Wochen aufgezeichnet wurde. Bei den anderen drei identifizierten Studien handelt es sich um eine Auswertung von Daten eines Fahrrad-/E-Bike-Verleihsystems an einer Universität [24], ein Feldexperiment mit vorgegebenen Strecken [25] sowie eine zweiwöchige Fahrverhaltensbeobachtung mit wenigen Teilnehmern (12 E-Bike-Fahrer) [26]. Bei den letzten beiden Arbeiten waren auch Teilnehmende dabei, die nur für den Studienzweck E-Bike fuhren. Trotz unterschiedlicher Studienqualität und Teilnehmergruppen können aus den Studien vergleichbare Schlussfolgerungen gezogen werden.

Alle fünf der identifizierten Studien zeigen, dass die **Durchschnittsgeschwindigkeiten** von E-Bike-Fahrern über jenen der Radfahrer liegen [4,24-26]. Dies gilt auch für die Geschwindigkeit unmittelbar vor potenziell kritischen Situationen (sog. Konflikte) [23]. Auch der **Anteil** der zurückgelegten

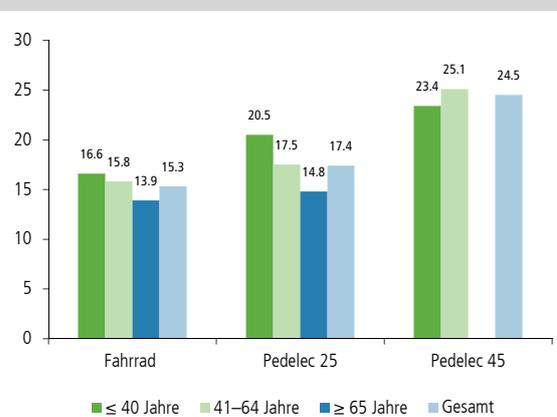
Distanzen in höheren Geschwindigkeitsbereichen fällt bei den E-Bikes grösser aus [4]. Bei beiden Massen liegen die **schnellen E-Bikes** deutlich über den beiden anderen Zweiradtypen. In der «German naturalistic cycling study» beispielsweise lag ihre Durchschnittsgeschwindigkeit 7 km/h über jener der langsamen E-Bikes und 9 km/h über jener der Radfahrer (Durchschnittsgeschwindigkeit konventionelle Fahrräder: 15,3 km/h (+/- 2,3), langsame E-Bikes: 17,4 km/h (+/- 4,4), schnelle E-Bikes: 24,5 km/h (+/- 3,1) (Abbildung 25). Rund 60 % ihrer gefahrenen Distanzen legten die Lenker von schnellen E-Bikes mit einer Geschwindigkeit von 25 km/h oder höher zurück. Bei den langsamen E-Bikes betrug dieser Anteil rund 20 %, bei den Fahrrädern knapp 12 %. Nur der Unterschied zwischen den schnellen E-Bikes und den anderen beiden Zweiradtypen war hierbei statistisch signifikant. Darüber hinaus wurde nachgewiesen, dass die Geschwindigkeiten bei den E-Bike-Fahrern generell stärker variieren als bei den Fahrradfahrern [4].

Weitere Unterschiede in den Fahrgeschwindigkeiten wurden in Bezug auf das Alter und das Geschlecht der Lenker, die Komplexität der Situation und den Infrastrukturstyp nachgewiesen. **Ältere**

Personen realisieren die potenziell höheren Geschwindigkeiten von E-Bikes weniger als jüngere [4,25] In der «German naturalistic cycling study» fuhren die über 65-jährigen Lenker von langsamen E-Bikes im Mittel zwar etwas schneller als die gleichaltrigen Fahrradfahrer (14,8 km/h vs. 13,9 km/h), tendenziell waren sie aber langsamer unterwegs als junge und mittelalte Fahrradfahrer (16,6 km/h bzw. 15,8 km/h). Die gemessenen mittleren Geschwindigkeiten nach Fahrzeugtyp und Alter finden sich in Abbildung 25. Der Alterseffekt fand sich auch unter spezifischen Fahrbedingungen (Strassenverlauf, Infrastruktur) und unabhängig vom Fahrzeugtyp. Selbst bergab, d. h. in einer Situation ohne grosse Anforderungen an die physische Kraft, fuhr die älteste Altersgruppe sowohl mit Fahrrädern wie mit E-Bikes langsamer als die jüngeren beiden Gruppen [4]. Schleinitz sieht eine mögliche Erklärung darin, dass ältere Personen vorsichtiger fahren als jüngere [27]. In denselben Daten fand sich auch ein **Geschlechtseffekt**: Frauen waren im Durchschnitt signifikant langsamer unterwegs als Männer [23].

Weitere Geschwindigkeitsanalysen wurden hinsichtlich Komplexität der Situation und Infrastruktur durchgeführt. Sie weisen auf reduzierte Fahrrad- und E-Bike-Geschwindigkeiten in **anspruchsvollen Situationen** [25] und auf **Infrastrukturen mit vielen Interaktionen** (bzw. ohne freie Fahrt) [4,28,29] hin. In einem holländischen Feldexperiment reduzierten die E-Bike-Fahrer ihre Geschwindigkeit in anspruchsvollen Situationen sogar stärker als die Fahrradfahrer, so dass sich die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Fahrrädern und E-Bikes verringerten [25]. Ein weiterer Einflussfaktor für die Geschwindigkeit von Zweiradfahrern ist der der **Strassenverlauf** (Steigung, Gefälle, Ebene) [4].

Abbildung 25
Durchschnittliche Geschwindigkeit in km/h nach Fahrzeugtyp und Altersgruppe



Quelle: [4], S. 293, Darstellung bfu

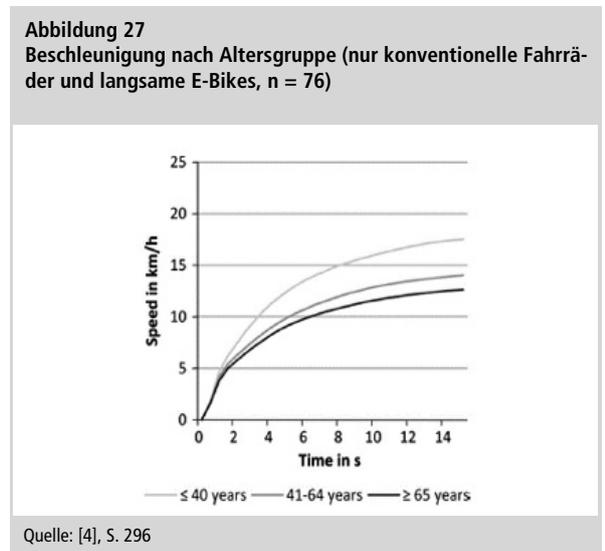
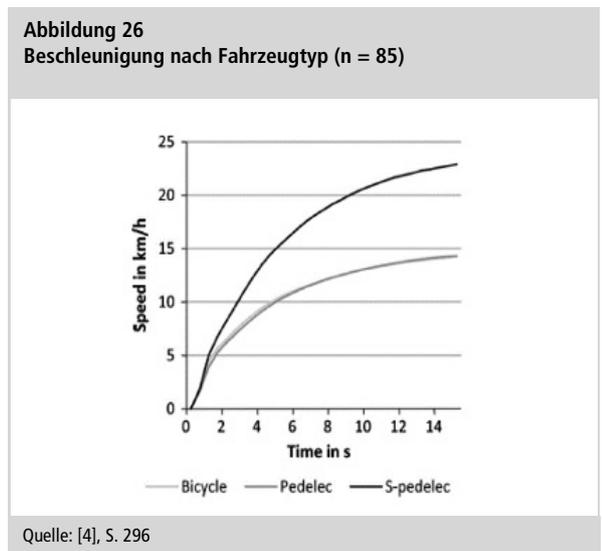
In der «German naturalistic cycling study» wurden auch die **Beschleunigungsgeschwindigkeiten** von E-Bikes und Fahrrädern beim Anfahren erfasst. Erhoben wurde die Entwicklung der Geschwindigkeit innerhalb von 15 Sekunden nach einem Stillstand. Auch hier zeigten sich wiederum Unterschiede zwischen verschiedenen Fahrzeugtypen und Altersgruppen. Die schnellen E-Bikes beschleunigten deutlich stärker als die anderen beiden Gruppen. Nach 2,5 s waren sie im Durchschnitt über 2 km/h schneller als konventionelle Fahrräder und langsame E-Bikes, nach 5 s betrug die Differenz beinahe 5 km/h. Zwischen den langsamen E-Bikes und den Fahrrädern wurden hingegen keine Unterschiede festgestellt (Abbildung 26). Die Autoren weisen darauf hin, dass **Geschwindigkeit und Alter konfundiert** sind. Da die Lenker der schnellen E-Bikes im Durchschnitt jünger waren als die anderen Gruppen, könnte der Effekt des E-Bike-Typs in Wirklichkeit geringer sein als dies der Graph suggeriert. In Abbildung 27 ist die Beziehung zwischen Alter und Beschleunigung dargestellt. Einbezogen wurden nur konventionelle Fahrräder und langsame E-Bikes. Auch hier war die jüngste Altersgruppe am schnellsten: Sie erreichte einen bestimmten Geschwindigkeitslevel deutlich schneller als die beiden anderen Altersgruppen.

Zwischen der mittleren und der ältesten Gruppe scheint ebenfalls ein Unterschied zu bestehen, wenn auch weniger ausgeprägt. Die ältesten E-Bike-Fahrer beschleunigten am schwächsten [4].

Einschränkend muss festgehalten werden, dass in den zitierten Studien nur wenige oder zum Teil gar keine schnellen E-Bikes vertreten waren. Darüber hinaus sind die E-Bikes in den Studienländern oft leistungsschwächer als jene in der Schweiz (z. B. Deutschland: langsame E-Bikes max. 250 W, schnelle E-Bikes max. 500 W; Schweiz: langsame E-Bikes 500 W, schnelle E-Bikes 1000 W). Daher können die Befunde nicht eins zu eins auf die Schweiz übertragen werden.

b) Erkenntnisse aus Fahrverhaltensbeobachtungen mit stationären Geschwindigkeitsmessungen (Radarpistole, Videoaufnahmen bzw. Stoppuhren) oder Verfolgungsfahrten

Drei weitere Studien aus Österreich, Deutschland und der Schweiz haben die Geschwindigkeit von E-Bikes im natürlichen Umfeld mittels Messinstrumenten erhoben, die nicht am Untersuchungsfahrzeug selber angebracht waren. Da mit diesen Methoden aber nur ein kleiner Ausschnitt einer



Fahrt gemessen werden kann, handelt es sich bei den Angaben nur um **punktuell gemessene Durchschnittsgeschwindigkeiten**, weshalb die Ergebnisse nicht uneingeschränkt generalisiert werden können. Zudem kann der Einfluss des Alters und anderer interessierender Variablen nur rudimentär berücksichtigt werden. Der Vorteil der Methode besteht aber darin, dass die Geschwindigkeiten der Zweiradfahrer an denselben Stellen gemessen werden, es sich also um standardisierte Situationen handelt. Die Ergebnisse weisen in dieselbe Richtung wie die Befunde der «German naturalistic cycling study»: E-Bike-Fahrer sind tendenziell schneller unterwegs als Fahrradfahrer (entweder Durchschnittsgeschwindigkeit oder anteilmässig in spezifischen Geschwindigkeitsbereichen). Dies gilt aber vor allem für schnelle E-Bikes und jüngere Personen.

In der österreichischen Studie waren Lenker von langsamen E-Bikes auf ebenen, kreuzungsfreien Streckenabschnitten mit durchschnittlich 19,7 km/h tendenziell (jedoch nicht signifikant) schneller unterwegs als Standard- bzw. City-Radfahrer (18,5 km/h), aber deutlich langsamer als Rennradfahrer (24,2 km/h). Männer fuhren zudem schneller als Frauen und unter 65-Jährige schneller als Ältere [16]. In Deutschland wurde bei langsamen E-Bikes eine mittlere Geschwindigkeit von 18,5 km/h gemessen, bei den Standard-/City-Fahrrädern 18,3 km/h und bei den Rennrädern 25,5 km/h. Eine Konfundierung von Fahrzeugtyp und Alter wäre allerdings möglich (im Sinne, dass ältere Personen häufiger ein E-Bike fahren als jüngere). Die meisten der beobachteten, mehrheitlich älteren E-Bike-Fahrer reduzierten ihre Geschwindigkeit bei der Annäherung an Wegstücke mit einer höheren Dichte an Fussgängern oder Aufenthaltsnutzern so weit, dass keine kritischen Situationen entstanden. Offen bleibt jedoch, wie

stark dieses defensive Verhalten gegenüber Fussgängern durch den hohen Senioren-Anteil der E-Bike-Nutzer beeinflusst ist. Einige E-Bike-Fahrer fuhren allerdings auch bei höherem Fussgänger-aufkommen mit unangepassten Geschwindigkeiten [30,31].

Die Erhebungen in der **Schweiz** wurden im städtischen Raum in Bern und Genf zu den Hauptverkehrszeiten durchgeführt. Von den beobachteten Lenkern wurden nur 10 bzw. 18 % als «älter» (Seniorenalter) eingeschätzt, was vermutlich weniger ist als in der Gesamtpopulation der E-Bike-Fahrer in der Schweiz. Aufgrund der Altersverteilung, der Beobachtungsorte und -zeiten dürften in dieser Stichprobe jüngere Pendler übervertreten sein. Schnelle E-Bikes wurden häufiger von Männern, langsame häufiger von Frauen gefahren. Die durchschnittlichen punktuellen Geschwindigkeiten der langsamen E-Bikes betragen je nach Strassenverlauf zwischen 20 und 27 km/h (Abbildung 28, S. 60). Auf flachen Abschnitten waren langsame E-Bikes und konventionelle Fahrräder ähnlich schnell unterwegs, in Steigungen fuhren langsame E-Bikes 4–6 km/h schneller. In weiteren Analysen wurde bei den Fahrrädern ein deutlich stärkerer Einfluss der Neigung (im Sinne von Geschwindigkeitsunterschieden zwischen Steigung und Gefälle) festgestellt als bei den langsamen E-Bikes. In starken Steigungen wiesen die Fahrradfahrer Durchschnittsgeschwindigkeiten von 12–13 km/h auf, auf flachen Abschnitten bzw. abwärts 25–27 km/h. Schnelle E-Bikes waren mit mittleren Geschwindigkeiten von 26–35 km/h unterwegs. Sie fuhren bei allen Strassenlagen schneller als langsame E-Bikes und Fahrräder. In Steigungen waren sie gar 9–12 km/h schneller als konventionelle Fahrräder [3]. Aus diesen Messungen lässt sich schliessen, dass die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen den drei Fahrzeugtypen in Steigungen

grösser ausfallen als auf flachen Abschnitten. In der «German naturalistic cycling study» zeigte sich diesbezüglich ein anderes Bild (Geschwindigkeitsdifferenz unabhängig von der Neigung) [4]. Die Resultate aus der Schweiz erscheinen jedoch plausibler.

Weiter wurde bei den Messungen in der Schweiz auch die Geschwindigkeit bei Überholmanövern erfasst. Dabei wurden mit 6–12 km/h erhebliche Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den überholenden E-Bikes und den überholten (Elektro-)Fahrrädern festgestellt [3].

c) Erkenntnisse aus der Unfallrekonstruktion

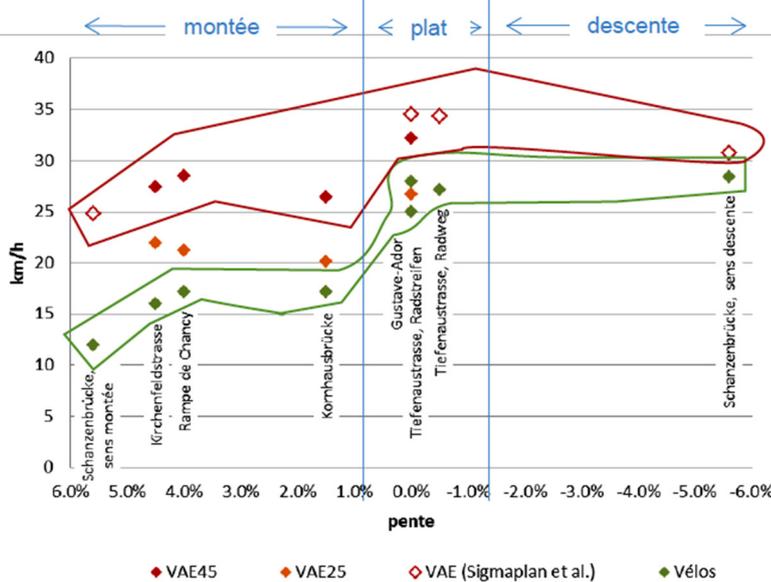
In einer aktuellen, deskriptiven Arbeit mit GIDAS-Daten (German-In-Depth-Accident-Study) wurde spezifisch die **Geschwindigkeit von E-Bike- und Fahrradfahrern bei Alleinunfällen** analysiert (inkl. Kollision mit Objekten). Die vorhandenen Daten betrafen über 580 Radfahrer und 23 Fahrer

von langsamen E-Bikes. Es zeigten sich keine bedeutsamen Unterschiede in der Geschwindigkeitsverteilung zwischen den beiden Fahrzeugtypen. Sowohl bei Fahrrädern wie bei E-Bikes lagen ca. 80 % der Werte unterhalb von 15 bis 17 km/h [7]. Da die Werte häufig auf Schätzungen bei der Rekonstruktion basieren und nur eine geringe Zahl von E-Bikes sowie keine schnellen E-Bikes vertreten waren, können für die Schweiz kaum Erkenntnisse zur Fahrgeschwindigkeit von E-Bikes abgeleitet werden.

d) Fazit Fahrgeschwindigkeit

Zusammenfassend lässt sich mittels der verfügbaren Literatur feststellen, dass mit E-Bikes schneller gefahren wird als mit Fahrrädern. Dies zeigt sich anhand der Durchschnittsgeschwindigkeiten wie auch anhand des Anteils der zurückgelegten Distanzen in höheren Geschwindigkeitsbereichen. Bei beiden Massen liegen die schnellen E-Bikes deutlich über den beiden anderen Zweiradtypen. Dies gilt auch für

Abbildung 28
Durchschnittliche punktuelle Geschwindigkeiten nach Fahrzeugtyp und Strassenverlauf (Steigung, Ebene, Gefälle)



Quelle: [3], S. 67

die Beschleunigung beim Anfahren. Bei den langsamen E-Bikes werden zwar mehrheitlich ebenfalls höhere Geschwindigkeiten gemessen als bei den konventionellen Fahrrädern. Sie bewegen sich aber näher am Geschwindigkeitsspektrum der Radfahrer. Dabei bestehen Wechselwirkungen mit dem Alter und dem Geschlecht der Lenker: Ältere Personen und Frauen realisieren die potenziell höheren Geschwindigkeiten von E-Bikes weniger als jüngere Personen und Männer. Werden die Durchschnittsgeschwindigkeiten von langsamen und schnellen E-Bikes betrachtet, muss bedacht werden, dass erstere vermehrt von tendenziell «langsamer» fahrenden Senioren und letztere von tendenziell schneller fahrenden jüngeren Erwachsenen genutzt werden. Als weitere Einflussfaktoren auf die gefahrenen Geschwindigkeiten wurden die Situation (Komplexität, Häufigkeit von Interaktionen) und der Strassenverlauf (eben, Steigung, Gefälle) identifiziert. In Steigungen fallen die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen E-Bikes und Fahrrädern grösser aus als auf flachen Abschnitten.

Die ermittelten absoluten Differenzen in den Geschwindigkeiten zwischen E-Bikes und konventionellen Fahrrädern variieren je nach Studie, E-Bike-Typ, Alter der Nutzer und Ort der Messung beträchtlich. Eine studienübergreifende Aussage kann deshalb nur vorsichtig und grob getroffen werden. Die Differenzen in den Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen Fahrrädern und langsamen E-Bikes dürften sich im Bereich von 1–4 km/h bewegen, jene zwischen Fahrrädern und schnellen E-Bikes im Bereich von 5–9 km/h. Konkrete Angaben zur prozentualen Differenz sind aufgrund der verfügbaren Studien noch schwieriger zu schätzen. Bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit eines Fahrrads von 18 km/h würden eine Erhöhung der Geschwindigkeit um 3 km/h oder um 7 km/h prozentuale Zunahmen von

17 % bzw. 39 % bedeuten. Diese prozentualen Geschwindigkeitsänderungen können im Falle eines Unfalls beträchtliche Folgen auf die Unfallkonsequenzen haben. Gemäss Power Modell der Geschwindigkeit führt bereits eine Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit um 10 % zu einem Anstieg der Anzahl Schwerverletzten um 33 % und der Anzahl Getöteten um 54 % [32].

Festgestellt wurde zudem eine höhere Variation der Geschwindigkeiten bei E-Bikes im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern. Dies könnte besondere Anforderungen an die Infrastruktur stellen, da es zu vermehrten Überholvorgängen von Zweiradfahrern untereinander kommen könnte [4,29]. Bei diesen Überholvorgängen wurden erhebliche Geschwindigkeitsunterschiede (6–12 km/h) zwischen den überholenden E-Bikes und den überholten Elektro-Fahrrädern beobachtet [3]. Möglicherweise sind durch die höhere Variation der Geschwindigkeiten bei E-Bikes auch andere Verkehrsteilnehmer (als potenzielle Unfallgegner) stärker gefordert, weil sie mit einer grösseren Spannbreite an gefahrenen Geschwindigkeiten konfrontiert sind.

2.2 Verhalten

Die existierenden Arbeiten zum Fahr- und Schutzverhalten von E-Bike-Fahrern haben sich mit sehr unterschiedlichen Bereichen befasst. Konkret sind dies die Themen Überholvorgänge, (selbstberichtetes) Fahrverhalten, regelwidriges Verhalten, Helmtragquote, Teilnahme an E-Bike-Fahrkursen.

E-Bike-Lenker **überholen** im Strassenverkehr mehr andere Radfahrende als die Lenker von konventionellen Fahrrädern. Zu diesem Schluss kommen zwei Studien, in welchen das Fahrverhalten von E-Bike- und Radfahrern aufgezeichnet wurde. Bei der ersten

Studie wurde das Fahrverhalten von Fahrrad- und E-Bike-fahrenden Senioren mit Hilfe von Verfolgungsfahrten (Video- und GPS-Technik) erfasst. Die grosse Mehrheit der Beobachteten fuhr ein langsames E-Bike. Die Senioren mit konventionellen Fahrrädern wurden erheblich häufiger durch andere Radfahrer überholt, als dass sie selber andere überholt hätten. Bei den Senioren mit E-Bikes zeigte sich ein umgekehrtes Bild [30]. Diese Beobachtungen decken sich mit den Resultaten einer Befragung, die vom selben Forschungsteam durchgeführt wurde. Die Teilnehmenden gaben an, mit dem E-Bike mehr Fahrradfahrer zu überholen als mit dem konventionellen Fahrrad [30]. Bei der zweiten Beobachtungsstudie handelt es sich um eine neue Arbeit aus der Schweiz. Die Überholvorgänge und die Geschwindigkeiten während dieser Vorgänge wurden mittels stationärer Messmethoden aufgezeichnet. Einbezogen wurden alle Altersklassen von Lenkern. Mehrheitlich handelte es sich aber um jüngere Pendler. Auch in dieser Studie überholten die E-Bike-Fahrer häufiger andere Radfahrende als die Fahrer von konventionellen Fahrrädern. Dies traf aber vor allem auf die schnellen E-Bikes zu. Bei den langsamen E-Bikes spielte der Strassenverlauf (Neigung) eine Rolle. In Steigungen überholten sie häufiger als Fahrradfahrer, auf ebener Strecke hingegen etwa gleich oft. Wie bereits weiter oben dargelegt, fielen die aufgezeichneten Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den überholenden E-Bikes und den überholten (Elektro-)Fahrrädern mit 6–12 km/h oft erheblich aus. Je nach Standort konnten 25–50 % der beobachteten Fälle das Überholmanöver nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen (z. B. ungenügender Abstand, Tramgleise) durchführen [3].

Gemäss Selbstbericht fahren ältere Personen und Frauen **sicherheitsorientierter** E-Bike als jüngere Personen und Männer [10,30]. Als weitere

mögliche Einflussfaktoren auf das (selbstberichtete) Fahrverhalten wurden die Nutzungshäufigkeit und die Vorerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad identifiziert. Personen, die weniger häufig E-Bike fahren und Personen, die vor ihrer E-Bike-Nutzung weniger Fahrerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad aufwiesen, fahren nach eigenem Bekunden vorsichtiger E-Bike. Möglicherweise ist das sicherheitsorientiertere Fahren der älteren und der ungeübteren E-Bike-Fahrer auf eine subjektive Unsicherheit zurückzuführen [10].

Bisher haben zwei Studien das **regelwidrige Verhalten** von Fahrrad- und E-Bike-Fahrern verglichen. In einer Arbeit aus den USA mit Leih-Rädern wurden diesbezüglich keine Unterschiede festgestellt. Fahrrad- und E-Bike-Nutzer wiesen ähnlich (schlechte) Raten an Fahrten in die falsche Richtung und ähnlich (schlechte) Anhaltequoten an Knoten mit Stopp-Signalen oder Lichtsignalen auf [24]. In der «German naturalistic cycling study» legten alle drei Lenkergruppen (schnelle / langsame E-Bikes und Fahrräder) den Grossteil ihrer gefahrenen Kilometer auf der vorgeschriebenen Infrastruktur in der korrekten Fahrtrichtung zurück (im Mittel rund 89 %). War dies nicht der Fall, so fuhren die Teilnehmer am häufigsten auf dem Gehweg. Dies kam bei allen drei Fahrzeugtypen vor, bei den Radfahrern jedoch am meisten. E-Bike-Fahrer umgingen eher das Gebot, strassenbegleitende Rad- und Gehwege zu nutzen. Entgegen der in Deutschland geltenden Vorschrift, fuhren auch Lenker von schnellen E-Bikes auf Radwegen [28].

Gemäss Erhebungen der bfu trugen im Jahr 2017 in der Schweiz 46 % (+/- 7 %) der Radfahrer einen **Fahrradhelm**. Bei den Lenkern langsamer E-Bikes betrug dieser Anteil 66 % (+/- 10 %). Die höchste Helmtragquote war mit 83 % (+/- 12 %) bei den

Lenkern schneller E-Bikes zu verzeichnen [33]. Ein ähnliches Bild ergab eine Beobachtungsstudie in Bern und Genf, wo bei den langsamen E-Bikes eine Helmtragquote in der Grössenordnung von 75 % und bei den schnellen von 95 % erhoben wurde (ohne Angabe von Konfidenzintervallen). Auch nach Selbstauskunft tragen die Lenker von schnellen E-Bikes häufiger einen Helm als die Lenker von langsamen E-Bikes: In einer Befragung der bfu gaben 92 % der Lenker schneller E-Bikes an, den Helm immer zu tragen. Bei den Lenkern langsamer E-Bikes waren es 69 %. Mit 1 % bzw. 6 % war der Anteil der E-Bike-Fahrer, die angaben, nie einen Helm zu tragen, sehr gering [34]. Ein Grund, dass die schnellen E-Bikes die höchste Helmtragquote aufweisen, dürfte das seit Juli 2012 geltende Helmobligatorium für diese Fahrzeugkategorie sein.

Schulungen und **Fahrtrainings** für ungeübte Personen, die zum ersten Mal ein E-Bike benutzen, werden als sinnvoll erachtet [16,30]. Der Anteil der Personen, der einen Fahrkurs besucht, fällt aber gering aus. Bei einer Befragung in Deutschland gaben nur 2 % der etwas über 300 Befragten an, an einer E-Bike-Schulung teilgenommen zu haben [30]. Die bfu hat untersucht, welche Personen an E-Bike-Fahrkursen teilnehmen. Die Kurse wurden vom Touring Club Schweiz TCS durchgeführt. 122 Personen nahmen an der Befragung teil. Mit knapp 63 % waren die Frauen in der Mehrheit. Das Durchschnittsalter lag bei 62 Jahren ($SD = 12$). Im Durchschnitt fuhren die Befragten seit 24 Monaten ($SD = 37$) E-Bike. Die Hälfte besuchte den Kurs in den ersten 9 Monaten ($Md = 9$ Mt.), 40 % in den ersten 3 Monaten seit Beginn ihrer E-Bike-Nutzung. 12 % hatten bereits mindestens einen Selbstunfall erlebt. Kollisionen waren deutlich seltener (2 %). Ein eigenes E-Bike besaßen nur 57 % der Befragten. Der grösste Teil (59 %) fuhr ein langsames, 8 % ein

schnelles E-Bike. Rund ein Drittel machte keine Angabe oder wusste nicht, um welchen E-Bike-Typ es sich handelt. Verschiedene Befragungsergebnisse weisen darauf hin, dass die Kursteilnehmer eher sicherheitsorientiert sind und ein relativ hohes Gefahrenbewusstsein hinsichtlich des E-Bikes aufweisen [35].

2.3 Voraussetzungen und Sicherheitsgefühl

Es ist davon auszugehen, dass die meisten E-Bike-Fahrer vor Beginn ihrer E-Bike-Nutzung mehr oder weniger regelmässig **Fahrrad gefahren** sind. In einer deutschen Befragung von Lenkern von langsamen E-Bikes gaben 91 % der Befragten an, im letzten Jahr vor der E-Bike-Nutzung Fahrrad gefahren zu sein (davon 62 % mindestens mehrmals wöchentlich). Nur bei 9 % handelte es sich um **Neueinsteiger**. Darunter befanden sich Personen aller Altersgruppen [30]. In einer Befragung von Lenkern schneller E-Bikes in der Schweiz berichteten rund 60 % der Befragten, vor der Zeit ihrer E-Bike-Nutzung regelmässig Fahrrad gefahren zu sein. 30 % sind gelegentlich Fahrrad gefahren. 10 % wiesen praktisch keine Erfahrung mit dem Fahrrad auf [10]. Eine Käuferstudie aus der Schweiz ergab zudem, dass 71 % der E-Bike-Besitzer neben dem E-Bike mindestens ein weiteres Fahrrad nutzen bzw. besitzen [11].

Sicheres Fahrrad- und E-Bike-Fahren im Strassenverkehr setzt gewisse **psychomotorische Fähigkeiten** voraus. Eine experimentelle Studie aus den Niederlanden hat ergeben, dass ältere (65 + Jahre) im Vergleich zu jüngeren (30–45 Jahre) Personen mehr Schwierigkeiten haben, E-Bikes und Fahrräder zu stabilisieren, wenn sie langsam fahren (7 km/h) und dabei Handzeichen geben oder den Schulterblick

ausführen müssen. Dies zeigte sich daran, dass die älteren Teilnehmer häufiger zusätzliche Stabilisierungsbewegungen (Steuer- und Neigungsbewegungen) vornahmen als die jüngeren. Die selbstberichteten Fähigkeiten im Umgang mit dem Zweirad korrelierten höchstens schwach und meist nicht signifikant mit der tatsächlichen motorischen Leistung bei den Fahraufgaben. Im Durchschnitt gaben sowohl die älteren wie die jüngeren Teilnehmer an, etwas besser Rad zu fahren als Gleichaltrige [36]. In einem weiteren holländischen Experiment wurde der Frage nachgegangen, ob sich E-Bikes und Fahrräder hinsichtlich der **Stabilität beim Anfahren** unterscheiden. Verwendet wurde ein langsames E-Bike (bis 25 km/h) mit Drehmomentsensor. Das Anfahren wurde in zwei Phasen eingeteilt: 1. Vom Stand am Boden zur Balance (bis Erreichen einer Geschwindigkeit von 6 km/h), 2. Beschleunigung nach Phase 1 bis Erreichen von 10 km/h. Als Indikator für die Stabilität wurde jeweils die benötigte Zeit für zwei Anfahrphasen verwendet (je kürzer die Dauer desto höher die Stabilität). Die Autoren kamen zum Schluss, dass E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern in Phase 1 weniger stabil sind. Für Personen mit geringer Muskelkraft fiel dieser Unterschied noch akzentuierter aus. In Phase 2 scheint sich dann der Vorteil der elektrischen Unterstützung zu entfalten. Mit E-Bikes wurde in dieser Phase generell stabiler gefahren als mit Fahrrädern [37].

Neben psychomotorischen stellt die Teilnahme am Strassenverkehr auch **kognitive Anforderungen**. In einem Feldexperiment wurde geprüft, ob E-Bikes aufgrund der höheren Geschwindigkeiten in komplexen Verkehrssituationen höhere Anforderungen an die mentale Arbeitsbelastung stellen als Fahrräder. Diese Vermutung wurde im Experiment nicht bestätigt. Die Komplexität der Fahrstrecke stand wie

auch das Alter der Lenkenden signifikant mit der Arbeitsbelastung in Zusammenhang (höhere Arbeitsbelastung auf komplexen Strecken und bei älteren Personen), dies jedoch unabhängig vom verwendeten Fahrzeugtyp. Als Grund für den fehlenden Effekt des Fahrzeugtyps vermuten die Autoren, dass die Lenker die Geschwindigkeit reduzierten, wenn die Aufgabe zu anspruchsvoll geworden wäre [25]. Zwei weitere Studien gingen der Frage nach, ob die körperliche Entlastung, welche der E-Bike-Motor mit sich bringt, nicht auch zu einer Reduktion der kognitiven (mentalen) Belastung führen könnte, dass also E-Bike-Fahrer während der Fahrt mehr kognitive Kapazität zur Verfügung haben als Fahrradfahrer. Bei beiden Studien mussten die Teilnehmer mit beiden Fahrzeugtypen einen Parcours absolvieren und dabei kognitive Aufgaben lösen. Die Hypothese musste in beiden Studien verworfen werden. In der ersten Studie führte eine höhere körperliche Anstrengung (anstrengender Parcours) in komplexen Verkehrssituationen zwar zu schlechteren kognitiven Leistungen. Zwischen den Fahrrad- und den E-Bike-Fahrten ergab sich hierbei aber kein Unterschied. Hingegen wurde ein Alterseffekt gefunden: Die älteren Teilnehmer (65 + Jahre) wiesen generell längere Reaktionszeiten und tiefere Trefferraten bei der kognitiven Aufgabe auf als die jüngeren (30–45 Jahre). Auch dieser Effekt trat aber unabhängig vom genutzten Zweiradtyp auf. Da in dieser Studie aber nur kurze Strecken zurückgelegt werden mussten, werfen die Autoren die Frage auf, ob sich ihre Hypothese vielleicht auf längeren Strecken bestätigen würde, vor allem bei älteren Personen mit weniger Kraft [38]. Die zweite Arbeit zeigte, dass die durchschnittliche Pulsfrequenz in Steigungen bei der Nutzung von E-Bikes signifikant geringer ausfällt als bei der Nutzung von konventionellen Fahrrädern. Auch in dieser Arbeit wurde aber kein Effekt von Neigung

oder Zweiradtyp auf die mentale Belastung gefunden [39].

In verschiedenen Ländern wurden E-Bike-Fahrer nach ihrem **Sicherheitsempfinden** im Strassenverkehr und nach allfälligen **Gefahren** beim E-Bike-Fahren befragt. Die grosse Mehrheit scheint sich auf dem E-Bike sicher zu fühlen [40,41]. Eine Minderheit beurteilt das Fahren mit dem E-Bike als gefährlicher als das Fahren mit dem unmotorisierten Fahrrad [10,30]. Andere erachten E-Bike-Fahren hingegen als sicherer als Fahrradfahren, unter anderem weil sie das Anfahren als stabiler empfinden oder glauben, durch schnelleres Beschleunigen potenzielle Kollisionen verhindern zu können [40,42]. Viele E-Bike-Fahrer dürften sich bewusst sein, dass andere Verkehrsteilnehmer ihre Geschwindigkeit unterschätzen [10,30]. In einer Befragung von Lenkern schneller E-Bikes stimmten gar 96 % einer entsprechenden Aussage zu. Die Mehrheit (75 %) wusste auch, dass der Anhalteweg des E-Bikes länger und die Geschwindigkeit höher ist als beim konventionellen Fahrrad. Möglicherweise überschätzten aber viele der Befragten ihre Fähigkeiten, das E-Bike und dessen Geschwindigkeit jederzeit beherrschen zu können. So haben 98 % das Gefühl, das E-Bike fast immer zu beherrschen und nur 17 % geben an, dass es ihnen nicht immer gelingt, mit angemessener Geschwindigkeit zu fahren [10]. Als spezifische Gefahren in Bezug auf die E-Bike-Nutzung werden von den Lenkern neben der Geschwindigkeitsunterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer die mangelnde Unterscheidbarkeit von E-Bikes und Fahrrädern [26], das Nachlaufen des Motors bei Pedalstillstand (z. B. beim Halt an Lichtsignalanlagen), das Bremsen bei Nässe und Konflikte mit Fussgängern genannt [30]. Auch das höhere Gewicht der E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern wird als gewöhnungsbedürftig erachtet [28]. Dies

scheint eher für ältere Personen ein Problem darzustellen [41].

2.4 Kritische Situationen und Unfälle

a) Kritische Situationen

Die **Anzahl kritischer Situationen** kann als Indikator für das Unfallrisiko betrachtet werden. Für die Forschung bieten kritische Situationen den Vorteil, dass sie häufiger auftreten als Unfälle, weshalb es möglich ist, in kurzer Zeit mehr Informationen zu sammeln (mittels Videoaufzeichnung oder Befragung). Die Verwendung von kritischen Situationen als Indikator für Unfälle hat aber auch einige Nachteile: Zum einen sind die Resultate stark von der gewählten Methodik abhängig (z. B. Definition eines kritischen Ereignisses, bei Befragungen Verständnis der Teilnehmer). Weiter sind kritische Ereignisse im Zusammenhang mit Alleinunfällen (d. h. Beinahestürze) schwierig zu beobachten und die Lenker selber scheinen sie oft nicht als kritisch wahrzunehmen. Und nicht zuletzt werden in Beobachtungsstudien oft auch Situationen als kritisch klassifiziert, die kein hohes Unfallrisiko aufweisen. Diese Einschränkungen sollten bei der Interpretation der nachfolgenden Forschungsergebnisse berücksichtigt werden.

In drei Studien wurden kritische Situationen mittels **Fahrverhaltensbeobachtungen** erforscht. Dabei werden E-Bike- und Fahrradfahrten per Video aufgezeichnet, entweder durch den Einsatz instrumentierter Zweiräder oder durch Verfolgungsfahrten. Anschliessend werden die Videoaufnahmen nach bestimmten Regeln codiert. Zwei der drei Studien ergaben, dass E-Bike-Lenkende nicht häufiger in kritische Situationen involviert sind als Fahrrad-Lenkende [23,28,30]. In der methodisch fundierteren der beiden Studien, der «German naturalistic

cycling study», konnten weder in Bezug auf den Fahrzeugtyp (schnelles E-Bike, langsames E-Bike und Fahrrad) noch in Bezug auf das Alter der Teilnehmenden statistisch signifikante Unterschiede in der Anzahl der kritischen Ereignisse nachgewiesen werden. Dasselbe traf auch auf die an der Kilometerleistung relativierte Anzahl kritischer Situationen zu [23,28]. Die dritte Studie aus Schweden kam zu einem anderen Schluss: Pro gefahrenen Kilometer wurden bei den E-Bike-Fahrern mehr kritische Situationen aufgezeichnet als bei den Fahrrad-Fahrern [26]. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass sich die Studie auf lediglich 12 E-Bike-Lenkende und insgesamt 88 beobachtete kritische Situationen stützt. Ausserdem verfügten 11 der E-Bike-Lenkenden über keine oder praktisch keine Vorerfahrung mit dem E-Bike.

In anderen Forschungsarbeiten wurde die Häufigkeit kritischer Situationen mittels **Befragung** erfasst. Die Ergebnisse variieren stark. Dies dürfte u. a. auf Unterschiede in der Dauer des erfragten Zeitraums zurückzuführen sein aber auch darauf, dass unterschiedliche Begrifflichkeiten verwendet wurden (Beinahe-Unfall, kritische Situation). In einer deutschen Studie erlebten in den vergangenen 12 Monaten gemäss Selbstauskunft 9 % der Befragten mindestens einen Beinahe-Sturz und 6 % mindestens eine Beinahe-Kollision [30,31]. In einer österreichischen Studie berichteten 21 % der Teilnehmer von mindestens einem Beinahe-Unfall seit Beginn der E-Bike-Nutzung [16]. Ganz andere Zahlen präsentierten sich in einer anderen deutschen Studie, in der allerdings nach kritischen Situationen gefragt wurde: 61 % der langsamen, 80 % der schnellen E-Bike-Lenker und 70 % der Fahrradlenker gaben an, in den vergangenen 3 Monaten mindestens in eine kritische Situation involviert gewesen zu sein [28]. Auch in einer australischen Arbeit berichtete

die Mehrheit der Teilnehmer (55 %) von einem kritischen Ereignis, dies bezogen auf den Zeitraum seit Beginn der E-Bike-Nutzung [40].

Bei den meisten kritischen Situationen, die mittels Fahrverhaltensbeobachtung oder Befragung erfasst werden, handelt es sich um **Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern** [16,22,26,28,40]. In der «German naturalistic cycling study» beispielsweise waren sowohl bei E-Bike- wie bei Fahrradfahrern Personenwagen-Lenkende die häufigsten Konfliktgegner, gefolgt von Fussgängern und anderen Fahrrad- bzw. E-Bike-Fahrern. Bei beiden Zweiradtypen wurden am häufigsten Konflikte im Längsverkehr, Einbiegen-/Kreuzen- oder Abbiege-Konflikte beobachtet [23,28]. Während zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern über alle Situationen hinweg also kaum nennenswerte Differenzen in der Häufigkeit und Art der kritischen Ereignisse zu bestehen scheinen, zeigte sich ein bemerkenswerter Unterschied: An Kreuzungen weisen E-Bike-Lenker eine signifikant höhere relative Wahrscheinlichkeit (2-fach höhere Odds) für einen Konflikt auf als Fahrrad-Lenker. Dabei wurden Hinweise gefunden, dass Lenkende von Motorfahrzeugen E-Bike-Fahrern seltener den **Vortritt** gewähren als Radfahrern [23].

Kritische Ereignisse ohne Konflikt mit anderen Verkehrsteilnehmern treten in Fahrverhaltensbeobachtungen und Befragungen nur selten auf [16,22,26,28,40]. Als Ursache von **Beinahe-Stürzen** mit dem E-Bike wurde in Befragungen häufig die Strassenoberfläche (nasse / vereiste Wege, Kies, Strassenqualität) angegeben [30,40]. Auch Fahrfehler (z. B. unbeabsichtigte Beschleunigung, Gleichgewichtsverlust) werden öfters erwähnt [40]. Die Geschwindigkeit wurde in maximal 10 % der Fälle als Ursache genannt [16,40].

b) Unfälle

Obwohl die Analyse kritischer Situationen wertvolle Informationen liefern kann, dürfte eine direkte Übertragung auf Unfallsituationen nur limitiert möglich sein. Eine deutsche Befragung von E-Bike- und Fahrradlenkern zeigt dies besonders eindrücklich: Während bei den berichteten Unfällen Alleinunfälle als häufigster Unfalltyp genannt wurden, wurde dieser bei den kritischen Situationen am seltensten angegeben [28].

Die Häufigkeit und Ursachen von E-Bike-Unfällen wurden in der Literatur mittels Befragung oder offizieller Statistiken (z. B. Polizeistatistik) ermittelt. Bei Selbstauskünften sind dieselben Verzerrungen zu erwarten, wie sie bereits hinsichtlich der kritischen Situationen erwähnt wurden (z. B. abhängig von Definition, Erinnerungsvermögen). In Statistiken muss von einer grossen **Dunkelziffer** ausgegangen werden. Insbesondere Alleinunfälle und Unfälle mit leichten Verletzungsfolgen sind stark unterrepräsentiert [43,44].

In verschiedenen Lenkerbefragungen wurde die **Häufigkeit von E-Bike-Unfällen** mit unterschiedlichen Formulierungen und bei unterschiedlichen Nutzergruppen erfragt. Ähnlich wie bei den selbstberichteten kritischen Situationen variieren die Ergebnisse zwischen den Studien. In drei Studien aus der Schweiz, Österreich und Australien wurde die Unfallerrfahrung seit Beginn der E-Bike-Nutzung erfragt. Je nach Studie (und Befragungsjahr) gaben zwischen 8 % und 20 % der Befragten an, schon einmal einen Unfall erlitten zu haben [10,16,45]. Von den 2000 befragten Lenkern schneller E-Bikes in der Schweiz im Jahr 2014 berichteten knapp 13 % der Befragten über einen, rund 3 % über zwei Selbstunfälle; rund 4 % waren in eine, knapp 1 %

in zwei Kollisionen verwickelt [10]. Zwei andere Forschungsteams erfragten die Unfallhäufigkeit in Bezug auf die vergangenen 12 Monate. In der einen Studie gaben ca. 15 % der befragten Nutzer von langsamen E-Bikes an, in diesem Zeitraum mindestens einmal verunfallt zu sein [30]. In der anderen Studie berichteten rund 16 % der Lenker langsamer E-Bikes, 60 % der Lenker schneller E-Bikes (nur 10 Befragte) und 58 % der Fahrradfahrer von einem Unfall oder Sturz im letzten Jahr [28].

Eindeutige Aussagen darüber, ob sich die Unfallhäufigkeit von E-Bike-Fahrern von jener der Fahrradfahrer unterscheidet, lassen sich anhand der verfügbaren Literatur nicht machen. In der letztgenannten Studie hatten die Lenker von langsamen E-Bikes zwar signifikant weniger Unfälle als die beiden anderen Lenkergruppen [28]. Da die Exposition aber nicht berücksichtigt wurde, könnte der Befund auf Expositionsunterschiede zurückzuführen sein. Eine Analyse der Unfallstatistik in Baden-Württemberg verwendete den Fahrzeugbestand als Indikator für die Exposition (Vergleich Anteil Unfälle am jeweiligen Fahrzeugbestand). Die Autoren fanden keine Hinweise auf Unterschiede in der Unfallhäufigkeit zwischen Fahrrädern und E-Bikes. Hingegen vermuteten sie, dass die Unfallfolgen für die E-Bike-Fahrer gravierender ausfallen [22]. Der Fahrzeugbestand kann jedoch nicht als ausreichender Indikator für die Fahrleistung betrachtet werden.

Alleinunfälle sind bei E-Bike-Fahrern ein bedeutender **Unfalltyp**. Dies wurde sowohl anhand von offiziellen Statistiken (vgl. Kap. III.7), wie auch anhand von Befragungen [10,28] und Medienanalysen [16] gezeigt. Je nach Datenquelle bzw. einbezogener Verletzungsschwere fällt der Anteil der Unfalltypen (Alleinunfälle und Kollisionen) aber unterschiedlich aus. In Realität, mit harmlosen und schweren

Unfällen, ist davon auszugehen, dass Alleinunfälle häufiger sind als Kollisionen. Dies wurde anhand von Lenkerbefragungen bestätigt [10,28]. Polizeistatistiken mit allen registrierten Unfällen (auch Leicht- und Unverletzte) weisen zwar auf mehr Kollisionen hin [7], dürften die leichten Alleinunfälle infolge der hohen Dunkelziffer aber deutlich unterschätzen. Werden in die Analyse nur Schwerverletzte und Getötete einbezogen, liegt der Anteil Alleinunfälle wiederum bei ca. 50 % (vgl. Kap. III.7). Vergleiche von Fahrrad- und E-Bike-Fahrern hinsichtlich der Unfalltypen scheinen bisher nur anhand amtlicher Unfallstatistiken und Medienberichten gemacht worden zu sein. Diese Analysen kommen zum Schluss, dass E-Bike-Fahrer anteilmässig häufiger alleine verunfallen als Fahrradfahrer [7,16,46]. Ob dieser Befund aber den Unterschieden im Fahrzeug oder in der Nutzerstruktur zuzuschreiben ist, wurde bisher noch nicht geklärt [16].

Nebst der Analyse der polizeilich registrierten Unfalldaten (Kap.III) können auch Befragungen und In-depth-Analysen wichtige Informationen zu den **Ursachen** von Unfällen liefern. Auch diese Studien zeigen, dass es sich bei der Mehrheit der E-Bike-Unfälle um Alleinunfälle handelt. Viele der Verunfallten geben in Befragungen denn auch an, den Unfall selber verschuldet zu haben. Als Ursachen dieser Unfälle werden eigenes Fehlverhalten (z. B. Fahrfehler wie zu starkes Bremsen oder Fahren gegen den Randstein, unangepasste Geschwindigkeit, Alkohol) und infrastrukturelle Gründe (z. B. zu enge Kurven oder Fahrbahn, schlechte Strassenqualität, Nässe / Glatt-eis) angegeben [22,30,47,48]. Neben Ursachen auf Seiten der E-Bike-Lenkenden oder der Infrastruktur stellt aber auch das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer eine häufige Unfallursache von Alleinunfällen dar [22,48]. Es scheint, dass die anderen Verkehrsteilnehmer die E-Bike-Fahrenden dabei oft

übersehen (z. B. beim Linksabbiegen oder beim Einfügen in den fliessenden Verkehr [22]. Detailliertere Informationen über Hergänge und Ursachen von Alleinunfällen finden sich in Kapitel IV.3, S. 76).

Nach Meinung der E-Bike-Lenkenden spielen das E-Bike an sich bzw. dessen **spezifische Fahreigenschaften** bei den meisten Unfällen oder kritischen Situationen eine untergeordnete Rolle. In Befragungen, in denen die Teilnehmenden gefragt werden, ob das E-Bike einen Einfluss auf den Unfall bzw. die kritische Situation hatte, vermuten jeweils rund 80 %, dass das Ereignis auch mit einem konventionellen Fahrrad eingetreten wäre [16,22,30,40]. Umgekehrt bedeutet dies aber auch, dass es ca. 10–20 % nicht ausschliessen, dass das E-Bike beim Unfall bzw. der kritischen Situation eine (Mit)ursache darstellte. War dies der Fall, wurden als Gründe u. a. die Geschwindigkeit des E-Bikes (z. B. Unterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer), Eigenschaften des Motors (unerwartetes Anfahren / Beschleunigen oder Nachlaufen), das hohe Gewicht, Bremsprobleme (falsches bzw. zu starkes Bremsen) oder der rutschige Untergrund (bzw. ein anderes Verhalten des E-Bikes auf rutschigen Flächen) angegeben [22,40,41]. Interessanterweise waren einige Befragte der Meinung, dass dank dem E-Bike auch Unfälle verhindert werden konnten. Als Begründung wurden v. a. die Kraftunterstützung bzw. die höhere Geschwindigkeit, mit der potenziellen Kollisionen ausgewichen werden können, angegeben [45].

c) Fazit kritische Situationen und Unfälle

In der wissenschaftlichen Literatur variieren die Zahlen zur Auftretenswahrscheinlichkeit von kritischen Situationen und Unfällen mit E-Bikes stark. Die verfügbaren Studien liefern keine Belege für die

Hypothese, dass E-Bike-Fahrer häufiger in kritische Situationen oder Unfälle involviert sind als Fahrradfahrer. Expositionsbezogene Daten (z. B. Fahrleistung, Anzahl Wege) wurden bis anhin jedoch nur ungenügend berücksichtigt (z. B. auf Basis des Fahrzeugbestands). Die meisten kritischen Situationen (im Sinne von Beinahe-Unfällen) von E-Bike-Fahrern ereignen sich durch einen Konflikt mit anderen Verkehrsteilnehmenden. Diese Konflikte scheinen hinsichtlich Art, Ursachen und Häufigkeit mit jenen der Fahrradfahrer vergleichbar zu sein. Ein auffallender Unterschied findet sich jedoch an Kreuzungen, an denen E-Bike-Fahrer stärker durch Vortrittsmissachtungen von Motorfahrzeug-Lenkenden gefährdet sind. Im Gegensatz zu den kritischen Situationen dominieren bei den realen Unfällen die Alleinunfälle. Diese werden in (Kap.IV.3, S. 76) speziell thematisiert. Nach Meinung der E-Bike-Lenkenden spielen das E-Bike an sich bzw. dessen spezifische Fahreigenschaften bei den

meisten Unfällen oder kritischen Situationen eine untergeordnete Rolle.

2.5 Verletzungsschwere

Mehrere Forschungsarbeiten haben E-Bike- und Fahrrad-Unfälle hinsichtlich der **Verletzungsschwere** verglichen. Da sich diese Arbeiten in den berücksichtigten Unfallschweregraden, den Indikatoren für die Verletzungsschwere und den einbezogenen E-Bike-Typen merklich unterscheiden, ist der Vergleich anspruchsvoll. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die vorhandenen Studien, die nachfolgend detaillierter beschrieben werden.

Gemäss einer grossen holländischen Fall-Kontroll-Studie weisen E-Bike-Fahrer (langsame E-Bikes) im Vergleich zu Fahrradfahrern ein 1,92-mal höheres Risiko auf, in einen behandlungsbedürftigen Unfall

Tabelle 2
Übersicht verfügbare Studien: Vergleich Verletzungsschwere Fahrräder und E-Bikes

	Unfallbeteiligte: Behandlung ja / nein	Indikator für Verletzungsschwere Spitalstatistik: Verletzungsschwere der Behandelten	Polizeistatistik: Verletzungsschwere gemäss Unfallaufnahmeprotokoll
Ausland: nur langsame E-Bikes berücksichtigt	Niederlande: E-Bikes 1,92-mal höheres Risiko als Fahrräder für behandlungsbedürftigen Unfall in Notaufnahme* [5]	Niederlande: Kein signifikanter Unterschied der Wahrscheinlichkeit für Überweisung von Notaufnahme ins Spital [5] Niederlande: Hinweise auf höhere Verletzungsschwere bei E-Bike-Fahrern (Signifikante Unterschiede in Häufigkeit von Mehrfachverletzungen, schweren Kopfverletzungen und Aufenthaltsdauer im Spital. Knapp nicht signifikanter Unterschied im durchschnittlichen Gesamt-Verletzungsgrad (ISS)) [6]	Deutschland: Hinweise, dass kein Unterschied in Verletzungsschwere (alle Verletzungsgrade) zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern [7]
Schweiz: langsame und schnelle E-Bikes	Verunfallte E-Bike-Fahrer 1,6-mal höheres Risiko für stationäre Behandlung im Spital als verunfallte Radfahrer (Sekundäranalyse der Daten von [8])	Hinweise, dass kein Unterschied in Verletzungsschwere (Anteil MAIS 3+) zwischen stationär im Spital behandelten E-Bike- und Fahrradlenkern [8]	Bei Analyse aller Verletzungsgrade kein signifikanter Unterschied in Verletzungsschwere zwischen E-Bike- und Fahrradlenkern. Bei Vergleich von nicht und leicht Verletzten vs. schwer und tödlich Verletzten signifikanter Unterschied (E-Bike-Fahrer grösserer Anteil schwere Unfälle) [9]

* Das Risiko für einen behandlungsbedürftigen Unfall dürfte dabei nicht nur von der Verletzungsschwere, sondern auch von der Unfallwahrscheinlichkeit abhängig sein.

involviert zu sein⁵. Die Daten wurden mittels Befragung erhoben. Bei der einen Gruppe (Fälle) handelte es sich um Zweiradfahrer, die sich wegen eines Unfalls in der Notaufnahme verschiedener Spitäler behandeln liessen. Die andere Gruppe (Kontrollgruppe) stammte aus einem Befragungspanel. Alter, Geschlecht und Häufigkeit des Fahrzeuggebrauchs wurden in der Berechnung kontrolliert. Zwischen den Lenkern, die einer Behandlung bedurften (d. h. alle, die in die Notaufnahme kamen), zeigte sich dann aber kein signifikanter Unterschied in der Wahrscheinlichkeit für eine stationäre Behandlung: E-Bike-Fahrer wurden etwa gleich oft ins Spital überwiesen wie Fahrradfahrer. Zusätzliche Auswertungen zeigten, dass ältere Personen und Lenker, die angaben, vor dem Unfall über 25 km/h gefahren zu sein, eher hospitalisiert wurden als jüngere bzw. langsamere [5]. Detaillierte Daten zu Art und Schwere der Verletzungen wurden in dieser Fall-Kontroll-Studie nicht erhoben.

In zwei Arbeiten wurde Daten aus den polizeilich registrierten Strassenverkehrsunfällen in der Schweiz (langsame und schnelle E-Bikes) analysiert. Um Alterseffekte bezüglich der Verletzungsschwere zu reduzieren, betrachtete die erste Studie nur Unfälle mit 40- bis 65-Jährigen. Beim Vergleich der Verletzungsschwere von Fahrrad- und E-Bike-Fahrern (Chi-Quadrat-Test) nach vier polizeilich erfassten Verletzungsgraden (unverletzt, leicht, schwer, tödlich verletzt) stellte sie keine statistisch signifikanten Unterschiede fest. Wurden schwer und tödlich Verletzte in einer Gruppe zusammengefasst oder Unverletzte und Getötete von der Analyse ausgeschlossen, ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den beiden Fahrergruppen (E-Bike-Fahrer

grösserer Anteil schwere Unfälle) [9]. Die zweite Arbeit verknüpfte die Daten aus dem Strassenverkehrsunfall-Register mit der Spitalstatistik aus dem Jahr 2011. Dabei zeigte sich, dass von den verunfallten E-Bike-Fahrern 27 % stationär im Spital behandelt werden mussten. Bei den verunfallten Radfahrern betrug dieser Anteil 17 % [49]. Daraus lässt sich ableiten, dass E-Bike- im Vergleich zu Fahrradfahrern ein 1,6-mal höheres Risiko für einen Unfall aufweisen, der stationär im Spital behandelt werden muss. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass dieser Unterschied zumindest teilweise auch durch Verschiedenheit in der Altersstruktur der beiden Nutzergruppen bedingt ist. Die Verletzungsschwere wurde im Spital nach ICD (International Classification of Diseases) codiert und für die Studie in AIS bzw. MAIS (Max. Abbreviated Injury Scale) übertragen. Auch wenn der Datenpool für statistisch aussagekräftige Ergebnisse noch zu klein war, ergaben sich Hinweise, dass sich die beiden Lenkergruppen hinsichtlich der Verletzungsschwere nicht unterscheiden. Knapp 39 % der behandelten E-Bike-Fahrer und 38 % der Fahrradfahrer wiesen eine Verletzungsschwere mit MAIS 3+ (schwer verletzt) auf. Ein Vergleich der zwei verfügbaren Indikatoren für die Verletzungsschwere – die MAIS-Werte aus den Spitaldaten und die Angaben im Unfallprotokoll – ergab Hinweise, dass die Verletzungen von E-Bike-Fahrern auf Basis der Unfallprotokolle scheinbar als schwerer eingeschätzt werden als solche von Fahrradfahrern. Gemäss Unfallprotokoll waren knapp 56 % der verunfallten E-Bike- und 49 % der Fahrradfahrer schwer verletzt worden [49].

⁵ Das Risiko für einen behandlungsbedürftigen Unfall dürfte dabei nicht nur von der Verletzungsschwere, sondern auch von der Unfallwahrscheinlichkeit abhängig sein.

Auch die Resultate einer deskriptiven Analyse aus Deutschland (v. a. langsame E-Bikes) mit GIDAS-Daten (German-In-Depth-Accident-Study) deuten darauf hin, dass E-Bike- im Vergleich zu Fahrrad-Fahrern bei Einbezug aller Verletzungsgrade (auch Unverletzte) nicht schwerwiegender verletzt werden. Die Mehrheit der verunfallten Lenker wies einen Gesamtverletzungsgrad von MAIS 1 auf (von den E-Bike-Fahrern 75 %, von den Fahrradfahrern 74 %). E-Bike-Fahrer erlitten jedoch häufiger Kopfverletzungen als Radfahrer. Aufgrund der geringen Fallzahlen konnten diese Aussagen aber nicht statistisch abgesichert werden [7].

Die vermutlich beste Datenbasis und Methodik, um E-Bike- und Fahrradfahrer hinsichtlich Verletzungsschwere zu vergleichen, findet sich in einer weiteren holländischen Studie⁶. Das holländische Forschungsteam verglich die Verletzungen von Fahrrad- und E-Bike-Fahrern (langsame E-Bikes), die in der Unfall- und Notfall-Abteilung eines medizinischen Zentrums behandelt wurden. In einem ersten Schritt wurden die beiden Gruppen gesamthaft verglichen, wobei sich bei den E-Bike-Fahrern verschiedene Indikatoren für schwerere Verletzungen fanden. Die beiden Lenker-Gruppen unterschieden sich aber deutlich in punkto Alter und Komorbidität. In der Helmtragquote gab es hingegen keinen Unterschied: Praktisch niemand trug beim Unfall einen Helm. In einem zweiten Schritt wurden die Fahrrad- und E-Bike-Fahrer hinsichtlich Alter, Geschlecht und dem Vorliegen von Komorbidität gematched. Auch in dieser Analyse fanden sich einige Hinweise auf schwerere Verletzungen bei den E-Bike-Fahrern. Sie erlitten signifikant häufiger Mehrfachverletzungen und

schwere Kopfverletzungen und hatten eine längere Aufenthaltsdauer im Spital als die Radfahrer. Auch der durchschnittliche Gesamt-Verletzungsgrad (ISS) fiel bei den E-Bike-Lenkern höher aus. Der Unterschied war aber knapp nicht statistisch signifikant ($p = 0,07$). In Bezug auf die Mortalität ergaben sich keine signifikanten Unterschiede [6].

Die verfügbaren Studien zur Verletzungsschwere haben sehr unterschiedliche Methoden verwendet, sodass zurzeit **noch kein abschliessendes Fazit** gezogen werden kann. In Bezug auf die Wahrscheinlichkeit, einen Unfall zu erleiden, der stationär im Spital oder ambulant in der Notaufnahme behandelt werden muss, wurde für E-Bike-Fahrer ein höheres Risiko festgestellt als für Fahrradfahrer. Dies könnte aber zumindest teilweise auf Unterschiede in der Nutzerstruktur (v. a. Altersverteilung) zurückzuführen sein. Studien, welche Unfallprotokolle analysieren, sind mit dem Problem der Dunkelziffer (v. a. bei leichten Alleinunfällen) konfrontiert. Zurzeit sind ihre Resultate noch uneindeutig und wenig aussagekräftig. Studien, die nur Lenker betrachten, die sich im Spital behandeln lassen, kommen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Zwei Studien fanden keinen signifikanten Unterschied in der Verletzungsschwere von E-Bike- und Fahrradfahrern. Hierbei könnte aber eine eingeschränkte Varianz (nur relativ schwer Verletzte einbezogen) eine Rolle gespielt haben. Eine dritte Studie mit Spitaldaten fand nach Matching der verunfallten Lenker hingegen einige Hinweise auf schwerere Verletzungen bei den E-Bike-Fahrern. Aufgrund der nicht ganz überzeugenden Qualität der Publikation muss dieses Ergebnis noch unter Vorbehalt interpretiert werden. Da aber eine gute Datenbasis und Methodik verwendet

⁶ Einschränkung muss allerdings vorweggeschickt werden, dass die Studie in Holländisch verfasst ist (was den Autorinnen dieses bfu-Reports nicht geläufig ist) und die Qualität der Publikation nicht dem Standard bekannter

wissenschaftlicher Zeitschriften entspricht. Daher sollten die Resultate trotz guter Datenbasis und Methodik vorsichtig interpretiert werden.

wurden, kann vorsichtig geschlossen werden, dass es bei E-Bike-Lenkenden **Anzeichen für schwerere Verletzungen** gibt als bei Fahrrad-Fahrern. Allgemein ist zu vermuten, dass die Befunde zur Verletzungsschwere von E-Bike-Fahrern von den berücksichtigten Unfallgraden (nur schwere oder auch leichte Unfälle) und dem gewählten Indikator für die Verletzungsschwere abhängen. Auch der Anteil der beiden E-Bike-Typen (schnelle und langsame E-Bikes) und damit der gefahrenen Geschwindigkeiten könnte von Bedeutung sein.

Forschungsarbeiten, die sich mit der **Lokalisation der Verletzungen** von verunfallten E-Bike-Lenkern befassen, zeigen, dass relativ viele Verletzungen den Kopf sowie die oberen Extremitäten betreffen [6,7,47]. In zwei Studien wurden zudem sehr häufig Verletzungen an den unteren Extremitäten diagnostiziert [6,7]. In einer Studie mit Daten von 23 Personen, die infolge eines E-Bike-Unfalls die Notaufnahme eines Schweizer Universitätsspitals aufgesucht hatten, wurde zudem die **Art der Verletzungen** analysiert. Die häufigsten Verletzungsarten am Kopf waren leichte Hirnverletzungen (15 %), Subarachnoidalblutungen (Blutungen nahe am Gehirn) (7 %) und Brüche (6 %). Letztere waren bezogen auf alle Körperregionen die häufigste Verletzungsart (33 %). Danach folgten Prellungen / Quetschungen (21 %) [47].

2.6 Technische Sicherheit

Produktetests weisen darauf hin, dass auf dem Markt qualitativ unterschiedliche E-Bikes erhältlich sind. Im Test der Stiftung Warentest 2016 wurden beispielsweise 15 E-Bikes mit tiefem Rahmendurchstieg geprüft. Fünf der Modelle wurden als mangelhaft eingestuft. Dies lag unter anderem an ungenü-

genden **Bremsen** und Schwächen bei der **Fahrstabilität**. Bei einem Modell brach die Sattelstütze, bei einem anderen setzte der **Antrieb** verzögert ein und lief nach. Bei den ungenügenden Bremsen handelte es sich einmal um mechanische Felgenbremsen, zwei Mal um hydraulische Bremsen [50]. In einer älteren Arbeit der Unfallforschung der deutschen Versicherer (GDV) überzeugten bei Nässe vor allem mechanische Felgenbremsen nicht. Hydraulische Felgenbremsen erzielten bessere und hydraulische Scheibenbremsanlagen die besten Bremswerte. Bei Letzteren bestand allerdings die Gefahr einer Überbremsung des Vorderrads bei plötzlicher starker Betätigung. Auch damals wurde bei einigen Antriebskonzepten auf die Problematik des **Nachlaufens der Motorkraftunterstützung** beim Abbremsen oder Absteigen hingewiesen [51]. Als ebenso problematisch erachten Experten das **verzögerte Einsetzen** des Motorschubs. Dies kann bei E-Bikes passieren, welche mit Hilfe eines Drehzahlsensors (reagiert auf Umdrehung der Pedalkurbel) gesteuert werden. Bei E-Bikes mit einem Drehmomentsensor (reagiert auf Pedaldruck) kann dafür die Motorunterstützung einsetzen, wenn ein Fuss im Stillstand (z. B. an einer Ampel) auf dem Pedal ruht [16].

E-Bikes können relativ einfach manipuliert werden. Ziel des Tunings ist vor allem die Erhöhung der mit der Tretkraftunterstützung erreichbaren Höchstgeschwindigkeit. Die **Manipulation** kann auf verschiedene Arten erfolgen. Besonders einfach scheint die elektronische Manipulation zu sein. Auf dem Markt sind diverse technische Hilfsmittel vorhanden, mit welchen der Geschwindigkeitswert des Sensors abgefangen und beeinflusst (z. B. halbiert oder gedrittelt) werden kann. Dadurch ist es möglich, die unterstützte Höchstgeschwindigkeit – zumindest

theoretisch – zu verdoppeln oder gar zu verdreifachen [16,51,52]. Durch die Manipulation besteht die Gefahr, dass E-Bikes mit Geschwindigkeiten gefahren werden, für die sie nicht geprüft bzw. ausgelegt sind. Einige Hersteller bemühen sich, die Modifizierung ihrer Antriebe durch technische Hürden zu unterbinden. Dies scheint aber nicht dauerhaft zu gelingen [53].

Je nach **Anordnung** der Komponenten **Motor und Batterie** kann sich der Schwerpunkt eines E-Bikes im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern verlagern. Jellinek folgert aufgrund einer theoretischen Analyse, dass sich der Gesamtschwerpunkt bei Hinterradantrieb und Batterie am Gepäckträger nach hinten verlagert, wodurch das Vorderrad bei Kurvenfahrten leichter wegrutschen könne. Ein hoher Schwerpunkt erhöhe zudem das Kippmoment, was der Fahrer in der Kurve ausgleichen müsse [16]. Ebenfalls als ungünstig wird der Nabenmotor im Vorderrad beurteilt. Auf Testfahrten zeigte sich, dass dieser v. a. auf nassem Untergrund und/oder in Kurven zu kritischen Situationen führen kann, z. B. dadurch, dass die Tretunterstützung ruckartig, mit voller Kraft einsetzt oder das Vorderrad wegrutscht [51]. Weiter wurde mittels Computersimulation gezeigt, dass ein Hinterradmotor eine bessere laterale Stabilität gewährleistet als ein Vorderradmotor [54]. Empfohlen werden eine neutrale Gewichtsverteilung in Längsrichtung und ein tiefer Schwerpunkt. Das Antriebskonzept Mittelmotor mit Batterie am Sattelrohr erscheint dafür am geeignetsten [16].

Motor und Batterie weisen ein gewisses Gewicht auf. Vor allem im Billigbereich scheinen aber noch immer normale Fahrradrahmen verwendet zu werden, die nicht speziell für den Anbau zusätzlicher Lasten konstruiert wurden [55]. Bei nachgerüsteten Fahrrädern

ist dies sowieso der Fall. Die leichten **Rahmen** können die erwähnte Schwerpunktverschiebung aber auch allfälliges «Flattern» aufgrund der Resonanzschwingungen des Motors begünstigen. Nicht zuletzt muss die Gabel des E-Bikes hohe Lasten aushalten, ganz besonders wenn ein Kinderanhänger montiert ist. Eine Gabel, die nicht darauf ausgelegt ist (z. B. konventionelle Fahrradgabel), kann irgendwann ausfallen [56].

Die **technische Entwicklung** der E-Bikes wird fortschreiten. Einige Forschungsteams fokussieren dabei auch auf den Sicherheitsaspekt. Geforscht wird beispielsweise an aktiven Bremsassistenzsystemen [57] oder einer besseren (Selbst-)Stabilität des E-Bikes (im Sinne einer aktiven Stabilitätskontrolle) durch Anbringen von zwei Motoren [54]. Das erste serienreife Antiblockiersystem (ABS) von E-Bikes soll nach Herstellerangaben 2018 in den Handel kommen [58]. Interessant sind auch die Forschungsarbeiten hinsichtlich der Entwicklung eines speziellen E-Bikes (SOFIE) für ältere Personen. Durch drei Systeme (automatischer, höhenverstellbarer Sattel, optimierte Rahmen- und Radgeometrie, Anfahrthilfe) sollen die älteren Lenker beim Auf- und Absteigen und bei tieferen Geschwindigkeiten unterstützt werden. Durch den verstellbaren Sattel kann beispielsweise die Dauer, die beim Auf- und Absteigen auf einem Bein gestanden werden muss, reduziert werden [59].

2.7 Einschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer

Einspurige Fahrzeuge werden aufgrund ihrer schmalen Silhouette schlecht wahrgenommen und hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit oft unterschätzt. Es stellt sich die Frage, ob diese Gefahr bei E-Bikes noch erhöht ist, weil sie oft schneller unterwegs

sind als konventionelle Fahrräder, von diesen aber kaum zu unterscheiden sind. Drei wissenschaftliche Arbeiten haben sich mit dieser Frage beschäftigt. Jede Studie verwendete eine andere experimentelle Methodik. Konkret waren dies eine Videostudie zu Schätzungen von Zeitlückengrößen (bzw. Time-to-arrival) [60], ein Geschwindigkeitseinschätzungs-Experiment auf einer Teststrecke [10] und ein Experiment zur Lückenakzeptanz, ebenfalls auf einer Teststrecke [61]. Die Ergebnisse sind ähnlich, aber nicht ganz deckungsgleich.

Alle drei Arbeiten ergaben, dass die Geschwindigkeit des Zweirads die **Einschätzung der Ankunftszeit** bzw. die **Lückenakzeptanz** beeinflusst. Bei **höheren Geschwindigkeiten** wurde die Ankunftszeit der Zweiräder stärker unterschätzt als bei tieferen Geschwindigkeiten [10,60,61]. Dies äusserte sich beispielsweise darin, dass bei zunehmender Geschwindigkeit die akzeptierten Zeitlücken kürzer wurden, bei denen die Versuchspersonen mit dem Auto noch vor dem Zweirad links abgebogen wären [61]. In Bezug auf den **Fahrradtyp (E-Bike oder konventionelles Fahrrad)** divergierten die Resultate aber. In einer der drei Studien hatte der Fahrradtyp einen signifikanten Einfluss auf die Geschwindigkeitseinschätzung der Probanden: die Geschwindigkeit von E-Bikes wurde stärker unterschätzt als jene von konventionellen Fahrrädern, obwohl die beiden Zweiradtypen aus der Position des Probanden nicht zu unterscheiden waren. Die Autoren vermuten, dass der Effekt des Fahrradtyps damit zusammenhängen könnte, dass sich die Sitzhaltung des Lenkers und die Frequenz der Pedalbewegungen unterscheiden. Auf E-Bikes werde vermutlich langsamer pedaliert und entspannter gesessen als auf Fahrrädern [61]. Dies wurde in der zweiten Studie bestätigt. Auch sie ergab erst einen signifikanten Einfluss des Fahrradtyps. Dieser verschwand aber,

nachdem die Tretfrequenz von E-Bikes und Fahrrädern konstant gehalten wurde. Somit konnte die Fehleinschätzung der E-Bikes im Vergleich zu den Fahrrädern auf die geringere Tretfrequenz zurückgeführt werden [60]. Die dritte Studie hingegen konnte keinen Effekt des Fahrradtyps (E-Bike oder konventionelles Fahrzeug) nachweisen. Die Geschwindigkeit von E-Bikes und Fahrrädern wurde zwar signifikant stärker unterschätzt als jene von Elektrorollern. Zwischen den beiden Fahrradtypen zeigte sich jedoch kein bedeutsamer Unterschied [10].

Auch wenn die drei Studien bezüglich des Fahrradtyps nicht zu den selben Schlussfolgerungen kommen, lässt sich doch folgern, dass das E-Bike-Fahrer stärker von der Unterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer betroffen sein dürften als Fahrradfahrer. Ihre Geschwindigkeit fällt in der Regel etwas höher aus als die der Radfahrer. Und die gefahrene Geschwindigkeit stellte sich in allen drei Studien als wesentlicher Einflussfaktor für die Unterschätzung der Zweiräder heraus.

In den drei Arbeiten wurden verschiedene weitere potenzielle Einflussfaktoren auf die Geschwindigkeitseinschätzung von Fahrrädern und E-Bikes geprüft. Der Einfluss des **Alters des Zweiradfahrers** konnte nicht eindeutig geklärt werden. In der Video-Studie wurden ältere Zweiradfahrer wider Erwarten schneller eingeschätzt als jüngere [60]. Im Geschwindigkeitseinschätzungs-Experiment ergaben sich kaum interpretierbare Resultate [10]. Das **Alter des Beobachters** (d. h. des Probanden) hatte in der Video-Studie einen signifikanten Einfluss (ältere Beobachter schätzten die Ankunftszeit kürzer ein, überschätzten also die Geschwindigkeit) [60], nicht aber im Experiment zur Lückenakzeptanz [61]. Im Geschwindigkeitseinschätzungs-

Experiment hatte zudem das **Geschlecht des Beobachters** einen Einfluss. Frauen unterschätzten die Geschwindigkeiten deutlich stärker als Männer [10].

2.8 Infrastruktur

Die Forschung zu infrastrukturellen Aspekten von E-Bikes im Strassenverkehr steht noch am Anfang. In der **Schweiz** wurde 2017 eine erste Studie publiziert, welche zum Ziel hatte, die spezifischen Herausforderungen zu identifizieren und Lösungsansätze in Bezug auf Infrastrukturen, rechtlicher Rahmen und Fahrverhalten zu erarbeiten. Basis bildeten eine Literaturanalyse und Feldstudien in Genf und Bern, mit qualitativen und quantitativen Erhebungen an verschiedenen Standorten. Im Vordergrund standen die Themen Überholmanöver, Führungsarten, Geometrie und Ausgestaltung der Anlagen sowie Konflikte an Kreiseln. In der Studie zeigte sich, dass schnelle und langsame E-Bikes sehr unterschiedlich genutzt werden. Dies betrifft u. a. die Nutzerprofile, die Nutzungshäufigkeit, die gefahrenen Geschwindigkeiten und das Fahrverhalten. Schnelle E-Bikes waren mit deutlich höheren Geschwindigkeiten unterwegs und überholten häufiger andere Zweiräder als langsame E-Bikes. Letztere überholten nur in Steigungen öfters andere Zweiräder als dies Fahrräder taten. Auf flachen Abschnitten überholten langsame E-Bikes und Fahrräder gleich häufig. Die Geschwindigkeitsunterschiede der überholenden E-Bikes und der überholten (Elektro-)Fahrräder waren oft erheblich (zwischen 6–12 km/h). Je nach Standort konnten aber 25–50 % der Überholmanöver nicht oder nur unter erschwerten Bedingungen ausgeführt werden (z. B. ungenügender Abstand, Tramgeleise). Wenn die beobachteten Zweiradfahrer zwischen verschiedenen Führungsarten wählen konnten (z. B.

Radstreifen oder für den Radverkehr zugelassenes Trottoir), wählten die Lenker von schnellen E-Bikes systematisch die schnellere Route, vor allem, wenn diese sicher und attraktiv war (z. B. genügend breiter Radstreifen). Neben diesen Beobachtungen kamen die Autoren zum Schluss, dass das Vorhandensein der E-Bikes im Strassenverkehr in den schweizweit gültigen **Normen und Empfehlungen** im Allgemeinen nicht berücksichtigt wird. Die **Signalisation** für schnelle E-Bikes erachten sie als nicht konsistent und für die E-Bike-Lenker und teilweise auch für die Planer unverständlich. Dies führe in der Praxis dazu, dass die Signalisation oft nicht der Zielsetzung entspricht und sich die Lenker von schnellen E-Bikes oft nicht an die Bestimmungen halten (z. B. Abschalten des Motors in Fussgängerzonen mit zugelassenem Fahrradverkehr). Als besonders problematisch beurteilen die Autoren die in der Schweiz existierende **Radwegbenutzungspflicht** für beide E-Bike-Typen. Diese führe besonders bei schmalen Radwegen, hohem Radverkehrsaufkommen, Mischverkehrsflächen mit Fussgängern und zu tief projektierter Geschwindigkeit zu heiklen Situationen. Als weitere Schwierigkeit in Bezug auf die rechtlichen Bestimmungen wird die Tatsache genannt, dass die Verletzung von Höchstgeschwindigkeitsvorschriften durch E-Bike-Fahrer nicht generell per Radar kontrolliert und im Überschreitungsfall gebüsst werden kann (es sei denn Art. 32 SVG bzgl. Anpassung der Geschwindigkeit an die Umstände kann angewendet werden, z. B. im Falle eines Unfalls). Insbesondere bei schnellen E-Bikes in verkehrsberuhigten Zonen (Tempo 30- und Begegnungszonen) sei dies problematisch [3].

Aufgrund Ihrer Analyse orten die Autoren vor allem bei schnellen E-Bikes Handlungsbedarf. Das Konfliktpotenzial von langsamen E-Bikes bestehe dagegen eher nur in speziellen Situationen (z. B.

Steigungen, Mischverkehr mit Fussverkehr). In der Arbeit werden verschiedene **Lösungsansätze** identifiziert. Unter anderem wird empfohlen, Fahrradanlagen grosszügiger zu planen und zu realisieren, so dass Überholmanöver auf den für den Fahrradverkehr vorgesehenen Verkehrsflächen stattfinden können. Darüber hinaus sollten die Radwegbenutzungspflicht in der Schweiz angepasst und Grundsätze bezüglich der Mischverkehrssituationen mit dem Fussverkehr erarbeitet werden. Spezifisch für schnelle E-Bikes wird vorgeschlagen, die Möglichkeit zur Geschwindigkeitskontrolle und ein Tagfahrlichtobligatorium einzuführen. Ausserdem raten die Autoren, den Planenden und E-Bike-Fahrenden den rechtlichen Rahmen besser zu kommunizieren [3].

Auch in **Deutschland** wurde eine Forschungsarbeit durchgeführt, in welcher Anforderungen an die Infrastruktur in Zusammenhang mit der zunehmenden Nutzung von E-Bikes abgeleitet wurden. Diese Anforderungen bezogen sich aber nur auf **langsame E-Bikes**, die in Deutschland weitaus stärker verbreitet sind als schnelle E-Bikes. Durchgeführt wurden Befragungen, Verhaltensbeobachtungen und Expertenworkshops. Dabei zeigte sich, dass sich die Nutzung der langsamen E-Bikes im Verhaltensspektrum der konventionellen Fahrräder bewegt. Die Geschwindigkeiten waren nur geringfügig höher. Das Forschungsteam sieht daher keinen Bedarf an besonderen Anforderungen, die über die bestehenden technischen Regelwerke hinausgehen würden. Sie weisen aber darauf hin, dass die Regelwerke konsequenter umgesetzt werden müssten. Weiter wird vermutet, dass sich in Zukunft in der Praxis die Radverkehrsführungen stärker zugunsten der **fahrbahnorientierten Führungen** (Radfahrstreifen, Schutzstreifen) verschieben, auch wenn bauliche Radwege mit hohem Standard weiterhin einen ho-

hen Stellenwert haben werden. Benutzungspflichtige Radwege mit den Mindestbreiten der Verwaltungsvorschrift zur StVO sind nach Meinung der Autoren mit einer E-Bike-Nutzung kaum zu vereinbaren. Gemeinsame Führungen mit dem Fussverkehr werden bei strassenbegleitenden Radverkehrsanlagen als problematisch erachtet. Das Forschungsteam empfiehlt deshalb, diese restriktiver zu bewerten als dies heute in der Praxis oft der Fall sei. Um sicheres und zügiges Fahren zu ermöglichen, werden attraktive **Radverkehrsachsen** abseits stark belasteter Hauptverkehrsstrassen empfohlen. Als besonders E-Bike-tauglich bezeichnen die Autoren **Radschnellwege**, die einen grösseren Entfernungsbereich erschliessen [30,31].

3. Fokus Alleinunfälle

Alleinunfälle sind ein bedeutender Unfalltyp von E-Bike-Fahrern. In diesem Kapitel wird das Thema detailliert behandelt. Ziel ist es, anhand der verfügbaren Literatur einen tieferen Einblick in die Ursachen und Hergänge von E-Bike-Alleinunfällen zu gewinnen. Im ersten Teil wird die E-Bike-spezifische Literatur analysiert. Um etwaige Unterschiede zwischen E-Bike- und Fahrrad-Alleinunfällen zu identifizieren, werden im zweiten Teil zudem Forschungsarbeiten zum konventionellen Fahrradverkehr betrachtet.

3.1 Alleinunfälle von E-Bike-Fahrern

Über die Ursachen und Hergänge von E-Bike-Alleinunfällen ist aus der wissenschaftlichen Literatur eher wenig bekannt. Es konnten 7 Studien identifiziert werden, die sich u. a. mit E-Bike-Alleinunfällen befassten. Die Studien verfügen nur über kleine Stichproben. Teilweise wurden bzgl. Alleinunfällen

nur wenige Resultate berichtet. Der direkte Vergleich der einzelnen Studien erweist sich als schwierig: es werden verschiedene Definitionen von Alleinunfällen verwendet, Auswahl wie auch Kategorisierung der Ursachen sind sehr heterogen und Ursachen (z. B. zu hohe Geschwindigkeit) und Hergänge (z. B. Kollision mit Bordstein) werden oft vermischt.

Schepers und Kollegen haben in Holland E-Bike- und Fahrradunfälle verglichen. Der Unterschied zwischen den Fahrzeugtypen bezüglich Alleinunfällen war vor allem auf den bei E-Bike-Lenkenden höheren Anteil von Unfällen beim **Auf- und Absteigen** zurückzuführen [5]. Möglicherweise hängt dies damit zusammen, dass E-Bikes beim Anfahren weniger stabil sind als Fahrräder (Übergang vom Bodenkontakt in die Balance) [37].

In einer deutschen Studie wurden Interviews mit 26 polizeilich registrierten verunfallten Lenkern von langsamen E-Bikes geführt. Es zeigte sich, dass falsches bzw. zu starkes **Bremsen** in Verbindung mit dem teilweise gewöhnungsbedürftigen Bremsverhalten von E-Bikes besonders oft (23 %) zu Alleinunfällen führte. 4 Personen (15 %) waren gegen den **Bordstein** gefahren, was nach Vermutung der Autoren mit den anderen Fahreigenschaften des E-Bikes oder auch mit ungenügender Fahrpraxis zusammenhängen könnte. 3 Personen (12 %) gaben als Unfallursache eine zu enge Kurve an. Möglicherweise wurde hierbei die Geschwindigkeit unterschätzt. Weitere 3 Personen (12 %) stürzten ohne bewussten Grund und 2 Personen orteten die Ursache im Gewicht des E-Bikes [22]. In einer anderen deutschen Studie mit 28 alleine verunfallten E-Bike-Lenkenden wurden häufig **Nässe bzw. Glatteis** als Sturzursache benannt, einige Male auch der **schlechte bauliche Zustand der Strecke** [30].

Von der Schweizer Stichprobe, bestehend aus 19 alleine verunfallten und in ein Notfallzentrum eingelieferten E-Bike-Lenkern, konnte knapp die Hälfte (42 %) keinen Grund für ihre Selbstunfälle nennen. Etwa jeder Vierte geriet in eine **Tramschiene** und 21 % nannten die zu hohe **Geschwindigkeit**, 11 % gaben **Alkohol** an [47].

In den folgenden beiden Studien wurden zwar nicht explizit Resultate von Alleinunfällen ausgewiesen, aus den Angaben lässt sich jedoch schliessen, dass es sich wohl hauptsächlich um diesen Unfalltyp handelte. In einer australischen Befragung von 11 mit E-Bikes verunfallten Senioren wurde als wichtigster Einflussfaktor **mangelnde Geschicklichkeit im Umgang mit dem E-Bike** genannt, insbesondere mangelnde Vertrautheit mit der Unterstützungsstufe bzw. ein unerwartetes Anfahren des E-Bikes bei hoher Unterstützungsstufe. Andere Unfallursachen waren **Gleichgewichtsverlust** bei geringer Geschwindigkeit oder Ausrutschen auf nasser Fahrbahn. Eine körperliche Beeinträchtigung spielte bei zwei Lenkern eine Rolle [45]. In einer österreichischen Studie mit 20 verunfallten E-Bike-Fahrern ereignete sich die Hälfte der berichteten Unfälle aufgrund witterungsbedingter **Fahrbahnglätte** (Schnee, Eis, Nässe). Sonstige genannte Gründe waren Alkohol (10 %), Geschwindigkeit (10 %) und Infrastruktur (5 %) [16].

Eine holländische Forschergruppe führte eine detaillierte Analyse zu Fahrrad- und E-Bike-Unfällen von Lenkern im Alter ab 50 Jahren durch. Bei 16 von 41 Personen handelte es sich um E-Bike-Lenkende. Separate Resultate für E-Bikes und Fahrräder werden aber nicht weiter ausgewiesen. In der Studie wurden acht Unfallhergänge identifiziert. Bei drei dieser Hergänge handelte es sich eindeutig um Alleinunfälle: 1) **Verlieren des Gleichgewichts** während der

Fahrt oder beim Anhalten und Absteigen in Steigung oder Gefälle 2) unbeabsichtigtes **Abkommen von der Fahrspur**, danach Kollision mit dem Randstein oder Abkommen von der Strasse 3) unerwartetes Treffen auf **Infrastrukturelemente** (z. B. Poller) auf der Fahrspur. Von den Stürzen aufgrund von Gleichgewichtsverlust waren insbesondere Lenker ab 75 Jahren betroffen. Häufig ging zudem ein zu hoch eingestellter Sattel oder eine medizinische Ursache mit diesem Unfallhergang einher. Einflussfaktoren für das Abkommen von der Fahrspur waren eine zu schmale Fahrbahn und ein zu nahes Fahren am Strassenrand. Tendenziell waren mehr männliche Lenker von Unfällen betroffen, bei denen ein unerwartetes Treffen auf Infrastrukturelemente stattfand. Unfälle bei Überholvorgängen traten gehäuft bei E-Bike fahrenden Frauen auf. Bei dieser Art Unfall ist jedoch nicht eindeutig, ob es sich um Stürze oder Kollisionen handelte. Generell stellte sich heraus, dass auch bei Alleinunfällen oft **Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern** vorausgingen [48].

3.2 Alleinunfälle von Fahrradfahrern

Bei der Literaturrecherche konnten 8 Forschungsarbeiten gefunden werden, die sich mit Alleinunfällen von Fahrradfahrern befassten. Keine der Arbeiten hat Alleinunfälle von E-Bike- und Fahrradfahrern direkt verglichen. In allen Studien wurden entweder Polizei- und/oder Spitaldaten direkt analysiert oder dazu verwendet, um Verunfallte zu identifizieren und zu befragen.

Eine sehr umfassende Analyse stammt aus Holland. 669 bei Alleinunfällen verunfallte und in Notaufnahmen eingelieferte Fahrradfahrer wurden befragt. Etwa die Hälfte der Unfälle ereignete sich (zumindest im entfernteren Sinne) in Zusammenhang mit

der Infrastruktur. Hierzu zählten die Autoren ein unbeabsichtigtes **Abkommen von der Fahrspur mit Kollision abseits der Fahrbahn** (z. B. Randstein, Seitenstreifen mit Höhenunterschied zur Fahrbahn) (21 % aller Unfälle). Diese Art von Unfall ereignete sich öfters in Zusammenhang mit körperlichen Beschwerden oder Alkoholkonsum. Ein weiterer infrastrukturbezogener Unfalltyp ist die **Kollision mit Hindernissen auf der Fahrbahn** (mehrheitlich Poller) (12 %), was öfters Personen betraf, die mit der Unfallstelle wenig vertraut waren. Der dritte Unfalltyp in Zusammenhang mit der Infrastruktur waren Stürze infolge einer rutschigen (18 %) oder unebenen **Strassenoberfläche** (inklusive lose Objekte auf der Strasse) (7 %). Hier spielte der Fahrradtyp (v. a. Fahrer von Rennrädern) in Kombination mit erhöhter Geschwindigkeit eine Rolle. Weitere 45 % der Unfälle waren auf **menschliche Faktoren** zurückzuführen. Die Verunfallten hatten die Kontrolle über das E-Bike verloren bei / aufgrund a) geringer Geschwindigkeit, z. B. beim Auf- und Absteigen (16 %), b) Krafteinwirkungen auf Vorderrad oder Lenker, z. B. durch Gepäck (8 %), c) aufgrund ihres Fahrverhaltens wie abrupte Lenkmanöver (13 %) oder Bremsfehler (6 %). Ein Kontrollverlust kam häufiger bei älteren Lenkenden (nur a und c), Personen mit körperlichen Beschwerden und wenig geübten E-Bike-Fahrern vor. Ein Fahrraddefekt war in 5 % der Fälle die Ursache für den Sturz und in 12 % der Fälle gab es eine andere oder unbekanntere Ursache (z. B. bei Bewusstlosigkeit) [62].

Auch in den anderen verfügbaren Studien aus Deutschland, Schweden, Spanien und Australien wurden vergleichbare Unfallursachen und -hergänge identifiziert. Sowohl **Kollisionen mit Hindernissen auf der Fahrbahn** (fixe oder lose Elemente oder auch Unebenheiten auf der Strassenoberfläche) wie auch **Kollisionen mit**

Hindernissen neben der Fahrbahn (mehrheitlich Randstein) sind häufige Ursachen von Alleinunfällen bei Radfahrern [63-68]. Ein **Kontrollverlust** über das Fahrrad wurde ebenfalls oft erwähnt, insbesondere in Zusammenhang mit einer tiefen Geschwindigkeit bzw. beim Auf- und Absteigen. [63-68]. Allerdings werden in den verschiedenen Studien sehr unterschiedliche Hergänge unter dem Stichwort Kontrollverlust subsumiert. Häufig genannt wurde auch das **Ausrutschen** (je nach Studie 12–37 % aller Unfälle) [64,65,68].

Neben den bereits erwähnten Faktoren wurden in den verschiedenen Studien diverse weitere Ursachen oder Hergänge bei Alleinunfällen von Radfahrern identifiziert. Unangepasste bzw. überhöhte **Geschwindigkeit** wurde öfters erwähnt [62,63,65]. Je nach Studie war **Alkohol** relativ häufig vertreten (1–20 %) [62,64,69]. Auch **Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern** (inkl. Ausweichen) kommen je nach Studie öfters vor [63,65,68]. **Fahrraddefekte** scheinen bei Alleinunfällen von Radfahrern im Strassenverkehr eher eine untergeordnete Rolle zu spielen (jeweils bei ca. 5 % aller Unfälle) [64,65,68,69]. Weitere identifizierte Ursachen / Hergänge waren **Tiere** (inkl. dem eigenen Hund) [63-65,68], **Abrutschen vom Pedal oder Hängenbleiben am Fahrrad** (inkl. Klickpedale) [64,65,67,68] sowie **medizinische Gründe** [64,69].

3.3 Fazit Alleinunfälle

Alleinunfälle stellen bei E-Bike-Lenkenden einen wichtigen Unfalltyp dar. Zu den Ursachen und Hergängen dieser Unfälle existiert bislang relativ wenig wissenschaftliche Literatur. Kollisionen mit Hindernissen auf und neben der Fahrbahn, der Verlust des Gleichgewichts bei geringer Geschwindigkeit resp.

beim Auf- und Absteigen sowie Ausrutschen scheinen wichtige Hergänge von E-Bike-Alleinunfällen darzustellen. Als Ursachen solcher Unfälle öfters genannt werden in der Literatur falsches bzw. zu starkes Bremsen, unangepasste bzw. überhöhte Geschwindigkeit, Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, Alkoholkonsum sowie infrastrukturelle Faktoren (z. B. Zustand der Strassenoberfläche wie Nässe, Schnee, Eis oder Tramschienen). Bei der Betrachtung der Alleinunfälle von Lenkern konventioneller Fahrräder finden sich ähnliche Unfallhergänge wie bei den E-Bike-Unfällen. Insbesondere Ausrutschen, Kontrollverlust und Kollisionen mit Hindernissen auf und neben der Fahrbahn werden in der fahrradspezifischen Literatur häufig berichtet. Auch die genannten Ursachen decken sich weitläufig mit den Ursachen von E-Bike-Alleinunfällen (z. B. erhöhte Geschwindigkeit). Dies lässt vermuten, dass zwischen E-Bike- und Fahrrad-Alleinunfällen viele Parallelen bestehen.

4. Zusammenfassung Literaturanalyse

1. In den verfügbaren Studien waren unterschiedliche E-Bike-Typen (d. h. unterschiedliche Leistungen, unterschiedlicher Anteil an schnellen E-Bikes) und Altersgruppen vertreten. Schnelle E-Bikes wurden zudem häufiger von Männern gefahren. Die Befunde sollten daher immer vor dem Hintergrund der betreffenden Stichprobe beurteilt werden und können nicht ohne weiteres auf andere Kontexte übertragen werden.
2. E-Bike-Fahrer sind schneller unterwegs als Fahrradfahrer. Die potenziell höheren Geschwindigkeiten werden vor allem von Fahrern schneller E-Bikes, jüngeren Personen und Männern realisiert. Darüber hinaus werden bei E-Bikes höhere Variationen der Geschwindigkeiten festgestellt

als bei Fahrrädern. Dies könnte besondere Anforderungen an Infrastruktur und andere Verkehrsteilnehmer stellen. Es macht aber den Anschein, dass E-Bike-Fahrer ihre Geschwindigkeit der Situation anpassen. In anspruchsvollen Situationen und auf Infrastrukturen mit vielen Interaktionen wird generell langsamer gefahren.

3. E-Bike-Fahrer überholen im Strassenverkehr häufiger andere Radfahrende als die Lenker von konventionellen Fahrrädern. Dies trifft wiederum überwiegend auf schnelle E-Bikes zu. Langsame E-Bikes überholen vor allem in Steigungen häufiger. Die Geschwindigkeitsunterschiede bei den Überholvorgängen können erheblich sein.
4. Ältere Personen scheinen im Vergleich zu jüngeren Personen mehr Schwierigkeiten zu haben, Zweiräder bei langsamer Fahrt und gleichzeitiger Ausführung von Handzeichen oder Schulterblick zu stabilisieren. Zudem weisen die Älteren während der Fahrt eine höhere mentale Arbeitsbelastung und längere Reaktionszeiten auf. Dieser Effekt ist aber unabhängig vom Fahrzeugtyp (Fahrrad oder E-Bike).
5. Viele E-Bike-Fahrende scheinen sich der potenziellen E-Bike-spezifischen Gefahren (höhere Geschwindigkeit, längerer Anhalteweg, Unterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer) bewusst zu sein.
6. Das Konfliktgeschehen von E-Bike-Fahrern scheint jenem der Fahrradfahrer weitgehend zu entsprechen. Häufigkeit, Art und Ursachen der kritischen Situationen dürften vergleichbar sein. Ein auffallender Unterschied findet sich jedoch an Kreuzungen, an denen E-Bike-Fahrer stärker durch Vortrittsmissachtung von Motorfahrzeug-Lenkenden gefährdet sind.
7. Konsultierte Studien wiesen keine Unterschiede in der Unfallhäufigkeit zwischen E-Bike- und Fahrrad-Fahrern nach. Expositionsbezogene Daten (z. B. Fahrleistung, Anzahl Wege) wurden bis anhin jedoch nur ungenügend berücksichtigt (z. B. auf Basis des Fahrzeugbestands).
8. Die vorhandenen Studien zum Vergleich der Verletzungsschwere von verunfallten E-Bike- und Fahrradfahrern sind sowohl in Bezug auf die Methodik (z. B. berücksichtigte Unfallschwere, Indikator für Verletzungsschwere) wie die Ergebnisse inhomogen. Deshalb lässt sich aus der Literatur aktuell kein eindeutiges Fazit ziehen. Es existieren aber Anzeichen für schwerere Verletzungen auf Seiten der E-Bike-Lenkenden.
9. Alleinunfälle sind der bedeutsamste Unfalltyp von E-Bike-Fahrern. Kollisionen mit Hindernissen auf und neben der Fahrbahn, Gleichgewichtsverlust bei geringer Geschwindigkeit resp. beim Auf- und Absteigen sowie Ausrutschen scheinen häufige Hergänge zu sein. Als Ursachen werden oft falsches bzw. zu starkes Bremsen, unangepasste bzw. überhöhte Geschwindigkeit, Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, Alkoholkonsum sowie infrastrukturelle Faktoren (z. B. Zustand der Strassenoberfläche wie Nässe, Schnee, Eis oder Tramschienen) genannt. Zwischen den Alleinunfällen von E-Bike- und Fahrradfahrern scheinen viele Parallelen zu bestehen.
10. Mögliche technische Probleme werden insbesondere beim Nachrüsten konventioneller Fahrräder, bei gewissen Bremsen und Antriebskonzepten, beim Nachlaufen oder verzögerten Einsetzen des Motors sowie bei ungleichmässig verteiltem Gewicht von Motor und Batterie geortet.
11. E-Bike-Fahrer dürften stärker durch Fehleinschätzungen anderer Verkehrsteilnehmer gefährdet sein als Fahrradfahrer. Grund dafür ist zum einen ihre höhere Geschwindigkeit. Zudem

könnte auch die entspanntere Sitzhaltung des Lenkers und die geringere Frequenz der Pedalbewegungen eine Rolle spielen.

12. Im Bereich der Infrastruktur besteht in der Schweiz vor allem bezüglich der schnellen E-Bikes Handlungsbedarf. Diese überholen oft andere Zweiräder, was teilweise aber nur unter erschwerten Bedingungen möglich ist. Damit die Überholmanöver auf den für den Fahrradverkehr vorgesehen Verkehrsflächen stattfinden können, sollten Fahrradanlagen ausreichend breit geplant und realisiert werden. Diskutiert werden sollten zudem u. a. die generelle Radwegbenutzungspflicht und der Umgang mit Mischverkehrssituationen mit dem Fussverkehr.

V. Befragung Alleinunfälle

1. Ausgangslage

Die Analyse der amtlichen Unfallstatistik (Kap.III) zeigt, dass Alleinunfälle für E-Bike-Fahrende einen wichtigen Unfalltyp darstellen. Im Durchschnitt der letzten 5 Jahre ereigneten sich 47 % der polizeilich registrierten schweren Personenschäden von E-Bike-Fahrenden bei Alleinunfällen. Zusätzlich muss in dieser Statistik bei den Alleinunfällen von einer hohen Dunkelziffer ausgegangen werden. Massnahmen zur Prävention von E-Bike-Alleinunfällen kommt daher eine wichtige Bedeutung zu. Über die genauen Ursachen und Hergänge dieser Unfälle können die amtlichen Daten jedoch nicht detailliert Auskunft geben. Auch aus der wissenschaftlichen Literatur ist diesbezüglich noch relativ wenig Wissen vorhanden (vgl. Kap. IV.3).

Um detailliertere Erkenntnisse über **Ursachen und Hergänge von E-Bike-Alleinunfällen** zu gewinnen, wurde die vorliegende Befragung durchgeführt. Die Erkenntnisse sollen dazu verwendet werden, Massnahmen und Handlungsempfehlungen zur Prävention dieser Unfälle abzuleiten. Neben der Klärung dieser Hauptforschungsfragen wurde die Befragung auch genutzt, um zusätzliche Informationen über Sicherheitsaspekte und Erfahrungen von E-Bike-Fahrenden in der Schweiz zu gewinnen.

2. Methoden

2.1 Datenerhebung

Um die interessierenden Daten zu erheben, wurde eine Befragung bei E-Bike-Lenkenden in der

Schweiz durchgeführt. Die Rekrutierung der Studienteilnehmer erfolgte über verschiedene Kanäle. Je nach Rekrutierungskanal wurde die Befragung mittels einem **schriftlichen Fragebogen** (Briefversand) oder **online** durchgeführt. Die Befragung wurde anonymisiert durchgeführt, es konnte einzig ermittelt werden, über welchen Kanal eine Person rekrutiert worden war. Alle Daten wurden zwischen September und November 2016 erhoben. Unter allen Teilnehmenden wurden ein E-Bike und 10 Gutscheine von E-Bike-/Fahrradhändlern im Wert von CHF 50.– oder 100.– verlost. Die Durchführung der Befragung erfolgte in Zusammenarbeit mit dem Marktforschungsinstitut LINK.

a) Aktive Rekrutierung per Briefpost

E-Bike-Fahrende, von denen Adressen organisiert werden konnten, wurden brieflich angeschrieben. Die Adressen stammten aus folgenden Quellen:

- 5 Polizeistationen: polizeilich registrierte, bei Alleinunfällen verunfallte E-Bike-Fahrende
- Notfallzentrum des Inselspitals Bern: Patienten, die aufgrund eines Unfalls mit dem E-Bike behandelt wurden (Alleinunfälle und Kollisionen)
- 6 Strassenverkehrsämter: registrierte Besitzer schneller E-Bikes. Aus knapp 13 000 verfügbaren Adressen wurde eine Stichprobe von 2400 Personen gezogen
- Fahrsicherheitskurse: Teilnehmende verschiedener Fahrsicherheitskurse

Die Polizeistationen, das Notfallzentrum, ein Strassenverkehrsamt und die Verantwortlichen der Fahrsicherheitskurse versendeten die Briefe selber. Einige Teilnehmer der Fahrsicherheitskurse erhielten anstelle eines Briefes eine E-Mail. Der Versand der Briefe an die Adressen der anderen Strassenverkehrsämter erfolgte durch das Marktforschungsinstitut LINK. Teilweise wurde den Briefen ein Papierfragebogen beigelegt, teilweise wurde nur auf einen Link zur Online-Befragung verwiesen. Alle Personen, die einen Papierfragebogen erhielten, konnten ebenfalls online teilnehmen. Eine detaillierte Übersicht über die Anzahl versendeter Briefe, die Teilnahmemöglichkeiten und die Rücklaufquote pro Quelle gibt Tabelle 3.

Insgesamt lag die Rücklaufquote bei 33 %. Bei den Rekrutierungsquellen, bei denen ein Papierfragebogen beigelegt wurde, fiel der Rücklauf höher aus als bei den Strassenverkehrsämtern, bei denen nur ein Brief mit einem Link zur Online-Befragung versendet wurde.

b) Restliche Rekrutierungswege

Neben der **aktiven Rekrutierung** mittels verfügbarer Adressen erfolgte eine breite **passive Rekrutierung** über verschiedene weitere Kanäle der bfu und (Partner-)Organisationen (Aufruf in der Coopzeitung, ansonsten mehrheitlich online, z. B. Newsletter, Websites, Social Media). Der Aufruf richtete sich

an alle regelmässigen E-Bike-Fahrenden. Mehrheitlich wurde der Studienfokus Alleinunfälle nicht explizit erwähnt. Die Rücklaufquote über diese Kanäle kann nicht ausgewiesen werden, da die potenzielle Teilnehmerzahl nicht ausgemacht werden kann.

2.2 Fragebogen

Es wurden **2 Versionen** des Fragebogens entwickelt, eine für Personen, die mit dem E-Bike im Strassenverkehr einen Alleinunfall erlitten hatten und eine für alle anderen E-Bike-Lenkenden. Ein Teil der Fragen wurde in beiden Fragebogen gestellt. Beide Versionen wurden sowohl auf Papier wie auch elektronisch erstellt. Die Befragung wurde in deutscher Sprache durchgeführt.

Der Fragebogen bestand aus 3 Teilen. Teil 1 beinhaltete allgemeine Fragen zur E-Bike-Nutzung (z. B. Nutzungshäufigkeit, Beweggründe für die Nutzung). Dieser Teil wie auch Teil 3 des Fragebogens mit soziodemografischen Angaben richtete sich an alle Teilnehmenden. Der mittlere Teil 2 unterschied sich in Abhängigkeit des Erlebens eines Alleinunfalls im Strassenverkehr. Personen mit Alleinunfall wurden zum Unfallhergang und zu den Faktoren, die den Unfall (mit)ausgelöst hatten, befragt. Personen ohne Alleinunfall im Strassenverkehr wurden allgemeine Fragen zu Sicherheitsaspekten (z. B. Helmnutzung) und Erfahrungen mit dem E-Bike gestellt. In Teil 3 wurden demografische Fragen gestellt. Die

Tabelle 3
Rücklaufquote nach Rekrutierungsquelle (nur aktive Rekrutierung)

Rekrutierungsquellen	Anzahl versendete Briefe (gültige Adressen)	Teilnahmemöglichkeiten	Rücklauf (Anzahl ausgefüllte Fragebögen Papier und online)	Rücklaufquote (%)
Polizeistationen	396	Papierfragebogen und online	187	47
Notfallzentrum Inselspital Bern	94	Papierfragebogen und online	46	49
Strassenverkehrsämter	2 373	online	666	28
Fahrsicherheitskurse*	484	Papierfragebogen und online	213	44

* Der Rücklauf bezieht sich bei den Fahrsicherheitskursen nur auf die ausgefüllten Papierfragebogen (nicht online)

Fragebogen befinden sich im Anhang dieses Berichts (Kap. VII).

2.3 Stichprobe

In die Auswertung aufgenommen wurden nur diejenigen Teilnehmenden, die den Fragebogen bis zum Ende ausfüllten (keine Abbrüche). Dies waren insgesamt 4290 Personen. Ausgeschlossen wurden folgende Personen: doppelte Teilnahmen; Personen, die den falschen Fragebogen ausfüllten; Lenker von E-Cargo-Bikes; unter 14-Jährige; Teilnehmende mit zu vielen Missings (fehlende Werte), komplett inkonsistenten Angaben oder fehlender GewichtungsvARIABLE (siehe folgender Abschnitt). Insgesamt wurden 119 Personen (3 %) von der Analyse ausgeschlossen.

Schlussendlich bestand die Stichprobe aus 4171 Personen (52 % Männer, 48 % Frauen). Mehr als die Hälfte der Teilnehmenden wurde passiv über Onlinekanäle rekrutiert (vgl. Abbildung 29). Das Durchschnittsalter betrug 54,4 ($SD = 12,8$) Jahre. Die jüngste Person war 15 Jahre, die älteste 91 Jahre alt. Je ca. 50 % fuhren ein langsames bzw. ein schnelles

E-Bike. Knapp 21 % hatten im Strassenverkehr bisher mindestens einen Alleinunfall gehabt, füllten also den entsprechenden Fragebogen aus. Rund 79 % hatten noch keinen Alleinunfall gehabt und füllten den anderen Fragebogen aus. Die Mehrheit der Befragten (75 %) fuhr zum Zeitpunkt der Befragung bereits 12 oder mehr Monate E-Bike. Rund 10 % wiesen maximal 6 Monate Fahrerfahrung auf.

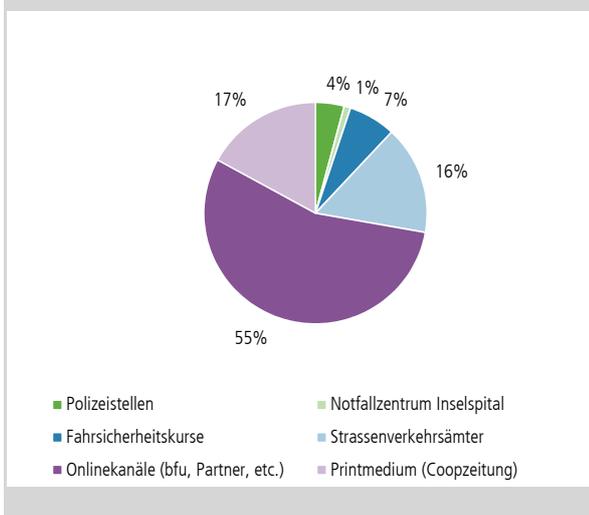
Je nach Rekrutierungsquelle unterschieden sich Durchschnittsalter, Geschlechterverhältnis, der Anteil der gefahrenen E-Bike-Typen und der Anteil an Alleinunfällen aber erheblich. Eine detaillierte Übersichtstabelle dieser Variablen nach Rekrutierungsquelle findet sich im Anhang in Tabelle 6, S. 134.

2.4 Datenbereinigung, Datenaufbereitung und Datenanalyse

Vor der Datenanalyse wurden die Angaben der Teilnehmenden über Unfallhergang und -ursachen von zwei wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen unabhängig voneinander auf Konsistenz geprüft (angekreuzte Antwortmöglichkeit und offener Text). Bei Inkonsistenzen wurden vereinzelt aufgrund des offenen Textes Umcodierungen vorgenommen, vorausgesetzt die beiden Codiererinnen waren sich einig. Gewisse Variablen wurden zu Skalen zusammengefasst (z. B. Sicherheitsgefühl, Expositionsindex) oder dichotomisiert (z. B. Hergänge).

Die Datenanalysen erfolgten mit SPSS Version 24.0 und Stata Version 14.0. Die Auswertungen wurden **gewichtet** durchgeführt, da gewisse Gruppen durch die aktive Rekrutierung überrepräsentiert waren (Teilnehmende von Fahrsicherheitskursen infolge spezifischer Rekrutierung von Kursteilnehmern; Lenkende von schnellen E-Bikes infolge Rekrutierung durch Strassenverkehrsämter). Für die

Abbildung 29
Verteilung der Teilnehmenden nach Rekrutierungsquelle



Bestimmung der Gewichtungsfaktoren wurde die Verteilung der Variablen «Teilnahme an einem Fahr-sicherheitskurs» und «Fahren eines schnellen E-Bikes» im nicht speziell bzw. passiv rekrutierten Sample verwendet. Zusammenhänge (z. B. Einfluss-faktoren für einen Alleinunfall) wurden mittels logis-tischer Regressionen geprüft.

Da es sich bei Teilnehmenden, die über die Polizei und das Notfallzentrum rekrutiert wurden, um sehr spezielle Samples handelt (bzgl. Registrierung durch Polizei und Verletzungsschwere), wurden diese bei- den Samples jeweils separat ausgewertet. Die Teil- nehmenden aus den anderen Rekrutierungsquellen wurden zusammengefasst und die Auswertung ge- wichtet durchgeführt.

3. Resultate

3.1 Deskriptive Statistik über E-Bike- Fahrende generell

In diesem Unterkapitel werden deskriptive Resultate über E-Bike-Fahrende generell (mit und ohne Al- leinunfall) berichtet. Datenbasis ($n = 3\ 658$) sind re- gelmässige E-Bike-Fahrer, die *nicht* über Polizeien und Notfallzentrum rekrutiert wurden (d. h. Stras- senverkehrsämter, Fahrsicherheitskurse, Printme- dium und Onlinekanäle). Die Daten wurden gewich- tet nach den Variablen E-Bike-Typ und Besuch Fahr- sicherheitskurs. Damit dürfte diese Stichprobe die E-Bike-Fahrenden in der Schweiz relativ gut be- schreiben, wobei ein Selbstselektionseffekt aber nicht ausgeschlossen werden kann.

3.1.1 Soziodemografische Variablen

Beinahe 70 % der Befragten sind 50 Jahre oder äl- ter. Nur rund 11 % sind jünger als 40 Jahre (Abbil- dung 30). Mit 48 % Männern und 52 % Frauen ist das Geschlechterverhältnis relativ ausgewogen. Knapp 40 % gaben als höchsten Schulabschluss die Fachhochschule (Seminar, Technikum, HTL, HWV) oder die Universität an, rund 45 % die Berufs- oder Fachschule.

3.1.2 E-Bike-Typ

Knapp 32 % der Befragten fahren ein schnelles, rund 68 % ein langsames E-Bike (Abbildung 31). Je

Abbildung 30
Verteilung der E-Bike-Fahrenden nach Altersklasse

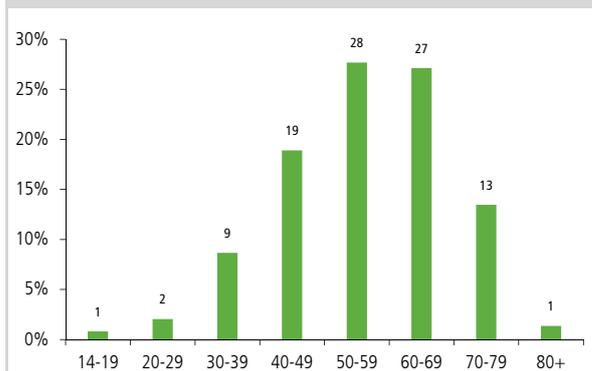
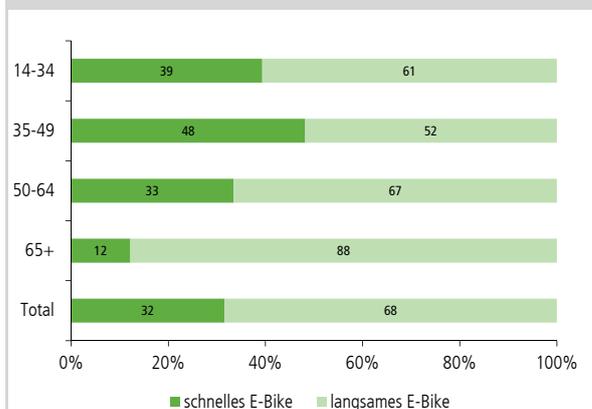


Abbildung 31
Verteilung der E-Bike-Typen nach Altersklasse



nach Alter und Geschlecht zeigt sich aber eine andere Verteilung: Während bei den 65-Jährigen und älteren nur 12 % ein schnelles E-Bike fahren, sind es bei den 35- bis 49-Jährigen 48 %. Männer fahren häufiger ein schnelles E-Bike als Frauen (39 % vs. 25 %).

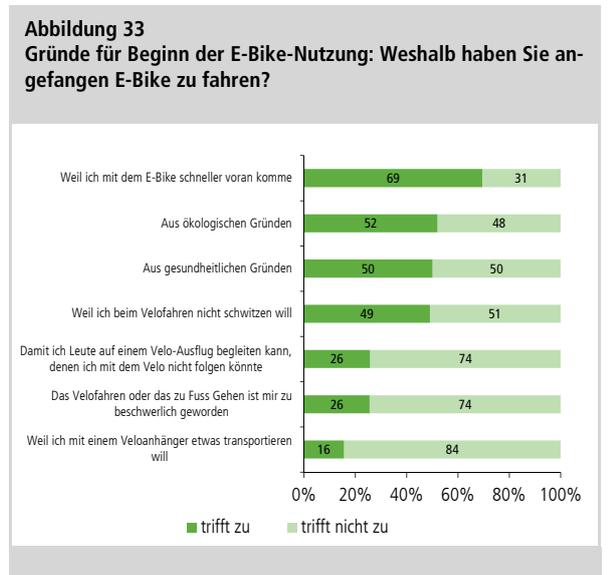
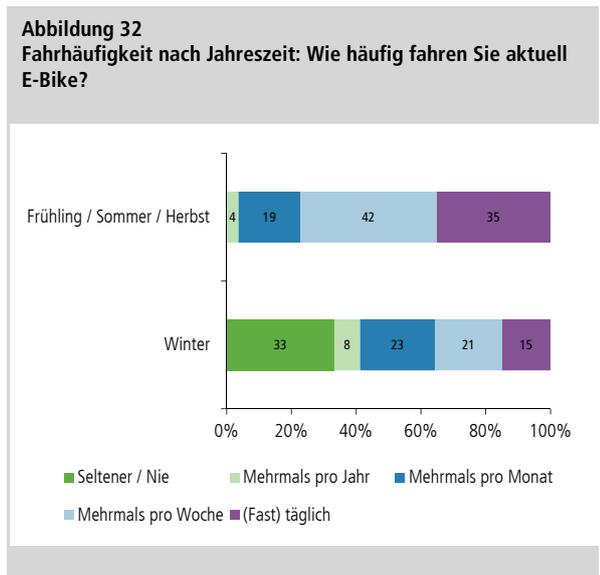
Bei 87 % der gefahrenen E-Bikes handelt es sich um Strassen-E-Bikes, bei knapp 12 % um E-Mountainbikes. 1 % fährt ein Fahrrad, das zu einem E-Bike umgebaut wurde.

Nur ein geringer Prozentsatz fährt ein E-Bike mit Vorderradmotor (3 %). Bei weiteren 3 % liegt der Schwerpunkt des E-Bikes hinten, d. h. sowohl Motor wie Akku befinden sich hinten am E-Bike (Hinterradmotor und Akku am Gepäckträger). Der weitest grösste Teil der E-Bikes hat entweder einen Mittelmotor oder die Kombination von Hinterradmotor und Akku am Rahmen (87 %). 7 % der Befragten konnten keine Angabe zur Anordnung von Motor und Akku machen.

3.1.3 Fahrhäufigkeit und Fahrzweck

In den wärmeren Monaten (Frühling, Sommer, Herbst) wird häufig E-Bike gefahren. 77 % der Teilnehmenden fahren in dieser Zeit mehrmals pro Woche oder gar täglich (Abbildung 32). Im Winter reduziert sich diese Zahl auf knapp 36 %. ¹/₃ gab an, im Winter nicht E-Bike zu fahren. Häufigster Fahrzweck sind Freizeitfahrten (49 %) gefolgt von Arbeits-/Schulweg (37 %). Knapp 9 % nutzen das E-Bike vorwiegend für den Einkauf.

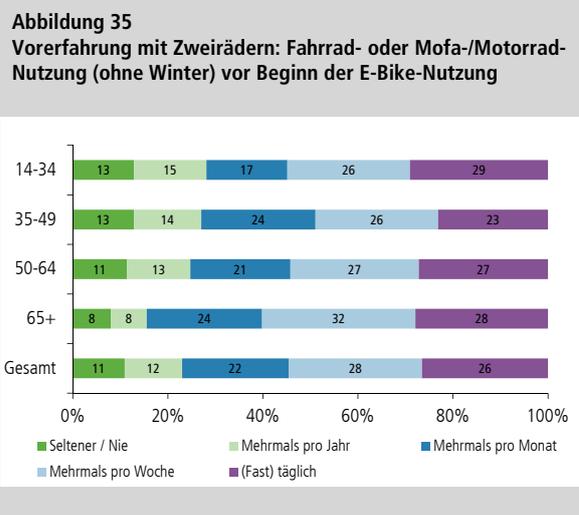
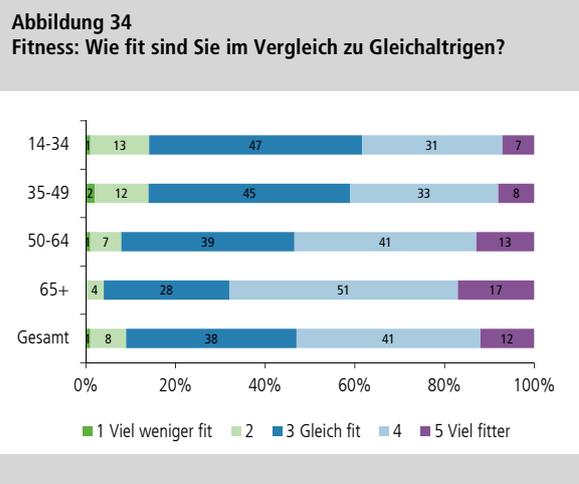
Auf die Frage, weshalb mit E-Bike-Fahren begonnen wurde, wurde oft die Tatsache genannt, dass man damit schneller vorankommt (als z. B. mit Fahrrad, ÖV oder Auto). Ökologische und gesundheitliche Gründe wie auch der Wunsch, beim Radfahren nicht zu schwitzen, wurden ebenfalls von vielen Befragten genannt (vgl. Abbildung 33). Aus den offenen Antworten lässt sich schliessen, dass unter «gesundheitliche Gründe» sowohl gesundheitliche Einschränkungen, die das Radfahren erschweren (Krankheiten, Beschwerden am Bewegungsapparat) wie auch der positive gesundheitliche Aspekt der Bewegung (z. B. Training) verstanden wurden. Als weitere Gründe für den Beginn der E-Bike-Nutzung



wurden in den offenen Antworten häufig eine erhöhte Wohnlage bzw. Bergauffahrten sowie Spass und Freude am E-Bike-Fahren genannt.

3.1.4 Voraussetzungen (Fitness, Vorerfahrungen, E-Bike-Kurs)

Die grosse Mehrheit scheint sich fit zu fühlen. Rund 90 % bezeichnen sich als gleich fit oder fitter als Gleichaltrige (Abbildung 34). In der ältesten Altersklasse fällt der Anteil der Personen, die sich als fitter als Gleichaltrige erachtet, höher aus als in den jüngeren Altersklassen.



Drei Viertel der Teilnehmenden sind gemäss eigener Aussage vor Beginn ihrer E-Bike-Nutzung mindestens mehrmals pro Monat Fahrrad oder Motorrad gefahren. 11 % gaben an, dies praktisch nie getan zu haben. Über die Altersklassen hinweg sehen diese Verteilungen relativ ähnlich aus. Bei den Senioren fällt der Anteil der Ungeübteren interessanterweise etwas kleiner aus als bei den jüngeren Altersgruppen (Abbildung 35). Beinahe die Hälfte der Teilnehmer (47 %) fuhr auch zum Zeitpunkt der Umfrage noch immer regelmässig mit einem konventionellen Fahrrad, 10 % mit einem Mofa / Motorrad. Lediglich 4 % der Befragten haben einen E-Bike-Fahrkurs besucht. Ältere Personen taten dies häufiger als jüngere (Abbildung 36). Das Geschlechterverhältnis war in etwa

Abbildung 36
E-Bike-Fahrkurs: Haben Sie je einen E-Bike-Fahrkurs besucht?

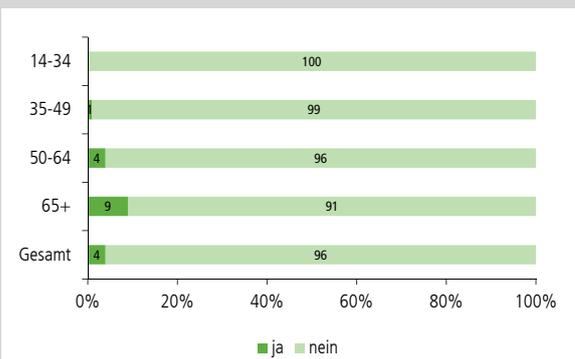
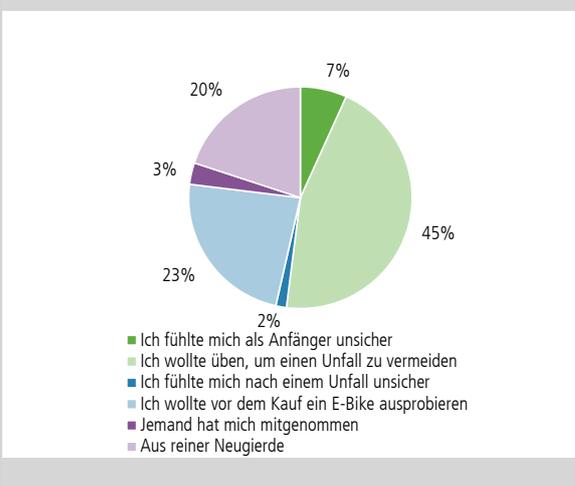


Abbildung 37
Gründe für Kursbesuch: Weshalb haben Sie einen E-Bike-Fahrkurs besucht (Hauptgrund)?



ausgewogen: 4 % aller Männer und 5 % aller Frauen haben einen Kurs besucht. Als häufigste Gründe für die Kursteilnahme gaben die Teilnehmenden an, dass sie üben wollten, um einen Unfall zu vermeiden (45 %). Knapp ein Viertel wollte vor dem Kauf ein E-Bike ausprobieren (23 %) (Abbildung 37).

3.1.5 Sicherheitsgefühl und Unfallerrfahrung

Gefragt nach dem Sicherheitsgefühl in sechs verschiedenen potenziell kritischen Situationen gaben jeweils mindestens 60 % an, sich sicher oder sehr sicher zu fühlen (Abbildung 38). Am höchsten ist das Sicherheitsgefühl beim Fahren auf sehr steilen Strassen bergauf (62 % «sehr sicher»). Verhältnismässig am tiefsten ist es beim Fahren auf einer Strasse mit dichtem Verkehr (28 % «sehr sicher»). Für weitere Analysen wurde aus allen 6 Items ein Gesamtwert für das Sicherheitsgefühl gebildet (Durchschnitt der 6 Items, Maximalwert = 5). Der Mittelwert lag bei 4,14 ($SD = 0,67$).

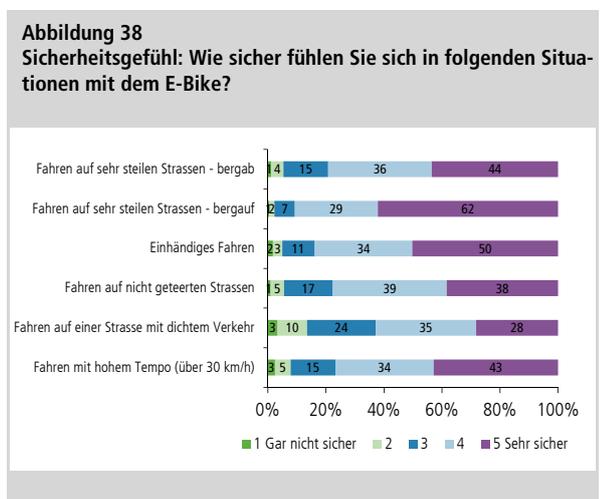
Rund jeder dritte Teilnehmer (34 %) ist mit seinem E-Bike schon mindestens einmal verunfallt (Kollision, Alleinunfall im Gelände oder Alleinunfall auf der Strasse). Am häufigsten waren die Alleinunfälle im Strassenverkehr: Knapp 17 % ist dies bereits einmal oder mehrmals widerfahren (13,1 % einmal, 2,4 %

zweimal, 1,1 % mehr als zweimal). Zwischen den Altersklassen zeigt sich kein Unterschied: Sowohl von den jüngeren, mittleren wie den älteren Altersklassen haben jeweils 16 bis 17 % mindestens einen Alleinunfall im Strassenverkehr erlitten. Differenzen bestehen hingegen zwischen den beiden E-Bike-Typen. Während von den Lenkern langsamer E-Bikes 15 % mindestens einen Alleinunfall im Strassenverkehr hatten, waren es bei den Lenkern von schnellen E-Bikes 20 %. Kollisionen sind seltener als Alleinunfälle: 8 % der Teilnehmenden waren mit dem E-Bike bisher in mindestens eine Kollision involviert (6 % einmal, 1 % zweimal, 1 % mehr als zweimal).

3.1.6 Risiko Alleinunfall im Strassenverkehr

Um zu prüfen, welche Faktoren das Risiko für einen Alleinunfall im Strassenverkehr beeinflussen, wurde eine logistische Regression gerechnet. Ausgegeben wird mit dieser Methode für jede verwendete Einflussvariable (unabhängige Variable) die Odds Ratio (Risikoverhältnis) für einen Alleinunfall. Als unabhängige Variablen wurden zu Beginn diverse mögliche Einflussvariablen für das Unfallrisiko in separaten Regressionen geprüft. Variablen, die einen p-Wert von $\leq 0,2$ ergaben, wurden ins Modell aufgenommen. Danach wurde schrittweise die Variable mit dem höchsten p-Wert aus dem Modell genommen. Im Endmodell beibehalten wurden alle Variablen, die einen p-Wert von 0,2 oder kleiner aufwiesen. Die Ergebnisse der Analyse sind in Abbildung 39, S. 89 zu finden. Die numerischen Ergebnisse sind in Tabelle 7, S. 135 im Anhang aufgeführt.

Die Analyse ergab verschiedene signifikante Effekte ($p < 0,05$): **Männer** haben ein höheres Risiko für Alleinunfälle als Frauen. Nicht überraschend fällt das



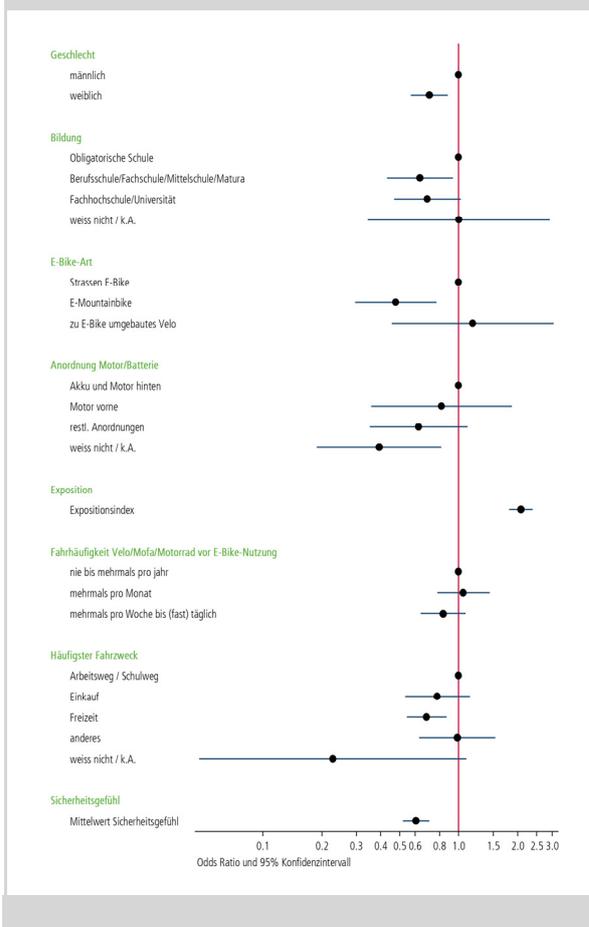
Unfallrisiko bei Personen mit **höherer Exposition**⁷ (d. h. Personen, die oft unterwegs sind, oft auch im Winter) wesentlich höher aus als bei Personen mit geringerer Exposition. Im Vergleich zu Personen, deren häufigster Fahrzweck der **Arbeitsweg / Schulweg** ist, ist das Unfallrisiko bei Personen, die das E-Bike hauptsächlich für die Freizeit nutzen, reduziert. Unterschiede in den Fahrzeiten oder den Orten, an denen gefahren wird, sind hierbei aber nicht auszuschliessen. Wer sich beim E-Bike-Fahren weniger sicher fühlt, berichtet seltener von einem Alleinunfall als Personen mit einem höheren **Sicher-**

heitsgefühl⁸, möglicherweise weil unsicherere Personen vorsichtiger E-Bike fahren oder an anderen Orten bzw. zu anderen Zeiten.

Mit den Einflussfaktoren Bildung (obligatorische Schule vs. Berufsschule / Fachschule / Mittelschule / Matura) und E-Bike-Art (Strassen E-Bike vs. E-Mountainbike) zeigten sich zwei weitere signifikante Einflüsse auf das Risiko für einen Alleinunfall. Die Fallzahlen von jeweils einer Untergruppe (obligatorische Schule und E-MTB) sind aber sehr klein, so dass diese Resultate kaum interpretiert werden können. Zudem könnte die Exposition von E-Mountainbikes im Strassenverkehr verhältnismässig tief sein.

Ein weiterer statistisch signifikanter Einfluss auf das Risiko für einen Alleinunfall im Strassenverkehr zeigte sich hinsichtlich der Anordnung von Motor und Batterie am E-Bike. Wer diesbezüglich keine Angabe machen konnte, berichtete seltener von einem Alleinunfall. Es könnte sich hier jedoch um eine spezielle Nutzergruppe handeln (z. B. Fahrten mit geliehenem E-Bike). In Bezug auf das Alter der Lenkenden wie auch in Bezug auf den **E-Bike-Typ** (schnelles oder langsames E-Bike) ergaben sich keine p-Werte von $\leq 0,2$, weshalb diese Variablen nicht ins Endmodell aufgenommen wurden. Zwischen den verschiedenen Altersgruppen wie auch zwischen den beiden E-Bike-Typen scheinen demnach keine bedeutenden Unterschiede in der Wahrscheinlichkeit für einen Alleinunfall zu bestehen.

Abbildung 39
Ergebnisse logistische Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für einen Alleinunfall im Strassenverkehr



⁷ Für diese Variable wurde ein Expositionsindex bestehend aus den Variablen Fahrfähigkeit im Sommer, Fahrfähigkeit im Winter und Fahrdauer gebildet (progressive Indexwerte, logarithmiert).

⁸ Für diese Variable wurde der Mittelwert von 6 Items zum Sicherheitsgefühl in verschiedenen Fahrsituationen verwendet.

Einbezogen wurden die Angaben von allen Studienteilnehmenden, die berichteten, im Strassenverkehr schon einmal alleine verunfallt zu sein, unabhängig davon, ob es sich dabei um regelmässige E-Bike-Fahrende handelte. Die Hauptanalysen und alle Abbildungen beziehen sich auf die Teilnehmenden, die passiv rekrutiert wurden (d. h. über Strassenverkehrsämter, Fahrsicherheitskurse, Printmedium und Onlinekanäle). Diese Stichprobe besteht aus 638 Personen. Wird die Stichprobe nachfolgend nicht näher spezifiziert, handelt es sich um dieses Sample. Die Daten wurden wiederum nach den Variablen E-Bike-Typ und Besuch Fahrsicherheitskurs gewichtet. Ergänzt werden diese Auswertungen teilweise durch Ergebnisse der Stichproben, die über die Polizeien (n = 171) oder das Notfallzentrum (n = 30) rekrutiert wurden. Diese beiden Stichproben wurden nicht gewichtet.

3.2.1 Unfalljahr, E-Bike-Typ, Personenmerkmale

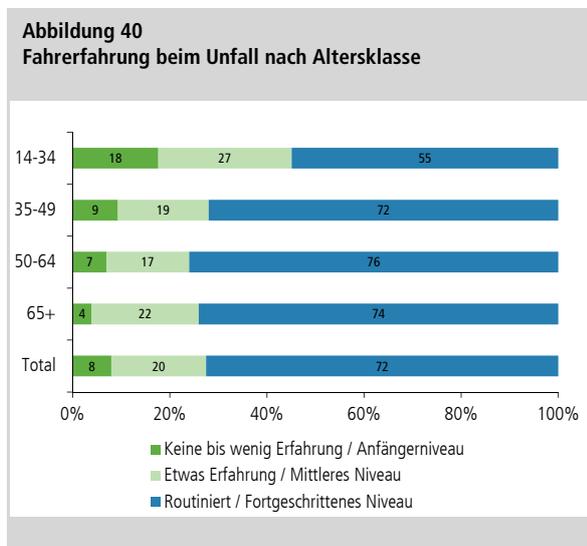
Beinahe drei Viertel der berichteten Alleinunfälle ereigneten sich in den Jahren 2014–2016 (73,5 %). 55 % fuhren zum Unfallzeitpunkt ein langsames, 45 % ein schnelles E-Bike. Rund 70 % waren beim Unfall zwischen 35 und 64 Jahre alt. Die Verunfallten aus dem Polizei-Sample waren etwas älter (70 % waren 50 J. alt oder älter) und fuhren häufiger ein langsames E-Bike (68 %).

Nach eigener Auskunft waren über 70 % der Befragten zum Zeitpunkt des Unfalls **routinierte E-Bike-Fahrer** (Abbildung 40). Nur gerade 8 % gaben an, über keine oder wenig Erfahrung verfügt zu haben. Bei den Senioren fällt dieser Wert mit 4 % am tiefsten aus.

3.2.2 Unfallhergänge

Um die Unfallhergänge zu erfragen, wurden im Fragebogen 8 mögliche Hergänge aufgeführt. Die Teilnehmenden wurden gebeten, alle zutreffenden Hergänge anzukreuzen. Zudem konnten bei einer offenen Frage weitere Angaben zum Hergang gemacht werden. Aufgrund dieser offenen Antworten wurden für die Auswertung 4 weitere Hergänge gebildet. Eine Übersicht über die Häufigkeit aller Unfallhergänge (in Prozent) findet sich in Abbildung 41, S. 91.

Mit Abstand am häufigsten wurde der Hergang **Ausrutschen** genannt. 31 % der Befragten waren auf diese Weise verunfallt. Bei den Lenkern von schnellen E-Bikes fiel dieser Anteil deutlich grösser aus als bei den Lenkern von langsamen E-Bikes (43% vs. 21 %). Aufgrund der offenen Antworten lässt sich schliessen, dass das Ausrutschen oft wegen Eis- oder Schneeglätte passierte. Teilweise wurden auch der nasse Untergrund, Kies / Rollsplitt o. ä., Öl, Schachtdeckel oder Markierungen erwähnt. Nicht unter diesem Hergang eingeordnet wurden Unfälle, bei denen jemand auf Tramschienen / Bahngleisen ausgerutscht ist.



Mit knapp 18 % an zweiter Stelle liegt der Hergang **Überqueren einer Schwelle**. Dies geschah hauptsächlich im Zusammenhang mit dem Randstein, beispielsweise, weil dieser übersehen, falsch eingeschätzt oder in einem zu steilen Winkel angefahren wurde. Mehrere Teilnehmende erwähnten zudem infrastrukturelle Defizite in Zusammenhang mit Schwellen (z. B. «scharfe Randsteine», unklare Verkehrsführung, Baustellen).

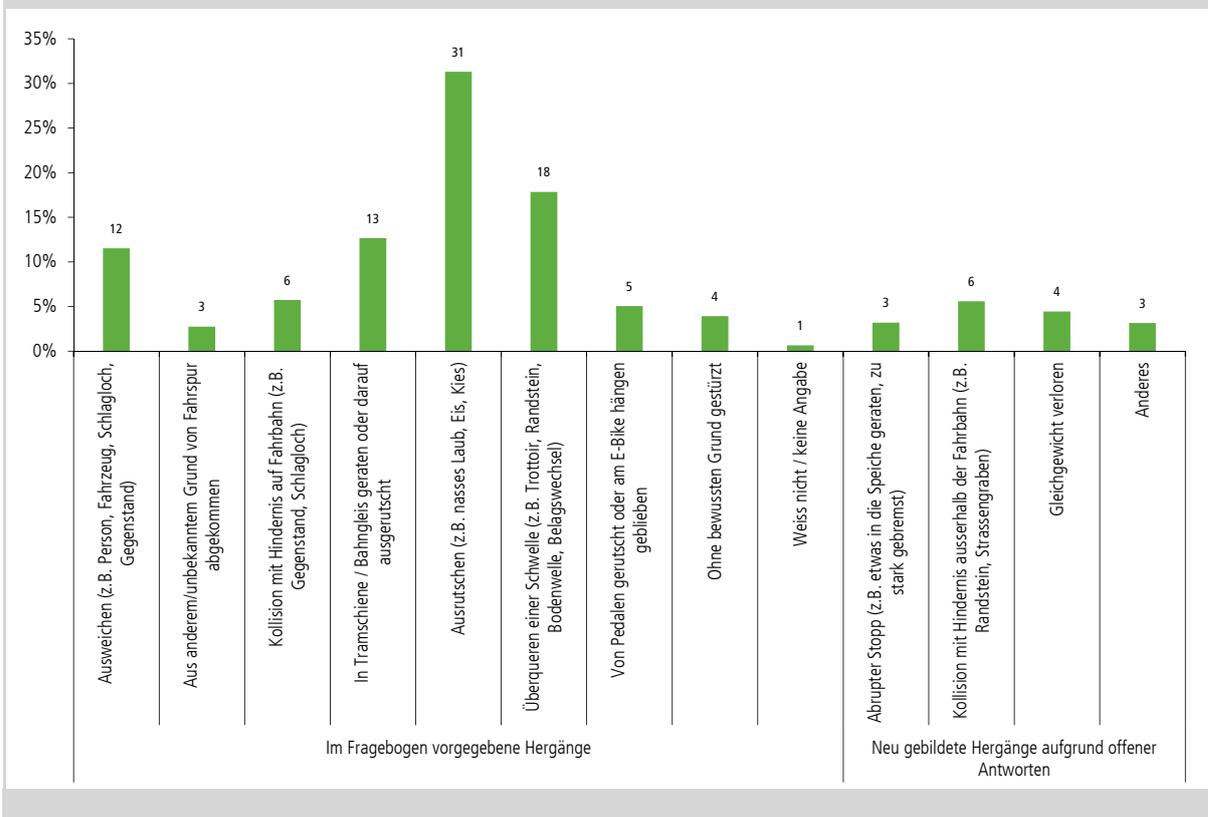
An dritter und vierter Stelle finden sich die Hergänge Tramschiene / Bahngleis (13 %) und Ausweichen (knapp 12 %). Bezüglich **Tramschiene / Bahngleis** sind die Verunfallten v. a. in die Schiene geraten oder darauf ausgerutscht. Mehrere Personen wiesen dabei auf enge Platzverhältnisse hin oder gaben an, aufgrund von Ablenkung oder Ausweichen in die Schiene geraten zu sein. Bei Unfällen im Zusammenhang mit **Ausweichen** wurden vor allem andere

Verkehrsteilnehmende als Ursache genannt (Personenwagen, Fussgänger, andere Radfahrende), vereinzelt auch Tiere oder Dinge wie Kabel, Baustellensignale etc.

Alle anderen Hergänge wie zum Beispiel Kollisionen mit Hindernissen auf oder ausserhalb der Fahrbahn wurden deutlich seltener genannt.

Bei der Stichprobe, die durch die Polizeien rekrutiert wurde, lagen dieselben vier Unfallhergänge an der Spitze. Allerdings fiel die Reihenfolge dieser vier Hergänge anders aus (1. Überqueren einer Schwelle, 2. Ausweichen, 3. Ausrutschen, 4. Tramschiene / Bahngleis). Vom Sample aus dem Notfallzentrum war mehr als 1/3 im Zusammenhang mit Tramschienen / Bahngleis verunfallt, was darauf zurückzuführen sein dürfte, dass sich das Zentrum in

Abbildung 41
Unfallhergänge in Prozent (Mehrfachnennungen möglich)



einer Stadt mit Trambetrieb befindet. Weitere 20 % waren ausgerutscht.

3.2.3 Rahmenbedingungen

Die meisten der berichteten Alleinunfälle ereigneten sich **während der Fahrt** (59 %) oder beim **Abbremsen** (21 %). 9 % verunfallten beim Anfahren, knapp 6 % beim Absteigen und weitere 5 % verunfallten im Stand.

Rund die Hälfte der Befragten gab an, beim Unfall mit einer **Geschwindigkeit** bis zu 15 km/h unterwegs gewesen zu sein. 11 % verunfallten nach eigenem Bekunden mit einer Geschwindigkeit von über 25 km/h (Abbildung 42). In den Stichproben des Notfallzentrums und der Polizeien wurden etwas höhere Geschwindigkeiten berichtet (Notfallzentrum: 25 % > 25 km/h, 43 % 16–25 km/h; Polizeien: 16 % > 25 km/h, 57 % 16–25 km/h).

Knapp 65 % der Alleinunfälle geschahen auf **ebener Strecke**, 20 % in leichtem, 5 % in starkem Gefälle. Die restlichen Unfälle passierten in der Steigung. In Bezug auf die Strassensituation kamen Unfälle auf gerader Strecke (42 %) und in Kurven (29 %) am häufigsten vor (Abbildung 43).

Strassentyp und Radführung beim Unfall dürften die Exposition widerspiegeln. 72 % der Unfälle ereigneten sich innerorts, davon 49 % in 50 km/h-Zonen und 23 % in Tempo-20- oder Tempo-30-Zonen. Rund ein Fünftel der Unfälle passierte ausserorts (7 % auf Haupt- und 15 % auf Nebenstrassen) und der Rest (7 %) auf privaten Strassen oder Arealen. Nur ein Viertel aller Unfälle geschah auf einer Strasse mit spezifischer Fahrradinfrastruktur, d. h. auf einem Radstreifen oder Radweg. 68 % der Unfälle geschahen nach Auskunft der Verunfallten auf Strassen ohne Radstreifen.

Auch die **Lichtverhältnisse** zum Unfallzeitpunkt dürften die Exposition widerspiegeln: Bei 66 % der Unfälle war es hell (Tageslicht), bei knapp 22 % herrschte Dämmerung (14 % morgens, 8 % abends) und bei rund 12 % Dunkelheit.

Beinahe alle Teilnehmenden (97 %) gaben an, beim Unfall **nicht alkoholisiert** gewesen zu sein. Knapp 2 % waren nach eigener Angabe leicht und 1 % mittel bis stark alkoholisiert. In den Stichproben der Polizeien und des Notfallspitals gab jeweils ein etwas grösserer Anteil an, alkoholisiert gewesen zu sein (5 % leicht, 4 % mittel bis stark).

Abbildung 42
Verteilung der Unfälle nach Geschwindigkeit zum Unfallzeitpunkt

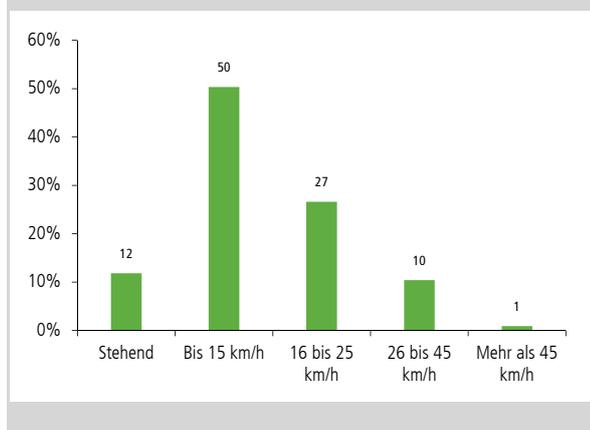
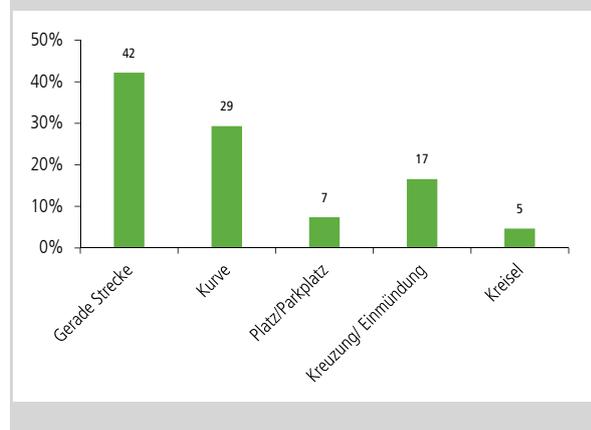


Abbildung 43
Verteilung der Unfälle nach Strassensituation

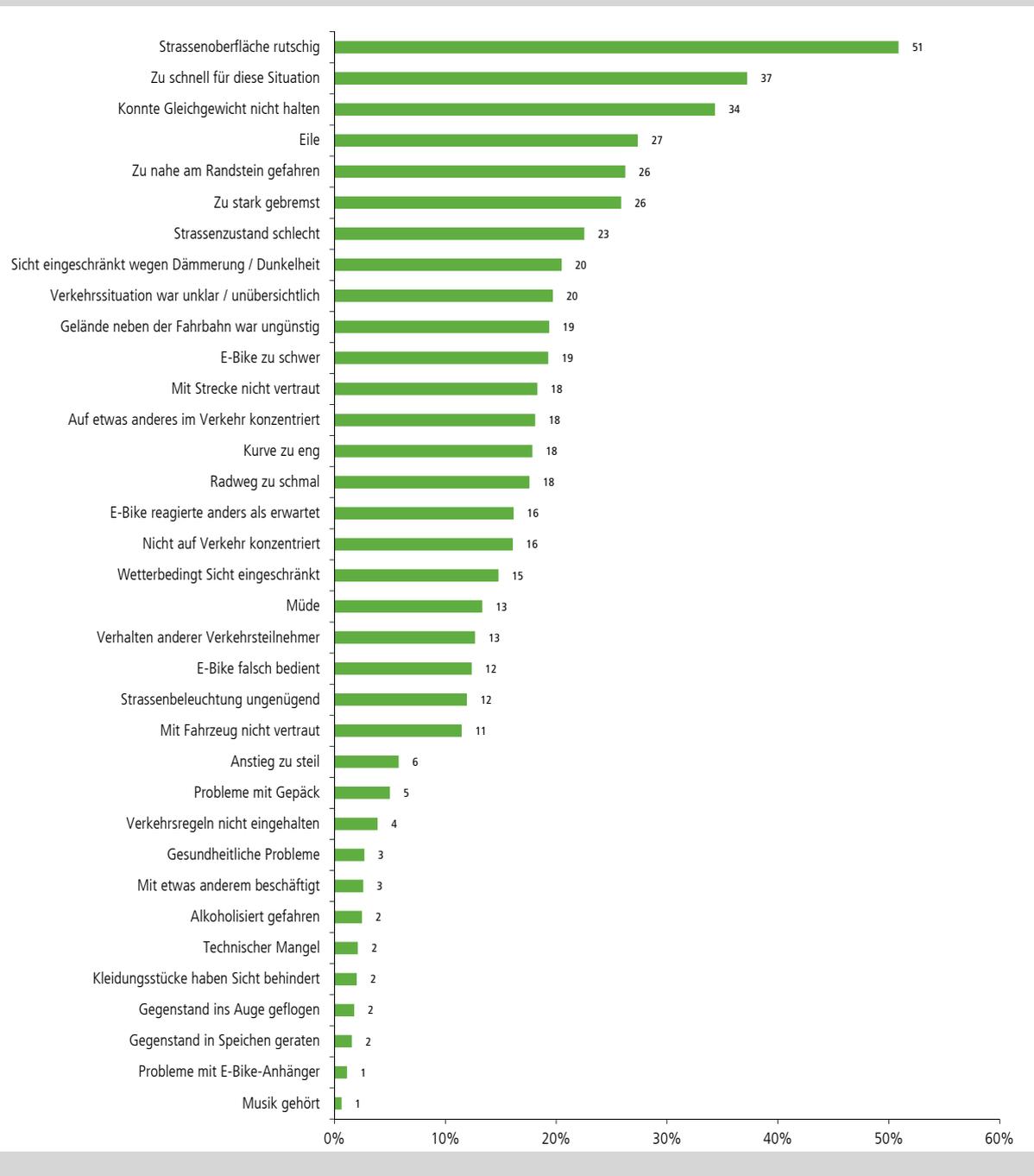


3.2.4 Unfallursachen (Einflussfaktoren)

Um die Unfallursachen von Alleinunfällen zu eruieren, wurden die Teilnehmenden gefragt, in welchem Ausmass verschiedene Faktoren den Unfall mitbeeinflusst haben. Für die Auswertung wurden die Antworten dichotomisiert (Einflussfaktor hatte

zumindest leichten Einfluss vs. keinen Einfluss). Eine Übersicht über alle Einflussfaktoren sortiert nach ihrer Auftretenshäufigkeit (Prozent aller Unfälle) findet sich in Abbildung 44.

Abbildung 44
Unfallursachen / Einflussfaktoren in Prozent (Mehrfachnennungen möglich)



Entsprechend dem häufigsten Hergang «Ausrutschen» wurde als häufigster Einflussfaktor angegeben, dass die **Strassenoberfläche rutschig** war. Mehr als ein Drittel gab zudem an, für die Situation **zu schnell** unterwegs gewesen zu sein. Ebenfalls oft genannt wurde die Tatsache, dass das Gleichgewicht nicht gehalten werden konnte. Dies war aber oft nicht die Hauptursache für den Sturz, sondern die Folge einer anderen Ursache (z. B. erst ausgerutscht, dann Gleichgewicht verloren). Einzelne der erfragten potenziellen Einflussfaktoren für den Alleinunfall bezogen sich spezifisch auf die Eigenschaften des E-Bikes. 19 % waren der Meinung, dass das Gewicht des E-Bikes zumindest einen leichten Einfluss auf den Unfall hatte. 16 % meinten, das E-Bike hätte anders reagiert als erwartet.

Von den Befragten, die über die Polizei rekrutiert wurden, befanden sich die beiden Einflussfaktoren Geschwindigkeit und rutschige Strassenoberfläche ebenfalls weit oben in der Rangliste (Platz 2 und 3). Am häufigsten genannt wurde – passend zum häufigsten Hergang in dieser Stichprobe – der Einflussfaktor «zu nahe am Randstein gefahren» (30 %). Im Sample des Notfallzentrums lag entsprechend dem häufigsten Hergang Tramgleis / Bahnschiene der Einflussfaktor «Radweg zu schmal» an der Spitze, gefolgt von «zu schnell für diese Situation» und «Eile».

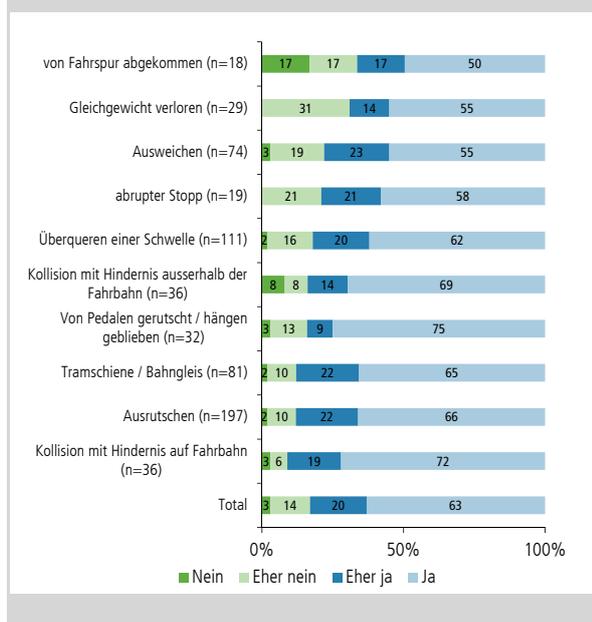
Auf die konkrete Frage, ob der **Unfall auch mit einem normalen Fahrrad passiert wäre**, antworteten rund 82 % mit ja oder eher ja. Knapp 18 % meinten, der Unfall wäre mit dem konventionellen Fahrrad (eher) nicht passiert (Abbildung 45). Am grössten fiel dieser Anteil bei den Unfallhergängen «von der Fahrspur abgekommen» und «Gleichgewicht verloren» aus (jeweils etwas über 30 %). Da die Fallzahlen dieser beiden Hergänge aber klein

sind, ist dieses Resultat kaum interpretierbar. Personen, die der Meinung waren, ihr Unfall wäre mit dem normalen Fahrrad (eher) nicht passiert, nannten als Einflussfaktoren für den Unfall überproportional häufig die folgenden: «zu schnell für diese Situation», «konnte Gleichgewicht nicht halten», «E-Bike reagierte anders als erwartet», «E-Bike zu schwer», «E-Bike falsch bedient», «Kurve zu eng», «mit Fahrzeug nicht vertraut» und «Anstieg zu steil».

3.2.5 Relevante Faktoren für die häufigsten Unfallhergänge

Im Unterkapitel V.3.2.2, S. 90 wurden vier zentrale Unfallhergänge identifiziert (Ausrutschen, Überqueren einer Schwelle, Tramschiene / Bahngleis und Ausweichen). Für jeden dieser vier Hergänge wurde geprüft, welche spezifischen (Einfluss)faktoren damit einhergehen. Gerechnet wurden wiederum logistische Regressionen mit dem jeweiligen Hergang als abhängige Variable (z. B. Odds Ratio für den Un-

Abbildung 45
Einfluss E-Bike auf Unfall: Denken Sie, dass der Unfall auch mit einem normalen Fahrrad passiert wäre? Verteilung der Antworten nach Unfallhergang



fallhergang Ausrutschen vs. die anderen Unfallhergänge). Als unabhängige Variablen wurden zu Beginn alle erfragten Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen des Unfalls sowie verschiedene Variablen zur verunfallten Person in separaten Regressionen geprüft. Variablen, die einen p-Wert von $\leq 0,2$ ergaben, wurden ins Modell aufgenommen. Danach wurde schrittweise die Variable mit dem höchsten p-Wert aus dem Modell genommen. Im Endmodell beibehalten wurden alle Variablen, die einen p-Wert von 0,2 oder kleiner aufwiesen. Die Ergebnisse dieser vier logistischen Regressionen sind in den Abbildungen 46–49 (S. 96–97) dargestellt. Die entsprechenden numerischen Ergebnisse finden sich in den Tabellen 8–12 im Anhang (S. 136–142). Für alle vier Unfallhergänge ergaben sich mehrere Variablen, die eine signifikante Beziehung zum jeweiligen Hergang aufwiesen. Im nachfolgenden Text werden die inhaltlich interessantesten Ergebnisse berichtet. Weitere signifikante Zusammenhänge können den Abbildungen entnommen werden.

In Bezug auf den häufigsten Hergang, das **Ausrutschen** ergab sich u. a. folgendes Bild: Betroffen von Alleinunfällen durch Ausrutschen waren häufiger jüngere, überdurchschnittlich fitte und routinierte E-Bike-Fahrer. In Kurven, Kreuzungen / Einmündungen und Kreiseln war die Wahrscheinlichkeit für diesen Unfallhergang ebenfalls erhöht. Mit Abstand die höchste Wahrscheinlichkeit (Odds Ratio 300) für einen Unfall durch Ausrutschen ergab sich erwartungsgemäss dann, wenn die Strassenoberfläche rutschig war. Wer angab, vor dem Unfall zu stark gebremst zu haben, berichtete ebenfalls öfters von diesem Unfallhergang. Die Lenker von schnellen E-Bikes waren tendenziell etwas häufiger aufgrund von Ausrutschen verunfallt als die Lenker von langsamen E-Bikes. Eine statistische Signifikanz ($p < 0,05$) konnte aber nicht nachgewiesen werden.

Die höchste Wahrscheinlichkeit für den zweithäufigsten Unfallhergang, das **Überqueren einer Schwelle**, wiesen Personen auf, die angaben, zu nahe am Randstein gefahren zu sein. Auch bei Unfällen, die sich auf separaten Rad- und Gehwegen oder auf dem Trottoir ereigneten, war die Wahrscheinlichkeit für diesen Unfallhergang erhöht. Lenker, die der Meinung waren, der steile Anstieg hätte einen Einfluss auf ihren Unfall gehabt, berichteten ebenfalls öfters von diesem Unfallhergang. Hinsichtlich des E-Bike-Typs zeigte sich zwar eine starke Tendenz dahingehend, dass Lenker von langsamen E-Bikes eine höhere Wahrscheinlichkeit für Unfälle im Zusammenhang mit Schwellen aufweisen als Lenker von schnellen E-Bikes. Das statistische Signifikanzniveau ($p < 0,05$) wurde jedoch nicht erreicht.

Unfälle im Zusammenhang mit **Tramschienen oder Bahngleisen** fanden sich häufiger bei der jüngsten Altersgruppe (14–34 Jahre) sowie bei Lenkern, die zum Unfallzeitpunkt auf etwas anderes im Verkehr fokussiert waren. Eine deutlich erhöhte Wahrscheinlichkeit für diesen Unfallhergang fand sich zudem bei Personen, die angaben, die Fahrbahn bzw. der Radstreifen sei zu schmal gewesen. In Kreiseln und auf separaten Rad- und Gehwegen kamen Unfälle im Zusammenhang mit Schienen hingegen erwartungsgemäss seltener vor. In Bezug auf den E-Bike-Typ (schnelles oder langsames E-Bike) ergab sich kein p-Wert von $\leq 0,2$, sodass die Variable nicht ins Endmodell aufgenommen wurde.

Abbildung 46
Ergebnisse logistische Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Ausrutschen

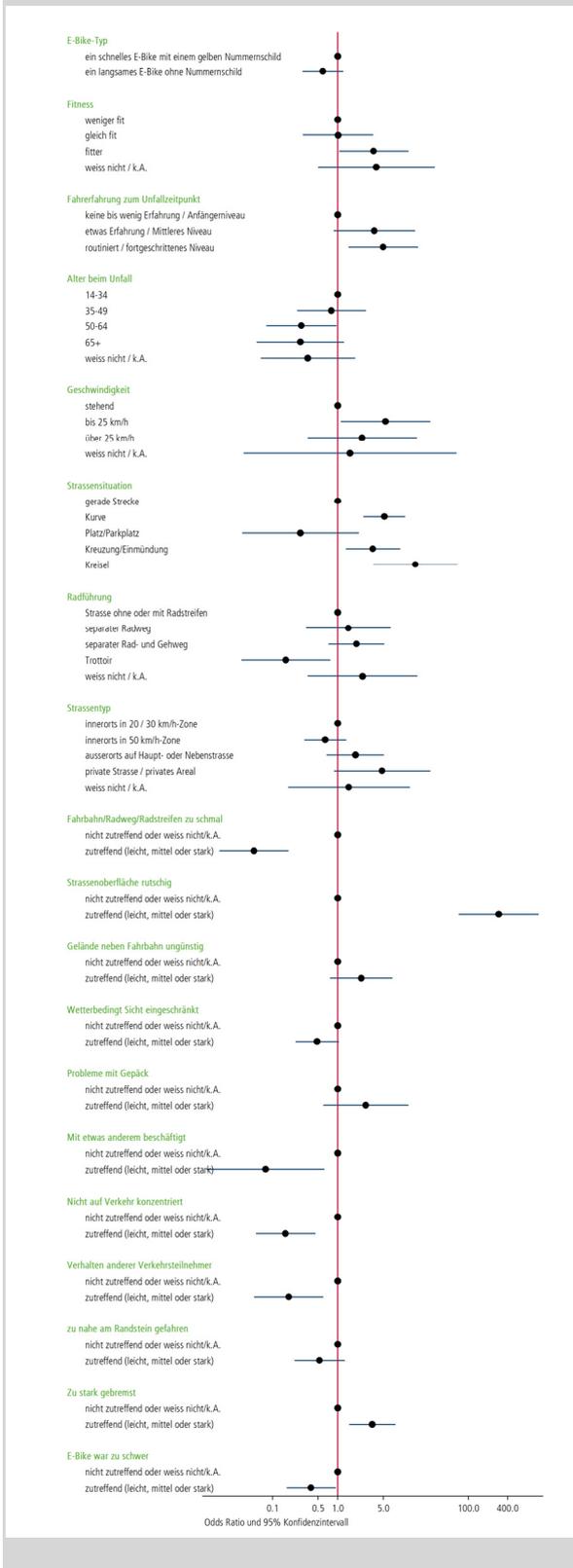


Abbildung 47
Ergebnisse logistische Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Überqueren einer Schwelle

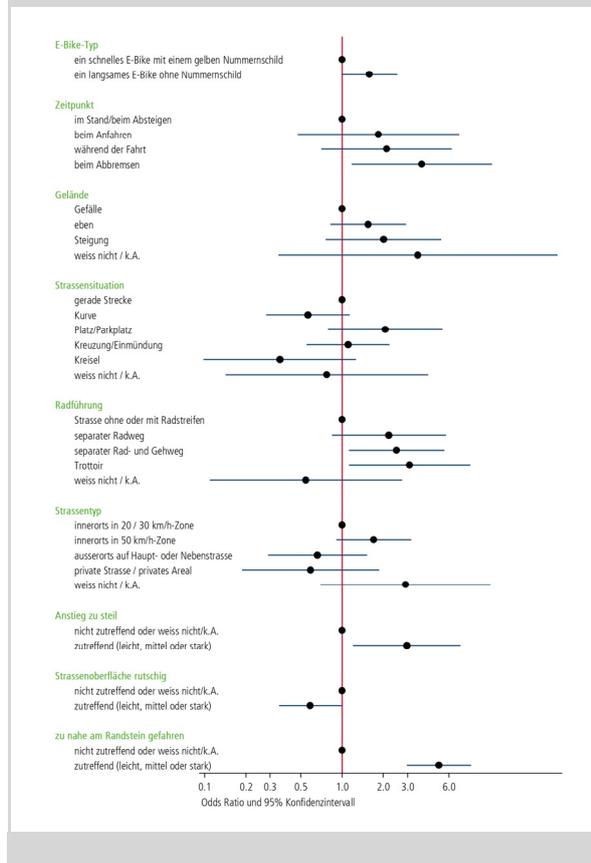


Abbildung 48
Ergebnisse logistische Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Tramschiene/Bahngleis

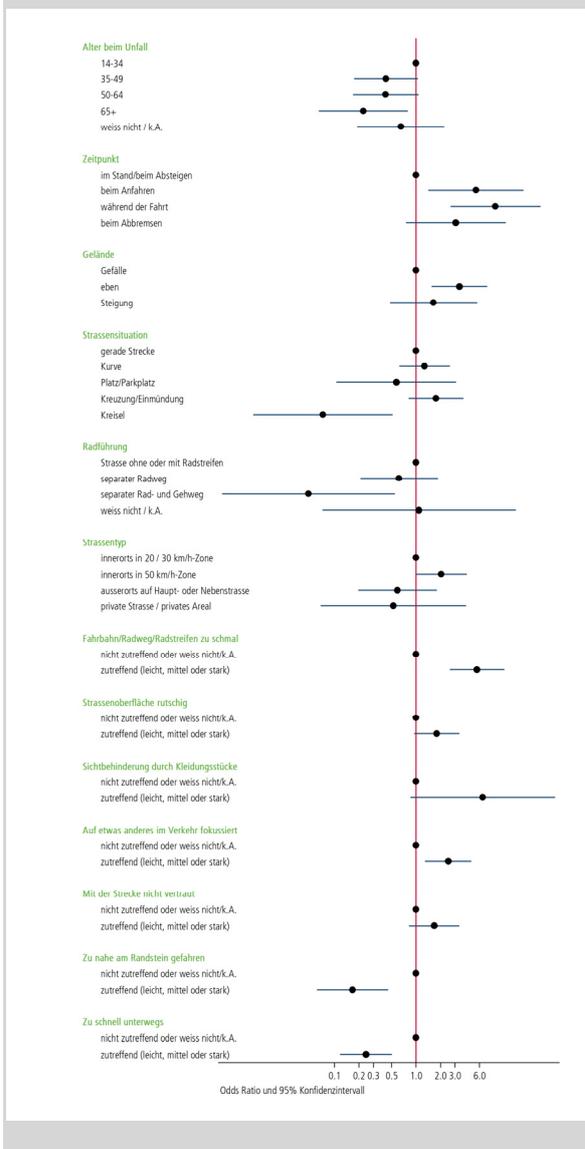
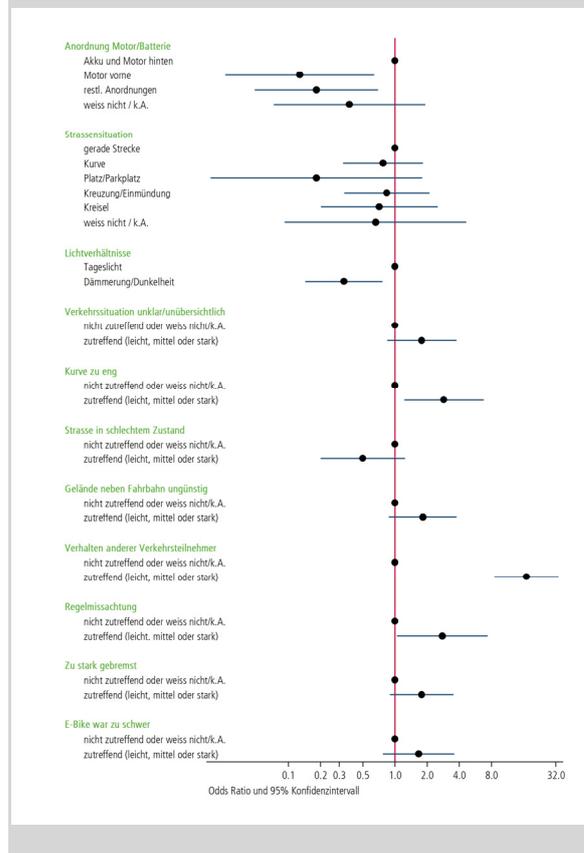


Abbildung 49
Ergebnisse logistische Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Ausweichen



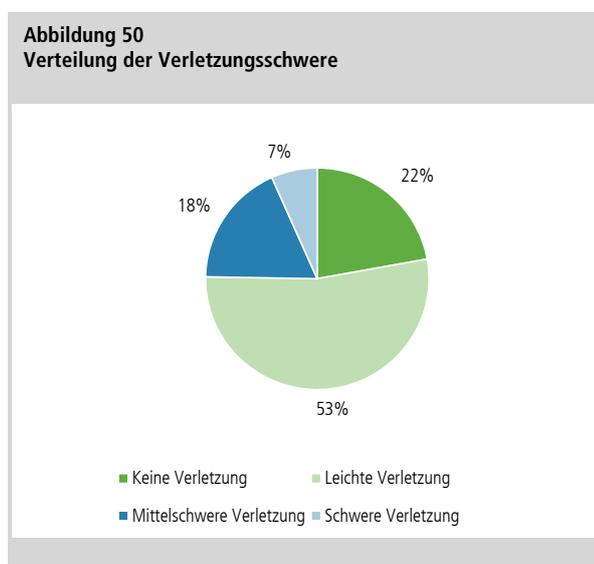
Die mit Abstand höchste Wahrscheinlichkeit für den vierten Unfallhergang, das **Ausweichen**, fand sich aus verständlichen Gründen bei Personen, die berichteten, das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer hätte einen Einfluss auf ihren Unfall gehabt (OR 17). E-Bike-Fahrer, die ihren Unfall (unter anderem) darauf zurückführten, dass die Kurve zu eng war oder dass sie die Verkehrsregeln missachtet hatten, berichteten ebenfalls häufiger von diesem Unfallhergang. Bezüglich E-Bike-Typ (schnelles oder langsames E-Bike) ergab sich kein p-Wert von $\leq 0,2$, weshalb diese Variable nicht ins Endmodell aufgenommen wurde.

3.2.6 Verletzungsschwere, Registrierung durch Polizei

Die Mehrheit der Alleinunfälle endete glimpflich. 75 % der Verunfallten haben sich nach eigener Angabe beim Unfall keine oder nur eine leichte Verletzung (nur Selbstbehandlung) zugezogen (Abbildung 50). 18 % hatten sich aber mittelschwer (ambulante Behandlung z. B. in einer Arztpraxis) und 7 % schwer (stationäre Behandlung im Spital) verletzt.

Wie zu erwarten sah die Verteilung der Verletzungsschwere in den Stichproben der Polizei und des Notfallzentrums anders aus: Im Polizei-Sample hatten sich nur gut 5 % keine oder nur eine leichte, 28 % eine mittelschwere und knapp 67 % eine schwere Verletzung zugezogen. Vom Sample des Notfallzentrums hatten sich 17 % mittelschwer und 70 % schwer verletzt. 13 % hatten sich nicht oder nur leicht verletzt. Möglicherweise waren diese Personen aufgrund einer Kollision im Notfallzentrum, gaben in der Befragung nun aber über einen (anderen) Alleinunfall Auskunft.

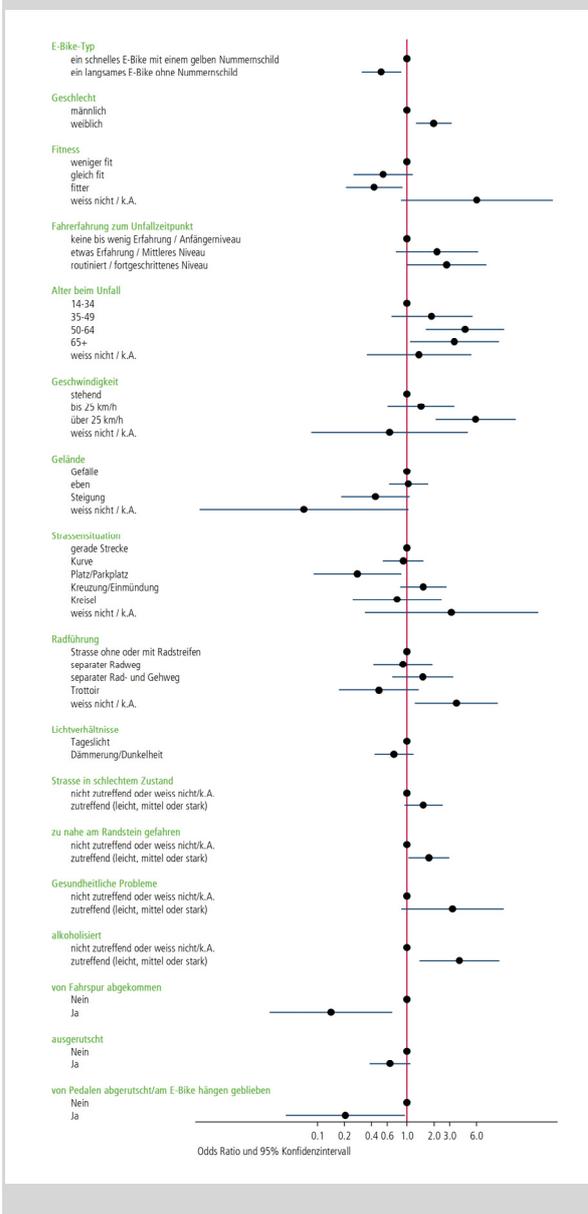
Auch in Bezug auf die **Verletzungsschwere** wurde eine logistische Regression berechnet (gleiches Vorgehen wie bei den vorangehenden Regressionen). Als abhängige Variable wurde die Verletzungsschwere in dichotomer Form (keine / leichte Verletzung vs. Mittelschwere / schwere Verletzung) verwendet. Berechnet wurde somit für diverse mögliche (Einfluss)faktoren die Odds Ratio für eine mittelschwere / schwere Verletzung. Die Resultate sind in Abbildung 51, S. 99 dargestellt. Eine Tabelle mit den numerischen Ergebnissen der Regression findet sich im Anhang (Tabelle 12, S. 142).



Mehrere Personenmerkmale, Rahmenbedingungen, Ursachen und Unfallhergänge standen signifikant mit der Verletzungsschwere in Zusammenhang. Bezüglich der Personenmerkmale zeigte sich, dass Frauen, ältere und weniger fitte Personen mit höherer Wahrscheinlichkeit mittelschwere oder schwere Verletzungen erlitten als Männer, jüngere und fittere Personen. Lenkende von schnellen E-Bikes verletzten sich häufiger (mittel)schwer als Lenkende

von langsamen E-Bikes. Hinsichtlich der Geschwindigkeit zum Unfallzeitpunkt zeigte sich tendenziell eine Dosis-Wirkungs-Beziehung (höhere Verletzungsgrade bei höheren Geschwindigkeiten), wobei sich aber nur zwischen den beiden Ausprägungen «über 25 km/h» und «stehend» ein signifikanter Unterschied ergab. Weiter fand sich bei Personen, die zu nahe am Randstein gefahren waren sowie bei Personen, die beim Unfall alkoholisiert waren, eine signifikant erhöhte Wahrscheinlichkeit für eine (mittel)schwere Verletzung. Tendenziell weniger schwer (aber nicht signifikant) waren Unfälle durch Ausrutschen.

Abbildung 51
Ergebnisse logistische Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für eine mittelschwere/schwere Verletzung



Werden nur mittelschwer und schwer verletzte Personen betrachtet und die Häufigkeit der verschiedenen Unfallhergänge analysiert, ergibt sich wiederum dieselbe Rangliste der Hergänge wie wenn alle Verletzungsgrade betrachtet werden (1. Ausrutschen, 2. Überqueren einer Schwelle, 3. Tramschiene / Bahngleis, 4. Ausweichen). Aufgrund ihrer Häufigkeit auch bei schweren Unfällen lässt sich schliessen, dass **Unfälle wegen Ausrutschens** – obwohl diese tendenziell eher weniger schwer sind als andere Hergänge – der bedeutsamste Hergang bei E-Bike-Alleinunfällen darstellen.

Nur knapp 3 % der Befragten gaben an, dass die **Polizei** den Unfall aufgenommen hatte. Bei schwereren Verletzungen war dies wie zu erwarten häufiger der Fall als bei leichteren Verletzungen (Abbildung 52, S. 100).

Allerdings wurde selbst bei den schweren Verletzungen, die eine stationäre Behandlung im Spital nach sich zogen, nach Angabe der Verunfallten nicht einmal jeder fünfte Unfall polizeilich registriert. Es muss jedoch angemerkt werden, dass möglicherweise nicht allen Befragten bewusst war,

dass der Unfall von der Polizei aufgenommen wurde.

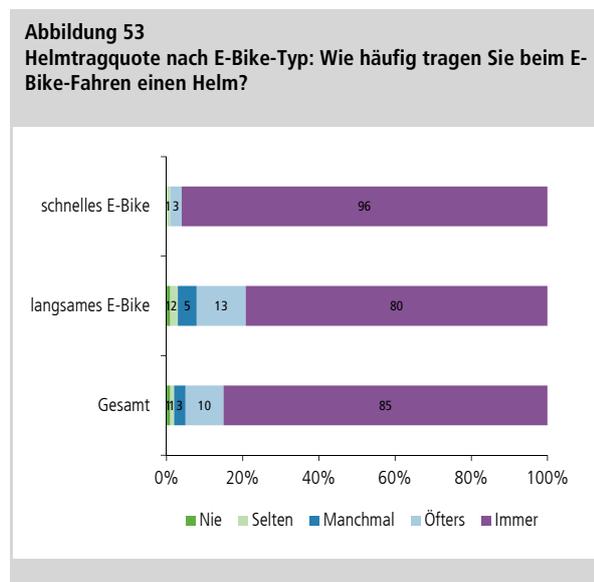
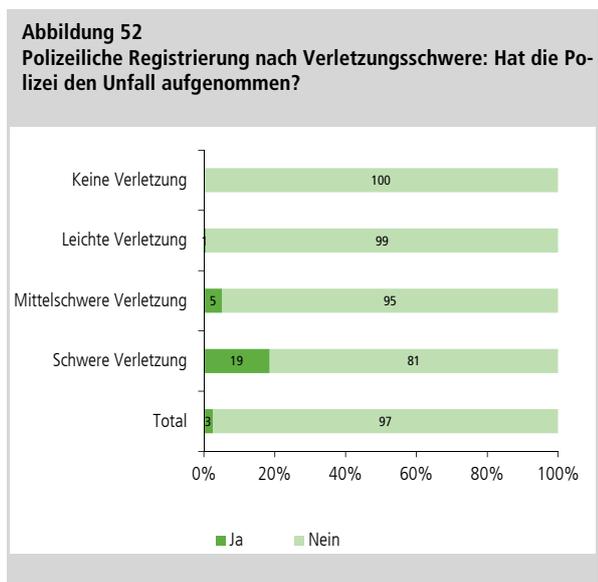
Bei der Stichprobe, die über das Notfallzentrum rekrutiert worden war, war nach Angabe der Befragten etwas mehr als die Hälfte der Unfälle (knapp 54 %) von der Polizei registriert worden.

3.3 Ergebnisse Befragung von E-Bike-Fahrenden ohne Alleinunfall

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse jener Fragen berichtet, die nur Personen gestellt wurden, die bisher keinen Alleinunfall im Strassenverkehr erlitten haben. Die Fragen bezogen sich auf die verwendete Schutzausrüstung, Erfahrungen bei der Verkehrsteilnahme mit dem E-Bike und Möglichkeiten zur Erhöhung der Sicherheit von E-Bike-Fahrenden. Die Stichprobe besteht aus 3016 Personen, die alle regelmässig E-Bike fahren. Die Daten wurden wiederum nach den Variablen E-Bike-Typ und Teilnahme an einem Fahrsicherheitskurs gewichtet.

3.3.1 Schutzausrüstung

Fast alle Teilnehmer besitzen einen **Fahrradhelm** (96 %). 85 % aller Befragten gaben an, den Helm immer zu tragen, knapp 2 % tragen nie oder nur selten einen Helm. Lenkende von schnellen E-Bikes, für die eine Helmtragepflicht besteht, geben häufiger an, immer einen Helm zu tragen als Lenkende von langsamen E-Bikes (96 % vs. 80 %) (Abbildung 53). Zwischen den Geschlechtern und Altersklassen zeigten sich keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Häufigkeit des Helmtragens.



Bei Tageslicht tragen nach eigener Angabe rund 20 % immer oder öfters lichtreflektierende Materialien oder Sicherheitswesten, bei Dunkelheit sind es 49 %. Lenkende von schnellen E-Bikes tragen sowohl bei Tageslicht wie bei Dunkelheit häufiger entsprechende Materialien als Lenkende von langsamen E-Bikes (vgl. Abbildung 54 und Abbildung 55).

3.3.2 Erfahrungen im Strassenverkehr

Um Informationen zu gewinnen, welche Erfahrungen die E-Bike-Fahrenden im Strassenverkehr machen, wurden die Teilnehmenden gebeten, ihre Zustimmung zu verschiedenen Aussagen auszudrücken. In Abbildung 56, S. 102 sind die Resultate der Lenker langsamer E-Bikes dargestellt, in Abbildung 57, S. 102 die Resultate der Lenker schneller E-Bikes.

Die Ergebnisse zeigen, dass Lenkende von schnellen E-Bikes im Vergleich zu Lenkenden von langsamen E-Bikes deutlich häufiger der Meinung sind, ihre Geschwindigkeit würde von anderen Verkehrsteilnehmern oft unterschätzt. Für 34 % der Lenker schneller E-Bikes traf diese Aussage «sehr», für weitere 30 % «eher» zu. Beide Lenkergruppen scheinen sich auf Schweizer Strassen relativ sicher zu fühlen.

Hinsichtlich dem Befinden auf unterschiedlichen Arten der Radführung zeigt sich, dass das Fahren auf Radwegen (separater Weg nur für Fahrräder) generell am angenehmsten empfunden wird, gefolgt vom Fahren auf Radstreifen (gestrichelte Linie auf der Fahrbahn). Das Fahren auf Rad-/Gehwegen (gemeinsamer Weg für Fahrräder und Fussgänger) scheinen Lenkende von langsamen E-Bikes als positiver zu erleben als Lenkende von schnellen E-Bikes. Das Fahren auf Strassen ohne Radstreifen wird öfters als wenig angenehm erlebt. Wie zu erwarten überholen Lenkende von schnellen E-Bikes nach eigener Angabe häufiger andere Radfahrende als Lenkende von langsamen E-Bikes (sowohl in der Steigung wie auf ebener Strecke).

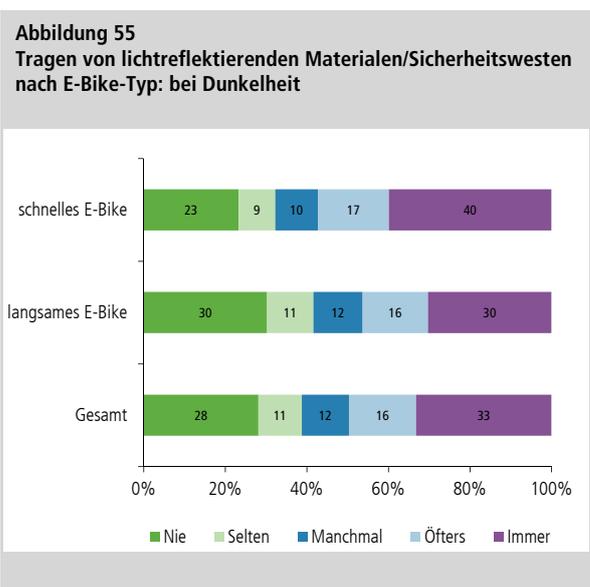
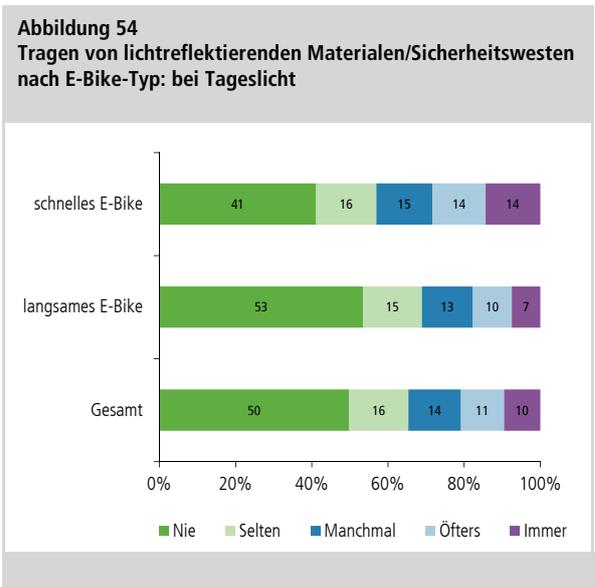


Abbildung 56
Zustimmung von Lenkern langsamer E-Bikes zu verschiedenen Aussagen

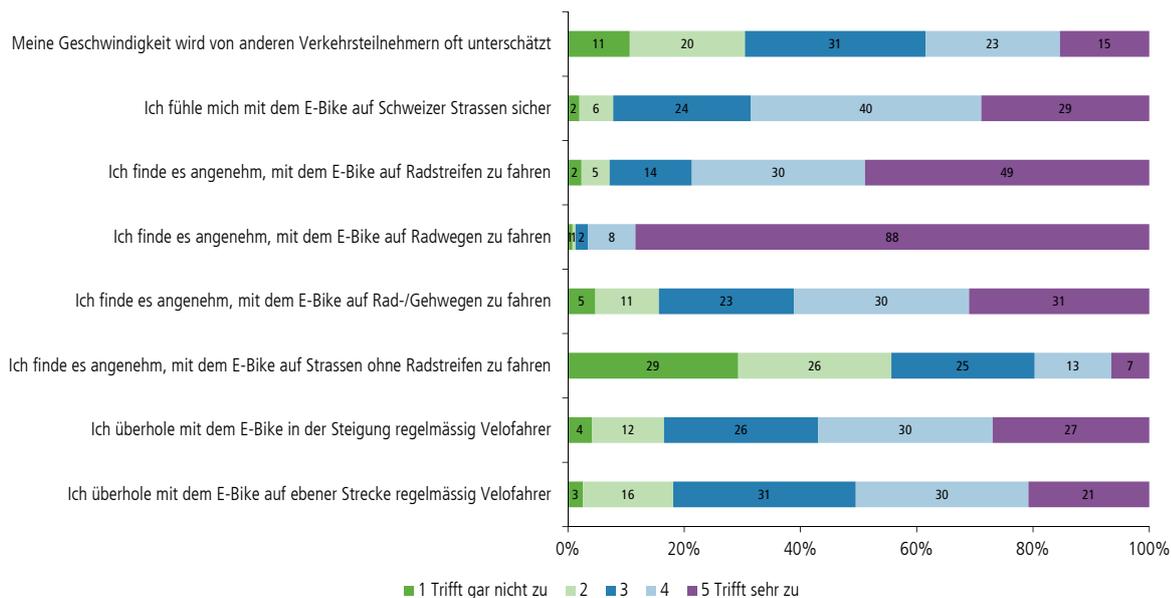
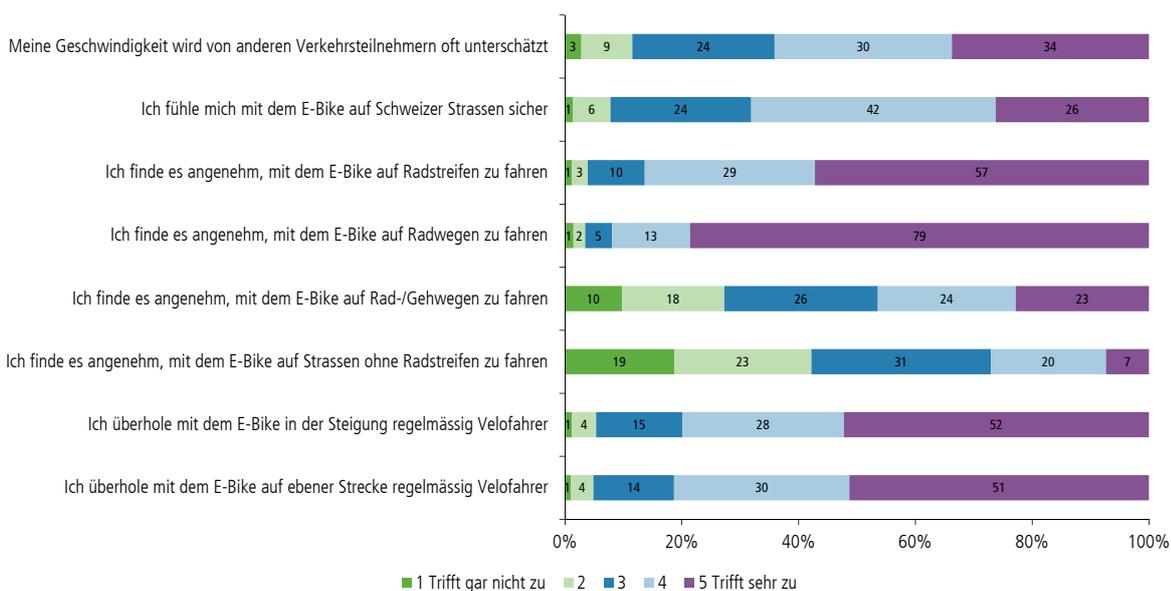


Abbildung 57
Zustimmung von Lenkern schneller E-Bikes zu verschiedenen Aussagen



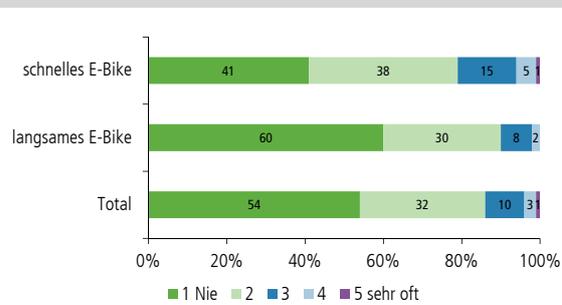
Von **Beinahe-Stürzen** wird nur selten berichtet. Über 95 % der Befragten gaben an, dies noch nie oder nur sehr selten erlebt zu haben. **Beinahe-Kollisionen** mit anderen Verkehrsteilnehmern sind ebenfalls eher selten, wurden aber etwas häufiger genannt als Beinahe-Stürze. Knapp 87 % haben bisher keine oder nur sehr selten eine Beinahe-Kollision erlebt, bei 10 % lag dieser Wert im mittleren Bereich (Ausprägung 3 auf einer Skala von 1–5) und knapp 4 % gaben an, dies öfters oder sehr oft zu erleben. Bei den Lenkern von schnellen E-Bikes fällt der Anteil

der Personen, die schon öfters eine Beinahe-Kollision erlebt haben, höher aus als bei den Lenkern von langsamen E-Bikes (Abbildung 58).

3.3.3 Ideen zur Erhöhung der Sicherheit von E-Bike-Fahrenden

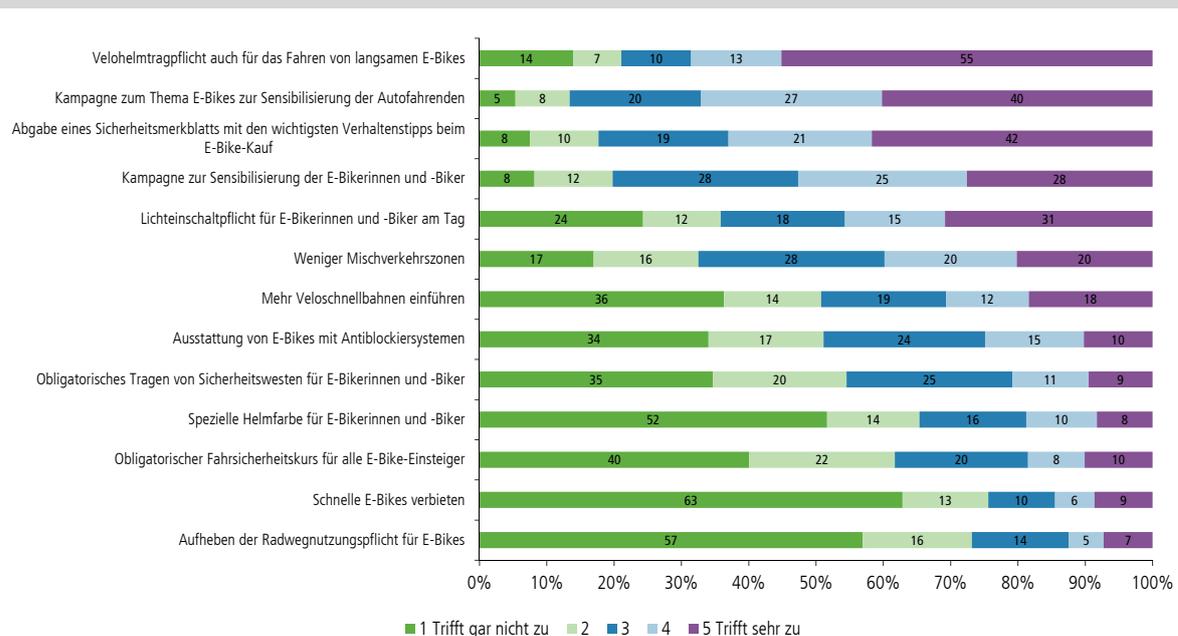
Um in Erfahrung zu bringen, welche Massnahmen die Teilnehmenden als geeignet erachten, um die Sicherheit von E-Bike-Fahrenden zu erhöhen, wurden einerseits die Einschätzung zu verschiedenen Ideen erfragt und andererseits die Möglichkeit geboten, eigene Ideen aufzuführen.

Abbildung 58
Beinahe-Kollisionen nach E-Bike-Typ: Wie oft erleben Sie mit dem E-Bike Beinahe-Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern?



Die Resultate zur Einschätzung der vorgegebenen Ideen finden sich in Abbildung 59. An erster Position liegt die **Helmtragspflicht** für Lenkende von langsamen E-Bikes. 55 % waren «sehr» der Meinung, dass dies das E-Bike-Fahren sicherer machen könnte, weitere 13 % waren «eher» dieser Meinung. An zweiter bis vierter Stelle liegen **Sensibilisierungsmassnahmen** (Kampagnen oder Merkblätter), zum

Abbildung 59
Einschätzung von Ideen zur Erhöhung der E-Bike-Sicherheit: Welche Ideen könnten Ihrer Meinung nach das E-Bike-Fahren in der Schweiz sicherer machen?



einen für Autofahrende, zum anderen für E-Bike-Fahrende. Bei allen weiteren Ideen war jeweils weniger als die Hälfte der Meinung, dass dies das E-Bike-Fahren tendenziell sicherer machen könnte. Am geringsten fiel diese Einschätzung bezüglich Aufhebung der Radwegbenutzungspflicht für E-Bikes aus. Einschränkend muss aufgrund der offenen Antworten angemerkt werden, dass zumindest einige Teilnehmende die Fragen weniger in Bezug auf ihre Einschätzung zum Sicherheitseffekt beantwortet haben dürften, als eher in Bezug auf ihre Zustimmung zu diesen Massnahmen.

In den **offenen Antworten** wurden diverse weitere Ideen genannt, mit denen das E-Bike-Fahren aus Sicht der Teilnehmenden sicherer gemacht werden könnte. Diese beziehen sich auf die E-Bike-Fahrenden selber oder auf andere Verkehrsteilnehmer, auf die Verkehrsregeln oder –zulassung, auf die Infrastruktur oder auf technische Massnahmen. Oft erwähnt wurden beispielsweise Massnahmen im Bereich der Fahrerlaubnis (z. B. obligatorische Fahrkurse oder Fahrprüfungen für bestimmte Personengruppen), Sensibilisierungsmassnahmen (v. a. für ältere Anfänger), Massnahmen zur Erhöhung der Regelerhaltung und gegenseitigen Rücksichtnahme von E-Bike-/Radfahrenden oder allen Verkehrsteilnehmern sowie diverse infrastrukturelle Massnahmen (z. B. unterbruchsfreie Radstreifen / Radwege, Separierung der verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen). Der grösste Teil der Ideen ist in Tabelle 13 im Anhang dargestellt.

4. Stärken und Schwächen

Mit dieser Befragung konnten viele wertvolle Informationen über E-Bike-Alleinunfälle wie auch über generelle Erfahrungen von E-Bike-Fahrenden in der Schweiz gewonnen werden. Nach Wissensstand der

Autorinnen stellt diese Befragung die umfassendste Arbeit zum Thema Alleinunfälle bei E-Bike-Fahrenden dar. Insgesamt wurden über 4000 E-Bike-Fahrende befragt. Bezüglich Alleinunfällen standen Daten von mehr als 800 Personen zur Verfügung. Diese grosse Anzahl an Teilnehmenden ermöglichte die Durchführung von detaillierten Analysen wie z. B. die Bestimmung von Einflussfaktoren bei einzelnen Unfallhergängen. Die Teilnehmenden wurden über zahlreiche Kanäle rekrutiert und für die Analyse gewichtet, um möglichst repräsentative Aussagen treffen zu können. Die Teilnahmequoten, die bestimmt werden konnten (je nach Rekrutierungsquelle), waren relativ hoch (siehe Tabelle 3, S. 83). Dennoch sind durch die Selbstselektion der Teilnehmenden gewisse Einschränkungen bezüglich Repräsentativität zu erwarten. Die Ergebnisse können daher nicht uneingeschränkt generalisiert werden. Verglichen mit den Verkaufszahlen beispielsweise waren in der gewichteten Stichprobe verhältnismässig viele Lenker von schnellen E-Bikes vertreten (in der Stichprobe $\frac{1}{3}$, gemäss Verkaufszahlen knapp $\frac{1}{4}$). Es muss jedoch beachtet werden, dass auch die Verkaufszahlen die tatsächliche Nutzung nicht perfekt widerspiegeln.

Die Verwendung von **selbstberichteten Daten** bietet Vor- und Nachteile. Einerseits war es möglich, dank des umfangreichen Fragebogens detailliertere Daten zu erheben, als dies mit der Polizeistatistik möglich wäre. Studien zeigen auch, dass Self-Report-Daten jenen aus offiziellen Statistiken punkto Genauigkeit und Zuverlässigkeit nicht unterlegen sein müssen. Andererseits können solche Daten durch diverse Faktoren verzerrt sein (z. B. soziale Erwünschtheit, Gedächtniseffekte, Hindsight-Bias) [41]. Da als **Incentive** zur Erhöhung der Teilnahmequote ein E-Bike verlost wurde, ist zudem nicht auszuschliessen, dass gewisse Teilnehmer den

Fragebogen unsorgfältig bzw. möglichst schnell ausfüllten. Doppelte Teilnahmen oder Fragebögen mit zu vielen Missings wurden jedoch ausgeschlossen.

Vor der Datenauswertung wurden die Angaben der Teilnehmenden über Unfallhergang und –ursachen auf Konsistenz geprüft (angekreuzte Antwortmöglichkeit und offener Text). Dabei zeigte sich zum einen, dass gewisse **Zuordnungen anspruchsvoll** waren (z. B. Unklarheiten bzgl. der Hergänge Gleichgewicht verloren und von Fahrspur abgekommen). Im Weiteren wurde deutlich, dass einzelne Hergänge in den geschlossenen Fragen fehlten, so dass einige neue Hergänge gebildet werden mussten. Bei eindeutigen Inkonsistenzen wurden Umcodierungen vorgenommen. Es gelang jedoch nicht immer, den genauen Unfallhergang eindeutig zu klären.

5. Zusammenfassung Befragung Alleinunfälle

Im Fokus dieser Befragung standen die Ursachen und Hergänge von E-Bike-Alleinunfällen im Strassenverkehr. Darüber hinaus konnten diverse weitere Informationen über E-Bike-Fahrende in der Schweiz und deren Erfahrungen gewonnen werden. Die wichtigsten Erkenntnisse aus dieser Befragung sind die folgenden:

1. Die Mehrheit der befragten E-Bike-Fahrenden ist 50 Jahre oder älter (knapp 70 %). Das Geschlechterverhältnis ist relativ ausgewogen. Knapp $\frac{1}{3}$ fährt ein schnelles, rund $\frac{2}{3}$ ein langsames E-Bike. Jüngere Personen und Männer fahren häufiger ein schnelles E-Bike als ältere Personen und Frauen.
2. Der grösste Teil der Befragten (76 %) ist vor der Zeit der E-Bike-Nutzung regelmässig (mindestens mehrmals pro Monat) Fahrrad oder Motorrad gefahren. Bei den Senioren fällt dieser Anteil gar noch grösser aus (84 %).
3. Rund jeder dritte Teilnehmer ist bereits mit dem E-Bike verunfallt (Kollision, Alleinunfall im Gelände oder Alleinunfall auf der Strasse). 17 % erlitten mindestens einen Alleinunfall im Strassenverkehr. Zwischen den Altersklassen zeigt sich dabei kein Unterschied.
4. Die höchste relative Wahrscheinlichkeit (Odds Ratio) für einen Alleinunfall im Strassenverkehr weisen erwartungsgemäss Personen mit hoher Exposition auf, d. h. Personen, die häufig mit dem E-Bike unterwegs sind, oft auch im Winter. Ebenfalls signifikant erhöht ist die Wahrscheinlichkeit bei den Männern, bei Personen, die das E-Bike am häufigsten für den Fahrzweck «Arbeitsweg / Schulweg» nutzen (wobei konfundierende Faktoren wie die Routenwahl nicht auszuschliessen sind) und bei Personen mit einem höheren Sicherheitsgefühl.
5. Obwohl von den Lenkern schneller E-Bikes im Vergleich zu den Lenkern langsamer E-Bikes ein grösserer Anteil bereits mindestens einmal im Strassenverkehr alleine verunfallt ist (20 % vs. 15 %), findet sich unter Berücksichtigung von anderen Faktoren (z. B. Geschlecht, Exposition) kein bedeutender Effekt des E-Bike-Typs auf die relative Wahrscheinlichkeit (Odds Ratio) für einen Alleinunfall. Auch zwischen den verschiedenen Altersgruppen zeigen sich keine bedeutenden Unterschiede.
6. Viele Personen, die einen Alleinunfall erleiden, sind nach eigener Auskunft routinierte E-Bike-Fahrer. Das gilt auch für die Senioren.
7. Die Hälfte der Unfälle ereigneten sich nach Angabe der Befragten bei Geschwindigkeiten von

bis zu 15 km/h, ein gutes Viertel bei 16–25 km/h. Bei etwas über 10 % waren die Verunfallten mit Geschwindigkeiten von über 26 km/h unterwegs.

8. Der mit Abstand am häufigsten berichtete Unfallhergang ist das Ausrutschen (v. a. wegen Eis- oder Schneeglätte). An zweiter bis vierter Stelle folgen Überqueren einer Schwelle (v. a. im Zusammenhang mit Randsteinen), Tram-schiene / Bahngleis (v. a. in die Schiene geraten oder darauf ausrutschen) und Ausweichen (v. a. anderen Verkehrsteilnehmenden). Werden nur mittelschwer und schwer verletzte Personen betrachtet, ergibt sich dieselbe Rangliste der Unfallhergänge.
9. Betroffen von Alleinunfällen durch Ausrutschen sind häufiger jüngere, überdurchschnittlich fitte und routinierte E-Bike-Fahrer. Erwartungsgemäss stellen rutschige Strassenoberflächen den mit Abstand wichtigsten Einflussfaktor für diesen Unfallhergang dar. Ebenfalls erhöht ist die Wahrscheinlichkeit für diesen Unfallhergang bei Personen, die angaben, vor dem Unfall zu stark gebremst zu haben und bei Unfällen, die sich in Kurven, Kreuzungen / Einmündungen und Kreiseln ereigneten.
10. Unfälle im Zusammenhang mit dem Überqueren einer Schwelle finden sich oft bei Personen, die zu nahe am Randstein gefahren sind. Auch bei Unfällen auf separaten Rad- und Gehwegen oder auf dem Trottoir handelt es sich öfters um diesen Unfallhergang.
11. Von Unfällen im Zusammenhang mit Tramschienen oder Bahngleisen betroffen sind häufiger junge E-Bike-Fahrende sowie Personen, die zum Unfallzeitpunkt auf etwas Anderes im Verkehr fokussiert waren.
12. Wie zu erwarten ist das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer ein bedeutender Einflussfaktor für den Unfallhergang Ausweichen. Auch E-Bike-Fahrende, welche den Unfall darauf zurückführten, dass die Kurve zu eng war oder dass sie die Verkehrsregeln missachtet hatten, berichteten häufiger von diesem Unfallhergang.
13. Der E-Bike-Typ (langsames oder schnelles E-Bike) stellte bei keinem der vier häufigsten Unfallhergänge einen signifikanten Einflussfaktor dar.
14. Das E-Bike wird eher selten als (Mit)ursache für den Unfall erachtet. Über 80 % der Befragten gehen davon aus, dass ihr Unfall auch mit einem normalen Fahrrad passiert wäre. Etwas weniger als 20 % orten beim E-Bike eine (Mit)ursache, wobei unangepasste Geschwindigkeit, unerwartete Reaktionen des E-Bikes, eine falsche Fahrzeugbedienung oder fehlende Vertrautheit mit dem Fahrzeug, das hohe Gewicht, Gleichgewichtsverlust, zu steile Anstiege oder zu enge Kurven öfters eine Rolle spielten.
15. $\frac{3}{4}$ der Alleinunfälle endet glimpflich (keine oder nur leichte Verletzung). 18 % der Befragten haben sich mittelschwer (ambulante Behandlung z. B. in einer Arztpraxis) und 7 % schwer (stationäre Behandlung im Spital) verletzt. Frauen, ältere und weniger fitte Personen sowie Lenkende von schnellen E-Bikes verletzen sich häufiger mittelschwer oder schwer als Männer, jüngere, fittere Personen und Lenkende von langsamen E-Bikes. Personen, die zu nahe am Randstein gefahren sind oder die beim Unfall alkoholisiert waren, weisen ebenfalls eine höhere Wahrscheinlichkeit für (mittel)schwere Verletzungen auf. Bezüglich der gefahrenen Geschwindigkeit gehen die Tendenzen in die erwartete Richtung.
16. Lenkende von schnellen E-Bikes scheinen öfters kritische Situationen zu erleben als Lenkende von langsamen E-Bikes. Sie geben häufiger an,

hinsichtlich der Geschwindigkeit von anderen Verkehrsteilnehmern unterschätzt zu werden und erleben häufiger Beinahe-Kollisionen.

17. 85 % der Befragten geben an, immer einen Helm zu tragen, gegen 50 % tragen nach eigener Auskunft bei Dunkelheit immer oder öfters lichtreflektierende Materialien oder Sicherheitswesten. Beide Verhaltensweisen werden von den Lenkern schneller E-Bikes häufiger gezeigt als von den Lenkern langsamer E-Bikes.
18. Die befragten E-Bike-Fahrenden scheinen sich auf Schweizer Strassen relativ sicher zu fühlen. Es sind aber dennoch diverse Ideen vorhanden, wie die Sicherheit von E-Bike-Fahrenden erhöht werden könnte. Die grösste Zustimmung zu den vorgegebenen Ideen ergab sich bezüglich Helmtragspflicht für Lenkende von langsamen E-Bikes sowie bezüglich verschiedener Sensibilisierungsmassnahmen für Auto- und E-Bike-Fahrende.

VI. Diskussion

1. Einleitung

In diesem Report konnten anhand einer Unfallanalyse, einer Literaturanalyse und einer Befragung von E-Bike-Fahrenden verschiedene Erkenntnisse über die Verkehrssicherheit von E-Bike-Fahrten wie z. B. über Ursachen und Hergänge von Alleinunfällen gewonnen werden. Nachfolgend werden die wichtigsten Befunde dargestellt und Schlussfolgerungen in Bezug auf Präventionsmöglichkeiten und Forschungsbedarf aufgezeigt.

Eingeflossen in diesen Report sind Daten aus unterschiedlichen Quellen (Polizeistatistik, Befragungen bzw. Selbstberichte, Spitaldaten, in-depth-Analysen). Zusammenfassende Aussagen über die verschiedenen Quellen hinweg zu treffen ist oftmals anspruchsvoll, denn die **Befunde** können **divergieren**. Ein Grund liegt darin, dass sich die erfassten Unfälle je nach Datenquelle hinsichtlich Schweregrad, Unfalltyp und weiterer Merkmale unterscheiden. Bei amtlichen Verkehrsunfallstatistiken – wie der in diesem Report verwendeten Polizeistatistik – werden Unfälle mit leichten Verletzungsfolgen und Alleinunfälle infolge der Dunkelziffer unterschätzt. In Befragungen wird hingegen mehrheitlich von leichten (Allein-)Unfällen berichtet.

Weitere Punkte, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen, sind Unterschiede zwischen verschiedenen Ländern und die Veränderung der Altersstruktur der E-Bike-Fahrer. In Bezug auf Ersteres gilt es zu beachten, dass in verschiedenen Ländern unterschiedliche E-Bike-Typen (Leistungsstärke, Anteil an schnellen E-Bikes) und

somit vermutlich auch andere Geschwindigkeiten gefahren werden, so dass die Erkenntnisse aus der Literatur nicht eins zu eins auf die Schweiz übertragen werden können. Hinsichtlich der Altersstruktur muss bedacht werden, dass vor einigen Jahren vorwiegend ältere Personen E-Bike gefahren sind, sich in letzter Zeit aber zunehmend auch jüngere Personen ein E-Bike zulegen. Aus diesen Gründen sind die Erkenntnisse immer vor dem Hintergrund der betreffenden **Nutzergruppe** und im jeweiligen **Kontext** zu betrachten.

2. Befunde

2.1 Unfall- und Verletzungsrisiko

In den letzten Jahren hat das **Unfallgeschehen** der E-Bike-Fahrenden kontinuierlich und deutlich zugenommen. Diese Entwicklung ist durch den **Anstieg der Verkaufszahlen** zu erklären. Sowohl die Anzahl der Personenschäden wie auch der Fahrzeugbestand (kumulierte Summe aller verkauften E-Bikes) sind in den letzten 6 Jahren um mehr als das 3-Fache angestiegen. Noch immer finden sich die meisten schweren Personenschäden bei Personen mittleren oder höheren Alters. Bei der Entwicklung des Unfallgeschehens über die Zeit lassen sich aber altersspezifische Unterschiede feststellen, die auf eine Verjüngung der E-Bike-Fahrenden in den letzten Jahren hindeuten.

Bisher haben wissenschaftliche Studien keine Unterschiede im **Unfallrisiko** zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern nachgewiesen. Expositionsbezogene Daten (z. B. Fahrleistung) wurden bis anhin jedoch nur

ungenügend berücksichtigt (z. B. auf Basis des Fahrzeugbestands). In der Schweiz stehen nun erstmals Daten zur Exposition von E-Bike-Lenkenden zur Verfügung. Auf dieser Basis lässt sich schliessen, dass bei E-Bike-Fahrenden bezogen auf die Fahrleistung (pro gefahrenen Kilometer) mehr schwere Unfälle registriert werden als bei Radfahrenden. Dieser Effekt zeigt sich bei allen Altersklassen und bei beiden Geschlechtern. Bei den Frauen fällt dieser Risikounterschied noch etwas grösser aus als bei den Männern. Mit zunehmendem Alter steigt das expositionsbereinigte Risiko für schwere Unfälle an. Zurzeit müssen die Befunde zum expositionsbereinigten Unfallrisiko der E-Bike-Fahrer aufgrund der geringen Datenbasis aber noch mit Vorsicht interpretiert werden. Auch Unterschiede in der Registrierungswahrscheinlichkeit der Unfälle zwischen E-Bike und Radfahrern sind nicht auszuschliessen.

Die vorhandenen Studien zum Vergleich der **Verletzungsschwere** von verunfallten E-Bike- und Radfahrern sind sowohl in Bezug auf die Methodik (z. B. berücksichtigte Unfallschwere, Indikator für Verletzungsschwere) als auch in Bezug auf die Ergebnisse inhomogen. Deshalb lässt sich aus der Literatur aktuell kein eindeutiges Fazit ziehen. Es existieren aber Anzeichen für schwerere Verletzungen auf Seiten der E-Bike-Lenkenden.

Die Analyse der Schweizerischen Strassenverkehrsunfall-Statistik zeigt ein differenzierteres Bild: E-Bikes gehen im Vergleich zu Fahrrädern nicht generell mit einem höheren Verletzungsrisiko einher. Nur bei **schnellen E-Bikes** ist das Verletzungsrisiko signifikant erhöht (im Vergleich zu Fahrrädern und langsamen E-Bikes) und dies auch nur **bei Alleinunfällen** (nicht bei Kollisionen). Das Verletzungsrisiko bei Unfällen mit langsamen E-Bikes und Fahrrädern un-

terscheidet sich hingegen nicht. Lenker von langsamen E-Bikes weisen im Durchschnitt zwar auch schwerere Verletzungen auf als Radfahrer. Dies ist aber nicht durch den Fahrzeugtyp bedingt, sondern erklärt sich durch das **höhere Alter** (und damit die höhere Verletzlichkeit) der Lenker von langsamen E-Bikes.

Auch bei der Analyse der Befragungsdaten wurden die erwähnten Effekte von Alter und E-Bike-Typ auf die Verletzungsschwere bei Alleinunfällen festgestellt. Eine höhere Wahrscheinlichkeit für schwerere Verletzungen fand sich zudem bei Personen, die zu nahe am Randstein gefahren sind oder die beim Unfall alkoholisiert waren. Während sich in der Strassenverkehrsunfallstatistik (SVU) aber Hinweise auf schwerere Alleinunfälle bei den Männern ergaben (knapp nicht signifikant), wiesen die Frauen in der Befragung eine signifikant höhere Wahrscheinlichkeit für schwerere Verletzungen auf. Diese Diskrepanz lässt sich zurzeit nicht auflösen, da zwischen den beiden Analysen einige Unterschiede bestehen. Dazu zählen Unterschiede in der Datenbasis (in SVU schwerere Unfälle), in der Operationalisierung der Verletzungsschwere und in der Möglichkeit der statistischen Kontrolle von konfundierenden Faktoren wie der Geschwindigkeit (in Befragung Angaben zur Geschwindigkeit vorhanden, in SVU nicht).

Alles in allem enden glücklicherweise aber viele Alleinunfälle glimpflich: $\frac{3}{4}$ der Befragten hatten sich beim Unfall keine oder nur eine leichte Verletzung zugezogen. 18 % haben sich jedoch mittelschwer (ambulante Behandlung z. B. in einer Arztpraxis) und 7 % schwer (stationäre Behandlung im Spital) verletzt.

2.2 Merkmale von kritischen Situationen und Unfällen

Die meisten **kritischen Situationen** (im Sinne von Beinahe-Unfällen) von E-Bike-Fahrern ereignen sich durch einen Konflikt mit anderen Verkehrsteilnehmenden. Gemäss der wissenschaftlichen Literatur sind diese Konflikte hinsichtlich Art, Ursachen und Häufigkeit mit jenen der Fahrradfahrer vergleichbar. Ein auffallender Unterschied findet sich jedoch an Kreuzungen, an denen E-Bike-Fahrer stärker durch **Vortrittsmissachtungen** von Motorfahrzeug-Lenkenden gefährdet sind. Von kritischen Ereignissen im Sinne von Beinahe-Alleinunfällen wird relativ selten berichtet.

Im realen Unfallgeschehen von E-Bikes stellen Alleinunfälle einen bedeutenden **Unfalltyp** dar. Je nach verwendeter Datenquelle bzw. einbezogener Verletzungsschwere fällt der Anteil der Unfalltypen (Alleinunfälle und Kollisionen) aber unterschiedlich aus. In Realität, mit harmlosen und schweren Unfällen, ist davon auszugehen, dass Alleinunfälle häufiger sind als Kollisionen. Dies wurde auch in der vorliegenden Befragung bestätigt. Während 8 % der Teilnehmenden seit Beginn ihrer E-Bike-Nutzung mindestens einmal in eine Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer involviert waren, berichteten 17 % von mindestens einem Alleinunfall. Polizeistatistiken weisen hingegen auf mehr Kollisionen hin. Sie dürften Alleinunfälle (v. a. jene mit leichten Verletzungsfolgen) infolge der hohen Dunkelziffer aber deutlich unterschätzen.

Beim Vergleich der polizeilich registrierten E-Bike- und Fahrradunfälle hinsichtlich der Unfalltypen zeigt sich ein interessanter Unterschied: Bei E-Bike-Fahrern fällt der **Anteil an Alleinunfällen** an allen registrierten Unfällen signifikant grösser aus als bei

den Fahrradfahrern. Bei den E-Bike-Fahrern ereigneten sich in den letzten 5 Jahren 47 % aller schweren Personenschäden bei Alleinunfällen, bei den Radfahrern waren es 39 %. Vor allem bei Lenkenden von langsamen E-Bikes werden verhältnismässig oft schwere Alleinunfälle registriert. Detaillierte Analysen zeigen jedoch, dass auch dieser Befund primär auf einen **Alterseffekt** zurückzuführen ist. Mit zunehmendem Alter steigt generell die relative Wahrscheinlichkeit, dass es sich bei einem Unfall um einen Alleinunfall (und nicht um einen anderen Unfalltyp) handelt. Da E-Bike-Fahrer – insbesondere Fahrer von langsamen E-Bikes – im Durchschnitt älter sind als Fahrradfahrer, fällt bei ihnen der Anteil an Alleinunfällen grösser aus. Über die Ursachen für diesen Alterseffekt scheint noch relativ wenig bekannt zu sein. Altersabhängige Unterschiede in der Registrierungswahrscheinlichkeit von Alleinunfällen dürften eine Rolle spielen (d. h. höhere Registrierungswahrscheinlichkeit bei älteren Personen) [66]. Denkbar sind aber auch altersabhängige Unterschiede in der Fahrumgebung (z. B. jüngere Personen vermehrt innerorts, wo die Kollisionsgefahr grösser ist) oder im Fahrverhalten (z. B. Geschicklichkeit).

Kollisionen von E-Bike-Fahrenden wurden im vorliegenden Report nur am Rande thematisiert. Detailliertere Informationen dazu finden sich im bfu-Report Nr. 72 [10].

Männer machen anteilmässig einen grösseren Teil der schweren Personenschäden bei E-Bike-Unfällen aus als Frauen (55 % vs. 45 %). Da Männer kilometerbezogen aber ein geringeres Risiko für schwere E-Bike-Unfälle aufweisen, ist dieser Befund v. a. auf Unterschiede in der Exposition zurückzuführen.

2.3 Fokus Alleinunfälle

Im vorherigen Abschnitt wurde der Anteil an Alleinunfällen an allen Unfällen betrachtet. Dieser ist nicht nur von der Häufigkeit der Alleinunfälle abhängig, sondern auch von der Häufigkeit der anderen Unfalltypen. Es zeigte sich, dass der Anteil an Alleinunfällen mit zunehmendem Alter ansteigt. Bei Betrachtung der absoluten Häufigkeit der berichteten Alleinunfälle in der Befragung wird hingegen deutlich, dass **alle Altersklassen** gleichermaßen von Alleinunfällen betroffen sind. Auch zwischen den beiden E-Bike-Typen ergab sich kein bedeutender Unterschied in der relativen Wahrscheinlichkeit (Odds Ratio) für einen Alleinunfall. Viele der Verunfallten waren nach eigener Auskunft **routinierte E-Bike-Fahrer**. Das gilt auch für die Senioren. Die höchste relative Wahrscheinlichkeit (Odds Ratio) für einen Alleinunfall im Strassenverkehr weisen erwartungsgemäss Personen mit **hoher Exposition** auf, d. h. Personen, die häufig mit dem E-Bike unterwegs sind, oft auch im Winter. Ebenfalls signifikant erhöht ist die Wahrscheinlichkeit bei den Männern, bei Personen, die das E-Bike am häufigsten für den Fahrzweck «Arbeitsweg / Schulweg» nutzen (wobei konfundierende Faktoren wie die Routenwahl nicht auszuschliessen sind) und bei Personen mit einem höheren Sicherheitsgefühl.

Aus der **Unfallstatistik** lassen sich keine allzu detaillierten Informationen über Ursachen und Hergänge von Alleinunfällen gewinnen. Schwere Unfälle sind in dieser Statistik zudem übervertreten. Die Ergebnisse aus der Unfallstatistik sind daher kaum mit jenen aus Befragungen vergleichbar. Als häufigste Hauptursachen bei Alleinunfällen von E-Bike-Fahrenden werden in den Polizeiprotokollen **Unaufmerksamkeit und Ablenkung, Alkohol,**

mangelhafte Fahrzeugbedienung und Geschwindigkeit registriert. Bei den schnellen E-Bikes ist der Anteil an geschwindigkeitsbedingten Unfällen zwar grösser als bei den langsamen E-Bikes. Der Unterschied ist statistisch jedoch nicht signifikant. Bei den jüngeren Altersgruppen stellt der Alkohol die dominierende Hauptursache dar (bei 14- bis 44-Jährigen 30 %). Mit zunehmendem Alter verliert diese Ursache aber an Bedeutung (bei 65-jährigen und älteren 10 %). Unfallort, -zeit und Umgebungsfaktoren bei Alleinunfällen von E-Bike-Fahrenden dürften die Exposition widerspiegeln. Sowohl bezüglich Hauptursachen wie bezüglich Unfallort, -zeit und Umgebungsfaktoren zeigt sich zwischen Alleinunfällen von **E-Bike- und Radfahrern** ein **vergleichbares Bild**.

Um detailliertere Informationen über Ursachen und Hergänge von E-Bike-Alleinunfällen zu gewinnen, wurden in diesem Report neben der Unfallanalyse eine Literaturanalyse und eine Befragung durchgeführt. Bei der Literaturanalyse zeigte sich, dass der wissenschaftliche Kenntnisstand zum Thema eher gering ist. Die verfügbaren Studien verfügten zudem nur über kleine Stichproben. Daher dürfte die vorliegende Befragung von über 800 bei E-Bike-Alleinunfällen verunfallten Personen die umfassendsten Informationen liefern. Anzumerken ist, dass dabei auch Personen einbezogen wurden, die sich beim Unfall nicht verletzt hatten (ca. 20 % der Befragten).

Gemäss dieser Befragung ist der mit Abstand am häufigste **Unfallhergang** von E-Bike-Alleinunfällen das **Ausrutschen** (v. a. wegen Eis- oder Schneeglätte). An zweiter bis vierter Stelle folgen die Hergänge **Überqueren einer Schwelle** (v. a. im Zusammenhang mit Randsteinen), **Tramschiene / Bahn-gleis** (v. a. in die Schiene geraten oder darauf

ausrutschen) und **Ausweichen** (v. a. anderen Verkehrsteilnehmenden). Werden nur mittelschwer und schwer verletzte Personen betrachtet, ergibt sich dieselbe Rangliste der Unfallhergänge. In der Literatur wurde als relevanter Hergang zudem auch ein Gleichgewichtsverlust bei geringer Geschwindigkeit resp. beim **Auf- und Absteigen** genannt, insbesondere bei älteren Personen. Dies liess sich in der vorliegenden Befragung mangels entsprechender Kategorisierung nicht abbilden. Da aber beinahe 20 % der Teilnehmenden im Stand oder beim Anfahren / Absteigen verunfallten, könnte dieser Hergang auch in diesem Sample eine nicht unbedeutende Rolle gespielt haben.

Entsprechend dem häufigsten Hergang «Ausrutschen» wurde in der Befragung als häufigste **Unfallursache** bzw. als häufigster Einflussfaktor die **rutschige Strassenoberfläche** genannt. Sie hatte bei der Hälfte der Fälle zumindest einen leichten Einfluss auf den Unfall. Ebenfalls oft erwähnt (von mehr als 20 % der Teilnehmenden) wurden eine für die Situation überhöhte **Geschwindigkeit**, der Verlust des **Gleichgewichts** (dies aber weniger als Hauptursache, sondern eher als Folge einer anderen Ursache), **Eile**, zu nahes Fahren am **Randstein**, zu starkes **Bremsen** oder ein **schlechter Strassenzustand**. Das E-Bike wird eher selten als (Mit)ursache für den Unfall erachtet: Über 80 % der Befragten gehen davon aus, dass ihr Unfall auch mit einem normalen Fahrrad passiert wäre. Etwas weniger als 20 % orten beim E-Bike eine (Mit)ursache, wobei unangepasste Geschwindigkeit, unerwartete Reaktionen des E-Bikes, eine falsche Fahrzeugbedienung oder fehlende Vertrautheit mit dem Fahrzeug, das hohe Gewicht, Gleichgewichtsverlust, zu steile Anstiege oder zu enge Kurven öfters eine Rolle spielten.

Auch in der wissenschaftlichen Literatur wurden falsches bzw. zu starkes Bremsen, unangepasste Geschwindigkeit und rutschige Strassenoberflächen öfters als Ursache von Alleinunfällen identifiziert. Häufiger genannt als in der vorliegenden Befragung wurde aber das Fahren unter **Alkoholeinfluss**. Dies könnte damit zusammenhängen, dass in der Literatur schwerere Unfälle analysiert wurden. Auch in dieser Befragung traten alkoholbedingte Unfälle in den beiden Samples mit den durchschnittlich schwereren Unfällen (durch Polizei und Notfallspital rekrutiert) häufiger auf als im Sample mit den durchschnittlich leichteren Unfällen (nicht spezifisch rekrutiertes Sample).

Bei der Analyse der Befragungsdaten konnten für die vier häufigsten Unfallhergänge verschiedene relevante (Einfluss)faktoren identifiziert werden, die öfters mit dem betrachteten Hergang einhergingen (Odds Ratio für den jeweiligen Hergang vs. alle anderen Hergänge). Betroffen von Alleinunfällen durch Ausrutschen waren beispielsweise häufiger jüngere, überdurchschnittlich fitte und routinierte E-Bike-Fahrer. Rutschige Strassenoberflächen, zu starkes Bremsen und die Unfallorte Kurven, Kreuzungen / Einmündungen und Kreisel waren ebenfalls oft mit diesem Unfallhergang assoziiert. Der E-Bike-Typ (langsames oder schnelles E-Bike) stellte bei keinem der vier häufigsten Unfallhergänge einen signifikanten Einflussfaktor dar.

Ein direkter Vergleich von Fahrrad- und E-Bike-Alleinunfällen konnte in der wissenschaftlichen Literatur nicht gefunden werden. Aufgrund der Ergebnisse der separaten Analyse der Fahrradliteratur wie auch der Tatsache, dass das E-Bike eher selten als (Mit)ursache für den Unfall erachtet wird, lässt sich aber schliessen, dass **zwischen E-Bike- und Fahrrad-Alleinunfällen viele Parallelen** bestehen.

2.4 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit wird als zentraler Risikofaktor für die Sicherheit bei E-Bike-Fahrten betrachtet. Deswegen Relevanz hängt jedoch davon ab, in welchem Ausmass die potenziell höheren Geschwindigkeiten realisiert werden. In der Literaturanalyse bestätigte sich, dass mit **E-Bikes** im Durchschnitt **schneller** und ein **grösserer Anteil der Distanzen in höheren Geschwindigkeitsbereichen** gefahren wird als mit Fahrrädern. Die potenziell höheren Geschwindigkeiten werden vor allem von Fahrern schneller E-Bikes, jüngeren Personen und Männern realisiert, wobei Wechselwirkungen zu beachten sind (Männer und jüngere Personen fahren häufiger ein schnelles, Frauen und ältere Personen ein langsames E-Bike).

Konkrete Aussagen über die absoluten Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen E-Bike- und Radfahrern können aufgrund beträchtlicher Variationen zwischen den verschiedenen Studien nur vorsichtig und grob getroffen werden. Die Differenzen in den Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen Fahrrädern und langsamen E-Bikes dürften sich im Bereich von 1–4 km/h bewegen, jene zwischen Fahrrädern und schnellen E-Bikes im Bereich von 5–9 km/h. Da bereits eine prozentuale Zunahme der Durchschnittsgeschwindigkeit um 10 % zu deutlich schwereren **Unfallkonsequenzen** führen kann (gemäss Power Modell +33 % Schwerverletzte und +54 % Getötete [32]), erscheinen diese Geschwindigkeitsdifferenzen durchaus bedeutsam für das Verletzungsgeschehen. Dennoch müssen diese **Befunde differenziert betrachtet** werden, denn die gefahrenen Geschwindigkeiten bzw. die Geschwindigkeitsdifferenzen sind nicht nur abhängig von Alter, Geschlecht und E-Bike-Typ, sondern auch von

der Situation und dem Strassenverlauf. In anspruchsvollen Situationen (z. B. mit vielen Interaktionen) scheinen die E-Bike-Fahrer ihre Geschwindigkeit zu reduzieren. Auf flachen Abschnitten fallen die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen E-Bikes (v. a. langsamen) und Fahrrädern geringer aus als in Steigungen.

Da in den Unfallstatistiken die Geschwindigkeit zum Unfallzeitpunkt nicht erfasst wird, lässt sich anhand der verfügbaren Daten nicht eindeutig empirisch belegen, dass die (potenziell) höhere Geschwindigkeit von E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern zu einem höheren Unfall- und Verletzungsrisiko führt. Die in den vorherigen Unterkapiteln erwähnten Befunde (bzgl. Unfall- und Verletzungsrisiko, Vortrittsmissachtungen durch andere Verkehrsteilnehmende) liefern aber **Hinweise**, die in diese Richtung deuten. Insbesondere die Lenkenden von schnellen E-Bikes, bei denen auch tatsächlich höhere Geschwindigkeiten gemessen werden, dürften im Strassenverkehr stärker gefährdet sein als Radfahrende.

Neben höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten im Vergleich zum Fahrrad wird bei E-Bikes auch eine **höhere Variation der Geschwindigkeiten** festgestellt, was besondere Anforderungen an Infrastruktur und andere Verkehrsteilnehmer stellen könnte. Zudem kommt es bei den E-Bike-Fahrern im Vergleich zu den Radfahrern zu **mehr Überholvorgängen und mehr Interaktionen** mit anderen Verkehrsteilnehmern. Bei den Überholvorgängen wurden in der Schweiz erhebliche Geschwindigkeitsunterschiede (6–12 km/h) zwischen den überholenden E-Bikes und den überholten (Elektro-)Fahrrädern beobachtet. Wiederum sind es aber vor allem die schnellen E-Bikes, die generell oft überholen. Langsame E-Bikes überholen vor allem in Steigungen häufiger.

2.5 Fahrzeug(-typ)

In der Strassenverkehrsunfall-Statistik finden sich im Durchschnitt der letzten 5 Jahre deutlich mehr schwere Personenschäden von Lenkern langsamer E-Bikes als von Lenkern schneller E-Bikes (ca. $\frac{3}{4}$ zu $\frac{1}{4}$). Dieses Verhältnis deckt sich mit den Verkaufszahlen. Bei den Getöteten sind die langsamen E-Bikes im Vergleich zu den Verkaufszahlen hingegen übervertreten. Dies dürfte in erster Linie auf einen **Alterseffekt** zurückzuführen sein: Die verunfallten Lenkenden von langsamen E-Bikes sind im Durchschnitt älter und damit verletzlicher als die verunfallten Lenkenden von schnellen E-Bikes.

Da mit schnellen E-Bikes deutlich höhere Geschwindigkeiten gefahren werden als mit langsamen E-Bikes, ist zu vermuten, dass sich auch ein Effekt des E-Bike-Typs auf die **Verletzungsschwere** findet. Diese Vermutung hat sich bei den Alleinunfällen bestätigt. Sowohl in der Verkehrsunfallstatistik wie in der Befragung fand sich bei Kontrolle des Alters und anderer relevanter Einflussfaktoren ein grösserer Anteil an schweren Verletzungen bei den Lenkern von schnellen E-Bikes als bei den Lenkern von langsamen E-Bikes. Bei den Kollisionen ergab sich hingegen kein signifikanter Einfluss des E-Bike-Typs auf die Verletzungsschwere. Über allfällige Unterschiede im kilometerbezogenen **Unfallrisiko** zwischen den beiden E-Bike-Typen lassen sich zurzeit aufgrund der geringen Datenlage noch keine Aussagen machen.

Die Tatsache, dass sich bei den **Fahrern von langsamen E-Bikes** ein grösserer Anteil an Alleinunfällen (an allen Unfällen) findet als bei den Fahrern von schnellen E-Bikes, ist ebenfalls primär auf **Altersunterschiede** der Nutzer zurückzuführen. Die Fahrer

langsamer E-Bikes dürften sich aufgrund des höheren Alters bei einem Alleinunfall eher schwer verletzen, wodurch sich auch die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass der Unfall durch die Polizei registriert wird. Darüber hinaus wären aber auch Unterschiede im Fahrverhalten zwischen den beiden Lenkergruppen denkbar (z. B. geringere Fahrgeschicklichkeit der älteren Lenker von langsamen E-Bikes infolge altersbedingter psychomotorischer Defizite). Da sich bei Berücksichtigung des erwähnten Alterseffekts (bzw. Interaktion zwischen Alter und Fahrzeugtyp) in den statistischen Analysen aber nach wie vor Tendenzen in Richtung grösserer Anteil an Alleinunfällen bei den langsamen E-Bikes zeigen, ist davon auszugehen, dass der Effekt nicht ausschliesslich durch das Alter erklärbar ist. Vermutlich spielen auch Unterschiede in der Fahrumgebung oder in den Fahrzeiten zwischen den beiden E-Bike-Typen eine Rolle (z. B. schnelle E-Bikes vermehrt in Situationen mit grösserer Kollisionsgefahr unterwegs, bspw. innerorts oder im Berufsverkehr).

Es wird vermutet, dass **technische Eigenschaften des E-Bikes** die Sicherheit des Fahrers beeinträchtigen können. Insbesondere nachträgliches Aufrüsten von konventionellen Fahrrädern wird als problematisch erachtet. Ausserdem werden bei gewissen Bremsen und Antriebskonzepten, beim Nachlaufen oder verzögerten Einsetzen des Motors sowie bei ungleichmässig verteiltem Gewicht von Motor und Batterie Probleme geortet. Die besten Bremswerte scheinen hydraulische Scheibenbremsanlagen zu erzielen, wobei allerdings die Gefahr einer Überbremsung des Vorderrads bestehen kann. Um eine neutrale Gewichtsverteilung mit tiefem Schwerpunkt zu erreichen, scheint das Antriebskonzept Mittelmotor mit Batterie am Sattelrohr am geeignetsten.

Gemäss der vorliegenden Befragung fährt die grosse Mehrheit ein E-Bike mit neutraler Gewichtsverteilung (Mittelmotor oder die Kombination von Hinterradmotor und Akku am Rahmen). Nur jeweils 3 % fahren ein E-Bike mit Vorderradmotor oder ein E-Bike mit Hinterradmotor und Akku am Gepäckträger. Das nachträgliche Aufrüsten von konventionellen Fahrrädern ist noch seltener: Bloss 1 % der Befragten gaben ein, ein Fahrrad zu fahren, das zu einem E-Bike umgebaut wurde.

Ob im Gesamtunfallgeschehen der E-Bike-Fahrenden neben der (potenziell) höheren Geschwindigkeit auch das E-Bike an sich bzw. dessen (Fahr)eigenschaften eine Rolle spielen, kann zurzeit nicht eindeutig beantwortet werden. Möglicherweise spielen das höhere Gewicht oder spezifische Fahreigenschaften (z. B. beim Anfahren) bei gewissen Unfällen eine Rolle. Da in der Befragung zu den Alleinunfällen das E-Bike aber eher selten als (Mit)ursache für den Unfall erachtet wurde, dürfte nur ein geringer Anteil aller E-Bike-Unfälle auf das Fahrzeug an sich zurückzuführen sein.

Die technische Entwicklung der E-Bikes schreitet voran. Besonders vielversprechend zur Erhöhung der Fahrzeugsicherheit erscheinen zurzeit **Antiblockiersysteme**. Inwiefern sie sich auf dem Markt durchsetzen werden und wie viele Unfälle dadurch verhindert werden können, wird die Zukunft zeigen.

2.6 Voraussetzungen, Sicherheitsgefühl und Schutzverhalten von E-Bike-Fahrern

Die verfügbare Literatur und die vorliegende Befragung zeigen, dass die Mehrheit der E-Bike-Fahrer vor der Zeit ihrer E-Bike-Nutzung regelmässig oder zumindest gelegentlich **Fahrrad gefahren** ist. Das

gilt auch für die Senioren. Ältere Personen – zu denen viele E-Bike-Fahrende zählen – scheinen im Vergleich zu jüngeren Personen aber mehr Schwierigkeiten zu haben, Zweiräder bei langsamer Fahrt und gleichzeitiger Ausführung von Handzeichen oder Schulterblick zu stabilisieren. Zudem weisen die Älteren während der Fahrt eine höhere mentale Arbeitsbelastung und längere Reaktionszeiten auf. Dieser Effekt ist aber unabhängig vom Fahrzeugtyp (Fahrrad oder E-Bike).

Viele E-Bike-Fahrende scheinen sich der potenziellen E-Bike-spezifischen **Gefahren** wie der höheren Geschwindigkeit, dem längeren Anhalteweg und der Unterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer **bewusst** zu sein. Auf Schweizer Strassen **fühlen sich** E-Bike-Fahrende jedoch **relativ sicher**. Es sind aber dennoch diverse Ideen vorhanden, wie die Sicherheit von E-Bike-Fahrenden erhöht werden könnte (z. B. Sensibilisierungsmassnahmen oder infrastrukturelle Massnahmen).

E-Bike-Kurse werden nur selten besucht. Von den Teilnehmenden der Befragung haben lediglich 4 % einen Kurs besucht. Häufigster Grund war, das Fahren eines E-Bikes zu üben, um einen Unfall zu vermeiden. An zweiter Stelle folgte das Ausprobieren eines E-Bikes vor dem Kauf.

Bezüglich **Schutzverhalten** zeigen Verkehrserhebungen und die vorliegende Befragung, dass die grosse Mehrheit der Lenker schneller E-Bikes das Obligatorium befolgt und einen Helm trägt. Auch von den Lenkern langsamer E-Bikes trägt im Vergleich zu den Radfahrern ein relativ grosser Anteil einen Helm. In der Befragung gab mit gegen 50 % zudem ein überraschend grosser Anteil der Teilnehmer an, bei Dunkelheit immer oder öfters lichtreflektierende Materialien oder Sicherheitswesten zu

tragen. Auch diese Verhaltensweise wird von den Lenkern schneller E-Bikes häufiger gezeigt als von den Lenkern langsamer E-Bikes.

2.7 Andere Verkehrsteilnehmer

In der Literatur finden sich Hinweise, dass E-Bike-Fahrende stärker durch **Fehleinschätzungen** anderer Verkehrsteilnehmer gefährdet sind als Fahrradfahrer. Potenzielle Kollisionsgegner scheinen die Geschwindigkeit der E-Bikes stärker zu unterschätzen, was u. a. dazu führt, dass die Zeitlücken für Abbiegemanöver vor den herannahenden E-Bikes geringer ausfallen. Grund für die stärkere Unterschätzung der E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern ist ihre höhere Geschwindigkeit. Zudem könnte auch die entspanntere Sitzhaltung des Lenkers und die geringere Frequenz der Pedalbewegungen eine Rolle spielen.

Da die gefahrene Geschwindigkeit für alle Zweiradtypen einen wesentlichen Einflussfaktor für eine allfällige Geschwindigkeitsunterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer darstellt, erstaunt es nicht, dass Lenkende von schnellen E-Bikes häufiger die Erfahrung machen, von anderen Verkehrsteilnehmern unterschätzt zu werden, als Lenkende von langsamen E-Bikes. Entsprechend fällt auch der Anteil an Beinahe-Kollisionen bei Ersteren etwas grösser aus als bei Letzteren.

2.8 Infrastruktur

Die Forschung zu infrastrukturellen Aspekten von E-Bikes im Strassenverkehr steht noch am Anfang. Eine erste Studie aus der Schweiz hat jedoch bereits diverse sicherheitskritische Aspekte identifiziert. Die Autoren kommen u. a. zum Schluss, dass E-Bikes im Strassenverkehr in den schweizweit gültigen

Normen und Empfehlungen ungenügend berücksichtigt werden. Handlungsbedarf wird insbesondere bezüglich der **schnellen E-Bikes** geortet. Diese überholen oft andere Zweiräder, was teilweise aber nur unter erschwerten Bedingungen möglich ist. Das Konfliktpotenzial von langsamen E-Bikes scheint hingegen eher nur in speziellen Situationen (z. B. Steigungen, Mischverkehr mit Fussverkehr) zu bestehen. Als weitere problematische Aspekte wurden die in der Schweiz geltende **Radwegbenutzungspflicht** für beide E-Bike-Typen, die fehlende generelle **Kontrollmöglichkeit** der E-Bike-Geschwindigkeiten per Radar sowie die Inkonsistenzen bezüglich **Signalisation** für schnelle E-Bikes identifiziert [3].

Als Lösungsansätze zum Umgang mit der zunehmenden Verbreitung von E-Bikes und den daraus resultierenden höheren Geschwindigkeitsvariationen der Zweiräder werden u. a. die Planung und Realisierung von grosszügigeren **Fahrradanlagen**, die Erarbeitung von Grundsätzen bezüglich **Mischverkehrssituationen**, die Reduktion von gemischten Rad-/Gehwegen sowie die Förderung von **Radverkehrsachsen** abseits stark belasteter Hauptverkehrsstrassen (insbesondere Radschnellwege) empfohlen. Weiter wird angeregt, die in der Schweiz geltende Radwegbenutzungspflicht anzupassen [3].

3. Präventionsmöglichkeiten

3.1 Einleitung

Aus der E-Bike- und Fahrradliteratur wie auch aus der Unfallanalyse und der vorliegenden Befragung lassen sich verschiedene Vorschläge für die Prävention von E-Bike-Unfällen ableiten. Sie können in die drei Bereiche **Sensibilisierung und Ausbildung** (Education), **Gesetz und Vollzug** (Enforcement)

sowie **Fahrzeugtechnik und Infrastruktur** (Engineering) unterteilt werden. Da über die Wirksamkeit dieser Massnahmen noch kaum Erkenntnisse vorhanden sind, wäre die Durchführung von Pilotprojekten mit anschliessender **Evaluation** sehr zu empfehlen.

3.2 Sensibilisierung und Ausbildung (Education)

Sensibilisierungsmassnahmen für E-Bike-Fahrende können sich auf das E-Bike-Fahren generell wie auch auf spezifische Gefahrensituationen beziehen. Vermutlich reicht es nicht aus, bloss die Information zu vermitteln, dass die Geschwindigkeit ein Problem darstellen kann, denn viele Lenker scheinen schon über dieses Wissen zu verfügen (bzgl. Geschwindigkeit, Anhalteweg, Schwierigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer). Möglicherweise sind sich aber nicht alle bewusst, dass bereits eine geringe Geschwindigkeitserhöhung zu deutlich schwereren Verletzungen führen kann. Dementsprechend könnte eine Sensibilisierung für die Auswirkungen bereits geringfügig höherer Geschwindigkeiten auf das Unfall- und Verletzungsrisiko zielführender sein.

Bezüglich der Prävention von **Alleinunfällen** erscheint vor allem die Sensibilisierung für die häufigsten Ursachen und Hergänge wichtig. Neben der Sensibilisierung sollten jeweils konkrete Handlungsempfehlungen abgegeben werden, wie die Gefahr dieser Unfälle durch die E-Bike-Fahrenden reduziert werden kann (z. B. vorausschauender und defensiver Fahrstil, Winterreifen, Queren von Gleisen oder Schwellen in möglichst steilem Winkel, etc.).

Viele E-Bike-Fahrende sind sich zwar der Problematik der **Geschwindigkeitsunterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer** bewusst. Dennoch

sind aufgrund der grossen Gefährdung entsprechende Sensibilisierungsmassnahmen wie auch das Aufzeigen von Präventionsmöglichkeiten seitens der E-Bike-Fahrer weiterhin zu empfehlen. Dazu gehört beispielsweise die Erhöhung der eigenen Sichtbarkeit durch das Tragen gelber und reflektierender Jacken / Westen, wofür in einer ersten Studie ein grosser Sicherheitseffekt nachgewiesen wurde (-38 % Kollisionen) [70], oder das Einschalten von Licht auch am Tag. Ebenfalls zu empfehlen sind die Förderung von defensivem Verhalten wie Bremsbereitschaft, Blickkontakt und die Antizipation von Vortrittsmissachtungen.

Sensibilisierungsmassnahmen können über verschiedene **Kanäle** stattfinden. Denkbar sind Broschüren, die beim Kauf eines E-Bikes von Händlern abgegeben werden oder anderes Kampagnenmaterial wie Spots oder elektronische Medien. Das Einbringen dieser Thematik in Kurse ist zwar begrüssenswert, erreicht jedoch lediglich ein kleines Zielpublikum. Wichtig ist zudem eine **adressaten- bzw. altersgerechte Kommunikation**. Von Unfällen im Zusammenhang mit Ausrutschen oder Tramschienen / Bahngleisen sind beispielsweise häufiger jüngere E-Bike-Fahrer betroffen, weshalb sich diese Botschaften vor allem an diese Gruppe richten sollten. Da zwischen E-Bike- und Fahrrad-Alleinunfällen viele Parallelen bestehen, könnte es aus Ressourcengründen sinnvoll sein, Sensibilisierungskampagnen zu Ursachen und Hergängen an beide Fahrergruppen zu richten.

Fahrkurse sind insbesondere für E-Bike-Neueinsteiger mit wenig Vorerfahrung mit dem Fahrrad zu empfehlen. In diesen Kursen können die Teilnehmenden nicht nur mit den spezifischen Eigenschaften des E-Bikes und der höheren Geschwindigkeit vertraut gemacht werden. Auch die Sensibilisierung

für spezifische Gefahren (z. B. Geschwindigkeitsunterschätzung) und das Üben von Fahrtechniken (z. B. Queren von Schwellen, Bremstechnik) oder anspruchsvollen Verkehrssituationen (z. B. Fahren im Kreisel) ist möglich.

Die häufigste Verletzungslokalisation bei verunfallten E-Bike-Fahrern scheint der Kopf zu sein. Daher sind **Fahrradhelme** unbedingt zu empfehlen. Mit dem Helmobligatorium für schnelle E-Bikes wurde jedoch schon viel erreicht. Verkehrserhebungen und Befragungen zeigen, dass auch der grösste Teil der Fahrer langsamer E-Bikes einen Helm trägt. Daher erscheint eine weitere, breit angelegte, spezifische Sensibilisierungskampagne eher nicht prioritär. In dessen soll in bestehenden Einsatzmitteln stets auf die Bedeutung des Helms hingewiesen werden.

Technische Eigenschaften des E-Bikes können sicherheitsrelevant sein. Aus diesem Grund sollten **Produktetests und Kaufempfehlungen** nicht nur Angaben über die Laufzeit des Akkus oder dergleichen beinhalten, sondern auch konkret Bezug nehmen auf Sicherheitsaspekte wie Bremsen, Nachlaufen des Motors, verzögertes Einsetzen des Motors, Anordnung von Motor und Batterie (Schwerpunkt), Stabilität des Rahmens etc.

Nicht nur die E-Bike-Fahrenden selber, auch die **Motorfahrzeuglenker** sollten für die Gefahr der Unterschätzung der E-Bike-Geschwindigkeit sensibilisiert werden. Dabei könnte es sinnvoll sein hervorzuheben, warum es zu dieser Täuschung kommt (generelle Geschwindigkeitsunterschätzung bei Zweirädern mit schmaler Silhouette, kaum optische Unterschiede zwischen E-Bike und Fahrrad, langsames in die Pedale treten und entspannte Haltung trotz höheren Geschwindigkeiten). Neben den Motorfahrzeuglenkern sind auch andere

Verkehrsteilnehmer (v. a. Fussgänger und Fahrradfahrer) aufgrund der höheren Geschwindigkeiten von E-Bikes mit einer grösseren Spannweite an gefahrenen Geschwindigkeiten von Tretfahrzeugen konfrontiert. Eine diesbezügliche Sensibilisierung erscheint infolge der geringen Unfallrelevanz aber nicht prioritär.

3.3 Fahrzeugtechnik und Infrastruktur (Engineering)

3.3.1 Fahrzeug

Um E-Bikes für andere Verkehrsteilnehmer besser wahrnehmbar und einschätzbar zu machen, dürfte es einerseits ratsam sein, E-Bike-Fahrende würden das Licht auch am Tag einschalten. Die **Lichteinschaltautomatik** stellt eine technisch sehr einfache Lösung dar, um sicherzustellen, dass möglichst viele E-Bikes beleuchtet und damit besser sichtbar sind. Alle E-Bikes sollten deshalb ab Werk serienmässig mit einer Lichteinschaltautomatik ausgestattet sein. Weiter könnte es sinnvoll sein, wenn E-Bikes besser von Fahrrädern **unterscheidbar** wären, z. B. durch ein individuelles Design oder Beleuchtungsmuster [17]. Ohne gesetzliche Vorgaben würde dies aber nur funktionieren, wenn ein Markt für charakteristisch aussehende E-Bikes vorhanden wäre [41].

Aufgrund der im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern potenziell höheren Geschwindigkeiten und des höheren Gewichts von E-Bikes dürften adäquate Bremssysteme von hoher Bedeutung sein. Produktetests zeigen jedoch, dass auf dem Markt E-Bikes mit ungenügenden Bremsen vorhanden sind. E-Bike-Käufer sollten deshalb über geeignete Bremssysteme informiert werden. Die verfügbare elektrische Energie von E-Bikes ermöglicht es, das Bremsen zu unterstützen. Das erste serienreife

Antiblockiersystem (ABS) von E-Bikes kommt bald auf den Markt. Inwiefern es sich durchsetzen wird, wird die Zukunft zeigen. Aus den Erfahrungen im Motorradbereich ist aber bereits jetzt davon auszugehen, dass es sich positiv auf die E-Bike-Sicherheit auswirken wird. Neben ABS könnte auch die Entwicklung weiterer technische Systeme wie zum Beispiel Kombibremsen [17] zur Erhöhung der E-Bike-Sicherheit beitragen.

Auch in der vorliegenden Befragung wurde nach Vorschlägen gefragt, wie das E-Bike-Fahren sicherer gemacht werden könnte. In Bezug auf das Fahrzeug wurde dabei mehrfach der Wunsch geäußert, dass **leichtere E-Bikes entwickelt** werden sollten. Auch in einer holländischen Arbeit wird vermutet, dass ein leichteres Gewicht insbesondere bei älteren Lenkern die Sicherheit erhöhen könnte [71]. Weiter wurde von Befragungsteilnehmern der Vorschlag gebracht, dass (schnelle) E-Bikes mit Blinkanlagen ausgestattet werden sollten, damit das Problem des einhändigen Fahrens bei höheren Geschwindigkeiten entschärft werden kann. Das Anbringen von Richtungsblinkern an E-Bikes ist in der Schweiz bereits erlaubt. Die Zeichegebung entbindet den Lenker jedoch nicht von der gebotenen Vorsicht (z. B. Blick zurück).

3.3.2 Persönliche Schutzausrüstung

In der Schweiz ist das Tragen eines Fahrradhelms für Lenkende von schnellen E-Bikes vorgeschrieben. Dabei stellt sich die Frage, ob die Vorgaben der Norm für Fahrradhelme (EN 1078), bzw. das darin festgelegte minimale Stossdämpfungsvermögen (aktuell für Aufschlag auf Ebene 19,5 km/h), für die Anforderungen von (schnellen) E-Bikes ausreichend ist. In den Niederlanden wurde im 2016 ein normatives Dokument bzw. ein «technical agreement» für S-Pedelec-Helme veröffentlicht (NTA 8776:2016),

das den Ansprüchen der schnellen E-Bikes besser gerecht werden soll. Helme, welche diesem normativen Dokument entsprechen, verfügen über ein höheres Stossdämpfungsvermögen (Aufschlag auf Ebene 23,4 km/h). Auch die Fläche, auf welcher die Dämpfungseigenschaften überprüft werden müssen, ist gegenüber dem EN 1078 erweitert worden. Ziel der Projektgruppe ist es, dieses zurzeit nur in Holland geltende Dokument in eine europaweit gültige Norm (EN-Norm) für schnelle E-Bikes zu überführen [72]. Auf Grund der höheren Anforderungen an das Stossdämpfungsvermögen ist anzunehmen, dass die Förderung dieser Helme auch in der Schweiz sinnvoll wäre. Entsprechende Modelle sind auch hierzulande bereits auf dem Markt. Da diese Helme zusätzlich auch die Norm EN 1078 erfüllen, dürfen sie bereits heute auch in der Schweiz für schnelle E-Bikes verwendet werden. Die Förderung könnte mittels Konsumenteninformation geschehen. Denkbar wäre aber auch, dass die Schweiz diese Norm längerfristig (nach europäischer Harmonisierung) für schnelle E-Bikes gesetzlich verankert.

3.3.3 Infrastruktur

Die zunehmende Verbreitung von E-Bikes und die daraus resultierenden höheren Geschwindigkeitsvariationen und vermehrten Überholvorgänge stellen eine Herausforderung für die Radverkehrsinfrastruktur dar. Überholvorgänge sollten unter sicheren Bedingungen und auf den für den Radverkehr vorgesehenen Flächen möglich sein. Aber auch für Fahrten ohne Überholvorgänge muss auf den Radverkehrsflächen ausreichend Platz sein, so dass im Notfall Ausweichmanöver z. B. bei Einlaufschächten (Dolen) o. ä. möglich sind. **Fahrradanlagen** sollten ausreichend breit geplant und realisiert werden und nicht nur Mindestmasse aufweisen. Dies bedingt das Setzen von Prioritäten beim Strassenentwurf.

Auch bezüglich **Projektion**sgeschwindigkeiten und Kurvenradien besteht Anpassungsbedarf [73]. In **Mischverkehrssituationen** mit dem Fussverkehr können die mit dem E-Bike erreichbaren Geschwindigkeiten ebenfalls problematisch sein, weshalb die Erarbeitung von neuen Grundsätzen für gemischte Rad-/Gehwege zu empfehlen ist.

Die Gewährleistung von genügend **Sichtweiten** an Knoten und Kreiseln ist für die Sicherheit von E-Bike-Fahrern eine wichtige Massnahme. An Knoten stellen freigehaltene Seitenräume sicher, dass einmündende Lenker sich von links nähernde E-Bikes wie auch andere Verkehrsteilnehmer rechtzeitig wahrnehmen können. Die notwendigen Sichtweiten sind in den VSS-Normen SN 640 273a «Knoten; Sichtverhältnisse» geregelt. Die entsprechenden Werte für Kreisverkehrsplätze finden sich in der VSS-Norm SN 640 263 «Knoten; Knoten mit Kreisverkehr». Die Belange von E-Bikes werden in diesen Normen allerdings noch nicht berücksichtigt (Stand 2017)⁹, weshalb eine **Überprüfung** dieser beiden **Normen** hinsichtlich E-Bike-Tauglichkeit zu empfehlen ist. Dasselbe gilt auch für weitere VSS-Normen, die den Radverkehr betreffen, wie beispielsweise die SN 640 060 «Leichter Zweiradverkehr; Grundlage» und die SN 640 240 «Querungen für den Fussgänger- und leichten Zweiradverkehr; Grundlagen». Da die **Umsetzung** dieser Normen in der Praxis immer wieder an privaten Interessen scheitert (z. B. Stutzung von Gebüsch auf privatem Grund) sind die zuständigen Baubehörden aufgefordert, insbesondere mit Blick auf einspurige Fahrzeuge, zumindest die aktuellen Minimalwerte durchzusetzen (beispielsweise im Rahmen von **Road Safety Inspections RSI**). Schon bei guten Sichtbedingungen sind Wahrnehmung und Einschätzung der Geschwindigkeit

dieser Verkehrsteilnehmer erschwert, sodass die Unterschreitung der minimalen Normwerte sicherheitstechnisch unhaltbar ist.

Der Strassenzustand hat sich in der vorliegenden Befragung als zentraler Einflussfaktor bei Alleinunfällen von E-Bike-Fahrern herausgestellt (rutschige Strassenoberfläche, schlechter Strassenzustand). Ein regelmässiger **Unterhalt** der Radverkehrsanlagen mit Reinigung und Winterdienst ist deshalb dringend zu empfehlen. Um Alleinunfälle im Zusammenhang mit dem Überqueren einer **Schwelle** zu reduzieren, könnten Massnahmen bezüglich Höhe und Form von Bordsteinen oder Vertikalversätzen angezeigt sein. Je nach Schwerpunktsetzung bezüglich Nutzergruppe bestehen andere Anforderungen (z. B. für Sehbehinderte ist eine gewisse Bordsteinhöhe notwendig). Liegt der Schwerpunkt der Strassenanlage auf dem Fahrradverkehr (z. B. Radweg), muss darauf geachtet werden, dass Bordsteine und Vertikalversätze einem für den Radverkehr sicheren Standard entsprechen. Auch hinsichtlich **Tramschienen / Bahngleisen** besteht grosses Verbesserungspotenzial. Zurzeit existieren jedoch noch keine zufriedenstellenden technischen Lösungen um zu verhindern, dass E-Bike-/Radfahrer in die Schiene geraten. Idealerweise sollten Radrouten und Trams daher separiert werden [75]. Da dies oft nicht möglich ist, sollte an technischen Lösungen weitergeforscht werden.

3.4 Gesetz und Vollzug (Enforcement)

Die aktuellen gesetzlichen Vorgaben wurden im Nachgang zum boomenden E-Bike-Markt seit 2012 laufend angepasst. Sie decken bereits einige Bedürfnisse ab. So besteht beispielsweise ein Helmobligatorium für

⁹ In der bfu-Grundlage «Sicht an Verzweigungen und Grundstückszufahrten» [74] werden E-Bikes berücksichtigt

So besteht beispielsweise ein Helmobligatorium für schnelle E-Bikes. Zudem werden E-Bikes als Motorfahräder behandelt, sodass diese erst ab 14 Jahren gefahren werden dürfen. Im Wissen, dass ein Großteil der E-Bike-Unfälle Alleinfälle und Kollisionen an Kreuzungen und Kreisverkehrsplätzen sind, und dass v. a. Altersklassen ab 40 Jahren betroffen sind, sind diese Vorgaben zwar notwendig, jedoch nicht hinreichend. Zu prüfen wären aus dieser Sicht insbesondere die Einführung eines **Lichteinschaltobligatoriums** auch tagsüber, damit E-Bike-Fahrende für andere Verkehrsteilnehmer besser wahrnehmbar und einschätzbar sind.

Die Tatsache, dass die Verletzung von Höchstgeschwindigkeitsvorschriften durch E-Bike-Fahrer nicht generell per Radar kontrolliert und im Überschreitungsfall gebüßt werden kann (es sei den Art. 32 SVG bzgl. Anpassung der Geschwindigkeit an die Umstände kann angewendet werden, z. B. im Falle eines Unfalls), ist insbesondere bei schnellen E-Bikes in verkehrsberuhigten Zonen problematisch. Die Einführung von **Möglichkeiten der Geschwindigkeitskontrolle und Sanktionierung** für schnelle E-Bikes wäre deshalb sinnvoll (z. B. Tachopflicht).

Inwiefern die **Radwegbenutzungspflicht** für schnelle E-Bikes ein Problem für die Verkehrssicherheit darstellt, kann zurzeit nicht abgeschätzt werden. Auf schmalen Radwegen mit hohem Radverkehrsaufkommen oder auf gemischten Rad-/Gehwegen kann es zwar zu heiklen Situationen kommen. Bevor aber eine Aufhebung der Radwegbenutzungspflicht beschlossen wird, wäre zu prüfen, ob sich dadurch nicht unbeabsichtigte negative Effekte ergeben würden (z. B. mehr Kollisionen zwischen E-Bikes und Motorfahrzeugen). Das Thema sollte daher näher untersucht werden.

Es ist nicht bekannt, wie viele E-Bikes **manipuliert** (ugs. «frisirt») werden. Dieses mögliche Problem sollte daher im Auge behalten werden. Sollte es sich als bedeutsam herausstellen, wären entsprechende Kontrollmassnahmen zu prüfen.

4. Forschungsbedarf

In der vorliegenden Unfallanalyse konnten erstmals Daten zum **Unfallrisiko** (Unfallgeschehen im Verhältnis zur Exposition) von E-Bike-Fahrern ausgewertet werden. Die Datenbasis ist aber noch klein, so dass die Ergebnisse noch wenig robust sind. Eine Differenzierung des Risikos nach E-Bike-Typ war noch nicht möglich. In Zukunft sollten daher weitere Daten über Exposition und Unfallrisiko verschiedener Subgruppen erhoben werden.

Es ist anzunehmen, dass die Verbreitung von E-Bikes weiterhin zunimmt und mit einer Ausdehnung der Nutzergruppe hin zu jüngeren Fahrern zu rechnen ist. Die Entwicklung verschiedener **Sicherheits- und Unfallindikatoren** sollte daher weiterhin genau verfolgt werden.

Um die Sicherheitswirkung einer allfälligen Aufhebung der **Radwegbenutzungspflicht** einschätzen zu können, sollte das Thema unter Berücksichtigung von positiven und negativen Effekten näher untersucht werden.

Um die Gefahr von Fehleinschätzungen zu reduzieren, sollten E-Bikes besser von konventionellen Fahrrädern **unterscheidbar** sein. Vorgeschlagen wurden z. B. ein individuelles Design oder Beleuchtungsmuster [17]. Entsprechende Forschungsarbeiten scheinen aber noch nicht vorhanden zu sein.

Wie bereits erwähnt ist das Ausmass an **manipulierten E-Bikes** nicht bekannt. Um abschätzen zu können, ob es sich dabei tatsächlich um ein Sicherheitsproblem handelt, wäre eine diesbezügliche Erhebung erforderlich.

VII. Anhang

1. Unfallanalyse

1.1 Ergebnisse der logistischen Regressionen

Tabelle 4
Ergebnisse logistische Regression zur Prüfung verschiedener Einflussfaktoren auf die Verletzungsschwere bei Alleinunfällen

Variablen	Odds Ratio	P-Wert	95 % Konfidenzintervall	
Fahrrad	1.00			
Langsames E-Bike	1.01	0.89	0.86	1.19
Schnelles E-Bike	1.47	0.02	1.07	2.02
<hr/>				
14–19 Jahre	1.00			
20–29 Jahre	1.49	0.00	1.14	1.94
30–39 Jahre	1.83	0.00	1.41	2.37
40–49 Jahre	2.13	0.00	1.65	2.75
50–59 Jahre	2.64	0.00	2.06	3.40
60–69 Jahre	2.32	0.00	1.78	3.01
70–79 Jahre	2.47	0.00	1.87	3.27
80+ Jahre	2.67	0.00	1.87	3.80
<hr/>				
Männlich	1.00			
Weiblich	0.90	0.07	0.80	1.01
<hr/>				
Innerorts	1.00			
Ausserorts	1.47	0.00	1.29	1.67
<hr/>				
Konstante	0.29	0.00	0.23	0.37

N = 5 922, LR $\chi^2(11) = 150.16$, Prob > $\chi^2 = 0.000$, Pseudo R² = 0.019

Datenbasis: bei Alleinunfällen verletzte Fahrrad- und E-Bike-Fahrer ab 14 Jahren, Σ 2011-2016

Tabelle 5
Ergebnisse logistische Regression zur Prüfung verschiedener Einflussfaktoren auf die Verletzungsschwere bei Kollisionen

Variablen	Odds Ratio	P-Wert	95 % Konfidenzintervall	
Fahrrad	1.00			
Langsames E-Bike	1.05	0.56	0.90	1.21
Schnelles E-Bike	0.91	0.42	0.72	1.15
<hr/>				
14–19 Jahre	1.00			
20–29 Jahre	1.42	0.00	1.18	1.71
30–39 Jahre	1.69	0.00	1.41	2.02
40–49 Jahre	1.97	0.00	1.66	2.35
50–59 Jahre	2.64	0.00	2.22	3.13
60–69 Jahre	3.04	0.00	2.53	3.66
70–79 Jahre	3.48	0.00	2.83	4.28
80+ Jahre	4.45	0.00	3.35	5.92
<hr/>				
Männlich	1.00			
Weiblich	0.95	0.21	0.87	1.03
<hr/>				
Innerorts	1.00			
Ausserorts	1.63	0.00	1.47	1.81
<hr/>				
Konstante	0.14	0.00	0.12	0.16

N = 13 481, LR $\chi^2(11) = 446.34$, Prob > $\chi^2 = 0.000$, Pseudo R² = 0.031

Datenbasis: bei Kollisionen verletzte Fahrrad- und E-Bike-Fahrer ab 14 Jahren, Σ 2011-2016

2. Befragung Alleinunfälle

2.1 Fragebogen

2.1.1 Fragebogen für Personen mit E-Bike-Alleinunfall im Strassenverkehr




A Fragebogen für Personen mit E-Bike-Selbstunfall im Strassenverkehr

Bitte füllen Sie diesen Fragebogen aus, wenn Sie bereits ein- oder mehrmals einen Selbstunfall mit dem E-Bike im Strassenverkehr hatten (d.h. Sturz ohne Kollision mit Autos, Velos, anderen E-Bikes oder Fussgängern)

F1: Wie lange fahren Sie bereits E-Bike?
Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Bin noch nie E-Bike gefahren
<input type="checkbox"/>	0 bis 1 Monat
<input type="checkbox"/>	Ab 1 Monat bis 6 Monate
<input type="checkbox"/>	Ab 6 Monate bis 1 Jahr
<input type="checkbox"/>	Ab 1 Jahr bis 2 Jahre
<input type="checkbox"/>	Länger als 2 Jahre
<input type="checkbox"/>	Fahre nur unregelmässig E-Bike (z.B. in den Ferien, wenn ich eines ausleihe)
<input type="checkbox"/>	Habe aufgehört, E-Bike zu fahren
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

Falls Sie noch nie E-Bike gefahren sind, gehören Sie leider nicht zur Zielgruppe für die Studie und können den Fragebogen nicht weiter ausfüllen.

F2: Wie häufig fahren Sie aktuell E-Bike?
Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	(fast) täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	mehrmals pro Jahr	seltener / nie	weiss nicht / keine Angabe
Im Frühling / Sommer / Herbst	<input type="checkbox"/>					
Im Winter	<input type="checkbox"/>					

F3: Bevor Sie mit E-Bike-Fahren begonnen haben: Wie häufig sind Sie früher ausserhalb der Wintermonate Velo (ohne E-Bike) und / oder Mofa / Motorrad gefahren?
Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	(fast) täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	mehrmals pro Jahr	seltener / nie	weiss nicht / keine Angabe
Velo	<input type="checkbox"/>					
Mofa / Motorrad	<input type="checkbox"/>					

F4: Wann sind Sie zum letzten Mal regelmässig Velo (ohne E-Bike) und / oder Mofa / Motorrad gefahren?
Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	aktuell immer noch	letztes Jahr (2015)	vor 2-3 Jahren	vor mehr als 3 Jahren	bin ich nie gefahren	weiss nicht / keine Angabe
Velo	<input type="checkbox"/>					
Mofa / Motorrad	<input type="checkbox"/>					

F5: Weshalb haben Sie angefangen, E-Bike zu fahren?
Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	trifft zu	trifft nicht zu	weiss nicht / keine Angabe
Das Velofahren oder das zu Fuss Gehen ist mir zu beschwerlich geworden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich mit dem E-Bike schneller voran komme (z.B. schneller als Velo, OV, Auto)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich beim Velofahren (z.B. zur Arbeit) nicht schwitzen will	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich mit einem Veloanhänger etwas transportieren will	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Damit ich Leute auf einem Velo-Ausflug begleiten kann, denen ich mit dem Velo nicht folgen könnte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aus ökologischen Gründen (Umweltschutz)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aus gesundheitlichen Gründen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Andere Gründe:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Seite 1 - bitte wenden →

F6: Wozu nutzen Sie Ihr E-Bike hauptsächlich (bitte häufigsten Zweck angeben)?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Für den Arbeitsweg / Schulweg
<input type="checkbox"/>	Für den Einkauf
<input type="checkbox"/>	In der Freizeit
<input type="checkbox"/>	Anderes:
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

F7: Haben Sie je einen E-Bike Fahrkurs besucht?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Ja	→ weiter zu F8
<input type="checkbox"/>	Nein	→ weiter zu F9
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe	→ weiter zu F9

F8: Weshalb haben Sie einen E-Bike Fahrkurs besucht? Bitte nennen Sie uns den Hauptgrund.

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Ich fühlte mich als Anfänger unsicher
<input type="checkbox"/>	Ich wollte üben, um einen Unfall zu vermeiden
<input type="checkbox"/>	Ich fühlte mich nach einem Unfall unsicher
<input type="checkbox"/>	Ich wollte vor dem Kauf ein E-Bike ausprobieren
<input type="checkbox"/>	Jemand hat mich mitgenommen
<input type="checkbox"/>	Aus reiner Neugierde
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

F9: Wie sicher fühlen Sie sich in folgenden Situationen mit Ihrem E-Bike?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	1 = gar nicht sicher					5 = sehr sicher	
	1	2	3	4	5	weiss nicht / keine Angabe	
Fahren mit hohem Tempo (über 30 km/h)	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf einer Strasse mit dichtem Verkehr	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf nicht geteerten Strassen (z.B. Feldwege, Waldwege, ...)	<input type="checkbox"/>						
Einhändiges Fahren (z.B. beim Anzeigen, dass Sie abbiegen wollen)	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf sehr steilen Strassen bergauf	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf sehr steilen Strassen bergab	<input type="checkbox"/>						

S1: Wie oft haben Sie als Lenkerin oder Lenker eines E-Bikes folgende Situationen schon erlebt?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	noch nie	einmal	zweimal	mehr als zweimal	weiss nicht / keine Angabe
Kollision mit einem Fussgänger, Velo-, E-Bike-, Autofahrer	<input type="checkbox"/>				
Selbstunfall / Sturz im Gelände (ohne Zusammenstoss mit einem anderen Verkehrsteilnehmer)	<input type="checkbox"/>				
Selbstunfall / Sturz auf der Strasse (ohne Zusammenstoss mit einem anderen Verkehrsteilnehmer)	<input type="checkbox"/>				

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den Selbstunfall mit dem E-Bike im Strassenverkehr (Unfälle mit Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden sind ausgeschlossen). Wenn Sie mehrere Selbstunfälle mit dem E-Bike hatten, so berichten Sie jeweils von Ihrem schwersten Selbstunfall im Strassenverkehr.

U1: In welchem Jahr hat sich Ihr Unfall ereignet?

Bitte nennen Sie die entsprechende Jahreszahl.

Jahr: Weiss nicht / keine Angabe

U2: Was für ein E-Bike haben Sie zum Unfallzeitpunkt benutzt?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Ein schnelles E-Bike mit einem gelben Nummernschild
<input type="checkbox"/>	Ein langsames E-Bike ohne Nummernschild
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U3: Welchen E-Bike Typ haben Sie zum Unfallzeitpunkt benutzt?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Strassen E-Bike
<input type="checkbox"/>	E-Mountainbike
<input type="checkbox"/>	Zu E-Bike umgebautes Velo
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U4.1: Wo befand sich am E-Bike, welches Sie zum Unfallzeitpunkt fuhren, der Akku / die Batterie?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Beim Gepäckträger
<input type="checkbox"/>	Im / am Rahmen
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U4.2: Wo befand sich am E-Bike, welches Sie zum Unfallzeitpunkt fuhren, der Motor?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Im Vorderrad
<input type="checkbox"/>	Im Hinterrad
<input type="checkbox"/>	Beim Tretlager (Pedale)
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U5: Wie viel Erfahrung mit dem E-Bike-Fahren hatten Sie zum Zeitpunkt des Selbstunfalls?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Keine bis wenig Erfahrung / Anfängerniveau
<input type="checkbox"/>	Etwas Erfahrung / Mittleres Niveau
<input type="checkbox"/>	Routiniert / Fortgeschrittenes Niveau
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U6: Was hat Ihren Unfall ausgelöst?

Bitte kreuzen Sie alle zutreffenden Ursachen an.

<input type="checkbox"/>	Ich musste einer Person / einem Fahrzeug / Schlagloch / Gegenstand auf meiner Fahrspur ausweichen
<input type="checkbox"/>	Ich bin aus einem anderen / unbekanntem Grund von meiner Fahrspur abgekommen
<input type="checkbox"/>	Ich bin in einen Gegenstand / Schlagloch gefahren , das sich fälschlicherweise / unerwarteterweise auf meiner Fahrspur befand
<input type="checkbox"/>	Ich bin in eine Tramschiene geraten oder darauf ausgerutscht
<input type="checkbox"/>	Ich bin auf etwas Anderem ausgerutscht (z.B. nasses Laub, Eis, Kies)
<input type="checkbox"/>	Ich bin beim Überqueren einer Schwelle (z.B. Trottoir, Randstein, Bodenwelle, Belagswechsel) gestürzt
<input type="checkbox"/>	Ich bin von den Pedalen abgerutscht oder am E-Bike hängen geblieben
<input type="checkbox"/>	Ich bin ohne bewussten Grund gestürzt
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U7: Welche der folgenden Rahmenbedingungen lagen bei Ihrem E-Bike-Unfall vor?

Bitte wählen Sie pro Zeile die zutreffende Antwort.

Zeitpunkt des Unfalls	<input type="checkbox"/> im Stand	<input type="checkbox"/> Anfahren	<input type="checkbox"/> während der Fahrt	<input type="checkbox"/> beim Abbremsen	<input type="checkbox"/> beim Absteigen	<input type="checkbox"/> weiss nicht / keine Angabe
Eigene Geschwindigkeit während dem Unfall	<input type="checkbox"/> stehend	<input type="checkbox"/> bis 15 km/h	<input type="checkbox"/> 16 bis 25 km/h	<input type="checkbox"/> 26 bis 45 km/h	<input type="checkbox"/> mehr als 45 km/h	<input type="checkbox"/> weiss nicht / keine Angabe
Geländeeigenschaften	<input type="checkbox"/> starkes Gefälle	<input type="checkbox"/> leichtes Gefälle	<input type="checkbox"/> eben	<input type="checkbox"/> leichte Steigung	<input type="checkbox"/> starke Steigung	<input type="checkbox"/> weiss nicht / keine Angabe
Strassensituation	<input type="checkbox"/> gerade Strecke	<input type="checkbox"/> Kurve	<input type="checkbox"/> Platz / Parkplatz	<input type="checkbox"/> Kreuzung / Einmündung	<input type="checkbox"/> Kreisel	<input type="checkbox"/> weiss nicht / keine Angabe
Radführung	<input type="checkbox"/> Strasse ohne Radstreifen	<input type="checkbox"/> Radstreifen (gestrichelte Linie auf Fahrbahn)	<input type="checkbox"/> separater Radweg	<input type="checkbox"/> separater Rad- und Gehweg	<input type="checkbox"/> Trottoir	<input type="checkbox"/> weiss nicht / keine Angabe
Strassentyp	<input type="checkbox"/> innerorts in 20 / 30 km/h-Zone	<input type="checkbox"/> innerorts in 50 km/h-Zone	<input type="checkbox"/> ausserorts auf einer Hauptstrasse	<input type="checkbox"/> ausserorts auf einer Nebenstrasse	<input type="checkbox"/> private Strasse / privates Areal	<input type="checkbox"/> weiss nicht / keine Angabe
Lichtverhältnisse	<input type="checkbox"/> Dämmerung morgens	<input type="checkbox"/> Tageslicht	<input type="checkbox"/> Dämmerung abends	<input type="checkbox"/> Dunkelheit mit Strassenbeleuchtung	<input type="checkbox"/> Dunkelheit ohne Strassenbeleuchtung	<input type="checkbox"/> weiss nicht / keine Angabe

U8: Waren Sie zum Zeitpunkt des Unfalls alkoholisiert?

Bitte kreuzen Sie entsprechende Antwort an.

	1 nicht alkoholisiert	2	3	4	5 sehr stark alkoholisiert	weiss nicht / keine Angabe
Alkoholisiert	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

U9: Wie stark haben folgende Faktoren den Unfall mitbeeinflusst?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	gar nicht	leicht	mittel	stark	weiss nicht / keine Angabe
Die Verkehrssituation oder Strassenführung war unklar / unübersichtlich (z.B. kommende Kurve nicht sichtbar, Baustelle, parkierte Autos)	<input type="checkbox"/>				
Die Fahrbahn / der Radweg / Radstreifen war zu schmal	<input type="checkbox"/>				
Die Kurve war zu eng	<input type="checkbox"/>				
Der Anstieg war zu steil	<input type="checkbox"/>				
Die Strassenoberfläche war rutschig (wegen Nässe, Eis, Schmutz, Schnee, Kieselsteine, Laub o.Ä.)	<input type="checkbox"/>				
Die Strassenbeleuchtung war ungenügend	<input type="checkbox"/>				
Die Strasse war in schlechtem Zustand (Löcher, uneben, Belagsschäden, im Bau)	<input type="checkbox"/>				
Das Gelände direkt neben der Fahrbahn war ungünstig (z.B. Baum, der in Strasse ragte, Kiesstreifen neben Asphalt)	<input type="checkbox"/>				
Meine Kleidungsstücke haben die Sicht behindert (z.B. Kappe, Kapuze)	<input type="checkbox"/>				
Wetterbedingt war die Sicht eingeschränkt (z.B. starker Niederschlag, Sonnenblendung)	<input type="checkbox"/>				
Dämmerung / Dunkelheit hat die Sicht beeinträchtigt	<input type="checkbox"/>				
Gegenstand war ins Auge geflogen	<input type="checkbox"/>				
Ich hatte Probleme mit dem Gepäck auf dem E-Bike	<input type="checkbox"/>				
Mit dem E-Bike-Anhänger gab es Probleme	<input type="checkbox"/>				
Ein Gegenstand ist in die Speichen geraten	<input type="checkbox"/>				

U10: Und wie stark haben diese Faktoren den Unfall mitbeeinflusst?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	gar nicht	leicht	mittel	stark	weiss nicht / keine Angabe
Ich war mit etwas anderem beschäftigt (z.B. Handy, GPS, Tasche richten)	<input type="checkbox"/>				
Ich habe über Kopfhörer Musik gehört	<input type="checkbox"/>				
Ich war nicht auf den Verkehr konzentriert (z.B. mit den Gedanken nicht beim Verkehr, abgelenkt durch etwas in der Umgebung)	<input type="checkbox"/>				
Ich war auf etwas Anderes im Verkehr fokussiert	<input type="checkbox"/>				
Ich war müde	<input type="checkbox"/>				
Ich war in Eile	<input type="checkbox"/>				
Ich war mit dem Fahrzeug nicht vertraut	<input type="checkbox"/>				
Ich war mit der Strecke nicht vertraut	<input type="checkbox"/>				
Das Verhalten von anderen Verkehrsteilnehmern (z.B. wurde von einem Autofahrer abgedrängt, Fussgänger lief mir in den Weg)	<input type="checkbox"/>				
Ich bin zu nahe am Randstein oder Strassenrand gefahren	<input type="checkbox"/>				
Ich habe die Verkehrsregeln nicht eingehalten	<input type="checkbox"/>				
Ich hatte gesundheitliche Probleme / Beschwerden	<input type="checkbox"/>				
Ich war für diese Situation zu schnell unterwegs	<input type="checkbox"/>				
Ich habe zu stark gebremst	<input type="checkbox"/>				
Ich habe das E-Bike falsch bedient (z.B. zu hohen Gang gewählt, Bremse verwechselt)	<input type="checkbox"/>				
Ich bin alkoholisiert gefahren	<input type="checkbox"/>				
Das E-Bike hatte einen technischen Mangel / der Zustand war nicht einwandfrei (z.B. defekte Beleuchtung, mangelhafte Bremsen, Platten)	<input type="checkbox"/>				
Das E-Bike war zu schwer	<input type="checkbox"/>				
Das E-Bike reagierte anders, als ich es erwartet hatte (z.B. abruptes Losfahren, Federung, Nachlaufen Elektromotor)	<input type="checkbox"/>				
Ich konnte das Gleichgewicht nicht halten	<input type="checkbox"/>				
Anderer Grund:	<input type="checkbox"/>				

Seite 4 - bitte wenden →

U11: Haben Sie noch Ergänzungen zum Hergang Ihres Unfalls oder der Gründe, die dafür verantwortlich waren? Bitte geben Sie diese an.

Bitte geben Sie Antwort in Ihren eigenen Worten.

U12: Hat die Polizei den Unfall aufgenommen?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Ja
<input checked="" type="checkbox"/>	Nein
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U13: Haben Sie sich beim Unfall verletzt?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Keine Verletzung
<input checked="" type="checkbox"/>	Leichte Verletzung (nur Selbstbehandlung)
<input type="checkbox"/>	Mittelschwere Verletzung (ambulante Behandlung z.B. in Arztpraxis)
<input checked="" type="checkbox"/>	Schwere Verletzung (stationäre Behandlung im Spital)
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U14: Denken Sie, dass der Unfall auch mit einem normalen Velo ohne Elektroantrieb passiert wäre?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Ja
<input checked="" type="checkbox"/>	Eher ja
<input type="checkbox"/>	Eher nein
<input checked="" type="checkbox"/>	Nein
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

U15: Welche Empfehlungen können Sie abgeben, um solche Unfälle in Zukunft zu verhindern?

Bitte geben Sie Antwort in Ihren eigenen Worten.

Zum Schluss würden wir Ihnen gerne noch ein paar wenige Fragen zu Ihrer Person stellen.

D1: Bitte geben Sie uns Ihr Geschlecht an.

<input type="checkbox"/>	Männlich
<input checked="" type="checkbox"/>	Weiblich
<input type="checkbox"/>	Keine Angabe

D2: Bitte geben Sie uns Ihr Alter an.

<input type="text" value="_____"/> Jahre	<input type="checkbox"/>	keine Angabe
--	--------------------------	--------------

Seite 5 - bitte wenden →

D3: Welches ist Ihr höchster Schulabschluss?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Primarschule
<input type="checkbox"/>	Real-, Bezirks-, Sekundarschule
<input type="checkbox"/>	Berufsschule / Fachschule
<input type="checkbox"/>	Mittelschule / Matura
<input type="checkbox"/>	Fachhochschule (Seminar / Technikum / HTL / HWV)
<input type="checkbox"/>	Universität / ETH / HSG
<input type="checkbox"/>	Keine Angabe

D4: Wie fit sind Sie im Vergleich zu Gleichaltrigen?

Bitte kreuzen Sie entsprechende Antwort an.

	1 viel weniger fit	2	3 gleich fit	4	5 viel fitter	weiss nicht / keine Angabe
Meine Fitness	<input type="checkbox"/>					

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wenn Sie an der Verlosung teilnehmen möchten, dann füllen Sie bitte die beiliegende Teilnahmekarte aus.

2.1.2 Fragebogen für Personen ohne E-Bike-Alleinunfall im Strassenverkehr



B

Fragebogen für Personen ohne E-Bike-Selbstunfall im Strassenverkehr

Bitte füllen Sie diesen Fragebogen aus, wenn Sie noch nie einen Selbstunfall mit dem E-Bike im Strassenverkehr hatten (d.h. Sturz ohne Kollision mit Autos, Velos, anderen E-Bikes oder Fussgängern)

F1: Wie lange fahren Sie bereits E-Bike?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Bin noch nie E-Bike gefahren
<input type="checkbox"/>	0 bis 1 Monat
<input type="checkbox"/>	Ab 1 Monat bis 6 Monate
<input type="checkbox"/>	Ab 6 Monate bis 1 Jahr
<input type="checkbox"/>	Ab 1 Jahr bis 2 Jahre
<input type="checkbox"/>	Länger als 2 Jahre
<input type="checkbox"/>	Fahre nur unregelmässig E-Bike (z.B. in den Ferien, wenn ich eines ausleihe)
<input type="checkbox"/>	Habe aufgehört, E-Bike zu fahren
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

Falls Sie noch nie E-Bike gefahren sind, gehören Sie leider nicht zur Zielgruppe für die Studie und können den Fragebogen nicht weiter ausfüllen.

F2: Wie häufig fahren Sie aktuell E-Bike?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	(fast) täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	mehrmals pro Jahr	seltener / nie	weiss nicht / keine Angabe
Im Frühling / Sommer / Herbst	<input type="checkbox"/>					
Im Winter	<input type="checkbox"/>					

F3: Bevor Sie mit E-Bike-Fahren begonnen haben: Wie häufig sind Sie früher ausserhalb der Wintermonate Velo (ohne E-Bike) und / oder Mofa / Motorrad gefahren?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	(fast) täglich	mehrmals pro Woche	mehrmals pro Monat	mehrmals pro Jahr	seltener / nie	weiss nicht / keine Angabe
Velo	<input type="checkbox"/>					
Mofa / Motorrad	<input type="checkbox"/>					

F4: Wann sind Sie zum letzten Mal regelmässig Velo (ohne E-Bike) und / oder Mofa / Motorrad gefahren?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	aktuell immer noch	letztes Jahr (2015)	vor 2-3 Jahren	vor mehr als 3 Jahren	bin ich nie gefahren	weiss nicht / keine Angabe
Velo	<input type="checkbox"/>					
Mofa / Motorrad	<input type="checkbox"/>					

F5: Weshalb haben Sie angefangen, E-Bike zu fahren?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	trifft zu	trifft nicht zu	weiss nicht / keine Angabe
Das Velofahren oder das zu Fuss Gehen ist mir zu beschwerlich geworden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich mit dem E-Bike schneller voran komme (z.B. schneller als Velo, ÖV, Auto)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich beim Velofahren (z.B. zur Arbeit) nicht schwitzen will	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weil ich mit einem Veloanhänger etwas transportieren will	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Damit ich Leute auf einem Velo-Ausflug begleiten kann, denen ich mit dem Velo nicht folgen könnte	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aus ökologischen Gründen (Umweltschutz)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aus gesundheitlichen Gründen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Andere Gründe:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Seite 1 - bitte wenden →

F6: Wozu nutzen Sie Ihr E-Bike hauptsächlich (bitte häufigsten Zweck angeben)?*Bitte geben Sie nur eine Antwort.*

<input type="checkbox"/>	Für den Arbeitsweg / Schulweg
<input type="checkbox"/>	Für den Einkauf
<input type="checkbox"/>	In der Freizeit
<input type="checkbox"/>	Anderes:
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

F7: Haben Sie je einen E-Bike Fahrkurs besucht?*Bitte geben Sie nur eine Antwort.*

<input type="checkbox"/>	Ja	→ weiter zu F8
<input type="checkbox"/>	Nein	→ weiter zu F9
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe	→ weiter zu F9

F8: Weshalb haben Sie einen E-Bike Fahrkurs besucht? Bitte nennen Sie uns den Hauptgrund.*Bitte geben Sie nur eine Antwort.*

<input type="checkbox"/>	Ich fühlte mich als Anfänger unsicher
<input type="checkbox"/>	Ich wollte üben, um einen Unfall zu vermeiden
<input type="checkbox"/>	Ich fühlte mich nach einem Unfall unsicher
<input type="checkbox"/>	Ich wollte vor dem Kauf ein E-Bike ausprobieren
<input type="checkbox"/>	Jemand hat mich mitgenommen
<input type="checkbox"/>	Aus reiner Neugierde
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

F9: Wie sicher fühlen Sie sich in folgenden Situationen mit Ihrem E-Bike?*Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.*

	1 = gar nicht sicher					5 = sehr sicher	weiss nicht / keine Angabe
	1	2	3	4	5		
Fahren mit hohem Tempo (über 30 km/h)	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf einer Strasse mit dichtem Verkehr	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf nicht geteerten Strassen (z.B. Feldwege, Waldwege, ...)	<input type="checkbox"/>						
Einhändiges Fahren (z.B. beim Anzeigen, dass Sie abbiegen wollen)	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf sehr steilen Strassen bergauf	<input type="checkbox"/>						
Fahren auf sehr steilen Strassen bergab	<input type="checkbox"/>						

S1: Wie oft haben Sie als Lenkerin oder Lenker eines E-Bikes folgende Situationen schon erlebt?*Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.*

	noch nie	einmal	zweimal	mehr als zweimal	weiss nicht / keine Angabe
Kollision mit einem Fussgänger, Velo-, E-Bike-, Autofahrer	<input type="checkbox"/>				
Selbstunfall / Sturz im Gelände (ohne Zusammenstoss mit einem anderen Verkehrsteilnehmer)	<input type="checkbox"/>				
Selbstunfall / Sturz auf der Strasse (ohne Zusammenstoss mit einem anderen Verkehrsteilnehmer)	<input type="checkbox"/>				

K0: Was für ein E-Bike benutzen Sie?*Bitte geben Sie nur eine Antwort.*

<input type="checkbox"/>	Ein schnelles E-Bike mit einem gelben Nummernschild
<input type="checkbox"/>	Ein langsames E-Bike ohne Nummernschild
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

K1: Welchen E-Bike Typ benutzen Sie?*Bitte geben Sie nur eine Antwort.*

<input type="checkbox"/>	Strassen E-Bike
<input type="checkbox"/>	E-Mountainbike
<input type="checkbox"/>	Zu E-Bike umgebautes Velo
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

Seite 2

K2: Wo befindet sich an Ihrem E-Bike der Akku / die Batterie?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Beim Gepäckträger
<input type="checkbox"/>	Im / am Rahmen
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

K4: Wo befindet sich an Ihrem E-Bike der Motor?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Im Vorderrad
<input type="checkbox"/>	Im Hinterrad
<input type="checkbox"/>	Beim Tretlager (Pedale)
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe

K5: Haben Sie einen Velohelm?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/>	Ja	→ weiter zu K6
<input type="checkbox"/>	Nein	→ weiter zu K7
<input type="checkbox"/>	Weiss nicht / keine Angabe	→ weiter zu K7

K6: Wie häufig tragen Sie beim E-Bike-Fahren einen Helm?

	nie	selten	manchmal	öfters	immer	weiss nicht / keine Angabe
Tragen Velohelm	<input type="checkbox"/>					

K7: Tragen Sie beim E-Bike-Fahren lichtreflektierende Materialien / eine Sicherheitsweste?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	nie	selten	manchmal	öfters	immer	weiss nicht / keine Angabe
Bei Tageslicht	<input type="checkbox"/>					
Bei Dunkelheit	<input type="checkbox"/>					

K8: Wie oft erleben Sie mit dem E-Bike folgende kritischen Situationen?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	nie	selten	manchmal	öfters	immer	weiss nicht / keine Angabe
Beinahe-Sturz ohne Einwirkung von anderen Verkehrsteilnehmern	<input type="checkbox"/>					
Beinahe-Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern	<input type="checkbox"/>					

K9: Welche Aussagen treffen auf Sie zu, wenn Sie mit dem E-Bike unterwegs sind?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	1 = trifft gar nicht zu					5= trifft sehr zu	
	1	2	3	4	5	weiss nicht / keine Angabe	
Meine Geschwindigkeit wird von anderen Verkehrsteilnehmern oft unterschätzt	<input type="checkbox"/>						
Ich fühle mich mit dem E-Bike auf Schweizer Strassen sicher	<input type="checkbox"/>						
Ich finde es angenehm, mit dem E-Bike auf Radstreifen (gestrichelte Linie auf der Fahrbahn) zu fahren	<input type="checkbox"/>						
Ich finde es angenehm, mit dem E-Bike auf Radwegen (separater Weg nur für Velos) zu fahren	<input type="checkbox"/>						
Ich finde es angenehm, mit dem E-Bike auf Rad-/Gehwegen (gemeinsamer Weg für Velos und Fussgänger) zu fahren	<input type="checkbox"/>						
Ich finde es angenehm, mit dem E-Bike auf Strassen ohne Radstreifen zu fahren	<input type="checkbox"/>						
Ich überhole mit dem E-Bike in der Steigung regelmässig Velofahrer	<input type="checkbox"/>						
Ich überhole mit dem E-Bike auf ebener Strecke regelmässig Velofahrer	<input type="checkbox"/>						

K10: Welche Ideen könnten Ihrer Meinung nach das E-Bike-Fahren in der Schweiz sicherer machen?

Bitte geben Sie eine Antwort pro Zeile.

	1 = trifft gar nicht zu					5= trifft sehr zu	weiss nicht / keine Angabe
	1	2	3	4	5		
Aufheben der Radwegnutzungspflicht für E-Bikes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mehr Veloschnellbahnen einführen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abgabe eines Sicherheitsmerkblatts mit den wichtigsten Verhaltenstipps beim E-Bike-Kauf	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Obligatorischer Fahrsicherheitskurs für alle E-Bike-Einsteiger	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lichteinschaltspflicht für E-Bikerinnen und -Biker am Tag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spezielle Helmfarbe für E-Bikerinnen und -Biker (zur Unterscheidung von Velo-Fahrenden)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Obligatorisches Tragen von Sicherheitswesten für E-Bikerinnen und -Biker	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schnelle E-Bikes (Tretunterstützung bis 45 km/h) verbieten	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Weniger Mischverkehrszonen (Fussgänger/Velos/E-Bikes gemischt)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kampagne zum Thema E-Bikes zur Sensibilisierung der Autofahrenden	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kampagne zur Sensibilisierung der E-Bikerinnen und -Biker	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ausstattung von E-Bikes mit Antiblockiersystemen (ABS)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Velohelmtragepflicht auch für das Fahren von langsamen E-Bikes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Andere Ideen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Zum Schluss würden wir Ihnen gerne noch ein paar wenige Fragen zu Ihrer Person stellen.

D1: Bitte geben Sie uns Ihr Geschlecht an.

<input type="checkbox"/> Männlich
<input type="checkbox"/> Weiblich
<input type="checkbox"/> Keine Angabe

D2: Bitte geben Sie uns Ihr Alter an.

_____ Jahre	<input type="checkbox"/> keine Angabe
-------------	---------------------------------------

D3: Welches ist Ihr höchster Schulabschluss?

Bitte geben Sie nur eine Antwort.

<input type="checkbox"/> Primarschule
<input type="checkbox"/> Real-, Bezirks-, Sekundarschule
<input type="checkbox"/> Berufsschule / Fachschule
<input type="checkbox"/> Mittelschule / Matura
<input type="checkbox"/> Fachhochschule (Seminar / Technikum / HTL / HWV)
<input type="checkbox"/> Universität / ETH / HSG
<input type="checkbox"/> Keine Angabe

D4: Wie fit sind Sie im Vergleich zu Gleichaltrigen?

Bitte kreuzen Sie entsprechende Antwort an.

	1 viel weniger fit	2	3 gleich fit	4	5 viel fitter	weiss nicht / keine Angabe
Meine Fitness	<input type="checkbox"/>					

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

Wenn Sie an der Verlosung teilnehmen möchten, dann füllen Sie bitte die beiliegende Teilnahmekarte aus.

2.2 Stichprobenbeschreibung nach Rekrutierungsquelle

Tabelle 6
Stichprobenbeschreibung nach Rekrutierungsquelle

	Anzahl (n)	Geschlecht (%)		Alter			E-Bike-Typ (%)*		Besuch E-Bike-Fahrkurs (%)		Mindestens 1 Alleinunfall im Strassenverkehr gehabt (Fragebogen Alleinunfall) (%)		
		Männlich	Weiblich	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum	langsames E-Bike	schnelles E-Bike	Ja	Nein	Ja	Nein
Polizeistellen	84	48.6 %	51.4 %	59.0	14.5	23	91	68.8 %	31.2 %	2.9 %	97.1 %	98.8 %	1.2 %
Notfallzentrum In-selbst	26	66.7 %	33.3 %	57.6	13.2	25	85	43.6 %	56.4 %	2.6 %	97.4 %	76.9 %	23.1 %
Fahrsicherheitskurse	148	51.7 %	48.3 %	60.6	11.8	24	84	64.0 %	36.0 %	75.5 %	24.5 %	11.9 %	88.1 %
Strassenverkehrsämter	322	48.7 %	51.3 %	49.1	11.5	15	84	2.4 %	97.6 %	3.0 %	97.0 %	16.9 %	83.1 %
Onlinekanäle (bfu, Partner, etc.)	1 383	60.2 %	39.8 %	53.8	12.6	15	88	52.5 %	47.5 %	4.3 %	95.7 %	17.2 %	82.8 %
Printmedium (Coopzeitung)	220	31.0 %	69.0 %	57.3	12.1	15	82	77.9 %	22.1 %	4.2 %	95.8 %	16.6 %	83.4 %
Gesamt	2 183	52.4 %	47.6 %	54.4	12.8	15	91	50.3 %	49.7 %	8.9 %	91.1 %	20.7 %	79.3 %

Anmerkung: Prozente in den Zeilen beziehen sich auf innerhalb der Quelle

*Bei den Personen mit Alleinunfall E-Bike-Typ zum Unfallzeitpunkt

2.3 Ergebnisse logistische Regression Risiko Alleinunfall

Tabelle 7
Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für einen Alleinunfall im Strassenverkehr

	Odds Ratio: Erleiden eines Alleinunfalls	95 % Konfidenzintervall
Geschlecht		
männlich	1.000	[1,1]
weiblich	0.708**	[0.569,0.880]
Bildung		
Obligatorische Schule	1.000	[1,1]
Berufsschule/Fachschule/Mittelschule/Matura	0.635*	[0.430,0.936]
Fachhochschule/Universität	0.693	[0.468,1.026]
weiss nicht / k. A.	1.001	[0.344,2.916]
E-Bike-Art		
Strassen E-Bike	1.000	[1,1]
E-Mountainbike	0.477**	[0.296,0.769]
zu E-Bike umgebautes Velo	1.179	[0.455,3.055]
Anordnung Motor/Batterie		
Akku und Motor hinten	1.000	[1,1]
Motor vorne	0.817	[0.359,1.864]
restl. Anordnungen	0.624	[0.351,1.110]
weiss nicht / k. A.	0.392*	[0.189,0.814]
Exposition		
Expositionsindex	2.079***	[1.810,2.387]
Fahrhäufigkeit Velo/Mofa/Motorrad vor E-Bike-Nutzung		
nie bis mehrmals pro Jahr	1.000	[1,1]
mehrmals pro Monat	1.057	[0.777,1.438]
mehrmals pro Woche bis (fast) täglich	0.834	[0.640,1.085]
Häufigster Fahrzweck		
Arbeitsweg / Schulweg	1.000	[1,1]
Einkauf	0.779	[0.532,1.140]
Freizeit	0.687**	[0.543,0.868]
anderes	0.982	[0.627,1.538]
weiss nicht / k. A.	0.228	[0.047,1.095]
Sicherheitsgefühl		
Sicherheitsgefühl Mittelwert	0.605***	[0.518,0.707]

Observations: 3 639

Exponentiated coefficients; 95 % confidence intervals in brackets

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

2.4 Ergebnisse logistische Regressionen der vier häufigsten Unfallhergänge

Tabelle 8 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Ausrutschen

	Odds Ratio: Hergang Ausrutschen	95 % Konfidenzintervall
E-Bike-Typ		
ein schnelles E-Bike mit einem gelben Nummernschild	1.000	[1, 1]
ein langsames E-Bike ohne Nummernschild	0.590	[0.286, 1.216]
Fitness		
weniger fit	1.000	[1, 1]
gleich fit	1.009	[0.291, 3.495]
fitter	3.555*	[1.044, 12.113]
weiss nicht / k. A.	3.891	[0.497, 30.470]
Fahrerfahrung zum Unfallzeitpunkt		
keine bis wenig Erfahrung / Anfängerniveau	1.000	[1, 1]
etwas Erfahrung / mittleres Niveau	3.633	[0.860, 15.337]
routiniert / fortgeschrittenes Niveau	4.986*	[1.456, 17.069]
Alter beim Unfall		
14–34	1.000	[1, 1]
35–49	0.796	[0.237, 2.673]
50–64	0.276*	[0.080, 0.952]
65+	0.266	[0.057, 1.237]
weiss nicht / k. A.	0.347	[0.066, 1.832]
Geschwindigkeit		
stehend	1.000	[1, 1]
bis 25 km/h	5.363*	[1.104, 26.060]
über 25 km/h	2.371	[0.343, 16.380]
weiss nicht / k. A.	1.531	[0.036, 65.725]
Strassensituation		
gerade Strecke	1.000	[1, 1]
Kurve	5.146***	[2.463, 10.755]
Platz / Parkplatz	0.267	[0.034, 2.091]
Kreuzung / Einmündung	3.461*	[1.321, 9.064]
Kreisel	15.45***	[3.468, 68.831]
Radführung		
Strasse ohne oder mit Radstreifen	1.000	[1, 1]
separater Radweg	1.452	[0.327, 6.456]
separater Rad- und Gehweg	1.929	[0.718, 5.183]
Trottoir	0.160*	[0.033, 0.770]
weiss nicht / k. A.	2.394	[0.346, 16.555]
Strassentyp		
innerorts in 20 / 30 km/h-Zone	1.000	[1, 1]
innerorts in 50 km/h-Zone	0.642	[0.307, 1.339]
ausserorts auf Haupt- oder Nebenstrasse	1.853	[0.670, 5.127]
private Strasse / privates Areal	4.765	[0.868, 26.159]
weiss nicht / k. A.	1.482	[0.172, 12.785]

Tabelle 8 (Fortsetzung)
Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Ausrutschen

	Odds Ratio: Hergang Ausrutschen	95% Konfidenzintervall
Fahrbahn / Radweg / Radstreifen zu schmal		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.052***	[0.015,0.175]
Strassenoberfläche rutschig		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	294.758***	[71.900,1208.38]
Gelände neben der Fahrbahn ungünstig		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	2.285	[0.758,6.889]
Wetterbedingt Sicht eingeschränkt		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.481	[0.224,1.030]
Probleme mit Gepäck		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	2.685	[0.593,12.151]
Mit etwas anderem beschäftigt		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.078*	[0.010,0.623]
Nicht auf Verkehr konzentriert		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.158***	[0.055,0.455]
Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.176**	[0.052,0.601]
Zu nahe am Randstein gefahren		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.522	[0.214,1.274]
Zu stark gebremst		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	3.378**	[1.499,7.612]
E-Bike war zu schwer		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.390*	[0.163,0.938]

Observations: 654

Exponentiated coefficients; 95 % confidence intervals in brackets

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

Tabelle 9
Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Überqueren einer Schwelle

	Odds Ratio: Hergang Überqueren einer Schwelle	95 % Konfidenzintervall
E-Bike-Typ		
ein schnelles E-Bike mit einem gelben Nummernschild	1.000	[1,1]
ein langsames E-Bike ohne Nummernschild	1.582	[0.988,2.533]
Zeitpunkt		
im Stand/beim Absteigen	1.000	[1,1]
beim Anfahren	1.844	[0.475,7.155]
während der Fahrt	2.110	[0.708,6.287]
beim Abbremsen	3.818*	[1.176,12.392]
Gelände		
Gefälle	1.000	[1,1]
eben	1.548	[0.820,2.922]
Steigung	2.005	[0.762,5.278]
weiss nicht / k. A.	3.572	[0.345,37.027]
Strassensituation		
Gerade Strecke	1.000	[1,1]
Kurve	0.566	[0.281,1.138]
Platz / Parkplatz	2.060	[0.790,5.372]
Kreuzung / Einmündung	1.106	[0.553,2.210]
Kreisel	0.352	[0.098,1.263]
weiss nicht / k. A.	0.775	[0.142,4.233]
Radführung		
Strasse ohne oder mit Radstreifen	1.000	[1,1]
Separater Radweg	2.191	[0.842,5.699]
Separater Rad- und Gehweg	2.500*	[1.122,5.572]
Trottoir	3.098*	[1.120,8.570]
weiss nicht / k. A.	0.546	[0.109,2.733]
Strasstyp		
Innerorts in 20 / 30 km/h-Zone	1.000	[1,1]
Innerorts in 50 km/h-Zone	1.703	[0.908,3.194]
Ausserorts auf Haupt- oder Nebenstrasse	0.662	[0.289,1.519]
Private Strasse / privates Areal	0.592	[0.187,1.872]
weiss nicht / k. A.	2.903	[0.699,12.060]
Anstieg zu steil		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	2.963*	[1.201,7.307]
Strassenoberfläche rutschig		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.588*	[0.347,0.996]
Zu nahe am Randstein gefahren		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	5.074***	[2.962,8.691]

Observations: 658

Exponentiated coefficients; 95 % confidence intervals in brackets

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

Tabelle 10 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Tram-schiene/Bahngleis

	Odds Ratio: Hergang Tram-schiene/ Bahngleis	95 % Konfidenzintervall
Alter beim Unfall		
14–34	1.000	[1,1]
35–49	0.430	[0.175,1.057]
50–64	0.426	[0.169,1.074]
65+	0.226*	[0.065,0.791]
weiss nicht / k. A.	0.648	[0.189,2.218]
Zeitpunkt		
im Stand/beim Absteigen	1.000	[1,1]
beim Anfahren	5.426*	[1.416,20.802]
während der Fahrt	9.408***	[2.633,33.614]
beim Abbremsen	3.075	[0.756,12.513]
Gelände		
Gefälle	1.000	[1,1]
eben	3.392**	[1.546,7.441]
Steigung	1.635	[0.479,5.587]
Strassensituation		
gerade Strecke	1.000	[1,1]
Kurve	1.271	[0.625,2.587]
Platz / Parkplatz	0.572	[0.106,3.094]
Kreuzung / Einmündung	1.753	[0.810,3.796]
Kreisel	0.072**	[0.010,0.516]
Radführung		
Strasse ohne oder mit Radstreifen	1.000	[1,1]
separater Radweg	0.621	[0.209,1.844]
separater Rad- und Gehweg	0.048*	[0.004,0.553]
weiss nicht / k. A.	1.091	[0.072,16.61]
Strassentyp		
innerorts in 20 / 30 km/h-Zone	1.000	[1,1]
innerorts in 50 km/h-Zone	2.040	[0.993,4.189]
ausserorts auf Haupt- oder Nebenstrasse	0.593	[0.196,1.797]
private Strasse / privates Areal	0.530	[0.068,4.116]
Fahrbahn/Radweg/Radstreifen zu schmal		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	5.556***	[2.578,11.976]
Strassenoberfläche rutschig		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.792	[0.946,3.395]

Tabelle 10 (Fortsetzung)

**Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Tram-
schiene / Bahngleis**

	Odds Ratio: Hergang Tramschiene / Bahngleis	95 % Konfidenzintervall
Sichtbehinderung durch Kleidungsstücke		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	6.570	[0.856,50.421]
Auf etwas anderes im Verkehr fokussiert		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	2.472**	[1.286,4.749]
Mit der Strecke nicht vertraut		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.668	[0.818,3.403]
Zu nahe am Randstein gefahren		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.167***	[0.061,0.454]
Zu schnell unterwegs		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.243***	[0.117,0.506]

Observations: 607

Exponentiated coefficients; 95 % confidence intervals in brackets

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

Tabelle 11
Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für den Unfallhergang Ausweichen

	Odds Ratio: Hergang Ausweichen	95 % Konfidenzintervall
Anordnung Motor / Batterie		
Akku und Motor hinten	1.000	[1,1]
Motor vorne	0.127*	[0.026,0.633]
restl. Anordnungen	0.183*	[0.048,0.692]
weiss nicht / k. A.	0.373	[0.073,1.910]
Strassensituation		
gerade Strecke	1.000	[1,1]
Kurve	0.769	[0.325,1.821]
Platz / Parkplatz	0.183	[0.0187,1.784]
Kreuzung / Einmündung	0.836	[0.333,2.100]
Kreisel	0.710	[0.202,2.496]
weiss nicht / k. A.	0.655	[0.092,4.662]
Lichtverhältnisse		
Tageslicht	1.000	[1,1]
Dämmerung / Dunkelheit	0.331**	[0.144,0.761]
Verkehrssituation unklar / unübersichtlich		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.783	[0.841,3.779]
Kurve zu eng		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	2.873*	[1.219,6.767]
Strasse in schlechtem Zustand		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	0.499	[0.200,1.243]
Gelände neben der Fahrbahn ungünstig		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.818	[0.874,3.779]
Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	16.995***	[8.479,34.062]
Regelmissachtung		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	2.757*	[1.036,7.337]
Zu stark gebremst		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.779	[0.894,3.538]
E-Bike zu schwer		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.659	[0.767,3.590]

Observations: 658

Exponentiated coefficients; 95 % confidence intervals in brackets

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

2.5 Ergebnisse logistische Regression Verletzungsschwere

Tabelle 12 (Fortsetzung auf der nächsten Seite)

Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für eine mittelschwere/schwere Verletzung

	Odds Ratio: Mittelschwere/schwere Verletzung	95 % Konfidenzintervall
E-Bike-Typ		
ein schnelles E-Bike mit einem gelben Nummernschild	1.000	[1,1]
ein langsames E-Bike ohne Nummernschild	0.519*	[0.312,0.864]
Geschlecht		
männlich	1.000	[1,1]
weiblich	1.995**	[1.261,3.155]
Fitness		
weniger fit	1.000	[1,1]
gleich fit	0.542	[0.252,1.163]
fitter	0.431*	[0.208,0.892]
weiss nicht / k. A.	6.033	[0.855,42.58]
Fahrerfahrung zum Unfallzeitpunkt		
keine bis wenig Erfahrung / Anfängerniveau	1.000	[1,1]
etwas Erfahrung / Mittleres Niveau	2.166	[0.754,6.223]
routiniert / fortgeschrittenes Niveau	2.767	[0.996,7.687]
Alter beim Unfall		
14–34	1.000	[1,1]
35–49	1.897	[0.669,5.376]
50–64	4.447**	[1.624,12.18]
65+	3.390*	[1.080,10.64]
weiss nicht / k. A.	1.366	[0.355,5.255]
Geschwindigkeit		
stehend	1.000	[1,1]
bis 25 km/h	1.437	[0.610,3.384]
über 25 km/h	5.857***	[2.087,16.44]
weiss nicht / k. A.	0.639	[0.085,4.794]
Gelände		
Gefälle	1.000	[1,1]
eben	1.042	[0.631,1.718]
Steigung	0.442	[0.184,1.066]
weiss nicht / k. A.	0.071	[0.005,1.033]
Strassensituation		
gerade Strecke	1.000	[1,1]
Kurve	0.907	[0.540,1.525]
Platz / Parkplatz	0.280*	[0.090,0.867]
Kreuzung / Einmündung	1.523	[0.841,2.760]
Kreisel	0.776	[0.248,2.428]
weiss nicht / k. A.	3.136	[0.337,29.19]

Tabelle 12 (Fortsetzung)
Numerische Ergebnisse der logistischen Regression von ausgewählten Einflussfaktoren auf das Risiko für eine mittel-schwere/schwere Verletzung

	Odds Ratio: Mittelschwere/schwere Verletzung	95 % Konfidenzintervall
Radführung		
Strasse ohne oder mit Radstreifen	1.000	[1,1]
separater Radweg	0.898	[0.420,1.921]
separater Rad- und Gehweg	1.504	[0.686,3.298]
Trottoir	0.484	[0.173,1.353]
weiss nicht / k. A.	3.555*	[1.218,10.37]
Lichtverhältnisse		
Tageslicht	1.000	[1,1]
Dämmerung/Dunkelheit	0.717	[0.433,1.188]
Strasse in schlechtem Zustand		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.532	[0.939,2.499]
Zu nahe am Randstein gefahren		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	1.755*	[1.041,2.959]
Gesundheitliche Probleme		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	3.236	[0.868,12.06]
Alkoholisiert		
nicht zutreffend	1.000	[1,1]
zutreffend	3.860**	[1.385,10.76]
Von Fahrspur abgekommen		
Nein	1.000	[1,1]
Ja	0.141*	[0.029,0.685]
Ausgerutscht		
Nein	1.000	[1,1]
Ja	0.645	[0.380,1.093]
Von Pedalen abgerutscht / am E-Bike hängen geblieben		
Nein	1.000	[1,1]
Ja	0.205*	[0.044,0.947]

Observations: 658

Exponentiated coefficients; 95 % confidence intervals in brackets

* p < 0.05, ** p < 0.01, *** p < 0.001

2.6 Ideen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von E-Bikes

Tabelle 13 (Fortsetzung auf den nächsten Seiten) Empfehlungen/Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von E-Bikes: Ergebnisse der offenen Texte	
Empfehlungen/Massnahmen	Beispiele
Empfehlungen und Massnahmen spezifisch in Bezug auf E-Bike-Fahrende (bzgl. Verhalten, Fahrerlaubnis)	
Freiwillige oder obligatorische Fahrkurse für bestimmte Personengruppen	Für E-Bike-Anfänger mit wenig Fahrradfahrung, ältere Personen oder Lenkende von schnellen E-Bikes, Kurse vorschreiben oder fördern (z.B. Gratskurs beim E-Bike-Kauf)
Altersbegrenzungen oder Fahrprüfungen für bestimmte Personengruppen oder schnelle E-Bikes	Ab 65 Jahren E-Bike fahren generell oder das Fahren von schnellen E-Bikes verbieten, Eignungstest für ältere Personen, Fahrprüfung für E-Bike-Fahrer ohne Auto-/Motorradprüfung oder für schnelle E-Bikes
Instruktionen oder Sensibilisierungsmassnahmen für bestimmte Personengruppen bzgl. der spezifischen Eigenschaften des E-Bikes oder der potenziellen Gefahren	Sensibilisierungsmassnahmen für Anfänger oder ältere Personen, Instruktion durch Händler beim E-Bike-Kauf, Broschüren, Sensibilisierung beim E-Bike-Verleih
Generelle Empfehlungen und konkrete Massnahmenvorschläge bzgl. der gefahrenen Geschwindigkeiten	"Die eigene Geschwindigkeit den Verhältnissen anpassen", Geschwindigkeitskontrollen für Fahrrad-/E-Bike-Fahrende in Tempo-30-Zonen oder auf gemischten Rad-/Gehwegen
Generelle Empfehlungen bzgl. Eigenverantwortung und/oder angepasster Fahrweise und Appelle zur angemessenen Selbsteinschätzung	Defensiv Fahren, sich in Situation der anderen Verkehrsteilnehmer versetzen, genügend Abstand zum Randstein einhalten
Tragen von Schutzausrüstung	Bei jeder Witterung Leuchtwesten tragen (freiwillig oder obligatorisch), zusätzliches Licht am Helm montieren, Helmobligatorium auch für langsame E-Bikes, Sensibilisierungsmassnahmen bzgl. heller oder reflektierender Bekleidung, spezielle Sicherheitswesten für E-Bikes um Differenzierung zu ermöglichen
Empfehlungen und Massnahmen in Bezug auf alle Verkehrsteilnehmenden (inkl. E-Bike) oder spezifisch in Bezug auf Motorfahrzeug-Lenkende oder Fussgänger	
Generelle Appelle oder konkrete Massnahmenvorschläge zu mehr gegenseitiger Rücksichtnahme und Toleranz im Strassenverkehr	"Allgemein mehr gegenseitigen Respekt", Kampagnen
Generelle Appelle oder konkrete Massnahmenvorschläge zur Erhöhung der Regeleinhaltung von E-Bike-/Radfahrenden oder allen Verkehrsteilnehmern	Allen Verkehrsteilnehmern Verkehrsregeln bekannter machen, Kontrollen und Sanktionen
Generelle Empfehlungen und konkrete Massnahmenvorschläge zur Förderung des sicherheitsorientierten Verhaltens von MFZ-Lenkern oder Fussgängern im Umgang mit E-Bike-Fahrenden	Perspektivenwechsel ermöglichen und E-Bike-Fahren ausprobieren lassen, Sensibilisierungsmassnahmen bzgl. Geschwindigkeitsunterschätzung oder Abstand, Kontrollen bzgl. Überholabstand, E-Bike in Fahrausbildung thematisieren, Vortrittsrecht von Radfahrern auf Radwegen gegenüber nach rechts abbiegenden Autofahrern konsequent durchsetzen
Generelle Empfehlungen und konkrete Massnahmenvorschläge zum Fahren im Kreisell für Fahrrad-/E-Bike-Fahrende und/oder PW-Lenkende	"Im Kreisell in der Mitte fahren", Kurse, Kampagnen, Fahrrad-Fahrspur im Kreisell aufzeichnen
Massnahmen bezüglich Infrastruktur und Verkehrsregeln	
Ausbau und Verbesserung des Radweg-Netzes	Durchgängige Radstreifen/Radwege ohne Unterbrüche u. a. auch bei Mittelinseln, Fussgängerstreifen, etc., generell mehr Radverkehrsinfrastruktur, Radstreifen auch zwischen Ortschaften sowie überregional, Schulung der Verkehrsplaner bzgl. Radwegführung
Vermehrte Separierung verschiedener Verkehrsteilnehmer und/oder Geschwindigkeiten generell oder spezifisch bei sicherheitskritischen Verkehrssituationen	Radwege oder Veloschnellbahnen getrennt von Motorfahrzeugen und Fussgängern, breitere Radwege mit ausreichend Platz zum Überholen oder zwei-/mehrspurig für unterschiedliche Geschwindigkeiten, bei Geschwindigkeiten über 20 km/h Strassenbenutzungspflicht für Fahrräder/E-Bikes, Aufheben der Radwegnutzungspflicht für schnelle E-Bikes, Abschaffung von Fussgänger-/Fahrrad-Mischzonen oder deutliche Aufteilung, Verbot von Trottnetten o.ä. auf Radwegen, Rad- und Motorfahrzeugverkehr spezifisch an grossen Lichtsignalkreuzungen oder Kreiseln separieren
Weniger Separierung verschiedener Verkehrsteilnehmer und/oder Geschwindigkeiten	Generell alle Verkehrsteilnehmer auf eine Fahrbahn bringen, schnelle E-Bikes auch auf Infrastrukturen zulassen, die bisher nur den Fahrrädern und langsamen E-Bikes erlaubt waren
Drosselung der Geschwindigkeiten auf Radwegen oder im Mischverkehr	Z.B. Geschwindigkeitsbegrenzung bei gemischtem Fuss-/Veloverkehr oder generell auf Radwegen oder auf stark befahrenen Radwegen
Drosselung der Motorfahrzeuggeschwindigkeiten	Nur innerorts oder generell oder auf Hauptstrassen ohne Radstreifen
Priorisierung des Fahrradverkehrs gegenüber des motorisierten Verkehrs	Innenstädte frei von Autos, Veloschnellbahnen auf Kosten von Autostrassen, Autoverkehr generell reduzieren

Tabelle 13 (Fortsetzung)

Empfehlungen/Massnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit von E-Bikes: Ergebnisse der offenen Texte

Empfehlungen/Massnahmen	Beispiele
Massnahmen bezüglich Infrastruktur und Verkehrsregeln	
Diverse konkrete Vorschlägen für spezifische Verkehrssituationen	Mehr separate Velo-Haltemöglichkeiten/Warteräume bei Lichtsignalen, mehr Kernfahrbahnen, Verengungen in der Fahrradspur entfernen, scharfkantige Fahrbahngrenzungen entfernen, Abschaffen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen bei denen Radfahrende gegen die Mitte der Fahrbahn ausschwenken müssen, klarere Signalisation an Kreuzungen, bautechnische Verbesserungen an Kreiseln, Motorfahrzeugen verbieten, im Kreisel Radfahrer zu überholen, Radfahrer an kritischen Stellen auf Trottoir zulassen (mit Markierung)
Bessere Signalisation und klarere Regeln für E-Bikes	E-Bike-Fahrverbot besser signalisieren, Regeln generell deutlicher machen
Verbesserung Strassenunterhalt und Strassenbau	Ausbessern von Strassenbelägen, Gegenstände auf der Fahrbahn wegräumen, besserer Strassenunterhalt auch auf Radstreifen, Randsteine oder Absätze vermeiden, Reinigung der Radwege intensivieren
Anpassung der Verkehrsregeln bzgl. E-Bike-Höchstgeschwindigkeiten	Reduktion der erlaubten Tretunterstützung auf 30/35 km/h, Erhöhung der erlaubten Tretunterstützung auf 30 bzw. 50km/h (u.a. damit E-Bikes im Verkehrsfluss fahren können und Autos nicht überholen müssen)
Massnahmen bezüglich Nummernschild von E-Bikes	Einführung Nummernschild für alle E-Bikes (auch für langsame), Abschaffung des Nummernschildes von schnellen E-Bikes
Weitere Vorschläge für Anpassung der Verkehrsregeln	Klingelpflicht beim Überholen von Fussgängern oder Velofahrern, europaweit dieselben Vorschriften, Rechtsabbiegen bei Rot erlauben, generell andere Verkehrsregeln für schnelle E-Bikes als für langsame, Fussgänger sollten nicht per se immer Vortritt haben, Überholverbot zwischen Radfahrenden auf der Autoverkehrsstrasse, Vortrittsrecht für Radfahrende bei Einfahrt in Kreisel, konsequente Vortritts-gewährung für Radfahrende, E-Bikes mit gleicher Geschwindigkeit wie Motorfahrzeuge in der Mitte des Fahrstreifens fahren lassen
Massnahmen bezüglich Strassenbeleuchtung	Generelle bessere Strassenbeleuchtung
Technische Massnahmen bezüglich E-Bike, Motorfahrzeuge oder Helm	
Massnahmen bezüglich E-Bike-Beleuchtung	Tagfahrlicht/Lichteinschaltspflicht für schnelle oder für alle E-Bikes, hellere Beleuchtung an schnellen E-Bikes, zuschaltbares Fernlicht für schnelle E-Bikes, Bremslichter für alle oder für schnelle E-Bikes, Beleuchtung für Veloanhänger in der Nacht, an E-Bikes vorne farbiges Licht oder generell spezielle Lichtfarben um Differenzierung zu erleichtern, generell blinkende Lichter an Fahrrädern/E-Bikes erlauben, blinkende rote Warnleuchten am E-Bike die angehen, wenn sich Fahrzeuge nähern oder vorne ständige Warnblinklichter für schnelle E-Bikes, Abblendlicht für E-Bikes (weniger blendend)
Andere Massnahmen um Erkennbarkeit/Wahrnehmung des E-Bike-Fahrer zu erhöhen	Spiegel am schnellen E-Bike gelb markieren, Geräuschgeräte an schnellen E-Bikes damit Fussgänger das Herannahen hören, zusätzliches Kennzeichen vorne am schnellen E-Bike um Differenzierung zu erleichtern, spezielle Markierung vorne am Rahmen
Massnahmen bezüglich E-Bike-Bremsen	Generell bessere Bremssysteme, nur noch hydraulische Bremsen oder Scheibenbremsen für E-Bikes
Massnahmen bezüglich E-Bike-Gewicht	Leichtere E-Bikes entwickeln/kaufen, leichtere Batterien
Andere fahrzeugtechnische Massnahmen am E-Bike oder am Fahrer	ABS, Blinkanlagen für schnelle oder für alle E-Bikes (u.a. um Problem des einhändigen Fahrens bei höheren Geschwindigkeiten zu entschärfen), Rückspiegel für alle E-Bikes (Pflicht oder Empfehlung), Distanzfahnen am Gepäckträger, schnelle E-Bikes mit speziellen Hupen ausrüsten, elektronische Fahrhilfen auf Basis von sensortechnologie, Problem des "Blendens im Rückspiegel durch Autofahrer" lösen, nur E-Bikes mit Drehmomentsensor, Zulassung der E-Bikes besser prüfen (v.a. bzgl. adäquater Bremsen), Kommunikationssysteme an Helmen für E-Bike-Fahrende, die in Gruppen unterwegs sind
Massnahmen bezüglich E-Bike-Helm	Stabilere aber trotzdem "luftige" Helme für E-Bikes, Motorradhelme für schnelle E-Bikes (als Kennzeichen für Autofahrer), Radhelme beibehalten (keine Motorradhelme), spezielle Kennzeichnung von E-Bike-Helmen
Fahrzeugtechnische Massnahmen an Motorfahrzeugen	Frühwarnsysteme für Autofahrer dass sich ein E-Bike nähert

Quellen

- [1] velosuisse. *Jahrestatistiken Fahrradmarkt Neuverkäufe Schweiz*. http://www.velosuisse.ch/de/statistik_aktuell.html. Zugriff am 27.09.2017.
- [2] Bundesamt für Statistik BFS, Bundesamt für Raumentwicklung ARE. *Verkehrsverhalten der Bevölkerung. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015*. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik BFS; 2017.
- [3] Renard A, Fleury J, Junod L, Wyss C, Neuenschwander R, Delacrétaz Y. *Vélos électriques - effets sur le système de transports*. Bern: SVI; 2017.
- [4] Schleinitz K, Petzoldt T, Franke-Bartholdt L, Krems J, Gehlert T. The German Naturalistic Cycling Study – Comparing cycling speed of riders of different e-bikes and conventional bicycles. *Safety Science*. 2017;92: 290-7. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.027>.
- [5] Schepers J, Fishman E, den Hertog P, Wolt KK, Schwab A. The safety of electrically assisted bicycles compared to classic bicycles. *Accident Analysis & Prevention*. 2014;73: 174-80.
- [6] Poos H, Lefarth T, Harbers J, Wendt K, El Mounni M, IHF R. E-bikers raken vaker ernstig gewond na fietsongeval. Resultaten uit de Groningse fietsongevallendatabase. *Nederlands Tijdschrift voor Geneeskunde* 2017;161: D1520.
- [7] Otte D, Facius T. *Accident situation of pedelecs and comparison to conventional bicycles*. International Cycling Safety Conference; 3./4. 11.2016; 2016; Bologna.
- [8] Schmitt K-U, Baumgartner L, Furter K, Weber T, Gubler A et al. *Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens*. Bern: Bundesamt für Strassen; 2014.
- [9] Weber T, Scaramuzza G, Schmitt KU. Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. *Accid Anal Prev*. 2014;73: 47-52. DOI: 10.1016/j.aap.2014.07.020.
- [10] Scaramuzza G, Uhr A, Niemann S. *E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse*. Bern: bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung; 2015. bfu-Report 72.
- [11] Buffat M, Herzog D, Neuenschwander R, Nyffenegger B, Bischof T. *Verbreitung und Auswirkungen von E-Bikes in der Schweiz. Schlussbericht*. Bern: Bundesamt für Energie BFE; 2014. <http://www.news.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/36764.pdf>.
- [12] Haefeli U, Walker D, Arnold T. *Begleitforschung NewRide 2012. Langzeitprofil der E-Bike-Käuferschaft in Basel*. Luzern: Interface; 2012.
- [13] Alrutz D. Anforderungen an die Radverkehrsinfrastruktur durch die zunehmende Nutzung von Pedelecs. In: Niedersächsisches Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Verkehr, Hg. *Fahrradland Niedersachsen. Landespreis Fahrradfreundliche Kommune 2014 - Radtourismus und Aktuelles zum Radverkehr*. Hannover: MW Niedersachsen; 2014: 24-5.
- [14] Zweirad-Industrie-Verband ZIV. *Zahlen - Daten - Fakten zum Deutschen E-Bike-Markt 2016*. http://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PM_2017_07.03_E-Bike-Markt_2016.pdf. Zugriff am 29.9.2017.
- [15] Pramesberger E. *E-Bikes radeln dem Nischendasein davon*. http://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/PM_2017_07.03_E-Bike-Markt_2016.pdf. Zugriff am 29.9.2017.
- [16] Jellinek R, Hildebrandt B, Pfaffenbichler P, Lemmerer H. *Merkur. Auswirkungen der Entwicklung des Marktes für E-Fahrräder auf Risiken, Konflikte und Unfälle auf Radinfrastrukturen*. Wien: VSF, bmvit; 2013.
- [17] Gehlert T. *Verkehrssicherheit von Elektrofahrrädern*. Berlin: GDV; 2017.
- [18] Wagner W. *Das E-Bike im Alltagsgebrauch von jung bis alt - Sicherheitsdebatten und verkehrsplanerische Massnahmensetzungen*. <http://www.enu.at/images/doku/radlakademie-wagner.pdf>. Zugriff am 29.9.2017.
- [19] BMVIT. Schnelle Pedelecs; Unklarheiten betreffend rechtliche Rahmenbedingungen; Ersuchen um Information der Händler. 2012. https://www.wko.at/branchen/handel/mode-freizeitartikel/Einzelabfertigung_mit_Logo_18.05.2012_2.pdf. Zugriff am 07.04.2015.

- [20] Bundesamt für Strassen ASTRA. *Unfallaufnahmeprotokoll: Objektblatt*. Bern: ASTRA; 2015. <http://www.astra.admin.ch/unfalldaten/04403/04409/>. Zugriff am 02.05.2016.
- [21] Bundesamt für Strassen ASTRA. *Instruktionen zum Ausfüllen des Unfallaufnahmeprotokolls (UAP)*. Bern: ASTRA; 2015. <http://www.astra.admin.ch/unfalldaten/04403/04409/>. Zugriff am 02.05.2016.
- [22] Lawinger T, Bastian T. Neue Formen der Zweiradmobilität. Eine empirische Tiefenanalyse von Pedelec-Unfällen in Baden-Württemberg. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*. 2013;59(2): 99-106.
- [23] Petzoldt T, Schleinitz K, Heilmann S, Gehlert T. Traffic conflicts and their contextual factors when riding conventional vs. electric bicycles. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*. 2017;46: 477-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.06.010>.
- [24] Langford BC, Chen J, Cherry CR. Risky riding: Naturalistic methods comparing safety behavior from conventional bicycle riders and electric bike riders. *Accident Analysis & Prevention*. 2015;82: 220-6. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.aap.2015.05.016>.
- [25] Vlakveld WP, Twisk D, Christoph M, Boele M, Sikkema R, Remy R, Schwab AL. Speed choice and mental workload of elderly cyclists on e-bikes in simple and complex traffic situations: A field experiment. *Accident Analysis & Prevention*. 2015;74: 97-106.
- [26] Dozza M, Bianchi Piccinini GF, Werneke J. Using naturalistic data to assess e-cyclist behavior. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. 2016;41, Part B: 217-26. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.003>.
- [27] Schleinitz K. *Cyclists' road safety - Do bicycle type, age and infrastructure characteristics matter?* [Dissertation]. Chemnitz: Fakultät für Human- und Sozialwissenschaften, Technische Universität Chemnitz; 2016.
- [28] Schleinitz K, Franke-Bartholdt L, Petzoldt T, Schwanitz S, Gehlert T, Kühn M. *Pedelec-naturalistic cycling study*. Berlin: Unfallforschung der Versicherer GDV; 2014.
- [29] Unfallforschung der Versicherer GDV. *Neues Risiko Pedelec?* Berlin: GDV; 2014.
- [30] Alrutz D, Bohle W, Hacke U, Lohmann G, Friedrich N. *Potenzielle Einflüsse von Pedelecs auf die Verkehrssicherheit*. Hannover/Darmstadt: PGV, IWU; 2015.
- [31] Alrutz D. Auswirkungen der zunehmenden Nutzung von Pedelecs auf die Verkehrssicherheit und die Anforderungen an die Infrastruktur für den Radverkehr. 2016;7: 409-16.
- [32] Elvik R, Christensen P, Amundsen A. *Speed and Road Accidents: An evaluation of the Power Model*. Oslo: Institute of Transport Economics TOI; 2004.
- [33] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *bfu-Erhebung 2017. Helmtragquoten der Radfahrenden im Strassenverkehr*. https://www.bfu.ch/de/Documents/05_Die_bfu/07_Medien/Velohelmtragquote/2017-06-30_bfu_Erhebung_Velohelm_de.pdf. Zugriff am 21.09.2017.
- [34] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *Befragung zur Helmbenutzung von E-Bike-Lenkenden 2015*. Eigene Auswertung.
- [35] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *Teilnehmerbefragung E-Bike-Fahrkurse 2015*. Eigene Auswertung.
- [36] Kováčsová N, de Winter J, Schwab A, Christoph M, Twisk D, Hagenzieker M. Riding performance on a conventional bicycle and a pedelec in low speed exercises: objective and subjective evaluation of middle-aged and older persons. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*. 2016;42: 28-43.
- [37] Twisk D, Platteel S, Lovegrove G. An experiment on rider stability while mounting: Comparing middle-aged and elderly cyclists on pedelecs and conventional bicycles. *Accident Analysis & Prevention*. 2017;105: 109-16.
- [38] Boele-Vos M, Commandeur J, Twisk D. Effect of physical effort on mental workload of cyclists in real traffic in relation to age and use of pedelecs. *Accident Analysis & Prevention*. 2016;105: 84-94.
- [39] Silverans P., Diependaele K. *The effect of electrical assistance on cycling behaviour of elderly drivers*. International Cycling Safety Conference; 15./16.9.2015; 2015; Hannover.
- [40] Johnson M, Rose G. *Safety implications of e-bikes*. Victoria, Australia: RACV; 2015.
- [41] Hausteijn S, Møller M. E-bike safety: Individual-level factors and incident characteristics. *Journal of Transport & Health*. 2016;3(3): 386-94. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jth.2016.07.001>.

- [42] MacArthur J, Dill J, Person M. *E-Bikes in the North America: Results from an online survey*. In: Transportation Research Board 93rd Annual Meeting; 2014.
- [43] Wegman F, Zhang F, Dijkstra A. How to make more cycling good for road safety? *Accident Analysis & Prevention*. 2012;44(1): 19-29.
- [44] Maier O, Pfeiffer M, Wehner C, Wrede J. *Empirical survey on bicycle accidents to estimate the potential benefits of braking dynamics assistance systems*. In: International Cycling Safety Conference; 15./16.9.2015, 2015; Hannover.
- [45] Johnson M, Rose G. Extending life on the bike: electric bike use by older Australians. *Journal of Transport & Health*. 2015;2(2): 276-83.
- [46] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *SINUS-Report 2014: Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2013*. Bern: bfu; 2014.
- [47] Papoutsis S, Martinolli L, Braun CT, Exadaktylos AK. E-Bike Injuries: Experience from an Urban Emergency Department-A Retrospective Study from Switzerland. *Emergency medicine international*. 2014:
- [48] Boele-Vos MJ, Van Duijvenvoorde K, Doumen MJA, Duivenvoorden C, Louwerse WJR, Davidse RJ. Crashes involving cyclists aged 50 and over in the Netherlands: An in-depth study. *Accid Anal Prev*. 2017;105: 4-10. DOI: 10.1016/j.aap.2016.07.016.
- [49] Schmitt KU, Baumgartner L, Furter K, Weber T, Gubler A et al. *Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens*. Bundesamt für Strassen; 2014.
- [50] Stiftung Warentest. Der Härte-test. Elektorfahrräder. *Stiftung Warentest*. 2016;7: 74-81.
- [51] Unfallforschung der Versicherer GDV. *Sicherheitstechnische Aspekte schneller Pedelecs*. Berlin: GDV; 2012.
- [52] Pedelec-Biker. Illegale Fans - Über die Gegebenheiten des Pedelec Tuning. 2013. <http://www.pedelec-biker.com/2013/12/illegale-fans-uber-die-gegebenheiten.html>. Zugriff am 24.01.2017.
- [53] Linsner B. *E-Bike-Tuning: Unbedenklicher Speed-Spaß oder Schussfahrt in die Gesetzlosigkeit?* ElektorBike. <http://www.elektrobike-online.com/news/rad-szene-und-tourismus/e-bike-tuning-unbedenklicher-speed-spas-oder-schussfahrt-in-die-gesetzlosigkeit.1269992.410636.htm>. Zugriff am 24.1.2017.
- [54] Bulsink VE, Bonnema GM, van de Belt D, Kooman HFJM. *Why a rear motor is better than a front motor & two motors are better than one*. International Cycling Safety Conference; 3./4.11.2016; 2016; Bologna.
- [55] Kolberg R. *E-Bikes: Fachhandel gegen Aldi, Lidl, Tchibo & Co*. <http://www.e-bikeinfo.de/e-bike-test-und-kaufberatung/was-kostet-ein-gutes-pedelec>. Zugriff am 24.1.2017.
- [56] Seidenstücker T. Über mögliche Schwächen, Defizite und offene Fragen bei Fahrrädern und Pedelecs. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik*. 2013;3: 110-6.
- [57] Maier O, Pfeiffer M, Wrede J. Development of a Braking Dynamics Assistance System for Electric Bicycles: Design, Implementation, and Evaluation of Road Tests. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*. 2016;21(3): 1671-9.
- [58] Bosch. *Neues eBike ABS*. <https://www.bosch-ebike.com/de/news-und-stories/news/abs/>. Zugriff am 23.06.2017.
- [59] Dubbeldam R, Baten C, Buurke J, Rietman J. SOFIE, a bicycle that supports older cyclists? *Accid Anal & Prev*. 2017;105: 117-23.
- [60] Schleinitz K, Petzoldt T, Krems JF, Gehlert T. The influence of speed, cyclists' age, pedaling frequency, and observer age on observers' time to arrival judgments of approaching bicycles and e-bikes. *Accident Analysis & Prevention*. 2016;92: 113-21.
- [61] Petzoldt T, Schleinitz K, Krems JF, Gehlert T. Drivers' gap acceptance in front of approaching bicycles—Effects of bicycle speed and bicycle type. *Safety Science*. 2017;92: 283-9.
- [62] Schepers P, Wolt KK. Single-bicycle crash types and characteristics. *Cycling Research International*. 2012;2(1): 119-35.
- [63] De Rome L, Boufous S, Georgeson T, Senserrick T, Richardson D, Ivers R. Bicycle crashes in different riding environments in the Australian capital territory. *Traffic Inj Prev*. 2014;15(1): 81-8. DOI: 10.1080/15389588.2013.781591.

- [64] de Hair S, Engbers C, Dubbeldam R, Zeegers T, Liers H. A better understanding of single cycle accidents of elderly cyclists. In: bast, Hg. *6th international conference on ESAR "expert symposium on accident research"*. Hannover: bast; 2015.
- [65] Swedish Transport Administration. *Safer cycling– a common strategy for the period 2014–2020, Version 1.0* Administration ST; 2014. https://trafikverket.ineko.se/Files/sv-SE/10924/RelatedFiles/2014_035_safer_cycling_a_common_strategy_for_the_period_2014_2020.pdf.
- [66] Boufous S, de Rome L, Senserrick T, Ivers RQ. Single- versus multi-vehicle bicycle road crashes in Victoria, Australia. *Inj Prev*. 2013;19(5): 358-62. DOI: 10.1136/injuryprev-2012-040630.
- [67] von Below A. *Verkehrssicherheit von Radfahrern – Analyse sicherheitsrelevanter Motive, Einstellungen und Verhaltensweisen*. Bergisch Gladbach: bast; 2016.
- [68] Heesch KC, Garrard J, Sahlqvist S. Incidence, severity and correlates of bicycling injuries in a sample of cyclists in Queensland, Australia. *Accid Anal Prev*. 2011;43(6): 2085-92. DOI: 10.1016/j.aap.2011.05.031.
- [69] Martínez-Ruiz V, Lardelli-Claret P, Jiménez-Mejías E, Amezcua-Prieto C, Jimenez-Moleon JJ, del Castillo JdDL. Risk factors for causing road crashes involving cyclists: An application of a quasi-induced exposure method. *Accident Analysis & Prevention*. 2013;51: 228-37.
- [70] Lahrmann H, Madsen TKO, Olesen AV, Madsen JCO, Hels T. The effect of a yellow bicycle jacket on cyclist accidents. *Safety Science*. 2017: in press. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.08.001>
- [71] Vlakveld W. *Elektrische fietsen en speed-pedelecs: kennis over de verkeersveiligheid*. Den Haag: SWOV; 2016.
- [72] Oortwijn J. *Dutch standard as basis for EU speed e-bike helmet norm*. <http://www.bike-eu.com/laws-regulations/nieuws/2017/6/dutch-standard-forms-basis-for-eu-speed-e-bike-helmet-norm-10130373>. Zugriff am 24.10.2017.
- [73] Dörnenburg K, Leonardi G, Steiner R, Gerber S, Ghielmetti M, Frossard JL. *Grundlagen für die Dimensionierung von sicheren Veloverkehrsanlagen*. Zürich 2016.
- [74] bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung. *Sicht an Verzweigungen und Grundstückszufahrten*. Bern 2016. bfu-Grundlage; Empfehlung Verkehrstechnik. BM.021-2016.
- [75] Deunk J, Harmsen AM, Schonhuth CP, Bloemers FW. Injuries due to wedging of bicycle wheels in on-road tram tracks. *Archives of trauma research*. 2014;3(4):

Sicher leben: Ihre bfu.

Die bfu setzt sich im öffentlichen Auftrag für die Sicherheit ein. Als Schweizer Kompetenzzentrum für Unfallprävention forscht sie in den Bereichen Strassenverkehr, Sport sowie Haus und Freizeit und gibt ihr Wissen durch Beratungen, Ausbildungen und Kommunikation an Privatpersonen und Fachkreise weiter. Mehr über Unfallprävention auf www.bfu.ch.

© bfu 2017. Alle Rechte vorbehalten. Verwendung unter Quellenangabe (siehe Zitierorschlag) erlaubt. Kommerzielle Nutzung ausgeschlossen.