bfu-Report Nr. 72

E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse

Autoren / Autorin:
Gianantonio Scaramuzza, Andrea Uhr, Steffen Niemann

Bern 2015

bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung

bfu-Report Nr. 72

E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse

Autoren/Autorin:
Gianantonio Scaramuzza, Andrea Uhr, Steffen Niemann

Bern 2015

bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung

Autoren

Gianantonio Scaramuzza
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschung, bfu, g.scaramuzza@bfu.ch
Dipl. Ing. ETH; Bauingenieurstudium an der ETH Zürich. 1986–2004 beratender Verkehrsingenieur in der Abteilung Verkehrstechnik der bfu. Seit 2004 wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Forschung der bfu. Forschungsschwerpunkte: Verkehrsinfrastruktur, Langsamverkehr, Verkehrsberuhigung und Tempo 30, Fussgängerquerungen, Geisterfahrer. Mitglied in Normen- und Forschungskommissionen des VSS.

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.

Steffen Niemann
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschung, bfu, s.niemann@bfu.ch
Magister Artium; Studium der Soziologie, Psychologie und Informationswissenschaften an der Universität Düsseldorf. Seit 2005 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Forschungsabteilung der bfu. Schwerpunkte: Datengrundlagen in den Bereichen Haus und Freizeit, Strassenverkehr, Sport sowie bfu-Erhebungen.

Impressum

Herausgeberin	bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung Postfach 8236 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. 2.258
Autoren	Gianantonio Scaramuzza, dipl. Ing. ETH, Wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschung, bfu Andrea Uhr, MSc in Psychologie, Wissenschaftliche Mitarbeiterin Forschung, bfu Steffen Niemann, M.A., Wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschung, bfu
Redaktion	Mario Cavegn, lic. phil., Teamleiter Forschung Strassenverkehr, bfu
Projektteam	Christa Dähler-Sturny, Bereichsassistentin Forschung / Beratung / Produktesicherheit, bfu Manuel Kollbrunner, lic. phil., temporärer Wissenschaftlicher Mitarbeiter Forschung, bfu
Druck/Auflage	Bubenberg Druck- und Verlags-AG, Monbijoustrasse 61, CH-3007 Bern 1/2015/600 Gedruckt auf FSC-Papier

© bfu 2015

Alle Rechte vorbehalten; Reproduktion (z. B. Fotokopie), Speicherung, Verarbeitung und Verbreitung sind mit Quellenangabe (s. Zitationsvorschlag) gestattet.

Zitationsvorschlag

Scaramuzza G, Uhr A, Lieb, Niemann S. *E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse*. Bern: bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung; 2015. bfu-Report 72.
ISBN 978-3-906173-76-4 (Print)
ISBN 978-3-906173-77-1 (PDF)

Aus Gründen der Lesbarkeit verzichten wir darauf, konsequent die männliche und weibliche Formulierung zu verwenden.
Aufgrund von Rundungen sind im Total der Tabellen leichte Differenzen möglich.
Wir bitten die Lesenden um Verständnis.

Vorwort

E-Bike-Fahrende ziehen sich vergleichsweise häufig bei Selbstunfällen schwere Verletzungen zu. Allein dieser Befund der vorliegenden Studie macht deutlich: Die grossen Fortschritte in der Automobiltechnik allein können den gesellschaftlichen Wunsch nach weitgehender Vermeidung schwerer oder gar tödlicher Verletzungen im Strassenverkehr nicht befriedigen.

Die Herausforderungen sind vielfältig. Die Verkehrsdichte und der Anteil abgelenkter sowie betagter Verkehrsteilnehmender nehmen zu, wie auch die Heterogenität der verschiedenen Fahrzeugtypen. So sind zum Beispiel E-Bikes heute schon ein – insbesondere in der Schweiz – weit verbreitetes Phänomen. Ein Grund dafür, dass die bfu in der Erforschung der damit verbundenen Sicherheitsprobleme eine Vorreiterrolle einnehmen möchte.

Die Erkenntnisse aus der Studie sind aus dem aktuellen Stand der internationalen Forschung, einer Analyse der polizeilich registrierten Unfalldaten, einer Befragungen von E-Bike-Fahrenden sowie einem ausgeklügelten Experiment zur Wahrnehmung der Geschwindigkeiten hergeleitet. Dem verantwortlichen Forschungsteam gebührt für diese sorgfältige und wissenschaftlich einwandfreie Arbeit ein grosses Lob. Es hat den Weg für konkrete Massnahmen und weitere Abklärungen aufgezeigt.

Der bfu ist es Anliegen und Verpflichtung zugleich, dass Spass, Gesundheitsnutzen und volkswirtschaftlicher Nutzen des E-Bike-Fahrens nicht durch unnötige Verletzungen zunichte gemacht werden. Dazu sind Massnahmen notwendig, welche die bfu dank ihrem nationalen und internationalen Netzwerk anpacken kann. Monitoring des Unfallgeschehens, Einzelunfalluntersuchungen, bessere Umsetzung und Überprüfung von Strassenbaunormen, Weiterentwicklung der Schutzwirkung von Velohelmen sowie Sensibilisierung der E-Bike- und Autofahrenden sind zentrale Herausforderungen, denen sich die bfu stellen wird.

bfu

Stefan Siegrist, Dr. phil., EMBA
Leiter Forschung / Beratung / Produktesicherheit
Stv. Direktor

Inhalt

Vorwort **5**

I. Abstract / Résumé / Compendio **13**

1. E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse 13
2. Analyse de la sécurité des vélos électriques dans le trafic routier 14
3. Biciclette elettriche nella circolazione stradale – Analisi di sicurezza 15
4. E-bikes in road traffic – a safety analysis 16

II. Kurzfassung / Version abrégée / Riassunto / Condensed version **17**

1. E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse 17
   - 1.1 Einleitung 17
   - 1.2 Literaturanalyse 17
   - 1.3 Unfallanalyse 18
   - 1.4 Lenkerbefragung 19
   - 1.5 Experiment 19
   - 1.6 Ergebnisse und Fazit 20
2. Analyse de la sécurité des vélos électriques dans le trafic routier 22
   - 2.1 Introduction 22
   - 2.2 Analyse de la littérature scientifique 22
   - 2.3 Analyse des accidents 23
   - 2.4 Enquête auprès d'utilisateurs de vélos électriques 24
   - 2.5 Expérience 25
   - 2.6 Résultats et conclusions 25
3. Biciclette elettriche nella circolazione stradale – Analisi di sicurezza 27
   - 3.1 Introduzione 27
   - 3.2 Analisi della letteratura 27
   - 3.3 Analisi degli incidenti 28
   - 3.4 Sondaggio d'opinione conducenti di bici elettriche 29
   - 3.5 Esperimento 29
   - 3.6 Risultati e conclusioni 30
4. E-bikes in road traffic – a safety analysis 32
   - 4.1 Introduction 32
   - 4.2 Literature review 32
   - 4.3 Accident analysis 33

4.4 Rider survey 33
4.5 Experiment 34
4.6 Results and conclusion 35

III. Einleitung 37
1. Ausgangslage 37
2. Aufbau des Berichts 37
3. Begriffserklärungen 38
4. Rechtliche Bestimmungen 38
5. E-Bike-Fahren in der Schweiz 39
6. Vergleich Schweiz–Deutschland–Österreich 40

IV. Literaturanalyse (A. Uhr) 43
1. Einleitung 43
2. Vorgehen 43
3. Exkurs China 44
4. Internationale Forschung zu Sicherheitsaspekten von E-Bikes 45
4.1 Fahrgeschwindigkeit 45
4.2 Verhalten 49
4.3 Kritische Situationen und Unfallhäufigkeit 51
4.4 Unfalltypen und Unfallursachen 52
4.5 Verletzungsschwere 53
4.6 Technische Sicherheit 56
4.7 Einschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer 57
5. Fazit Literaturanalyse 58

V. Unfallanalyse (G. Scaramuzza) 60
1. Grundsätzliches 60
2. Begriffe 60
3. Zentrale Resultate 60
3.1 Entwicklung 60
3.2 Unfallschwere 61
3.3 Alter 61
3.4 Alter und Geschlecht 63
3.5 Unfalltyp 64
3.6 Hauptverursacher und Hauptursache 64
3.6.1 Vorbemerkung 64
3.6.2 Alleinunfälle 65

3.6.3 Kollisionen 65
3.7 Unfallstelle und Kollisions-Unfalltyp 66
3.7.1 Überblick 66
3.7.2 Detailanalyse 68
3.8 Jahreszeit 71
4. Weitere Resultate 71
4.1 Witterung 71
4.2 Lichtverhältnisse 72
4.3 Ortslage 72
4.4 Strassenanlage 72
4.5 Unfallstelle 73
4.6 Fazit und Folgerungen aus der Unfallanalyse 73

VI. Lenkerbefragung (A. Uhr) 75
1. Ausgangslage 75
2. Forschungsfragen 75
3. Methoden 76
3.1 Datenerhebung 76
3.2 Fragebogen 77
3.3 Stichprobe 77
3.4 Datenanalyse 77
4. Resultate 78
4.1 Deskriptive Statistik 78
4.1.1 Rahmenbedingungen 78
4.1.2 Fahrdauer und Häufigkeit der Fahrten 79
4.1.3 Einzelne Items zur Erfassung der Prädiktoren 79
4.1.4 Wissen über gesetzliche Bestimmungen 81
4.1.5 Unfallerfahrung 81
4.1.6 Überblick Skalen 81
4.2 Modellprüfung: Bedeutsame Faktoren für das Fahrverhalten 82
4.3 Vergleich von Modellvariablen und einzelnen Items zwischen Personen mit und ohne Unfallerfahrung 84
5. Fazit 85

VII. Experiment (G. Scaramuzza, S. Niemann) 87
1. Ausgangslage 87
2. Ziel 88
3. Hypothesen 88

4. Methode 88
4.1 Grundidee 88
4.2 Umsetzung 88
4.2.1 Ablauf des Experimentes 88
4.2.2 Operationalisierung der abhängigen Variable 89
4.2.3 Unabhängige Variablen /Kontrollvariablen 91
4.2.4 Probanden 92
4.2.5 Akteure (Lenker von einspurigen Fahrzeugen) 93
4.2.6 Durchführung 94
5. Resultate 94
5.1 Beschreibung der Probanden 94
5.2 Fehlerzeiten 95
5.3 Detailanalyse 96
5.3.1 Prüfung der Gruppierungseffekte 97
5.3.2 Generalisierbarkeit der Ergebnisse 99
6. Diskussion 99
6.1 Hypothesen 99
6.2 Zusätzliche Erkenntnisse 100
6.3 Fazit 100
6.4 Methodenkritik 101

VIII. Diskussion 102
1. Einleitung 102
2. Befunde 102
2.1 Unfall- und Verletzungsrisiko 102
2.2 Unfallmerkmale 103
2.3 Geschwindigkeit 104
2.4 Fahrzeug (-typ) 104
2.5 Fähigkeiten, Gefahrenbewusstsein und Fahrverhalten von E-Bike-Fahrern 105
2.6 Andere Verkehrsteilnehmer 106
3. Schlussfolgerungen 106
3.1 Präventionsmöglichkeiten 106
3.1.1 Einleitung 106
3.1.2 Sensibilisierung und Ausbildung (Education) 107
3.1.3 Fahrzeugtechnik und Infrastruktur (Engineering) 108
3.1.4 Gesetz und Vollzug (Enforcement) 109

3.2 Forschungsbedarf 110
4. Gesamtfazit/Folgerung 111

IX. Anhang 113
1. Lenkerbefragung 113
1.1 Fragebogen 113
1.2 Tabelle Skalenbildung 119
2. Experiment 120
2.1 Reihenfolge der Fahrten (Gruppen 1 bis 4) 120
2.2 Fragebogen für Probanden 121
2.3 Akquisitionskanäle Probanden 121
2.4 Ergebnisse der linearen binären Mehrebenen-Regression 122
3. Monitoring von E-Bike relevanten Kennwerten 124

Quellen 125

bfu-Reports 128

I. Abstract / Résumé / Compendio

1. E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse

Das E-Bike als Fortbewegungsmittel wird zunehmend beliebter, birgt jedoch auch Unfallgefahren. Die im Vergleich zu Fahrrädern höheren Geschwindigkeiten führen zu längeren Bremswegen oder Fehleinschätzungen durch andere Verkehrsteilnehmer. Mit einer Unfall- und Literaturanalyse, einer Lenkerbefragung und einem Experiment zur Geschwindigkeitseinschätzung wurden in der vorliegenden Forschungsarbeit gezielt verkehrssicherheitsrelevante Fragestellungen analysiert.

Die wichtigsten Resultate: Gemäss amtlicher Unfallstatistik sind E-Bike-Unfälle schwerer als Fahrrad-Unfälle und schwere Alleinunfälle häufiger als schwere Kollisionen. Die unterschiedlichen Unfallfolgen sind primär auf das höhere Alter von E-Bike-Fahrern zurückzuführen. Kollisionen mit schwer verletzten E-Bike-Fahrern ereignen sich sehr häufig an Kreuzungen und Kreisverkehrsplätzen, weil Motorfahrzeug-Lenker den Vortritt von E-Bike-Fahrern missachten. Ein Grund dafür ist das Unterschätzen der Geschwindigkeit von Tretfahrzeugen. Bei schweren Alleinunfällen zeigt die Ursachenanalyse kein klares Resultat. Fest steht, dass sich E-Bike-Fahrer der erhöhten Geschwindigkeit bewusst sind, deren Folgen aber möglicherweise unterschätzen.

In-Depth-Analysen schwerer Alleinunfälle sowie ein systematisches Monitoring E-Bike-relevanter Kennwerte sind deshalb angezeigt; ebenso edukative Massnahmen für E-Bike-Fahrer und für Motorfahrzeuglenker. Normen und bestehende Verkehrsanlagen sind hinsichtlich spezifischer Anforderungen von E-Bikes zu überprüfen. Zudem ist die Wirksamkeit von Fahrrad- bzw. E-Bike-Helmen weiterzuentwickeln. Schliesslich sollen die Entwicklung höherer Sicherheitsstandards (Lichteinschaltautomatik, Bremssysteme u. a.) und der Verkauf von E-Bikes mit hohem Sicherheitsstandard gefördert werden.

2. Analyse de la sécurité des vélos électriques dans le trafic routier

Moyen de locomotion toujours plus prisé, le vélo électrique n'est pas sans dangers. Les vitesses plus élevées qu'il permet d'atteindre par rapport aux vélos classiques trompent les autres usagers de la route et allongent les distances de freinage. Le présent travail de recherche s'est penché sur des aspects ciblés de sécurité routière, en procédant à une analyse de la littérature scientifique et des accidents, en interrogeant des utilisateurs de vélos électriques et en réalisant une expérience d'estimation de la vitesse.

Principaux résultats: selon la statistique officielle, les accidents avec des vélos à assistance électrique sont plus sérieux que ceux subis avec des vélos classiques, et les pertes de maîtrise graves sans implication de tiers sont plus fréquentes que les collisions graves. La gravité des blessures s'explique essentiellement par le fait que les utilisateurs de vélos électriques sont plus âgés que les autres cyclistes. Les collisions dans lesquelles des utilisateurs de vélos électriques sont grièvement blessés se produisent très souvent aux carrefours ou aux giratoires, où les conducteurs des autres véhicules motorisés ne respectent pas la priorité des cyclistes, dont ils sous-estiment souvent la vitesse. L'analyse des causes des pertes de maîtrise graves de vélos électriques livre un résultat peu clair. Une chose est toutefois sûre: les utilisateurs de ces vélos sont conscients des vitesses atteintes, mais ils en sous-estiment peut-être les conséquences.

Le bpa préconise donc d'analyser en détail les pertes de maîtrise graves et d'assurer le suivi systématique d'indicateurs importants. Il encourage les mesures éducatives pour les débutants sans expérience du vélo ainsi que pour les conducteurs des autres véhicules motorisés. Il recommande d'examiner les normes et l'infrastructure routière existante en tenant compte des exigences spécifiques au vélo électrique. Pour le bpa, il convient par ailleurs de continuer à développer le casque pour cyclistes motorisés ou non afin d'améliorer son efficacité. Il s'agit enfin d'établir des standards de sécurité plus élevés (allumage automatique des feux, système de freinage, etc.) et de promouvoir la vente des vélos à assistance électrique qui les respectent.

3. Biciclette elettriche nella circolazione stradale – Analisi di sicurezza

L'e-bike riscuote sempre più successo tra i ciclisti, ma cela anche dei rischi d'incidente. Le velocità maggiori rispetto alle bici convenzionali comportano degli spazi di frenata più lunghi o fanno sì che gli altri utenti della strada non valutino correttamente la velocità della bici elettrica. Nel presente lavoro di ricerca – comprendente un'analisi dell'incidentalità e della letteratura, un sondaggio tra i conducenti e un esperimento sulla valutazione della velocità – sono stati analizzati miratamente dei quesiti rilevanti per la sicurezza stradale.

I risultati principali sono: secondo l'ufficiale statistica sull'incidentalità, gli incidenti delle bici elettriche sono più gravi rispetto a quelli delle bici convenzionali e gli incidenti a veicolo isolato sono più frequenti delle collisioni gravi. Le differenti conseguenze degli incidenti sono riconducibili principalmente all'età più alta dei conducenti di una e-bike. Le collisioni con conducenti di una e-bike gravemente feriti sono molto frequenti negli incroci e nelle aree con percorso rotatorio perché i conducenti dei veicoli a motore non danno la precedenza ai conducenti di una bici elettrica. Un motivo è la sottovalutazione delle velocità portate dai veicoli a propulsione umana. Dall'analisi delle cause d'incidente non emerge un dato chiaro per gli incidenti a veicolo isolato gravi. È tuttavia certo che i conducenti di una e-bike sono consapevoli della velocità più elevata, ma che sottovalutano probabilmente le conseguenze che ne possono derivare.

Bisogna perciò ricorrere ad analisi statistiche approfondite degli incidenti a veicolo isolato nonché a un monitoring sistematico dei valori rilevanti per le e-bike. Inoltre, vanno valutate misure educative per gli utenti che non hanno mai usato una bicicletta in passato e per i conducenti dei veicoli a motore. Le norme e gli impianti stradali esistenti vanno esaminati dal punto di vista dei requisiti specifici delle e-bike. Inoltre, va continuato lo sviluppo nell'ambito dell'efficacia dei caschi per i conducenti di bici convenzionali ovvero e-bike. Infine dovrebbero essere promossi lo sviluppo di standard di sicurezza più elevati (accensione automatica delle luci, sistemi di frenata ecc.) e la vendita di bici elettriche con uno standard di sicurezza elevato.

4. E-bikes in road traffic – a safety analysis

E-bikes are an increasingly popular mode of transport, but they also pose accident risks. Their higher speeds in comparison with bicycles lead to longer braking distances and errors of judgement by other road users. The present research employs an accident analysis, a literature review, a rider survey and an experiment on estimating speed for a target-oriented assessment of the associated traffic safety issues.

The most important findings: according to official statistics, e-bike accidents are more serious than bicycle accidents, and serious single-vehicle accidents are more frequent than serious collisions. The differences in accident severity are primarily due to e-bike riders' higher age. Collisions involving seriously injured e-bike riders often occur at intersections and roundabouts when motorists fail to give right of way to e-bikes. One of the reasons is the underestimation of speed in pedal vehicles. The root cause analysis of serious single-vehicle accidents draws no definite conclusion. It is however clear that e-bike riders are aware of the higher speeds but possibly underestimate their consequences.

In-depth analyses of serious single-vehicle accidents and the systematic monitoring of e-bike-relevant parameters are therefore indicated, as are educational measures for motorists and new riders without prior cycling experience. Norms and existing traffic installations should be reviewed with respect to the specific requirements of e-bikes. And finally, the development of higher safety standards (automatic light activation, braking systems etc.) and the sale of e-bikes with high safety standards should be encouraged.

II. Kurzfassung / Version abrégée / Riassunto / Condensed version

1. E-Bikes im Strassenverkehr – Sicherheitsanalyse

1.1 Einleitung

In den letzten Jahren ist der Markt für E-Bikes in der Schweiz stark gewachsen. Allein von 2011 bis 2013 wurden rund 150 000 E-Bikes verkauft. Drei Viertel davon waren langsame E-Bikes mit Tretunterstützung bis 25 km/h. Bei einem Viertel handelte es sich um schnelle E-Bikes mit Tretunterstützung bis max. 45 km/h. E-Bikes werden vor allem von älteren Personen gefahren. Das Durchschnittsalter der Besitzer lag im Jahr 2014 bei 53,5 Jahren, dürfte sich in Zukunft aber etwas nach unten verschieben. Nach eigenen Angaben legen E-Bike-Besitzer mit ihrem Gefährt rund 2600 km pro Jahr zurück.

Während E-Bike-Fahren viele Vorteile bietet, wie zum Beispiel die Flexibilität oder ökologische und ökonomische Vorteile, birgt es auch einige Gefahren. Die im Vergleich zu Fahrrädern höheren Geschwindigkeiten können zu längeren Bremswegen oder Fehleinschätzungen durch andere Verkehrsteilnehmer führen. Mit dem Anstieg der E-Bike-Verkaufszahlen und somit auch der Exposition ist die Anzahl der schwer verletzten oder getöteten E-Bike-Fahrer auf Schweizer Strassen von 2011 bis 2013 um mehr als 70 % angestiegen. Deshalb werden E-Bikes immer mehr zum Thema für die Verkehrssicherheit.

Das Kapitel **Unfallanalyse** beschreibt das Unfallgeschehen von E-Bike-Fahrern auf Schweizer Strassen. In der **Literaturanalyse** wird der aktuelle Forschungsstand zur Sicherheit von E-Bike-Fahrern aufgezeigt. Im Kapitel **Lenkerbefragung** wird eine Erhebung vorgestellt, in der verschiedene psychologische Einflussfaktoren für das Fahrverhalten eruiert wurden. Danach wird ein **Experiment** zur Geschwindigkeitseinschätzung von E-Bikes durch andere Verkehrsteilnehmer präsentiert.

1.2 Literaturanalyse

Die Literaturanalyse gibt einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu sicherheitsrelevanten Aspekten von E-Bikes im Strassenverkehr. Da es sich um ein junges Forschungsgebiet handelt, ist bisher relativ wenig wissenschaftliche Literatur vorhanden. Die verfügbaren Befunde sollten zudem immer im jeweiligen Kontext und vor dem Hintergrund der aktuellen Nutzergruppe gesehen werden. Verschiedene Länder unterscheiden sich in Bezug auf Art (z. B. erlaubte Höchstleistung) und Anteile der verwendeten E-Bike-Typen, die Hauptnutzergruppe weist zurzeit ein eher hohes Durchschnittsalter auf.

Studien zur **Fahrgeschwindigkeit** von E-Bike-Fahrern im nahen Ausland zeigen, dass mit E-Bikes im Durchschnitt 1–4 km/h (bzw. 6–23 %) schneller und ein grösserer Anteil der Distanzen in höheren Geschwindigkeitsbereichen gefahren wird als mit Fahrrädern. Auch die Variation der Geschwindigkeiten fällt bei E-Bike-Fahrten grösser aus. Die höheren Geschwindigkeiten werden vor allem von Lenkern

schneller E-Bikes und von jüngeren Personen realisiert. In anspruchsvollen Situationen wird generell langsamer gefahren.

In Untersuchungen zum **Verhalten** (Fahr- und Schutzverhalten) von E-Bike-Fahrern wurde deutlich, dass die höheren Geschwindigkeiten zu mehr Überholvorgängen und mehr Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern führen. Ob dies die mentalen Anforderungen erhöht, ist aktuell noch nicht geklärt. In Bezug auf regelwidriges Verhalten wurden zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern keine Unterschiede nachgewiesen. Die Helmtragquote unterscheidet sich in der Schweiz hingegen deutlich (E-Bike 69 %, Fahrrad 43 %).

Konsultierte Studien wiesen keine Unterschiede in der **Unfallhäufigkeit** zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern nach. Expositionsbezogene Daten (z. B. Fahrleistung, Anzahl Wege) blieben bis anhin jedoch weitgehend unberücksichtigt. In einer Studie zum Konfliktgeschehen (erfasst mittels Fahrtvideos) fanden sich selbst unter Berücksichtigung der Fahrleistung keine Unterschiede bezüglich Anzahl und Art der kritischen Situationen zwischen den beiden Fahrzeugtypen.

Forschungsarbeiten zur **Verletzungsschwere** sind sowohl hinsichtlich Methodik (z. B. berücksichtigte Unfallschwere, Indikator für Verletzungsschwere) als auch hinsichtlich Ergebnisse nicht homogen. E-Bike-Fahrer scheinen im Vergleich zu Fahrradfahrern ein höheres Risiko für Unfälle aufzuweisen, die einer Behandlung bedürfen. Studien, welche nur die Verletzungsgrade von Verunfallten in medizinischer Behandlung vergleichen, finden hingegen keine signifikanten Unterschiede. Deshalb lässt sich aktuell kein eindeutiges Fazit ziehen.

Die Literaturanalyse zeigt, dass **Alleinunfälle** für E-Bike-Lenker der bedeutsamste **Unfalltyp** sind. Bei Fahrradfahrern fällt dieser Anteil etwas geringer aus. Ob dieser Befund den Unterschieden im Fahrzeug oder der Nutzerstruktur zuzuschreiben ist, ist bisher noch nicht geklärt. Neben der Geschwindigkeit dürfte falsches oder zu starkes Bremsen ein wichtiger Unfallgrund für Alleinunfälle von E-Bike-Fahrern sein.

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.

Es gibt erste Hinweise, dass E-Bike-Fahrer stärker durch **Fehleinschätzungen anderer Verkehrsteilnehmer** gefährdet sind als Fahrradfahrer. In einem Experiment konnte gezeigt werden, dass PW-Lenker beim Einmünden vor E-Bikes kleinere Zeitlücken als vor Fahrrädern akzeptierten.

1.3 Unfallanalyse

Der Gesamtdatensatz der polizeilich registrierten Unfälle ist die zurzeit beste und detaillierteste verfügbare Datenquelle. Auch wenn die Analyse des Unfallgeschehens mit einzelnen Einschränkungen einhergeht (Dunkelziffer, Einschätzung gewisser Unfallmerkmale an Ort), lassen sich bedeutsame Befunde ableiten, die jedoch genauer zu prüfen sind:

1. Die Zunahme der schweren Unfälle mit E-Bikes von 2011 bis 2013 geht proportional mit der Erhöhung des E-Bike-Bestands einher.
2. Die polizeilich registrierten Unfälle mit E-Bikes sind im Vergleich zu den Unfällen mit Fahrrädern

schwerer. Der Hauptgrund für diesen Unterschied liegt jedoch weniger am Fahrzeugtyp als an der Altersstruktur der Nutzer: E-Bike-Fahrer sind im Durchschnitt älter und damit verletzlicher als Fahrradfahrer.

3. Wenn E-Bike-Fahrer schwer verunfallen, geschieht dies öfter bei Alleinunfällen als bei Kollisionen.
4. E-Bike-Fahrer verunfallen – sowohl absolut betrachtet als auch im Vergleich zu Fahrradfahrern – auffallend oft unverschuldet in Kreisverkehrsplätzen, weil einfahrende Motorfahrzeuge ihnen den Vortritt nicht gewähren.
5. E-Bike-Fahrer verunfallen – sowohl absolut betrachtet als auch im Vergleich zu Fahrradfahrern – auffallend oft unverschuldet an Knotenpunkten. Dies, weil insbesondere von rechts einmündende Motorfahrzeuge ihnen den Vortritt nicht gewähren.

1.4 Lenkerbefragung

Ziel der Befragung war es, bei E-Bike-Fahrern in der Schweiz zu untersuchen, welche **psychologischen Komponenten** mit dem **Fahrverhalten** in Zusammenhang stehen und die entsprechenden Ausprägungen festzustellen. Zu diesem Zweck wurde ein Modell mit sieben Prädiktoren zur Vorhersage des (selbstberichteten) Fahrverhaltens entwickelt. Zusätzlich wurde der Einfluss verschiedener Kontrollvariablen geprüft. Alle Variablen wurden mittels Fragebogen erfasst.

Die Vermutung, dass E-Bike-Fahrer selber den Risikofaktor Geschwindigkeit verkennen, hat sich nicht bestätigt. Die Mehrheit der Befragten ist sich der längeren Anhaltewege und der höheren Geschwindigkeiten von E-Bikes sowie der möglichen Fehleinschätzungen durch andere Verkehrsteilnehmer bewusst. Eher etwas verkannt wird die Auftretenshäufigkeit von Selbstunfällen. Dieses Wissen bzw. Nichtwissen scheint sich aber nicht auf das Fahrverhalten auszuwirken.

Vier psychologische Einflussfaktoren standen beim Modelltest signifikant mit dem selbstberichteten Fahrverhalten in Zusammenhang: Das Gefahrenbewusstsein hinsichtlich der Geschwindigkeit des E-Bikes, das Gefühl, unverletzbar zu sein, sowie die subjektive Überzeugung, das E-Bike allgemein und die Geschwindigkeit im Griff zu haben (zwei separate Faktoren). Die Richtungen der Zusammenhänge waren auf den ersten Blick teilweise überraschend. So fahren Personen, die sich der Gefahren der Geschwindigkeit stärker bewusst sind, nach eigenen Angaben weniger vorsichtig E-Bike. Wer sich unverletzbar fühlt, fährt hingegen sicherheitsorientierter. Es ist daher anzunehmen, dass diese Kognitionen eher Ausdruck des gezeigten Verhaltens sind, als dass sie das Verhalten steuern.

Mit dem Alter, dem Geschlecht, der Nutzungshäufigkeit des E-Bikes und der Vorerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad stellten sich vier Kontrollvariablen als signifikante Prädiktoren für das selbstberichtete Fahrverhalten heraus. Frauen, ältere Personen und jene, die weniger häufig E-Bike fahren oder vor ihrer E-Bike-Nutzung weniger Fahrrad gefahren sind, fahren nach eigener Äusserung vorsichtiger E-Bike.

1.5 Experiment

Basis des Experiments sind folgende Hypothesen:

- Motorfahrzeug-Lenker, die an einer Kreuzung warten, unterschätzen die Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen, die von links nahen.

- Diese Fehleinschätzung ist stärker ausgeprägt, wenn es sich bei den herannahenden Fahrzeugen um E-Bikes handelt.
- Die Beurteilung der Geschwindigkeit wird zusätzlich erschwert, wenn das Erscheinungsbild des herannahenden einspurigen Fahrzeugs nicht intuitiv eine hohe gefahrene Geschwindigkeit vermuten lässt (z. B. ältere E-Bike-Fahrer).

Das Experiment war wie folgt aufgebaut: Am Fahrbahnrand sitzende Probanden simulierten Fahrzeug-Lenker. Die Probanden mussten die Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen einschätzen, die sich ihnen von links näherten. Geschwindigkeit, Fahrzeugtyp sowie Alter und Geschlecht der Lenker der einspurigen Fahrzeuge wurden dabei variiert.

Die Resultate zeigten, dass die **Geschwindigkeit** von Tretfahrzeugen, die von links herannahen, **unterschätzt** wird, und zwar sowohl **absolut** als auch **im Vergleich zu Motorrädern.** Mit dieser Methode konnte jedoch **kein Unterschied zwischen Fahrrädern und E-Bikes** aufgezeigt werden.

Die Geschwindigkeit stellte sich als wesentlicher Einflussfaktor heraus. Die Unterschätzung fiel bei 25 km/h und 40 km/h signifikant grösser aus als bei 15 km/h.

Zudem scheint das Erscheinungsbild der einspurigen Fahrzeuge die Geschwindigkeitseinschätzung zu beeinflussen. Schliesslich zeigte sich, dass aus **höherer und leicht zurückversetzter Position** die Geschwindigkeiten stärker **unterschätzt** werden als in tieferen, näheren Positionen. SUV-Lenker (Sport utility vehicles) müssten gemäss diesem Befund Geschwindigkeiten von herannahenden Tretfahrzeugen stärker unterschätzen.

1.6 Ergebnisse und Fazit

Proportional zu den Verkaufszahlen hat auch das Unfallgeschehen von E-Bike-Fahrern zugenommen. Deshalb werden E-Bikes zunehmend zum Thema für die Verkehrssicherheit. Ob das Unfallrisiko mit E-Bikes höher ist als mit Fahrrädern, diese Frage kann aktuell nicht beantwortet werden. Es fehlen angemessene Daten zur Exposition (Fahrleistung, Dauer, Anzahl der Fahrten). Wenn E-Bike-Fahrer schwer verunfallen, geschieht dies oft bei einem Alleinunfall. Gründe könnten die höheren Geschwindigkeiten oder spezifische Eigenschaften des Fahrzeugs (Bremsen, hohes Gewicht etc.) aber auch Charakteristika der Lenker (altersbedingte höhere Vulnerabilität, psychomotorische Defizite) sein. Eher auszuschliessen sind Mängel in der Fahrerfahrung oder in der Gefahrenwahrnehmung. Kollisionen mit verletzten E-Bike-Fahrern ereignen sich meistens an Knoten und Kreiseln, weil Motorfahrzeug-Lenker von links kommenden E-Bikes den Vortritt nicht gewähren. Entweder werden die E-Bikes zu spät wahrgenommen oder ihre Geschwindigkeit wird unterschätzt. Letzteres ist bei einspurigen Tretfahrzeugen generell der Fall, verschärft sich jedoch bei höheren Geschwindigkeiten. Darüber hinaus werden vor E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern kleinere Zeitlücken akzeptiert. Gründe könnten die beim E-Bike langsameren und weniger anstrengend erscheinenden Pedalbewegungen und die entspanntere Sitzhaltung des Fahrers sein.

Die internationalen Befunde zum Verletzungsrisiko von Fahrrad- und E-Bike-Fahrern variieren. In der Schweiz finden sich in den polizeilich registrierten Unfalldaten Hinweise auf schwerere Unfallfolgen für E-Bike-Fahrer. Nach heutigem Stand des Wissens ist die Ursache für die höhere Unfallschwere von

E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern vor allem auf Unterschiede im Alter der Nutzergruppen zurückzuführen. E-Bike-Fahrer sind älter und somit verletzlicher als Fahrradfahrer. Ob darüber hinaus auch das Fahrzeug (bzw. dessen Fahreigenschaften) eine Rolle spielt, kann zurzeit nicht abschliessend beurteilt werden.

Für die Prävention von E-Bike-Unfällen besonders zu empfehlen sind folgende Massnahmen:

- **In-Depth-Analysen** von E-Bike-Unfällen, wobei insbesondere schwere **Alleinunfälle** interessieren. Zurzeit sind die Erkenntnisse zu diesem Unfalltyp mit E-Bikes noch dürftig. Entsprechende neue Erkenntnisse sind bei der Konzeption von Fahrkursen und Kampagnen zu berücksichtigen.
- Aufbau und Betrieb eines **Monitorings** zur permanenten Analyse der Entwicklung des Unfallgeschehens, der Exposition und weiterer Kennwerte, die für E-Bike-Unfälle relevant sind. Periodische Publikation und einfacher Zugriff sind zu gewährleisten.
- Für Neueinsteiger ohne Vorerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad sind spezifische **E-Bike-Fahrkurse** anzubieten, erfahrene Umsteiger sind mittels **Kampagnen** zu erreichen.
- Bestehende Kanäle nutzen, um E-Bike-Fahrer hinsichtlich der **Besonderheiten** des E-Bikes zu **sensibilisieren**. Dazu gehören v. a. die erhöhte Gefahr von **Alleinunfällen** und die Konsequenzen unangepasster Geschwindigkeit, aber auch Bedienung, Bremsverhalten, schmale Silhouette, Antizipation möglicher Konflikte, Geschwindigkeitsunterschätzung durch Motorfahrzeug-Lenker, Eigenbeitrag zur Verbesserung der eigenen Wahrnehmbarkeit.
- In der Fahrausbildung Motorfahrzeug-Lenker hinsichtlich der reduzierten **Wahrnehmbarkeit** sowie der **Geschwindigkeitsunterschätzung** von (vortrittsberechtigten) Tretfahrzeugen an Knoten, insbesondere an **Kreisverkehrsplätzen**, sensibilisieren.
- Überprüfung der **VSS-Normen** hinsichtlich der spezifischen Anforderungen von E-Bikes.
- Überprüfung der bestehenden **Strasseninfrastruktur**, insbesondere hinsichtlich der einzuhaltenden minimalen Sichtweiten an Knoten (ISSI-Instrument «Road Safety Inspection»).
- **Weiterentwicklung** der schutzwirkenden Eigenschaften von Fahrrad- bzw. **E-Bike-Helmen**. Entsprechende Aktivitäten in Forschung und Umsetzung sind anzustossen bzw. zu unterstützen.
- Förderung der **Entwicklung** höherer Sicherheitsstandards von E-Bikes (Lichteinschaltautomatik, adäquate Bremssysteme).
- Förderung des **Verkaufs** von **E-Bikes mit hohem Sicherheitsstandard** (Schulung Verkaufspersonal, Broschüren mit Empfehlungen, Sicherheitslabels).

2. Analyse de la sécurité des vélos électriques dans le trafic routier

2.1 Introduction

Le marché du vélo électrique en Suisse est en plein essor depuis plusieurs années. Quelque 150 000 cycles motorisés ont été écoulés rien qu'entre 2011 et 2013, dont trois quarts de modèles lents et un quart de modèles rapides, avec une assistance au pédalage pouvant aller jusqu'à 25 km/h et 45 km/h respectivement. Les utilisateurs de vélos électriques sont surtout des personnes d'un certain âge. Leur moyenne d'âge était de 53,5 ans en 2014, mais elle devrait être amenée à baisser un peu à l'avenir. Selon leurs propres indications, ces cyclistes parcourent quelque 2600 km par an sur leur deux-roues.

Si le vélo électrique présente de nombreux avantages (moyen de locomotion flexible, économique et écologique, etc.), il n'est pas sans dangers. Les vitesses plus élevées qu'il permet d'atteindre par rapport aux vélos classiques trompent les autres usagers de la route et allongent les distances de freinage. Suite à la hausse des chiffres de vente et, partant, de l'exposition, le nombre d'utilisateurs de vélos électriques grièvement blessés ou tués sur les routes helvétiques a bondi de plus de 70% entre 2011 et 2013, si bien que le vélo à assistance électrique est un sujet de préoccupation toujours plus grand pour la sécurité routière.

Le présent travail de recherche s'articule autour de quatre chapitres. L'**analyse des accidents** décrit l'accidentalité des cyclistes motorisés sur les routes suisses. L'**analyse de la littérature scientifique**, quant à elle, dresse l'état des lieux de la recherche sur la sécurité de ces usagers de la route. Un chapitre est ensuite consacré à l'**enquête réalisée auprès d'utilisateurs de vélos électriques**, qui a permis de mettre en évidence divers facteurs de nature psychologique qui agissent sur le comportement en selle de ces personnes. Une **expérience** d'estimation de la vitesse des vélos électriques par d'autres usagers de la route est enfin présentée.

2.2 Analyse de la littérature scientifique

Elle décrit l'état actuel de la recherche qui porte sur les aspects de sécurité routière du vélo électrique. Force est de constater que la littérature scientifique est relativement maigre dans ce domaine de recherche récent. Les résultats devraient par ailleurs toujours être replacés dans leur contexte et mis en relation avec le groupe d'utilisateurs actuel. En effet, les types de vélos électriques (p. ex. puissance maximale admise) et leurs parts de marché divergent selon les pays, et l'âge moyen du principal groupe d'utilisateurs est plutôt élevé à l'heure actuelle.

Des études sur la **vitesse** adoptée par les cyclistes motorisés dans des pays proches de la Suisse montrent qu'elle est supérieure de 1 à 4 km/h (soit 6 à 23%) en moyenne à celle des vélos classiques, et qu'une plus large part des distances sont parcourues à des vitesses plus élevées. De même, la variation des vitesses est plus importante. Les plus vives allures sont surtout le fait des utilisateurs de vélos électriques rapides et des plus jeunes. De manière générale, la vitesse est moins élevée dans les situations de trafic complexes.

Des études sur le **comportement** (manière de circuler et protection individuelle) des utilisateurs de vélos à assistance électrique révèlent que leurs vi-

tesses plus élevées conduisent à davantage de dépassements et d'interactions avec d'autres usagers de la route. En revanche, rien ne prouve à l'heure actuelle une augmentation de leur charge mentale. De plus, les cyclistes motorisés et non motorisés sont égaux en termes d'infractions routières. Ce n'est absolument pas le cas pour le port du casque: en Suisse, le taux est de 69% pour les premiers, et de 43% pour les seconds.

Les études passées sous revue ne font état d'aucune différence quant à la **fréquence des accidents** entre les utilisateurs de vélos électriques et ceux de cycles classiques, mais elles ne se fondent pour l'heure guère sur des données corrigées de l'exposition (p. ex. prestations kilométriques ou nombre de trajets). Une étude dédiée aux conflits routiers (sur la base de vidéos réalisées avec des caméras embarquées) n'a mis en évidence aucune divergence en termes de nature et de quantité des situations critiques entre les deux types de cycles, même en tenant compte des prestations kilométriques.

Les travaux de recherche qui portent sur la **gravité des blessures** sont inhomogènes quant à leur méthodologie (p. ex. gravité des accidents considérée, indicateur de la gravité des blessures) et à leurs résultats. Il semble que, par rapport aux cyclistes classiques, les utilisateurs de vélos électriques présentent un risque accru d'accidents qui donnent lieu à un traitement médical. En revanche, les études qui comparent uniquement la gravité des blessures de personnes accidentées devant être soignées ne décèlent pas de différences significatives. Il est dès lors impossible de tirer des conclusions claires à l'heure actuelle.

L'analyse de la littérature scientifique montre que, chez les utilisateurs de vélos électriques, les **pertes de maîtrise sans implication de tiers** constituent le principal **type d'accident**. Leur proportion est quelque peu inférieure chez les cyclistes non motorisés, sans que l'on sache jusqu'ici si cette différence est à mettre sur le compte des véhicules ou de la structure de leur groupe d'utilisateurs. Il semble que la vitesse ainsi que des mauvais freinages (notamment freinages trop appuyés) sont des causes d'accident importantes des pertes de maîtrise des cyclistes motorisés.

Les **problèmes techniques** potentiels concernent surtout les vélos classiques convertis en vélos électriques, certains freins et technologies moteurs, le démarrage et l'arrêt du moteur (retard dans les deux cas) ou encore la répartition du poids du moteur et de la batterie.

Il semblerait que les utilisateurs de vélos à assistance électrique soient davantage exposés aux **erreurs d'appréciation des autres usagers de la route** que les cyclistes non motorisés. Une expérience a montré que, lorsque les automobilistes débouchent devant des vélos électriques, ils tolèrent des marges temporelles plus faibles qu'avec les vélos classiques.

2.3 Analyse des accidents

A l'heure actuelle, la meilleure source de données – et aussi la plus détaillée – est la statistique globale des accidents de la route enregistrés par la police. Quand bien même l'analyse accidentologique présente quelques limitations (cas non recensés, appréciation de certains aspects sur le lieu de l'accident), elle livre des résultats significatifs, qu'il convient toutefois d'examiner plus en détail:

1. L'augmentation du nombre d'accidents graves avec des vélos électriques entre 2011 et 2013 est proportionnelle à la croissance du parc de ces cycles.

2. Les accidents enregistrés par la police qui impliquent des vélos à assistance électrique sont plus graves que ceux avec des vélos classiques. Ceci ne s'explique pas tant par la différence de types de véhicules que par la structure des âges de leurs utilisateurs: les cyclistes motorisés sont en moyenne plus âgés, et donc physiquement plus vulnérables.
3. Les accidents graves des utilisateurs de vélos électriques sont plus souvent des pertes de maîtrise que des collisions.
4. En chiffres absolus de même que par comparaison avec les cyclistes non motorisés, les cyclistes motorisés ont singulièrement plus d'accidents aux giratoires dont ils ne sont pas fautifs, car les véhicules motorisés qui y pénètrent ne leur accordent pas la priorité.
5. Idem aux carrefours, cette fois car les véhicules motorisés qui débouchent de droite surtout leur refusent la priorité.

2.4 Enquête auprès d'utilisateurs de vélos électriques

Elle visait à examiner les **composantes psychologiques** en lien avec le **comportement** en selle des cyclistes motorisés en Suisse, ainsi que les expressions de celles-ci. Un modèle constitué de sept prédicteurs a été mis au point à cette fin, dans le but de prévoir le comportement (autodéclaré) en selle. L'influence de différentes variables de contrôle a par ailleurs été étudiée. Toutes les variables ont été relevées au moyen d'un questionnaire.

Or, la supposée méconnaissance du facteur de risque «vitesse» par les utilisateurs de vélos à assistance électrique ne s'est pas confirmée. La plupart des cyclistes motorisés interrogés sont conscients des vitesses plus élevées de ces vélos, de l'allongement des distances de freinage ainsi que des potentielles erreurs d'appréciation commises par les autres usagers de la route. En revanche, la fréquence de survenance des pertes de maîtrise sans implication de tiers est plutôt méconnue, mais ce savoir ou cette ignorance ne semblent pas se répercuter sur le comportement en selle.

Le test modélisé a révélé que quatre facteurs d'influence psychologiques sont significativement en lien avec le comportement en selle autodéclaré: la conscience du danger que représente la vitesse des vélos électriques, le sentiment d'être invulnérable de même que la conviction subjective de maîtriser le vélo en général et la vitesse en particulier (deux facteurs distincts). Les directions prises par ces relations ont parfois paru surprenantes à première vue. Ainsi, les personnes davantage conscientes des dangers de la vitesse sont, selon leurs propres indications, moins prudentes à vélo électrique. Celles qui se sentent invulnérables roulent en revanche plus sûrement. On peut donc supposer que ces cognitions sont l'expression du comportement adopté plutôt qu'elles ne le guident.

Quatre variables de contrôle – l'âge, le sexe, la fréquence d'utilisation du vélo électrique et l'expérience acquise avec un vélo classique – se sont révélées être des prédicteurs significatifs du comportement autodéclaré en selle. Ainsi, les femmes, les personnes d'un certain âge, les utilisateurs plus occasionnels du vélo électrique ou encore les moins expérimentés à vélo classique prétendent rouler plus prudemment à vélo motorisé.

2.5 Expérience

Les hypothèses suivantes sont à la base de l'expérience:

- Les conducteurs de véhicules motorisés qui patientent à un carrefour sous-estiment la vitesse des deux-roues qui s'approchent de la gauche.
- Cette erreur d'appréciation est plus importante lorsque le deux-roues est un vélo électrique.
- L'estimation de la vitesse est d'autant plus difficile lorsque l'image renvoyée par le deux-roues ne porte pas intuitivement à supposer que sa vitesse est élevée (p. ex. utilisateur âgé).

L'expérience s'est déroulée comme suit. Des sujets assis au bord de la chaussée faisaient office de conducteurs de véhicules motorisés. Ils ont été chargés d'estimer la vitesse de deux-roues qui s'approchaient de la gauche. Ces derniers variaient en termes de vitesse, de type de véhicule ainsi que d'âge et de sexe de leurs utilisateurs.

Résultat: la **vitesse** des véhicules à pédales qui s'approchent de la gauche est **sous-estimée**, **dans l'absolu** de même que **par comparaison avec les motos.** Cette méthode n'a toutefois **pas** mis en évidence **de différences entre vélos électriques et vélos classiques**.

La vitesse s'est avérée être un facteur d'influence majeur. La sous-estimation était bien plus importante à 25 km/h et à 40 km/h qu'à 15 km/h.

De même, l'image renvoyée par le deux-roues semble avoir une incidence sur l'estimation de la vitesse. Enfin, il est apparu que les conducteurs de véhicules motorisés **sous-estiment davantage** les vitesses dans des **positions plus hautes et légèrement en retrait**. Dans cette logique, les conducteurs de SUV (Sport Utility Vehicle) devraient sous-estimer plus fortement les vitesses des véhicules à pédales se dirigeant vers eux.

2.6 Résultats et conclusions

L'accidentalité des utilisateurs de vélos à assistance électrique a progressé dans les mêmes proportions que les ventes de ces cycles, si bien que le vélo électrique est un sujet de préoccupation toujours plus grand pour la sécurité routière. A l'heure actuelle, il n'est pas possible de dire si le risque d'accident est plus élevé à vélo motorisé qu'à vélo classique. Des données adéquates sur l'exposition (prestations kilométriques, durée, nombre de trajets) font en effet défaut. Souvent, lorsqu'un utilisateur de vélo électrique a un accident grave, aucun autre usager de la route n'est impliqué. Des causes potentielles sont les vitesses plus élevées, mais aussi des caractéristiques spécifiques du vélo (freinage, poids important, etc.) ou de leur utilisateur (vulnérabilité physique due à l'âge, déficits psychomoteurs). Un manque de pratique cycliste ou une prise de conscience insuffisante des dangers sont en revanche plutôt à exclure. Les collisions avec des vélos à assistance électrique se produisent le plus souvent à des carrefours ou à des giratoires: les conducteurs des autres véhicules motorisés n'accordent pas la priorité aux utilisateurs de vélos électriques qui viennent de la gauche, parce qu'ils les perçoivent trop tard ou qu'ils sous-estiment leur vitesse. Cette erreur d'appréciation vaut pour les deux-roues à pédales en général, mais est encore renforcée aux vitesses plus élevées. En outre, par comparaison avec les vélos classiques, les automobilistes tolèrent des marges temporelles plus faibles lorsqu'ils débouchent devant des vélos électriques, ce qui pourrait s'expliquer par la rotation du pédalier plus lente et paraissant plus aisée sur les cycles motorisés, de même que par la position plus détendue du cycliste.

En matière de risque de blessures des cyclistes motorisés et non motorisés, les résultats internationaux ne sont pas concordants. En Suisse, les données sur les accidents enregistrés par la police témoignent de suites plus sérieuses pour les utilisateurs de vélos électriques que pour les autres cyclistes. Sur la base des connaissances actuelles, cette gravité accrue est avant tout à mettre sur le compte de différences dans la structure des âges des groupes d'utilisateurs. En effet, les cyclistes motorisés sont plus âgés et donc physiquement plus vulnérables. Pour l'heure, il n'est pas possible de dire de manière définitive si le véhicule (ou les caractéristiques de conduite de celui-ci) joue de surcroît un rôle.

Le bpa recommande donc en particulier les mesures suivantes à des fins de prévention des accidents de vélos électriques:

- **Analyses approfondies** de ces accidents, en mettant l'accent sur les **cas graves qui n'impliquent pas d'autres usagers de la route**. Les connaissances sur ce type d'accident sont minces à l'heure actuelle. Le nouveau savoir acquis devra être pris en compte dans la conception des cours pour cyclistes motorisés et des campagnes de prévention.
- Mise au point et exploitation d'un système de **monitorage** en vue de l'analyse permanente de l'évolution de l'accidentalité, de l'exposition et d'autres paramètres importants relatifs aux accidents de vélos électriques. D'accès facile, il devra aussi permettre la publication périodique des résultats.
- Offre de **cours pratiques** spécifiques aux nouveaux utilisateurs de vélos électriques sans expérience du vélo classique. Les transfuges du vélo classique, quant à eux, seront ciblés par des **campagnes**.
- Exploitation des canaux de communication existants pour **sensibiliser** les utilisateurs de vélos électriques aux **particularités** de ce moyen de locomotion, à savoir en particulier le risque accru d'**accidents n'impliquant pas de tiers** et les conséquences d'une vitesse inadaptée, mais aussi le pilotage de ces cycles, leur comportement au freinage, leur fine silhouette, l'anticipation des conflits routiers potentiels, la sous-estimation de leur vitesse par les autres conducteurs de véhicules motorisés ou encore la contribution personnelle des utilisateurs à l'amélioration de leur perceptibilité.
- Sensibilisation, dans le cadre de la formation à la conduite, à une moindre **perceptibilité** et à la **sous-estimation de la vitesse** des véhicules à pédales (prioritaires) aux carrefours, et en particulier aux **giratoires**.
- Examen des **normes VSS** quant aux exigences spécifiques liées au vélo électrique.
- Examen de l'**infrastructure routière** existante, notamment en termes de respect des distances de visibilité minimales à respecter aux carrefours (instrument ISSI «Road Safety Inspection»).
- **Poursuite du développement du casque pour cyclistes motorisés** ou non en vue de l'amélioration de son action protectrice. Encouragement ou soutien des activités de recherche et de leur application.
- Etablissement de **standards de sécurité** plus élevés pour les vélos électriques (allumage automatique des feux, systèmes de freinage adaptés).
- Promotion de la **vente** des **vélos à assistance électrique qui répondent à ces standards de sécurité** (formation du personnel de vente, brochures contenant des recommandations, labels de sécurité).

3. Biciclette elettriche nella circolazione stradale – Analisi di sicurezza

3.1 Introduzione

Negli ultimi anni, sul mercato svizzero il volume di vendita delle bici elettriche ha registrato una crescita notevole. Soltanto tra il 2011 e il 2013 sono state vendute circa 150 000 bici elettriche. Tre quarti di queste erano biciclette elettriche lente con pedalata assistita fino a 25 km/h. In un quarto dei casi si è trattato di bici elettriche veloci con pedalata assistita fino a max. 45 km/h. Sono soprattutto gli anziani a guidare una e-bike. Nel 2014, l'età media dei proprietari era 53,5 anni, in futuro questa dovrebbe tendere a scendere leggermente. Secondo i proprietari stessi di una bici elettrica, questi percorrono ogni anno ben 2600 km.

L'uso di una e-bike comporta sia molti vantaggi (p. es. flessibilità o vantaggi ecologici ed economici) sia alcuni pericoli. Le velocità maggiori rispetto alle bici convenzionali possono comportare degli spazi di frenata più lunghi o far sì che gli altri utenti della strada non valutino correttamente la velocità della bici elettrica. Con l'aumento delle vendite delle e-bike e di conseguenza anche dell'esposizione, tra il 2011 e il 2013 sulle strade svizzere il numero dei feriti gravi o morti è salito di oltre il 70%. Per questo motivo le bici elettriche entrano sempre di più nell'interesse della sicurezza stradale.

Il capitolo **Analisi degli incidenti** è dedicato all'incidentalità sulle strade svizzere dei conducenti di una bici elettrica. L'**Analisi della letteratura** descrive lo stato attuale della ricerca in materia di sicurezza dei conducenti di una e-bike. Il capitolo **Sondaggio tra conducenti** presenta una rilevazione effettuata allo scopo di poter risalire ai diversi fattori psicologici che influenzano il comportamento di guida. Di seguito si illustra un **Esperimento** in cui degli utenti della strada devono valutare la velocità di una e-bike.

3.2 Analisi della letteratura

L'analisi della letteratura offre una panoramica sullo stato attuale della ricerca in merito agli aspetti rilevanti per la sicurezza delle bici elettriche nella circolazione stradale. La letteratura attualmente a disposizione è esigua, visto che si tratta di un campo di ricerca ancora nuovo. I risultati disponibili dovrebbero, inoltre, essere visti sempre nel relativo contesto e in considerazione dell'attuale gruppo di utenti. Diversi Paesi presentano differenze in materia di tipo (p. es. potenza massima permessa) e percentuali dei tipi di e-bike usati, il principale gruppo di utenti presenta attualmente un'età media piuttosto alta.

Da studi sulla **velocità di guida** di conducenti di una bici elettrica nei paesi confinanti emerge che rispetto alle bici conenzionali con le e-bike mediamente si viaggia 1–4 km/h (ovvero 6–23%) più veloci e una percentuale maggiore delle distanze viene coperta a velocità maggiori. Anche la variazione delle velocità risulta più elevata per le corse effettuate in sella a una bici elettrica. Le velocità più alte vengono realizzate specialmente dai conducenti di e-bike veloci e da persone giovani. Nelle situazioni difficili si viaggia generalmente a velocità più basse.

In studi sul **comportamento** (comportamento di guida e cautelativo) dei conducenti di una bici elettrica è emerso chiaramente che le velocità più alte comportano più manovre di sorpasso e interazioni con altri utenti della strada. Attualmente non è ancora chiaro se questo fatto richiede capacità mentali

maggiori. Dal punto di vista delle infrazioni alle regole stradali, tra i conducenti di e-bike e biciclette convenzionali non sono state rilevate differenze. In Svizzera, invece, ci sono differenze notevoli per il tasso d'uso del casco (e-bike 69%, bicicletta 43%).

Dagli studi consultati non sono emerse differenze nella **quantità degli incidenti** tra gli utenti di una bici elettrica e di una bici convenzionale. Fino ad ora però, non si è quasi tenuto conto dei dati relativi all'esposizione (p. es. chilometri percorsi, quantità di percorsi). In uno studio sui conflitti stradali (rilevato tramite riprese effettuate a bordo del veicolo), tra i due tipi di veicoli nemmeno tenendo conto dei chilometri percorsi sono emerse differenze sulla quantità e il tipo delle situazioni critiche.

I lavori di ricerca sulla **gravità delle ferite** sono eterogenee sia dal punto di vista della metodica (p. es. gravità dell'incidente considerata, indicatore per la gravità delle ferite) sia dal punto di vista dei risultati. Sembra che i conducenti di una e-bike presentino un rischio più alto rispetto agli altri ciclisti di subire incidenti che richiedono cure mediche. Gli studi che si occupano solo dei gradi di ferita delle vittime che hanno fatto ricorso a cure mediche invece non trovano differenze significative. Per questo motivo non è possibile trarre una conclusione chiara.

Dall'analisi della letteratura emerge che l'**incidente a veicolo isolato** per i conducenti di una bici elettrica è il **tipo d'incidente** principale. Nella categoria dei conducenti di una bici convenzionale questo tasso è leggermente inferiore. Fino ad oggi non è stato chiarito se questo risultato è attribuibile alle differenze nel veicolo o alla struttura degli utenti. Oltre alla velocità, la frenata erronea o troppo forte potrebbe essere un motivo d'incidente importante per gli incidenti a veicolo isolato dei conducenti di una e-bike.

Eventuali **problemi tecnici** vengono individuati in particolare quando le bici convenzionali vengono dotate a posteriori di motori elettrici, se sono installati determinati freni e concetti di propulsione, con il ritardo allo spegnimento del motore o quando ingrana con ritardo nonché se il peso di motore e batteria è distribuito in modo sbilanciato.

Secondo primi indizi, i conducenti di una e-bike corrono più rischi a causa di una **valutazione erronea di altri utenti della strada** rispetto agli altri ciclisti. In un esperimento è stato possibile mostrare che gli automobilisti che imboccano una strada davanti a una bici elettrica accettano lassi di tempo inferiori rispetto a una bici convenzionale.

3.3 Analisi degli incidenti

I dati globali degli incidenti rilevati dalla polizia sono attualmente la fonte migliore e più dettagliata. Anche se l'analisi dell'incidentalità va insieme a singole limitazioni (numero oscuro, valutazione di determinate caratteristiche degli incidenti sul luogo), è comunque possibile dedurre risultati significativi che vanno però sottoposti a un'analisi accurata:

1. L'aumento degli incidenti gravi con biciclette elettriche dal 2011 fino al 2013 si sviluppa in modo proporzionale all'aumento del parco e-bike.
2. Rispetto agli incidenti con le bici convenzionali, quelli con un'e-bike rilevati dalla polizia sono più gravi. Il motivo principale per questa differenza è però da ricercare meno nel tipo di veicolo che nella struttura dell'età degli utenti: In media i conducenti di una bici elettrica sono più vecchi e

pertanto più vulnerabili dei conducenti di una bicicletta convenzionale.

3. Se i concudenti di una e-bike restano coinvolti in un incidente grave, questo è più frequente negli sbandamenti/incidenti a veicolo unico che nelle collisioni.
4. I conducenti di una bici elettrica sono coinvolti – sia dal punto di vista assoluto sia in rapporto ai conducenti di bici convenzionali – vistosamente spesso senza essere colpevoli in un incidente nelle rotatorie perché i veicoli a motore che si immettono non concedono loro la precedenza.
5. I conducenti di una bici elettrica sono coinvolti – sia dal punto di vista assoluto sia in rapporto ai conducenti di bici convenzionali – vistosamente spesso in un incidente in un nodo. Questi sono dovuti in particolare al fatto che i veicoli a motore provenienti da destra non concedono loro la precedenza.

3.4 Sondaggio d'opinione conducenti di bici elettriche

Il sondaggio perseguiva l'obiettivo di studiare nella categoria dei conducenti di una e-bike in Svizzera, quali **componenti psicologici** sono legati al **comportamento alla guida** e di individuare le relative forme. A tale scopo è stato sviluppato un modello con sette predittori per la previsione del comportamento alla guida (autoriferito). In aggiunta è stato verificato l'influsso di diverse variabili di controllo. Tutte le variabili sono state rilevate mediante questionario.

La supposizione che i conducenti stessi di e-bike giudicano male il fattore di rischio non ha trovato conferma. La maggioranza degli intervistati è consapevole degli spazi di arresto più lunghi e delle velocità più elevate delle e-bike nonché delle possibili valutazioni erronee da parte degli altri utenti della strada. Viene giudicato male piuttosto la frequenza con cui si verificano gli incidenti a veicolo isolato. Essere consapevoli ovvero non consapevoli di questi punti sembra però non avere effetti sul comportamento alla guida.

Nel test modello quattro fattori d'influsso psicologici erano connessi in modo significativo con il comportamento alla guida autoriferito: il senso del pericolo nei confronti della velocità della bici elettrica, l'impressione di essere invulnerabile, la convinzione soggettiva di avere sotto controllo l'e-bike in generale e la velocità (due fattori separati). A prima vista, le direzioni delle connessioni erano in parte sorprendenti. Le persone, per esempio, più consapevoli dei pericoli legati alla velocità indicano di guidare meno prudentemente una e-bike. Chi si crede invulnerabile, guida invece con più prudenza. È dunque presumibile che queste cognizioni sono piuttosto espressione del comportamento mostrato e che non guidano il comportamento.

Con l'età, il sesso, la frequenza d'uso dell'e-bike e le esperienze fatte precedentemente con una bici convenzionale, quattro variabili di controllo si sono rivelate dei predittori significativi per il comportamento alla guida autoriferito. Le donne, le persone di una certa età e coloro che usano meno spesso la bici elettrica o prima di usare l'e-bike sono andati più raramente in bici, indicano di essere più prudenti in sella a una bici elettrica.

3.5 Esperimento

L'esperimento si basa sulle seguenti ipotesi.

- I conducenti di un veicolo a motore che attendono a un incrocio sottovalutano la velocità dei

veicoli a due ruote montate sull'asse longitudinale che sopraggiungono da sinistra.
- Questa sottovalutazione è più marcata se i veicoli che si avvicinano sono delle bici elettriche.
- La valutazione della velocità viene resa ulteriormente difficile se l'apparenza del veicolo a due ruote montate sull'asse longitudinale non lascia presumere intuitivamente una velocità elevata (p. es. e-bike guidate da anziani).

L'esperimento è stato organizzato nel seguente modo: dei soggetti seduti sul margine della carreggiata simulavano un conducente. I soggetti dovevano stimare la velocità dei veicoli a due ruote montate sull'asse longitudinale che sopraggiungevano da sinistra. Velocità, tipo di veicolo nonché età e sesso dei conducenti dei veicoli usati venivano variati.

Dai risultati è emerso che la **velocità** dei veicoli a propulsione umana provenienti da sinistra vengono **sottovalutati** sia in modo **assoluto** sia **paragonati alle motociclette.** Questo metodo tuttavia non ha evidenziato **nessuna differenza tra biciclette convenzionali e e-bike.**

La velocità si è rivelata un fattore d'influenza essenziale. La sottovalutazione era significativamente maggiore a una velocità di 25 km/h e 40 km/h rispetto a una velocità di 15 km/h.

Inoltre, sembra che l'apparenza dei veicoli a due ruote montate sull'asse longitudinale influenzi la stima della velocità.

Infine è emerso che da **posizione rialzata e leggermente arretrata** le velocità vengono **sottovalutate** maggiormente rispetto alle posizioni basse e più vicine al veicolo. I conducenti di un SUV (Sport utility vehicles) dovrebbero, in base a questi risultati, sottovalutare maggiormente le velocità dei veicoli a propulsione umana che sopraggiungono.

3.6 Risultati e conclusioni

Proporzionalmente alle vendite, anche l'incidentalità dei conducenti di una e-bike è aumentata. Per questo motivo le bici elettriche entrano maggiormente nell'interesse della sicurezza stradale. Attualmente non è possibile rispondere alla domanda se con le e-bike il rischio d'incidente è superiore a quello delle bici convenzionali. Manca la necessaria quantità di dati sull'esposizione (chilometri percorsi, durata, quantità delle corse). Se i conducenti di una bici elettrica sono coinvolti in un incidente grave, questo succede spesso in un incidente a veicolo isolato. Questo potrebbe essere dovuto alle velocità più elevate o alle caratteristiche specifiche del veicolo (freni, peso elevato ecc.) ma anche alle caratteristiche dei conducenti (vulnerabilità più elevata dovuta all'età, deficit psicomotori). Sono invece piuttosto da escludere i deficit nell'esperienza di guida o nella percezione dei pericoli. Le collisioni con le e-bike si verificano per la maggior parte nei nodi e nelle rotatorie perché i conducenti dei veicoli a motore non danno la precedenza alle bici elettriche provenienti da sinistra. Le e-bike vengono viste troppo tardi o la loro velocità sottovalutata. Quest'ultimo punto è generalmente il caso per i veicoli a due ruote montate sull'asse longitudinale a propulsione umana, ma si inasprisce con le velocità più elevate. Inoltre, davanti alle e-bike si accettano lassi di tempo inferiori rispetto alle bici convenzionali. Questo fatto potrebbe essere riconducibile alla pedalata apparentemente più lenta e rilassata e alla posizione più rilassata del ciclista in sella al veicolo.

I risultati internazionali sul rischio di ferita dei ciclisti di bici convenzionali e e-bike sono soggetti a variazioni. In Svizzera, i dati sugli incidenti rilevati dalla polizia forniscono indizi sulle conseguenze gravi degli incidenti per i conducenti di una e-bike. In base all'attuale stato delle nozioni, la causa per la gravità degli incidenti più elevata delle e-bike rispetto alle bici convenzionali è riconducibile principalmente alle differenze nell'età degli utenti. I conducenti di una e-bike sono più anziani e dunque più vulnerabili dei ciclisti con bici convenzionale. Se oltre a ciò anche il veicolo (ovvero le sue qualità di guida) gioca un ruolo, attualmente non può essere valutato definitivamente.

Per prevenire gli incidenti con le e-bike si raccomandano particolarmente le seguenti misure.

- **Analisi approfondita** di incidenti di e-bike con interesse particolare focalizzato sugli **incidenti a veicolo isolato** gravi. Attualmente le nozioni relative a questo tipo d'incidente con e-bike sono ancora scarse. Nozioni nuove in materia sono da considerare nella realizzazione di corsi di guida e campagne.
- Struttura e gestione di un **monitoring** per l'analisi permanente dello sviluppo dell'incidentalità, dell'esposizione e di ulteriori parametri rilevanti per gli incidenti delle e-bike. Vanno garantite la pubblicazione periodica e l'accesso semplice.
- Per i principianti senza esperienze con una bicicletta convenzionale bisogna offrire specifici **corsi per guidare una e-bike**, per chi passa dalla bici convenzionale a quella elettrica bisogna realizzare delle **campagne**.
- Usare canali esistenti per **sensibilizzare** i conducenti delle bici elettriche nei confronti delle **particolarità** dell'e-bike. Questo comprende in particolare il pericolo elevato degli **incidenti a veicolo unico** e le conseguenze delle velocità inadeguate, ma anche il maneggiamento, il comportamento alla frenata, la sagoma esile, l'anticipazione di possibili conflitti, la sottovalutazione della velocità da parte dei conducenti di veicoli a motore, il contributo proprio per migliorare la propria visibilità.
- Nell'istruzione alla guida sensibilizzare i conducenti dei veicoli a motore nei confronti della **visibilità** ridotta nonché della **sottovalutazione della velocità** dei veicoli a propulsione umana (con diritto di precedenza) nei nodi e in particolare nelle **aree con percorso rotatorio**.
- Verifica delle **norme VSS** in materia dei requisiti specifici delle bici elettriche.
- Verifica dell'**infrastruttura stradale** esistente in particolare in materia delle distanze di visibilità minimali da rispettare nei nodi (strumento ISSI «Road Safety Inspection»).
- **Continuare a sviluppare** le caratteristiche protettive dei **caschi per ciclisti (bici convenzionali e e-bike)**. Le relative attività di ricerca e realizzazione vanno stimolate ovvero sostenute.
- Promozione dello **sviluppo** di standard più alti per le e-bike (accensione automatica delle luci, sistemi di frenata adeguati).
- Promozione della **vendita** di **e-bike con standard di sicurezza elevato** (formazione personale di vendità, opuscoli con raccomandazioni, marchi di sicurezza).

4. E-bikes in road traffic – a safety analysis

4.1 Introduction

The Swiss market for e-bikes has grown considerably in recent years, with some 150,000 e-bikes sold between 2011 and 2013 alone. Three quarters of these were slow e-bikes with pedal assistance up to 25 kph; a quarter were faster e-bikes with pedal assistance up to 45 kph. Older people are the principal users of e-bikes. In 2014, the average owner age was 53.5 years, although this is expected to drop slightly in the future. According to self-reported data, e-bike owners use their vehicles to travel around 2600 km per year.

Although e-bike riding offers many advantages such as flexibility and ecological and economic benefits, it also poses some dangers. Higher speeds in comparison with bicycles can result in longer braking distances or errors of judgement by other road users. The rise in e-bike sales and their exposure has coincided with a more than 70 % increase in the number of seriously or fatally injured e-bike riders on Swiss roads between 2011 and 2013. E-bikes are therefore increasingly becoming an issue for road safety.

The chapter **Accident analysis** describes the accident occurrence among e-bike riders on Swiss roads. The chapter **Literature review** shows the current state of research on e-bike rider safety. The chapter **Rider survey** introduces a survey exploring a variety of psychological factors influencing riding behaviour, followed by an **experiment** to determine how other road users estimate e-bike speeds.

4.2 Literature review

The literature review provides an overview of the current state of research on e-bikes and road safety. Since this is a new area of research, there is little scientific literature yet available. Moreover, the available findings should always be regarded in the context and against the background of the current user group. Some countries differ with respect to the kind (e.g. permitted maximum performance) and shares of the e-bike types used, and the main user group currently presents a rather high average age.

Studies on e-bike **riding speeds** in the neighbouring countries show that on average, e-bikes travel 1-4 kph (6-23 %) faster and a greater proportion of distances at higher speeds than bicycles. The speed variations observed in e-bike journeys are also larger. Faster speeds are observed mainly among fast e-bike types and younger riders. Riders tend to travel at slower speeds in challenging situations.

Studies on **behaviour** (riding and protective behaviour) have unequivocally shown that higher speeds lead to increased overtaking and more interactions with other road users. Whether this also increases the mental demands on the rider is not yet clear. No discrepancies were observed between e-bike and bicycle riders in terms of non-compliance with traffic regulations. The helmet-wearing rate in Switzerland however differs significantly (e-bike 69 %, bicycle 43 %).

Consulted studies demonstrated no difference in **accident frequency** between e-bike and bicycle users. Exposure-related data (e.g. performance, number of journeys) has remained largely disregarded to date. A study on conflict situations (data gathered

by video) found no disparities between the two kinds of vehicle in the number and type of critical situation, even when their performance was taken into account.

Research on **injury severity** – both in regards to the methodology (e.g. the considered accident severity, indicator of accident severity) and in regards to results – is not homogenous. When compared with cyclists, e-bike riders appear to be at greater risk of sustaining injuries requiring medical treatment. However, studies comparing only the degree of injury among casualties receiving medical treatment show no significant differences. Therefore no decisive conclusion can be drawn at the present time.

The literature review shows that **single-vehicle accidents** are the most significant **accident type** among e-bike riders. This accident type is observed somewhat less frequently among cyclists. It is so far unclear whether this finding is attributable to the differences in vehicle type or the user structure. In addition to speed, incorrect or heavy braking is probably a significant factor in single-vehicle accidents among e-bike riders.

Possible **technical problems** focus in particular on the retrofitting of conventional bicycles, specific braking and propulsion concepts, coasting and delayed start of the motor and an uneven weight distribution of the motor and battery.

Preliminary evidence suggests that e-bike riders are more vulnerable than cyclists to **errors of judgement by other road users.** One experiment demonstrated that motorists allow e-bikes shorter time gaps than bicycles to merge into the traffic flow.

4.3 Accident analysis

The overall set of data for police-reported accidents is currently the most reliable and detailed data source available. Although the accident analysis is subject to individual limitations (unreported incidents, on-scene assessment of certain accident characteristics), significant findings – which should to be examined in more detail – have emerged:

1. The rise in serious e-bike accidents between 2011 and 2013 correlates proportionally with the rise in the number of e-bikes on the road.
2. Police-reported accidents involving e-bikes are more serious than those involving bicycles. The main reason for this lies however in the age structure of the users rather than the vehicle type: e-bike riders are on average older and therefore more vulnerable than cyclists.
3. Serious accidents among e-bike riders are more often single-vehicle/skid-related than collision-related accidents.
4. In both absolute terms and in comparison with cyclists, e-bike riders have noticeably more not-at-fault accidents in roundabouts because merging motor vehicles fail to yield right of way.
5. In both absolute terms and in comparison with cyclists, e-bike riders have noticeably more not-at-fault accidents at intersections because motor vehicles merging from the right fail to yield right of way.

4.4 Rider survey

The objective of the survey conducted among e-bike riders in Switzerland was to determine the **psychological components** associated with **riding behaviour** and their respective characteristics. To this end, a model was developed with seven predictors for (self-reported) riding behaviour. The influence of

a number of control variables was also examined. All variables were recorded by questionnaire.

The assumption that e-bike riders themselves misjudge the risk factor of speed could not be confirmed. The majority of respondents are aware of the longer stopping distances and faster speeds of e-bikes and the potential for errors of judgement by other road users. The occurrence rate of single-vehicle accidents is somewhat misjudged. This knowledge, or lack of knowledge, does not appear to affect road behaviour.

Four psychological factors were significantly associated with self-reported riding behaviour: risk perception regarding e-bike speed as a risk, the feeling of being invulnerable and the subjective conviction of having the e-bike (in general) and its speed under control (as two separate factors). The directions of these associations were, at first glance, surprising in part – e-bike riders who are more aware of the speed risks report that they ride less carefully. Those who feel invulnerable, on the other hand, are more safety-oriented riders. It can therefore be assumed that these cognitions are more likely to be reflecting the displayed behaviour rather than controlling it.

Age, gender, frequency of e-bike use and previous riding experience on conventional bicycles – these four control variables were found to be significant predictors for self-reported riding behaviour. Women, older people, occasional e-bike riders and those with less cycling experience prior to their e-bike use report that they ride more carefully.

4.5 Experiment

The following hypotheses formed the basis of the experiment:

- Motorists waiting at intersections underestimate the speed of single-track vehicles approaching from the left.
- This error of judgement is more pronounced when the approaching vehicle is an e-bike.
- Estimating speed becomes more difficult when the appearance of the approaching vehicle does not intuitively suggest a fast speed (e.g. elderly e-bike riders).

The experiment was designed as follows: Subjects sitting by the roadside simulated motorists. The subjects had to estimate the speeds of single-track vehicles approaching from the left. Speed, vehicle type, rider age and gender were varied during the experiment.

Results showed that the **speed** of pedal vehicles approaching from the left was **underestimated,** both in **absolute** terms as well as in **comparison with motorcycles.** This method however detected **no difference between bicycles and e-bikes.**

Speed proved to be a significant factor. The underestimation of speeds between 25 and 40 kph was significantly greater than at 15 kph.

The appearance of the single-track vehicle also seems to have an impact on speed assessment.

And finally it was found that speeds are more often **underestimated** from an **elevated and slightly set back position** than from a lower, closer position, which suggests that SUV (sport utility vehicle) drivers are more prone to underestimating the speed of an approaching pedal vehicle.

4.6 Results and conclusion

The accident occurrence has risen in proportion to the number of e-bikes on the road. E-bikes are therefore increasingly becoming an issue for road safety. The question whether the accident risk of e-bikes is higher than that of bicycles cannot be conclusively answered at present. There is a lack of suitable exposure data (performance, duration, number of journeys) available. Serious accidents among e-bike riders are often single-vehicle accidents. This could be due to higher speeds or specific vehicle characteristics (brakes, heavy weight etc.) but also to be influenced by user characteristics (age-related increased vulnerability, psychomotor deficits). Lack of e-bike riding experience or risk awareness can largely be ruled out. Collisions involving e-bikes occur predominantly at intersections and roundabouts when motorists fail to yield right of way to e-bikes approaching from the left. E-bikes are either recognised too late or their speeds underestimated. The latter is generally the case in single-track vehicles and exacerbated at higher speeds. Moreover, motorists allow e-bikes shorter time gaps than bicycles to merge into the traffic flow. This could be due to e-bike riders' slower and seemingly more effortless pedal movements and relaxed posture.

International findings on the risk of injury to cyclists and e-bike riders vary. Swiss police-recorded accident data suggests more severe injury consequences for e-bike riders. According to the current state of knowledge, the cause of the higher accident severity in e-bikes compared with bicycles is mainly due to the age difference observed between the user groups. E-bike riders are older and therefore more vulnerable than bicycle riders. Whether the vehicle (or rather its handling characteristics) plays a part cannot be conclusively determined at present.

In order to help prevent e-bike accidents, the following measures are particularly recommended:

- **In-depth analyses** of e-bike accidents, paying particular attention to serious **single-vehicle accidents**. Research findings on this type of e-bike accident are still scarce. Corresponding new findings should be taken into account when designing concepts for riding courses and campaigns.
- Launching and running a **monitoring programme** providing an on-going analysis of the development of accident occurrence, exposure and other e-bike-relevant parameters. Periodic publication and ease of accessibility must be ensured.
- New e-bike riders without prior experience riding conventional bicycles should be offered **e-bike-specific riding courses;** those with prior cycling experience should be targeted via campaigns.
- Using existing channels to **raise awareness** with regards to the **distinct features** of e-bikes. These include in particular a heightened risk of **single-vehicle accidents,** the consequences of inappropriate speed, vehicle handling, braking behaviour, the slim silhouette, anticipation of potential conflicts, underestimation of speed by motorists as well as riders' own contribution to enhancing their visibility.
- Raising awareness in driver training concerning limited **visibility** as well as **underestimation of speed** in pedal vehicles (with right of way) at intersections, with particular emphasis on **roundabouts**.
- Reviewing the **VSS norms** with regards to the specific requirements of e-bikes.
- Reviewing the existing **road infrastructure**, especially with regards to the applicable minimum visibility distances at intersections (ISSI instrument «Road Safety Inspection»).

- **Further development** of the protective properties of bicycle and **e-bike helmets**. Relevant research and implementation activities should be initiated and supported.
- Encouraging the **development** of higher e-bike safety standards (automatic light activation, adequate braking systems).
- Encouraging the **sale** of **e-bikes with high safety standards** (educating sales personnel, brochures with recommendations, safety labels).

III. Einleitung

1. Ausgangslage

Seit einigen Jahren wird das E-Bike als Fortbewegungsmittel zunehmend beliebter. Neben den Vorteilen, die auch konventionelle Fahrräder bieten (Flexibilität, Zeitersparnis auf kurze Distanzen, ökologische und ökonomische Vorteile), ist es mit E-Bikes möglich, ohne grosse Anstrengung höhere Geschwindigkeiten und längere Distanzen zu fahren. Doch E-Bike fahren birgt auch Gefahren. Die im Vergleich zu Rad fahren höheren Geschwindigkeiten können zu längeren Bremswegen oder Fehleinschätzungen durch andere Verkehrsteilnehmer führen. Mit dem Anstieg der E-Bike-Verkaufszahlen und somit auch der Exposition ist die Anzahl der schwer verletzten oder getöteten E-Bike-Fahrer auf Schweizer Strassen von 2011 bis 2013 um mehr als 70 % angestiegen. Deshalb werden E-Bikes immer mehr zum Thema für die Verkehrssicherheit. Die Forschung steht zurzeit aber erst am Anfang. So ist beispielsweise noch ungeklärt, ob E-Bike-Fahrer im Vergleich zu Radfahrern ein höheres Unfall- und Verletzungsrisiko aufweisen. Ziel des vorliegenden Berichts ist es deshalb, einen wesentlichen Beitrag zur Beantwortung dieser Fragestellung zu leisten. Verwendet werden verschiedene Methoden und Datenquellen. Konkret sind dies eine Unfall- und Literaturanalyse, eine Lenkerbefragung und ein Experiment zur Geschwindigkeitseinschätzung.

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 V folgt der erste empirische Teil mit einer **Analyse des Unfallgeschehens** von E-Bikes auf Schweizer Strassen. Dabei werden insbesondere die Entwicklung sowie auffällige Merkmale des Unfallgeschehens deskriptiv dargestellt. Aus der Analyse lassen sich Hypothesen generieren, woraus sich wiederum die Teilarbeiten «Lenkerbefragung» (Kap. VI) und «Experiment Geschwindigkeitseinschätzung» (Kapitel VII) ableiten lassen.

In einer **Literaturanalyse** (Kap. IV) wird der aktuelle Forschungsstand zur Sicherheit von E-Bike-Fahrern aufgezeigt. Anhand verschiedener Themen wie der Fahrgeschwindigkeit oder der Verletzungsschwere werden erste Antworten auf die Frage eines möglicherweise erhöhten Unfallrisikos von E-Bike-Fahrern gesucht.

Die Tatsache, dass die meisten schweren Personenschäden von E-Bike-Fahrern bei Alleinunfällen registriert werden, wirft die Frage auf, ob E-Bike-Fahrer den Risikofaktor Geschwindigkeit verkennen. Um dies und weitere Einflussfaktoren für das Fahrverhalten zu eruieren, wurde eine **Lenkerbefragung** durchgeführt. Sie wird in Kapitel 0 vorgestellt.

Da der Anteil schwerer Kollisionen von E-Bikes mit anderen Fahrzeugen ebenfalls erheblich ist, wird vielfach vermutet, dass andere Verkehrsteilnehmer die Geschwindigkeit von E-Bike-Fahrern unterschätzen. In Kapitel VII wird ein **Experiment** präsentiert, mit dem diese These geprüft wurde.

Aufbauend auf diesen vier Analysen werden am Ende dieses Berichts **Schlussfolgerungen** gezogen und **Präventionsmassnahmen** abgeleitet (Kap. VIII).

3. Begriffserklärungen

E-Bikes sind fahrradähnliche Fahrzeuge. Sie sind einspurig und werden mittels Tretpedalen fortbewegt. Dabei werden die Lenker von einem Elektromotor unterstützt, der in der Regel durch die Tretbewegung selbst aktiviert wird. Diese Tretunterstützung wirkt bis zu einer gewissen Geschwindigkeit. Darüber setzt die Tretunterstützung aus, sodass höhere Geschwindigkeiten ausschliesslich mit Muskelkraft erzielt werden könnten (was in der Regel nicht oder nur mit ausserordentlichem Krafteinsatz möglich ist). Gewisse Modelle verfügen zudem über einen Drehgriff, mit welchem sich das E-Bike bis zu einer gewissen Geschwindigkeit auch ohne in die Pedale zu treten fahren lässt. In der Regel ist diese Vorrichtung als Anfahrtshilfe gedacht und ermöglicht nur tiefe Geschwindigkeiten (oft 6 km/h).

Je nach Höchstgeschwindigkeit der Tretunterstützung wird in der Schweiz umgangssprachlich von «schnellen und langsamen» E-Bikes gesprochen. Im deutschen Sprachraum haben sich jedoch weitere Begriffe etabliert. Dabei irritiert, dass diese nicht in jedem Land dieselbe Bedeutung haben. In Deutschland werden sowohl die Begriffe «E-Bike» als auch der Begriff «Pedelec» verwendet. Der Unterschied zwischen diesen beiden Begriffen bezieht sich auf die Art der Geschwindigkeits-Regulierung: «Pedelecs» können ausschliesslich durch Pedalieren fortbewegt werden, «E-Bikes» zusätzlich über einen Drehgriff. «Schnelle» Pedelecs 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 «Motorfahrrad» (Mofa).

Die in der Schweiz allgemein als **«schnell»** bezeichneten E-Bikes gehören zu den Mofas des Typs a). Es sind dies «... einplätzige, einspurige Fahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit[1] bis 30 km/h, höchstens 1 kW Motorleistung und ... einem Elektromotor, der bei einer allfälligen Tretunterstützung bis höchstens 45 km/h wirkt».

Die in der Schweiz landläufig als **«langsam»** bezeichneten E-Bikes gehören zu den so genannten Leicht-Motorfahrrädern und sind demnach Mofas des Typs b). Es sind dies «Fahrzeuge mit einem Elektromotor von höchstens 0,50 kW Motorleistung, einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 20 km/h und einer allfälligen Tretunterstützung, die bis höchstens 25 km/h wirkt, ... ».

Einspurige Fahrzeuge, die selbst bei 45 km/h keine Abschaltung der Tretunterstützung besitzen und über mehr als 1000 Watt Motorenunterstützung verfügen, gelten als Kleinmotorräder.

[1] Die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit ist diejenige Höchstgeschwindigkeit, die ein Fahrzeug ohne weitere Hilfsmittel erreichen kann.

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

5. E-Bike-Fahren in der Schweiz

In der Schweiz datieren die ersten Versuche, Fahrräder mit einer Tretunterstützung zu versehen, aus den 1990er Jahren. Doch sie zeitigten keinen durchschlagenden Erfolg. Leichtere Akkumulatoren, grössere Reichweiten und modernere Designs führten dazu, dass die Verkaufszahlen ab ca. 2005 sprunghaft anstiegen. Sie verdoppelten sich jährlich bis zum Jahre 2010 und pendeln seither um den Wert von rund 50 000 pro Jahr (Abbildung 1). Alleine von 2011 bis 2013 wurden somit über 150 000 E-Bikes verkauft. Drei Viertel davon waren langsame E-Bikes mit Tretunterstützung bis 25 km/h. Bei einem Viertel handelte es sich um schnelle E-Bikes mit Tretunterstützung bis max. 45 km/h [1]. Vor dem Jahr 2011 wurde in der Statistik noch nicht zwischen schnellen und langsamen E-Bikes unterschieden.

Basierend auf diesen Verkaufszahlen sowie auf Hochrechnungen aufgrund der Angaben im letzten Mikrozensus (2010) wird geschätzt, dass sich der **Bestand** der E-Bikes in der Schweiz Ende 2013 auf rund 233 000 belaufen hat [2]. Bezogen auf die Haushalte sind nur Angaben aus dem Jahr 2010 vorhanden. Damals stand in rund 2 % der Schweizer Haushalte ein E-Bike zur Verfügung [3]. Wie die Verkaufszahlen zeigen, dürfte dieser Anteil inzwischen angestiegen sein.

E-Bikes werden vor allem von Kunden im mittleren Alter erworben. Das **Durchschnittsalter** der E-Bike-Besitzer im Jahr 2014 lag bei 53,5 Jahren. Es dürfte sich in Zukunft aber etwas nach unten verschieben. Dies zeigt sich bei Betrachtung des Durchschnittsalters beim Kauf des E-Bikes. Zwischen 2005 und 2012 lag es noch bei 51 Jahren, 2013/2014 bei 47 Jahren [2].

Gemäss einer schweizweiten Online-Befragung scheinen etwas mehr **Männer** als **Frauen** E-Bike zu fahren (54 % vs. 46 %) [2]. Eine Erhebung im Kanton Basel-Stadt ergab für den Zeitraum von 2003 bis 2011 hingegen etwa den gleichen Anteil Männer

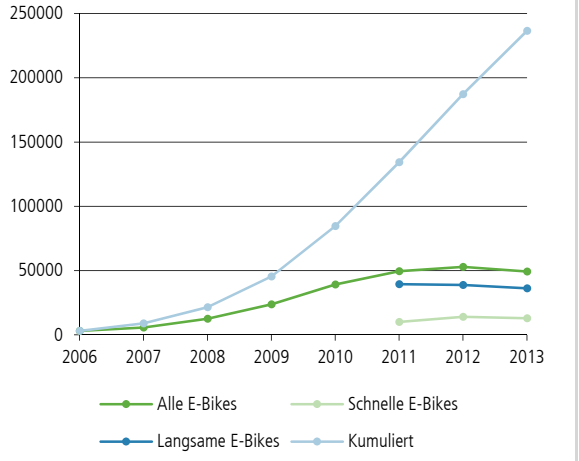
Tabelle 1
Ausgewählte Vorschriften für langsame und schnelle E-Bikes

Tretunterstützung bis 45 km/h (schnelle E-Bikes)	Tretunterstützung bis 25 km/h (langsame E-Bikes)
Motorleistung max. 1 000 Watt	Motorleistung max. 500 Watt
Velohelm gemäss Norm EN 1078 obligatorisch[1] (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 Motorfahrräder nur mit abgeschaltetem Motor	Durchfahrt bei Verbot für Motorfahrräder gestattet

[1] Die Bestimmungen zu Helmobligatorium und Kinderanhänger gelten seit 1. Juli 2012, die restlichen Regelungen seit 1. Mai 2012.

Quelle: bfu, div. Publikationen

Abbildung 1
Anzahl verkaufte E-Bikes in der Schweiz, 2006–2013



Quelle: velosuisse, 2014 (Jahresstatistiken)

und Frauen (50,4 % vs. 49,6 %) [4]. Beide Erhebungen zeigen, dass die E-Bike-Käufer ein etwas höheres Bildungsniveau und ein höheres Einkommensniveau aufweisen als der schweizerische Durchschnitt [2];[4]. Der Grossteil der E-Bike-Besitzer ist arbeitstätig. Die Rentner machen jedoch einen bedeutsamen Anteil aus. Je nach Erhebung beträgt dieser zwischen 20 und 25 % [2,4].

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 Online-Studie stellt das E-Bike das wichtigste oder das zweitwichtigste Verkehrsmittel im Rahmen der Alltagsmobilität dar. Rund 70 % nutzen bzw. besitzen neben dem E-Bike mindestens ein weiteres Fahrrad. Personen unter 65 Jahren verwenden das E-Bike am häufigsten für den Arbeitsweg. Bei den über 65-Jährigen stehen Fahrradtouren im Vordergrund [2].

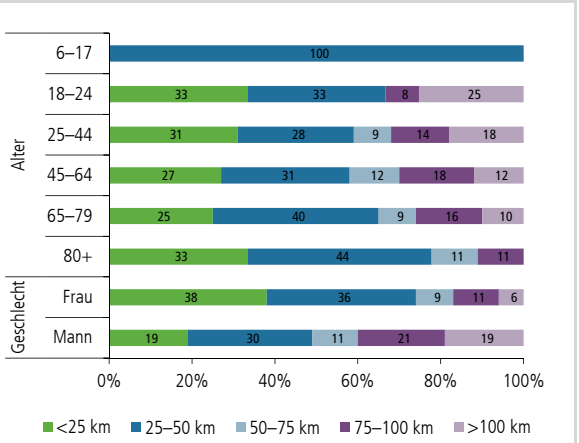
Nach eigener Angabe legen E-Bike-Besitzer mit ihrem Gefährt im Durchschnitt **rund 2600 km pro Jahr** zurück. Zum grössten Teil handelt es sich hierbei um Verlagerungsbewegungen, v. a. vom Auto (durchschnittlich knapp 1000 km pro Person), vom ÖV (570 km) und vom konventionellen Fahrrad (420 km). Etwa 400 km sind neu generierter Verkehr (z. B. zusätzliche Fahrradtouren die vor dem E-Bike-Kauf nicht unternommen wurden) [2].

Die zurückgelegten Distanzen variieren in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht. Ältere Personen und Frauen legen im wöchentlichen Durchschnitt kürzere Distanzen zurück als jüngere Personen bzw. Männer. Die Ergebnisse einer Nutzer-Befragung sind in Abbildung 2 dargestellt. Über die gesamte Stichprobe hinweg gaben die meisten Personen an, bei schönem Wetter pro Woche bis zu 50 km mit dem E-Bike zu fahren. Längere Distanzen waren seltener. Rund 13 % der Befragten legten jedoch wöchentliche Wegstrecken von über 100 km zurück. Mit dem E-Bike werden längere Arbeitswege bewältigt als mit dem Fahrrad. Bei Ersterem dürfte der Mittelwert bei ca. 3 km liegen, beim E-Bike bei 8–9 km [2].

6. Vergleich Schweiz–Deutschland–Österreich

Auch in Deutschland und Österreich erleben E-Bikes – bzw. Pedelecs, wie die mit den schweizerischen E-Bikes vergleichbaren Modelle (mit Tretunterstützung) genannt werden – einen Boom. Nach Angaben des deutschen Zweirad-Industrie-Verbands (ZIV) betrug der **Marktanteil** aller Elektroräder über alle verkauften (Fahr)räder hinweg im Jahr 2012 ca. 10 %. Bei ungefähr 95 % dieser Elektroräder handle es sich um Pedelecs mit Tretunterstützung bis 25 km/h [5,6]. In Österreich liegt der Marktanteil der E-Bikes in einem ähnlichen Bereich. 2013 war jedes neunte verkaufte Fahrrad ein E-Bike [7]. In einer

Abbildung 2
Verteilung der durchschnittlich pro Woche zurückgelegten Distanzen nach Altersgruppe und Geschlecht



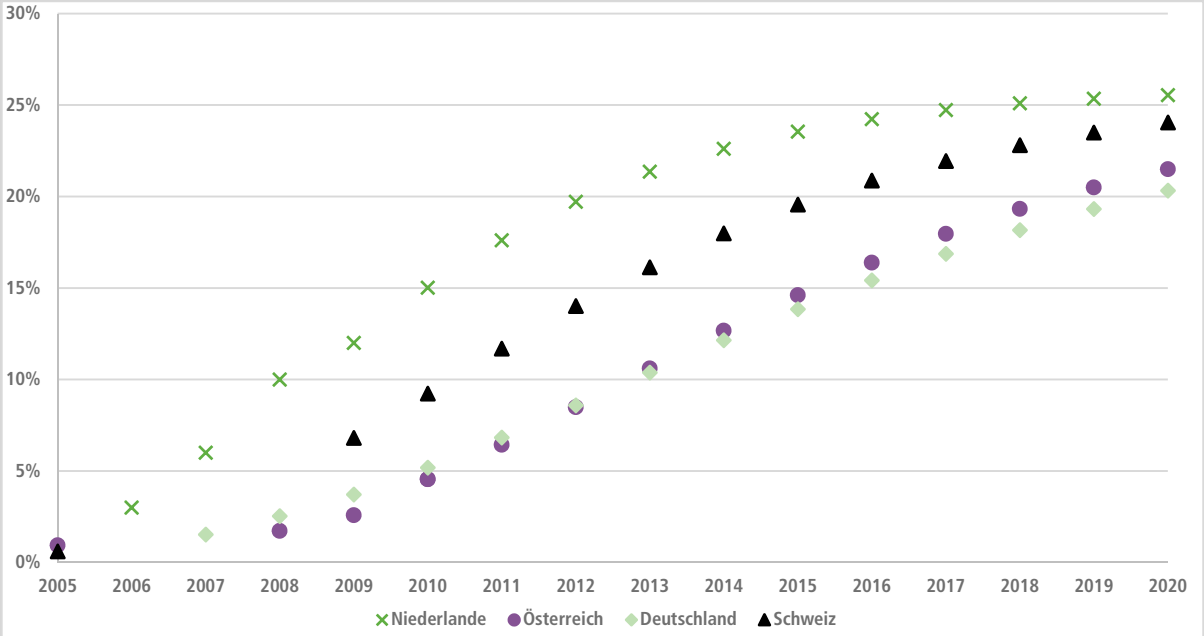
Quelle: [2, S. 72]

Analyse zur Entwicklung des E-Bike-Markts prognostiziert Jellinek die Märkte in Deutschland, Österreich, der Schweiz und den Niederlanden [8]. Die Prognose ist in Abbildung 3 dargestellt. Folgende Erkenntnisse lassen sich daraus entnehmen:

1. Der Anteil verkaufter E-Bikes an allen Fahrrädern ist in der Schweiz etwas höher als in Deutschland und Österreich.
2. In diesen drei Ländern dürfte der Anteil weiter ansteigen, allerdings etwas flacher als bis anhin.
3. Entwickelt sich der Markt ähnlich wie in den Niederlanden, wird in näherer Zukunft eine gewisse Sättigung erreicht werden.

Sowohl in Deutschland wie in Österreich werden E-Bikes aktuell ebenfalls vorwiegend von **Personen mittleren und höheren Alters** gefahren. Der Trend scheint aber auch da in Richtung jüngerer Kunden zu gehen [8-11]. **Bedeutsame Unterschiede** zwischen der Schweiz, Deutschland und Österreich liegen in der Art der gefahrenen E-Bikes. Dazu gehören die Leistung und der Anteil an schnellen E-Bikes. In der Schweiz 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 (Pedelec 45) darf die Leistung in der Schweiz 1000 Watt nicht übersteigen; in Deutschland 500 Watt [8,12]. In Österreich bestanden bei Herstellern und Händlern bis vor kurzem Unklarheiten über die rechtlichen Vorgaben hinsichtlich schneller E-Bikes (bzgl. Genehmigungsdatenbank und -nachweise), so dass infolge falscher Vorgehensweise keine Typengenehmigungen erteilt wurden. Sie wurden zwar verkauft, durften ohne Zulassung auf den Strassen aber eigentlich nicht betrieben werden [8,13]. Der Marktanteil für Pedelecs 45 liegt in Deutschland nach Angaben des Zweirad-Industrie-Verbands (ZIV) zurzeit nur bei 2 bis 3 % [14], in der Schweiz hingegen bei ca. 25 % [1]. Der Anteil an Pedelecs 45 in Österreich

Abbildung 3
Prognose des Anteils der E-Bikes am Fahrradmarkt, Ländervergleich Niederlande/Österreich/Deutschland/Schweiz



Quelle: [8, S. 32], Darstellung bfu

konnte nicht eruiert werden. In einer Händlerbefragung 2013 gab rund die Hälfte an, schnelle Pedelecs im Sortiment zu haben. Davon meinten etwa 40 %, die Nachfrage sei mittel bis hoch [8].

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 Nachbarsländern mit anderen Zulassungsbedingungen auf die Schweiz übertragen werden möchten.

IV. Literaturanalyse (A. Uhr)

1. Einleitung

Mit zunehmender Verbreitung und steigenden Unfallzahlen (Kap. V) werden E-Bikes immer mehr zum Thema für die Verkehrssicherheit. Die Forschung steht zurzeit aber erst am Anfang. So ist beispielsweise noch ungeklärt, ob E-Bike-Fahrer im Vergleich zum Fahrradfahrern ein höheres Unfall- und Verletzungsrisiko aufweisen. Experten vermuten dies und weisen auf längere Bremswege [15], höhere psychomotorische Anforderungen [6,9,15] und Fehleinschätzungen durch andere Verkehrsteilnehmer [9,10,15] hin. Auch höhere Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen E-Bikes und Fahrrädern [6,10,16] sowie die trotz hohen Fahrgeschwindigkeiten fehlende akustische Wahrnehmbarkeit der nahezu geräuschlosen E-Bikes für Fussgänger und Fahrradfahrer [15,16] werden als Risikofaktoren vermutet. In Bezug auf das Fahrzeug werden zudem Unterschiede in der Fahrdynamik zwischen konventionellen Fahrrädern und E-Bikes sowie technische Probleme diskutiert [17].

Ob diese Befürchtungen tatsächlich zutreffen, ist Gegenstand dieser Literaturanalyse. **Ziel** ist es, einen Überblick über den aktuellen Stand der Forschung zu den sicherheitsrelevanten Aspekten von E-Bikes zu schaffen und allfällige Forschungslücken aufzuzeigen.

2. Vorgehen

Für die Literaturrecherche wurde auf verschiedene Datenbanken (TRANSPORT, PubMed), Suchmaschinen und wissenschaftliche Journals zurückgegriffen. Berücksichtigt wurde nur deutsch- und englischsprachige Literatur. Es wurden 36 wissenschaftliche Artikel gefunden, die sich mit der **Sicherheit von E-Bikes** beschäftigen. Die eher geringe Anzahl verdeutlicht, dass zurzeit noch relativ wenige Daten verfügbar sind. Die Themenpalette ist dafür erfreulich breit und reicht von Untersuchungen zum Verhalten über Unfallursachen bis zur Verletzungsschwere.

Ein grösserer Teil der gefundenen Studien stammt aus China. Bereits im Jahr 2005 waren in China 20–22 Mio. E-Bikes unterwegs, 2011 waren über 120 Mio. E-Bikes registriert [18,19]. Deren Sicherheit wird dementsprechend schon lange diskutiert und erforscht, so dass es für andere Länder lohnend sein könnte, Chinas Erfahrungen zu nutzen. Leider unterscheiden sich die E-Bike-Typen, die Nutzergruppe, deren Verhalten und die Infrastruktur sehr deutlich von der Schweiz. Aus diesem Grund wird die Literatur aus China in einem Exkurs behandelt. Anschliessend werden die Erkenntnisse der restlichen internationalen Forschungslandschaft zu den Sicherheitsaspekten von E-Bikes dargestellt. Den Abschluss bilden Fazit und Schlussfolgerungen.

Da sich verschiedene Länder in Bezug auf Art (z. B. erlaubte Höchstleistung) und Anteile der verwendeten E-Bike-Typen unterscheiden (Kap. III.6), sollten die **Erkenntnisse immer im jeweiligen Kontext** gesehen und nur unter Vorbehalt auf andere Länder transferiert werden. Des Weiteren gilt es zu beachten, dass E-Bikes nach wie vor ein neueres Phänomen sind. Es ist mit einem weiteren Anstieg der Verkaufszahlen, weiter entwickelten Modellen und

möglicherweise günstigeren Preisen zu rechnen. Dadurch könnte sich die Nutzer-Gruppe in Zukunft verändern, z. B. jünger werden. Aus diesem Grund sollte ebenfalls Vorsicht gewahrt werden, wenn es darum geht, Befunde aus früheren Jahren auf die Zukunft zu übertragen.

3. Exkurs China

Unter den Begriff E-Bike fallen in China sowohl Fahrzeuge im Stile eines Fahrrads wie auch eines Kleinmotorrads (Roller). Letztere werden vollständig durch elektrische Energie angetrieben und sind sehr beliebt. Chinesische Studien zur Verkehrssicherheit umfassen in der Regel beide Fahrzeugtypen. Bisher wurden v. a. die Themen Geschwindigkeit, riskantes Verhalten sowie Unfallgeschehen untersucht.

Mit der zunehmenden Popularität von E-Bikes ist auch in China die **Anzahl der verletzten oder getöteten Fahrer** stark angestiegen. Die Angaben über deren Alter variieren. In der Provinzhauptstadt Hangzhou waren 58 % der Getöteten unter 30 Jahre alt [20], in Shanghai lag der Median (Wert in der Mitte der Verteilung) bei 58 Jahren [21].

Obwohl in China für E-Bikes eine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h gilt, werden bei bis zu 80 % der Fahrer **höhere Geschwindigkeiten** gemessen. Viele Hersteller halten die nationalen Standards nicht ein oder bauen Geschwindigkeitsbegrenzer ein, die sehr einfach entfernt werden können [22]. Eine Vielzahl der E-Bike-Fahrer scheint zudem die vorgeschriebene Höchstgeschwindigkeit nicht zu kennen und vermutet eine viel höhere Limite als die gesetzlich vorgeschriebene [23]. Aufgrund der vielen E-Bikes im Kleinmotorrad-Stil, der illegalen Möglichkeit für relativ hohe Geschwindigkeiten und eher langsamen Geschwindigkeiten von Fahrradfahrern sind die prozentualen **Geschwindigkeitsdifferenzen** zwischen konventionellen Fahrrädern und E-Bikes in China mit ca. 30–45 % [23,24] deutlich grösser als im deutschsprachigen Raum.

Riskantes Fahrverhalten wird von chinesischen Forschern meistens an Kreuzungen untersucht. Dabei zeigt sich, dass es vielen E-Bike-Fahrern an sicherheitsorientiertem Verhalten fehlt. Fahren bei Rot, mit Passagier, in der Spur für Motorfahrzeuge oder in die falsche Richtung sind häufige Verhaltensweisen [22,25,26]. Im Vergleich zu Fahrradfahrern sind E-Bike-Fahrer an signalisierten Kreuzungen häufiger in **Konflikte** involviert und verursachen diese auch öfter selber (13 % vs. 9 %). Letzteres geschieht am häufigsten infolge von Rotlichtmissachtung, was damit zusammenhängen könnte, dass E-Bike-Fahrer glauben, eine Kreuzung in kurzer Zeit queren zu können [27]. Regelübertretungen werden von der Polizei kaum geahndet, da zum einen das Ausmass sehr gross ist und zum anderen die Gewährleistung des Verkehrsflusses priorisiert wird [18].

Als **Einflussfaktoren für riskantes Verhalten** an Kreuzungen und für die **Unfallbeteiligung** wurden die Einstellung der E-Bike-Fahrer gegenüber sicherem Verhalten, ihre Risikowahrnehmung und ihre wahrgenommenen sozialen Verhaltensnormen identifiziert. In Bezug auf die Unfallbeteiligung sind darüber hinaus das männliche Geschlecht, die Tatsache, keinen Führerschein zu besitzen, Fehler beim Fahren und aggressives Verhalten bedeutsam [28,29].

Auch die Verletzungsschwere ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Anhand von Spitaldaten wurde aufgezeigt, dass die **Wahrscheinlichkeit für**

schwere Verletzungen bei einem Unfall ansteigt, wenn E-Bike statt Fahrrad gefahren wird (Odds Ratio 14,4), wenn der Aufprall bei einer Kollision seitlich statt frontal erfolgt (OR 11,6), wenn dem Unfall ein Regelverstoss vorangeht (OR 4,7) und wenn das Unfallopfer über statt unter 45 Jahre alt ist (OR 2,9) [30]. Verletzungen am Kopf sind eine häufige Unfallfolge. Beinahe jeder Zweite hospitalisierte E-Bike-Fahrer hat sich an diesem Körperteil verletzt, bei rund einem Drittel werden traumatische Verletzungen des Gehirns (z. B. Hirnerschütterung oder andere intrakranielle Verletzungen) diagnostiziert. Die vielen Kopfverletzungen dürften mit der tiefen Helmtraquote zusammenhängen (schätzungsweise 10 %). Die häufigste diagnostizierte Verletzungsart sind Brüche (ca. 50 %), gefolgt von oberflächlichen Verletzungen (rund 40 %) [30,31].

Bezüglich **Unfallursachen** konnte nur eine Analyse von tödlichen E-Bike-Unfällen auf urbanen Highways gefunden werden. Diese kam zum Schluss, dass sich die E-Bike-Fahrer bei 90 % dieser Unfälle regelwidrig verhalten hatten. Die mit Abstand häufigste Ursache war Unaufmerksamkeit (58 %), gefolgt von Fahren auf der falschen Spur (für motorisierte Verkehrsteilnehmer) (12 %), Fahren bei Rot (7 %) und Alkohol (7 %) [21].

Als **Schlussfolgerung** kann festgestellt werden, dass E-Bike-Fahrer in China einem höheren Risiko ausgesetzt sind als Fahrradfahrer. Grund dafür sind nicht nur die hohen Differenzgeschwindigkeiten (v. a. bei E-Bikes im Kleinmotorrad-Stil), sondern auch das oft riskante und regelwidrige Verhalten der Lenker. Die Differenzgeschwindigkeiten in der Schweiz dürften deutlich tiefer und die Regelverstösse seltener ausfallen, sodass Befunde aus chinesischen Studien kaum auf den hiesigen Kontext übertragen werden können. Die Arbeiten zu den Einflussfaktoren für riskantes Verhalten und Unfallbeteiligung sowie die Vermutung von Bai [27], dass sich E-Bike-Fahrer riskanter verhalten weil sie glauben, eine Kreuzung schneller queren zu können, könnten jedoch interessante Inputs für Forschungsarbeiten in der Schweiz liefern.

4. Internationale Forschung zu Sicherheitsaspekten von E-Bikes

Die Sicherheit von E-Bike-Fahrten ist in der internationalen Literatur (ausgenommen China) ein sehr junges Thema. Die älteste Arbeit, die gefunden werden konnte, stammt aus dem Jahr 2010. Die bisherigen Studien haben sich mit den Themen Fahrgeschwindigkeit, Fahrverhalten, kritische Situationen und Unfälle, Unfalltypen und Unfallursachen, Verletzungsschwere und technische Sicherheit befasst.

4.1 Fahrgeschwindigkeit

Bei der Frage nach der Fahrgeschwindigkeit bei E-Bike-Fahrten geht es vor allem darum zu analysieren, ob die im Vergleich zum Fahrrad potenziell höheren Geschwindigkeiten überhaupt realisiert werden. Um das natürliche Verhalten im realen Umfeld erforschen zu können, erscheinen Fahrverhaltensbeobachtungen mit instrumentierten E-Bikes (Videokameras, Sensoren, GPS) am geeignetsten. Die umfassendste und aufschlussreichste dieser Studien, die «Pedelec-naturalistic cycling study» wurde in Deutschland durchgeführt [9,14]. Während vier Wochen wurde das Fahrverhalten von insgesamt 90 Pedelec 25-, Pedelec 45- und Fahrradlenkern (3 Altersgruppen, Durchschnittsalter 52 Jahre) aufgezeichnet. Die gemessenen mittleren Geschwindigkeiten (ohne Standzeiten) nach Fahrzeugtyp und Alter finden sich in Tabelle 2, S. 46, eine entsprechende grafische Darstellung in

Abbildung 4, S. 47. Abbildung 5 zeigt die Geschwindigkeitsverteilung der einzelnen Fahrzeuggruppen (mit Standzeiten). Demnach wiesen 85 % der Fahrradlenker eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit auf als 10,9 km/h (ohne Standzeiten 12,3 km/h). Bei den Pedelecs 25 lag dieser Wert bei 12,2 km/h (13.5 km/h), bei den Pedelecs 45 bei 16.9 km/h (18,3 km/h). Die schnellsten 15 % der Fahrradfahrer fuhren im Durchschnitt schneller als 17,1 km/h (ohne Standzeiten 18,1 km/h), Pedelecs 25 schneller als 21,4 km/h (22,3 km/h) und Pedelecs 45 schneller als 26,2 km/h (27,9 km/h).

Aus diesen Resultaten lassen sich u. a. folgende Erkenntnisse ableiten:

- Ältere Personen fuhren generell langsamer als jüngere (signifikanter Unterschied aber nur bei über 65-Jährigen).
- Mit Pedelecs 45 wurde am schnellsten, mit Fahrrädern am langsamsten gefahren.
- Die Geschwindigkeiten der Pedelec 25- und Pedelec 45-Fahrern variierten stärker als die der Fahrradfahrer.
- Über 65-jährige Pedelec 25-Fahrer fuhren im Mittel etwas schneller als gleichaltrige Fahrradfahrer und tendenziell langsamer als junge und mittelalte Fahrradfahrer.
- Rund die Hälfte der Pedelec 45-Fahrer ist durchschnittlich mit ca. 22–25 km/h unterwegs, die Hälfte der Pedelec 25-Fahrer mit ca. 15–20 km/h und die Hälfte der Fahrradfahrer mit ca. 13–17 km/h.
- 85 % der Pedelec 45-Fahrer sind im Durchschnitt mit über 17 km/h unterwegs. Von den Fahrradfahrern erreichen nur die schnellsten 15 % diese Durchschnittsgeschwindigkeit.

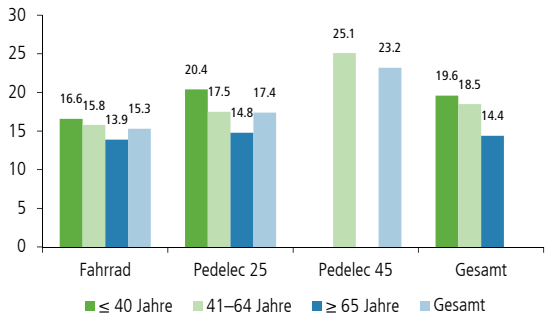
Tabelle 2
Mittelwerte und Standardabweichungen der durchschnittlichen Geschwindigkeiten (ohne Standzeiten) nach Fahrzeugtyp und Altersgruppe

	Fahrrad			Pedelec 25			Pedelec 45			Total		
Alter	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD	n	M	SD
≤ 40 Jahre	8	16.6	3.4	16	20.4	5	3			27	19.6	4.8
41–64 Jahre	9	15.8	2.3	14	17.5	4	6	25.1	3.7	29	18.5	4.8
≥ 65 Jahre	11	13.9	2.6	19	14.8	1.9	1			31	14.4	2.2
Total	28	15.3	2.9	49	17.4	4.4	10	23.2	4.9			

Anmerkung: Unterschiedliche Buchstaben als Indices zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen an (post-hoc Vergleiche, Bonferroni)
n = Stichprobengrösse
M = Mittelwert
SD = Standardabweichung

Quelle: [9, S. 80], Darstellung bfu

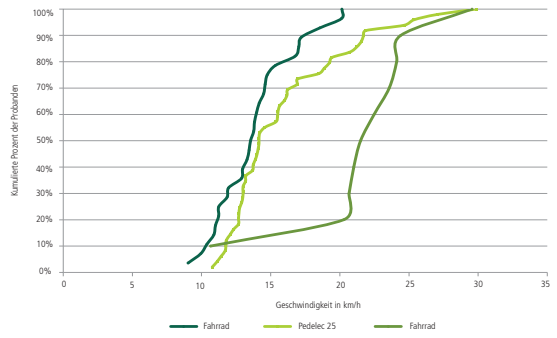
Abbildung 4
Durchschnittliche Geschwindigkeit in km/h (ohne Standzeiten) nach Fahrzeugtyp und Altersgruppe, grafische Darstellung



Anmerkung: Bei Pedelec 45 nur Angaben für mittlere Altersgruppe möglich, da Fallzahlen der anderen Altersgruppen zu gering

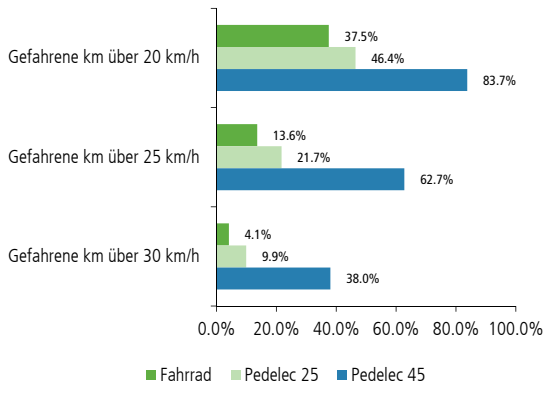
Quelle: [9], Darstellung bfu

Abbildung 5
Verteilung der durchschnittlichen Geschwindigkeiten in km/h (mit Standzeiten) nach Fahrzeuggruppen



Quelle: [9, S. 81]

Abbildung 6
Anteil der zurückgelegten Distanz, die mit mehr als 20 km/h, 25 km/h bzw. 30 km/h zurückgelegt wurde, nach Fahrzeugtyp



Quelle: [9], Darstellung bfu

Wichtiger als die Durchschnittsgeschwindigkeit ist jedoch die **Verteilung der gefahrenen Geschwindigkeiten**. Erst anhand einer Verteilung kann festgestellt werden, welcher Anteil der Distanzen mit hohen Geschwindigkeiten zurückgelegt wird. In Abbildung 6 ist der Anteil der zurückgelegten Distanz dargestellt, der von den drei Fahrzeugtypen mit mehr als 20 km/h, 25 km/h bzw. 30 km/h zurückgelegt wurde. Pedelecs 45 legten demnach fast zwei Drittel ihrer gefahrenen Distanzen mit über 25 km/h und mehr als ein Drittel mit über 30 km/h zurück. Damit waren sie einen markant grösseren Anteil ihrer Distanzen in höheren Geschwindigkeitsbereichen unterwegs als die beiden anderen Fahrzeugtypen. Auch zwischen Fahrrädern und Pedelecs 25 bestand ein Unterschied. Dieser war jedoch bei weitem nicht so gross wie bei den Pedelecs 45. Pedelec 25 legten knapp die Hälfte ihrer Distanz mit Geschwindigkeiten über 20 km/h zurück und ca. ein Fünftel über 25 km/h. Bei den Fahrradfahrern betrugen diese Anteile 9 bzw. 8 Prozentpunkte weniger.

Weitere Auswertungen des Geschwindigkeitsverhaltens nach Infrastrukturtyp sowie nach freier (bzw. nicht freier) Fahrt zeigten, dass Pedelecfahrer, gleich wie Fahrradfahrer, die höchsten Geschwindigkeiten auf Fahrbahnen, Fahrstreifen, selbständig geführten Rad- und Gehwegen und in verkehrsberuhigten Bereichen erreichten. Auf strassenbegleitenden getrennten Rad- und Gehwegen sowie auf Gehwegen und in Fussgängerzonen, die für Fahrräder freigegeben waren, fuhren alle drei Fahrzeugtypen langsamer. Bei freier Fahrt, d. h. in Situationen ohne andere Verkehrsteilnehmer, vorausfahrenden oder entgegenkommender Verkehr, Kreuzungen/Einmündungen oder andere Hindernisse fuhren Pedelec 25-Fahrer im Durchschnitt rund 2 km/h schneller als in Situationen ohne freie Fahrt (18,6 km/h vs. 16,5 km/h). Bei Pedelec 45-Fahrern

betrug der Unterschied knapp 1 km/h (24 km/h vs. 24,9 km/h) [9,14].

Zwei weitere Studien haben die Geschwindigkeit von E-Bikes im natürlichen Umfeld untersucht. Aufgrund der verwendeten Methoden (stationäre Messungen mit der Radarpistole bzw. Befragung) sollten die Resultate aber vorsichtig interpretiert werden. Die Ergebnisse weisen jedoch in dieselbe Richtung wie die Befunde der «Pedelec-naturalistic cycling study»: E-Bike-Fahrer sind schneller unterwegs als Fahrradfahrer (entweder Durchschnittsgeschwindigkeit oder anteilsmässig in spezifischen Geschwindigkeitsbereichen), die meisten Lenker reizen die potenziell höheren Geschwindigkeiten aber nicht aus. Gemäss der ersten Studie sind Pedelec 25-Fahrer auf ebenen, kreuzungsfreien Streckenabschnitten mit durchschnittlich 19,7 km/h tendenziell (jedoch nicht signifikant) schneller unterwegs als Radfahrer (18,5 km/h), aber deutlich langsamer als Rennradfahrer (24,2 km/h). Männer fahren zudem schneller als Frauen und unter 65-Jährige schneller als Ältere [8]. In der zweiten Studie gab rund die Hälfte der befragten, unfallerfahrenen Pedelec-Fahrer an, im Durchschnitt mit 15–20 km/h unterwegs zu sein. Interessant ist dabei die Tatsache, dass viele der Befragten keine detaillierten Angaben zur Durchschnittsgeschwindigkeit und zur Spitzengeschwindigkeit machen konnten [32]. Insofern muss vermutet werden, dass auf Selbstauskunft basierende Geschwindigkeitsangaben nicht sehr zuverlässig sind.

In einer deskriptiven Arbeit mit GIDAS-Daten (German-In-Depth-Accident-Study) wurden spezifisch die **Geschwindigkeiten bei Unfällen** analysiert. Dabei zeigte sich, dass Pedelec-Fahrer bei Alleinunfällen etwas schneller unterwegs sind als Fahrraffahrer. Die Geschwindigkeit, die von 50 % der alleine Verunfallten überschritten wurde (Median), betrug bei Pedelecs 17 km/h, bei Fahrrädern 13 km/h. Die Autoren merken an, dass die Kollisionsenergie bei 17km/h 1,7-mal so hoch ausfällt wie bei 13 km/h [33].

Die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen Fahrrad und E-Bike scheinen in Abhängigkeit von den situativen Bedingungen zu variieren. Zu diesem Schluss kommt ein holländisches Feldexperiment, in dem die Teilnehmer eine vorgegebene Route mit einfachen und komplexen Situationen sowohl mit einem Fahrrad wie mit einem Pedelec 25 befahren mussten. Mit dem E-Bike wurde generell schneller gefahren als mit dem Fahrrad, in komplexen Situationen fiel die Differenz jedoch geringer aus. Senioren (65+ Jahre) fuhren in einfachen Situationen mit dem E-Bike im Mittel 3,6 km/h schneller als mit dem Fahrrad (E-Bike 20,7 km/h), in komplexen Situationen betrug der Unterschied nur 1,7 km/h (E-Bike 16,6 km/h). Jüngere Teilnehmer (30–45 J.) zeigten ein ähnliches Muster, waren aber generell etwas schneller unterwegs (E-Bike einfache Bedingungen 23,3 km/h, komplexe Bedingungen 19,3 km/h). In beiden Bedingungen waren die Senioren auf dem E-Bike ungefähr gleich schnell unterwegs wie die jüngere Gruppe auf dem Fahrrad [34].

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 sind die Unterschiede zwischen Fahrrädern und Pedelecs 45 deutlich grösser als zwischen Fahrrädern und Pedelecs 25. Unterschiede zeigen sich auch je nach Alter der Lenker und Komplexität der Situation: Ältere Personen realisieren die potenziell

höheren Geschwindigkeiten von E-Bikes weniger als jüngere. In anspruchsvollen Situationen oder auf Infrastrukturen mit vielen Interaktionen wird generell langsamer gefahren.

Die ermittelten absoluten Differenzen in den Durchschnittsgeschwindigkeiten bewegen sich im Bereich von 1–4 km/h. Unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Ausgangsgeschwindigkeiten (Durchschnittsgeschwindigkeit Fahrrad) fallen die prozentualen Differenzen je nach Studie und beobachteter Altersgruppe aber sehr unterschiedlich aus. Sie reichen von rund 6 % [8] bis 23 % [9,14]. Diese Differenzen mögen gering erscheinen. Bei Betrachtung des Power Modells der Geschwindigkeit von Elvik, Christensen und Amundsen [35], mit welchem sich die Unfallkonsequenzen in Abhängigkeit von der prozentualen Geschwindigkeitsänderung vorhersagen lassen, erhalten diese Unterschiede jedoch ein grösseres Gewicht: Bei einer Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit um 10 % steigt die Anzahl der Schwerverletzten um 33 %, jene der Getöteten um 54 %.

Festgestellt wurde zudem eine höhere Variation der Geschwindigkeiten bei E-Bikes im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern. Diese könnte besondere Anforderungen an die Infrastruktur stellen, da es zu vermehrten Überholvorgängen von Zweiradfahrern untereinander kommen könnte [9,14]. Möglicherweise sind dadurch auch andere Verkehrsteilnehmer (als potenzielle Unfallgegner) stärker gefordert, weil sie mit einer grösseren Spannbreite an gefahrenen Geschwindigkeiten konfrontiert sind.

Wichtig ist zu beachten, dass in den verfügbaren Studien nur wenige oder gar keine schnellen E-Bikes vertreten waren, so dass die Erkenntnisse in erster Linie für langsame E-Bikes gelten. Zudem waren die Hauptnutzer von Pedelecs 25 in den Studien – wie aktuell in Realität – ältere Personen. Die Befunde sollten daher nur vor dem Hintergrund der aktuellen Nutzerstruktur beurteilt werden [9,14].

4.2 Verhalten

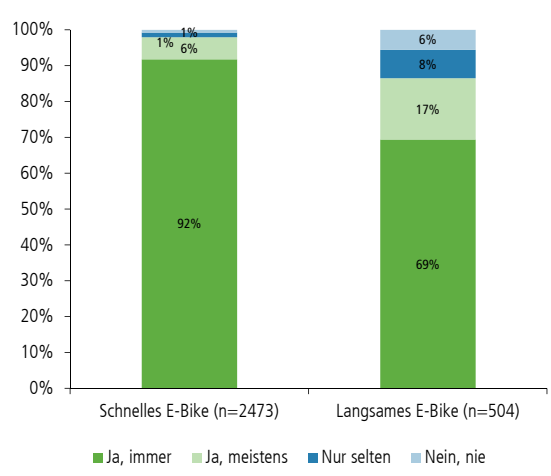
Bisher wurde relativ wenig Forschung zum Fahr- und Schutzverhalten von E-Bike-Fahrern betrieben. Die existierenden Arbeiten haben mit den Themen Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern, regelwidriges Verhalten und Helmtragquote sehr unterschiedliche Bereiche untersucht. Ergänzend hat die bfu interne Auswertungen über die Teilnehmer von E-Bike-Fahrkursen durchgeführt.

Eine erste explorative Studie verglich mittels Fahrverhaltensbeobachtung die **Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern** zwischen Fahrrad- und Pedelec 25-Lenkern. Dabei zeigte sich, dass Pedelec-Fahrer mehr Fussgänger und andere Fahrradfahrer kreuzen oder überholen als Fahrradfahrer. Dies bemerkten die Probanden auch selber. In der anschliessenden Befragung gaben über 70 % der Pedelec-Fahrer an, mit dem Pedelec mehr Fahrradfahrer zu überholen und mehr Aufmerksamkeit zu benötigen als mit dem konventionellen Fahrrad. Die Autoren interpretieren die Resultate so, dass die höheren Geschwindigkeiten der Pedelecs zu häufigeren (und schnelleren) Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern führen, was schnellere Entscheidungen und Reaktionen erfordere und die Anforderungen bzw. die **mentale Belastung** des Lenkers erhöhe [36]. Die Resultate aus einem Feldexperiment weisen jedoch in eine andere Richtung. Zwischen E-Bike- und Fahrrad-Fahrern konnten während der Fahrt keine Unterschiede in der mentalen Arbeitsbelastung (gemessen mittels eines peripheren Wahrnehmungstests) nachgewiesen werden.

Dies ist vermutlich so zu erklären, dass die Lenker die Geschwindigkeit reduzierten, wenn die Aufgabe zu anspruchsvoll geworden wäre. Im Gegensatz zum Fahrzeugtyp standen die Komplexität der Fahrstrecke und das Alter der Lenkenden signifikant mit der Arbeitsbelastung in Zusammenhang: Auf komplexen Streckenabschnitten waren alle Teilnehmer stärker gefordert als auf einfachen und ältere Personen stärker als jüngere [34].

In Bezug auf **regelwidriges Verhaltens** wurden bisher kaum Unterschiede zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern nachgewiesen. In der deutschen Pedelec-naturalistic cycling study legten alle drei Lenker-Gruppen (S-Pedelec, Pedelec und Fahrrad) 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 Fahrradfahrern jedoch am meisten. Fahrräder wichen am häufigsten von der markierten Radverkehrsführung auf der Fahrbahn ab (und fuhren stattdessen auf dem Gehweg). Pedelec-Fahrer umgingen eher das Gebot, strassenbegleitende Rad- und Gehwege zu nutzen [9]. In einer Studie auf einem Campus in den USA mit Leih-Rädern zeigten sich zwischen Fahrrad- und E-Bike-Nutzern keine Unterschiede in der Anhaltequote an Knoten mit Stopp-Signalen oder Lichtsignalen. Verschiedene Faktoren des Anfahrtsweges (Neigung, Geschwindigkeitslimite, Verkehrsvolumen, etc.) waren bedeutsamer als der Fahrzeugtyp [37].

Abbildung 7
Helmtragquote nach E-Bike-Typ, gemäss Befragung: «Tragen Sie beim E-Bike Fahren einen Helm?»



Quelle: [39]

E-Bike-Fahrer in der Schweiz tragen markant häufiger einen **Fahrradhelm** als Fahrradfahrer. Im Jahr 2014 betrug die Helmtragquote bei E-Bikes 69 % (+/– 9 %), bei Fahrrädern 43 % (+/– 6 %). Ein Grund für diesen Unterschied dürfte das seit 1. Juli 2012 geltende Helmobligatorium für Lenker schneller E-Bikes sein. Deren Helmtragquote lag knapp 2 Jahre nach Einführung des Obligatoriums bei 89 % (+/– 9 %), jene der Lenker langsamer E-Bikes bei 63 % (+/– 10 %) [38]. Eine Befragung der bfu ergab ein ähnliches Bild: 92 % der Lenker schneller E-Bikes gaben an, den Helm immer zu tragen. Bei den Lenkern langsamer E-Bikes waren es 69 %. Mit 1 % bzw. 6 % ist der Anteil jener, die nie einen Helm tragen, sehr gering [39]. Die Verteilung der Antworten ist in Abbildung 7 dargestellt. Ein Unterschied in der Helmtragquote zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern wurde auch bei einer Auswahl von polizeilich registrierten Unfällen aus den Jahren 2011 und 2012 gefunden. 52 % der E-Bike- und 41 % der Fahrradfahrer trugen zum Zeitpunkt des Unfalls einen Helm [40]. »

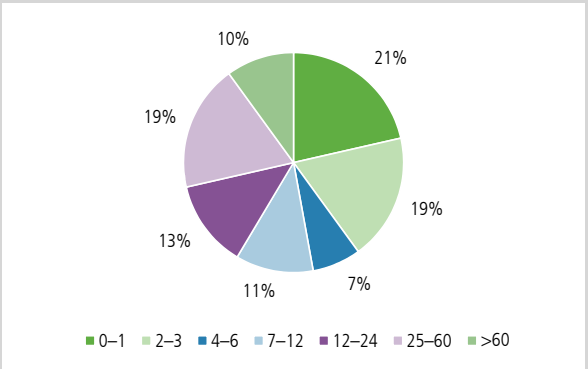
Schulungen und Fahrtrainings für ungeübte Personen, die wenig Vorerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad aufweisen und zum ersten Mal ein E-Bike benutzen, werden als sinnvoll erachtet [8]. Die bfu hat untersucht, welche Personen an einem freiwilligen **E-Bike-Fahrkurs** teilnehmen. Die Kurse

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. Die Verteilung der Fahrerfahrung ist Abbildung 8 dargestellt. Nur 7 % gaben an, vor der E-Bike-Nutzung praktisch nie mit dem konventionellen Fahrrad gefahren zu sein (Abbildung 9). Knapp 8 % hatten bereits einen, 4 % zwei Selbstunfälle. Kollisionen waren deutlich seltener. Lediglich 2 Personen (2 %) waren bisher in eine Kollision involviert. Ein eigenes E-Bike besassen nur 57 % der Befragten. Der grösste Teil (59 %) fuhr ein langsames, 8 % ein schnelles E-Bike. Weitere 8 % wussten nicht, welchen E-Bike-Typ sie fahren. Mit 26 % machten aber viele gar keine Angabe. Verschiedene Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Kursteilnehmer eher sicherheitsorientiert sind und ein relativ hohes Gefahrenbewusstsein hinsichtlich des E-Bikes aufweisen. So gaben 79 % an, beim E-Bike-Fahren immer einen Helm zu tragen. 13 % taten dies meistens. Über 90 % meinten, es sei ihnen wichtig, vorsichtig und überlegt zu fahren. Beinahe drei Viertel dachten, E-Bike fahren sei gefährlicher als Fahrrad fahren. Dass die Geschwindigkeiten von E-Bikes höher und die Bremswege länger sind als bei Fahrrädern, war dem grössten Teil der Befragten bewusst (87 % bzw. 80 %). Ebenfalls bekannt war die Schwierigkeit anderer Verkehrsteilnehmer, die Geschwindigkeit von E-Bikes angemessen einzuschätzen (88 % Zustimmung). Gleichzeitig glaubten jedoch 43 %, dass es für andere Verkehrsteilnehmer keine Rolle spiele, ob man mit dem Fahrrad oder mit dem E-Bike unterwegs sei [41].

4.3 Kritische Situationen und Unfallhäufigkeit

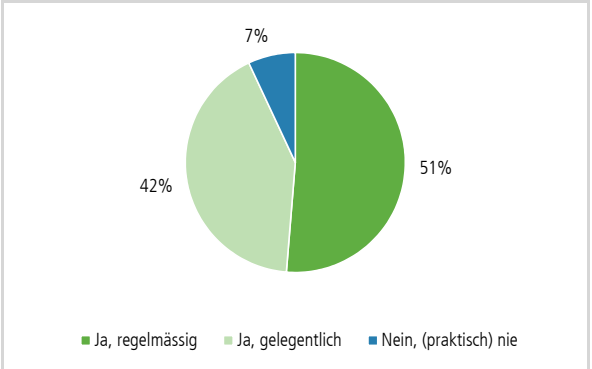
Ein möglicher Indikator für das Unfallrisiko ist die **Anzahl der kritischen Situationen**. In der bisher wahrscheinlich einzigen Studie zum Thema, der Pedelec-naturalistic cycling study [9], wurden die kritischen Situationen bzw. Konflikte anhand von Fahrtvideos kodiert. Dabei hat sich die Vermutung nicht bestätigt, dass E-Bike-Fahrer diesbezüglich einem höheren Risiko ausgesetzt sind als Fahrradfahrer. Weder in Bezug auf den Fahrzeugtyp (S-Pedelec, Pedelec und Fahrrad) noch in Bezug auf das Alter der Teilnehmenden konnten statistisch signifikante Unterschiede in der Anzahl der kritischen Ereignisse

Abbildung 8
Fahrerfahrung mit E-Bike von Teilnehmern des E-Bike-Kurses in Monaten



Quelle: [41]

Abbildung 9
Vorerfahrung Fahrrad von Teilnehmern des E-Bike-Kurses gem. Befragung: «Sind Sie vor Ihrer E-Bike-Nutzung Fahrrad gefahren?»



Quelle: [41]

nachgewiesen werden. Dasselbe traf auf die an der Kilometerleistung relativierte Anzahl kritischer Situationen zu (pro 1000 km). Demnach scheinen Pedelec- und S-Pedelec-Fahrer trotz höherer Durchschnittsgeschwindigkeiten nicht häufiger in kritische Situationen zu geraten als Fahrradfahrer. Auch die Art der erlebten Konflikte dürfte vergleichbar sein. Bei allen drei Fahrzeugtypen wurden am häufigsten Konflikte im Längsverkehr, Einbiegen-/Kreuzen- oder Abbiege-Konflikte beobachtet. Konfliktgegner waren wiederum bei allen am häufigsten Personenwagenlenker, gefolgt von Fussgängern und Fahrrad- bzw. Elektrofahrradfahrern [9].

Die Häufigkeit von Unfällen kann mittels offizieller Statistiken (z. B. Polizeistatistik) oder per Befragung erfasst werden. In beiden Datenquellen sind Verzerrungen zu erwarten. Bei Selbstauskünften werden möglicherweise gewisse Ereignisse vergessen oder unter einem «Unfall» wird nicht dasselbe verstanden. In Statistiken muss von einer grossen Dunkelziffer bei leichten (Selbst-)Unfällen ausgegangen werden.

In zwei Lenkerbefragungen wurde die **Unfallerfahrung** von E-Bike-Nutzern mit unterschiedlichen Formulierungen erfragt. In Österreich gaben 8 % der befragten Pedelec 25-Fahrer (n =213) an, bereits einmal seit Beginn ihrer E-Bike-Nutzung einen Unfall mit Personen- oder Sachschaden erlebt zu haben. Jeder Fünfte berichtete zudem von einem Beinaheunfall [8]). Da bei Fragen, die sich auf einen grossen Zeithorizont beziehen, mit Gedächtniseffekten zu rechnen ist, dürfte die Aussagekraft dieser Daten jedoch eingeschränkt sein, zumal auch die Nutzungsdauer nicht berücksichtigt wurde. In einer deutschen Studie (n = 90) wurde ein kürzerer Zeithorizont erfragt und auch Unfälle ohne Schadensfolge erfasst. Gemäss Selbstauskunft hatten rund 16 % der Pedelec 25-, 60 % der Pedelec 45- und 58 % der Fahrradfahrer im letzten Jahr einen Unfall oder Sturz. Die Pedelec 25-Fahrer hatten in dieser Studie demnach signifikant weniger Unfälle als die beiden anderen Lenkergruppen. Da die Exposition aber nicht berücksichtigt wurde, könnte der Befund auf Expositionsunterschiede zurückzuführen sein. Bei allen Fahrzeugtypen handelte es sich bei über der Hälfte der berichteten Unfälle um Alleinunfälle/Stürze. Bei Pedelecs waren diese tendenziell etwas häufiger als bei Fahrrädern (Fahrrad: 52 %, Pedelec 25: 59 %, Pedelec 45: 67 %) [9]. Eine Analyse der Unfallstatistik in Baden-Württemberg kam ebenfalls zum Schluss, dass Pedelec-Fahrer nicht häufiger in Unfälle involviert sind als Fahrradfahrer (Vergleich Anteil Unfälle am jeweiligen Fahrzeugbestand). Im Gegensatz zur obigen Studie wurden aber keine Hinweise auf eine geringere Unfallhäufigkeit von Pedelec-Fahrern gefunden. Hingegen wird vermutet, dass die Unfallfolgen für Pedelec-Fahrer gravierender ausfallen [32].

4.4 Unfalltypen und Unfallursachen

Alleinunfälle sind bei E-Bike-Fahrern ein bedeutender **Unfalltyp**. Dies wurde sowohl anhand von offiziellen Statistiken (Unfallanalyse Kap. V), wie auch anhand von Befragungen [9] und Medienanalysen [8] 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 [9]. Polizeistatistiken mit allen registrierten Unfällen (auch Leicht- und Unverletzte) weisen zwar auf mehr Kollisionen hin [33], 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 über 50 % (Unfallanalyse Kap. V).

Der Vergleich der Unfalltypen von Fahrrad- und E-Bike-Fahrern zeigt, dass E-Bike-Fahrer häufiger alleine verunfallen als Fahrradfahrer [8,33,42]. Ob dieser Befund aber den Unterschieden im Fahrzeug oder in der Nutzerstruktur zuzuschreiben ist, wurde bisher noch nicht geklärt [8].

Nebst der Analyse der polizeilich registrierten Unfalldaten (Kap.V) können auch Befragungen wichtige Informationen zu den **Ursachen** von Unfällen liefern. Zwei Studien aus Deutschland und der Schweiz haben verunfallte Lenker befragt. In beiden Arbeiten gab die Mehrheit der Befragten an, den Unfall selber verschuldet zu haben. Bei der deutschen Stichprobe (Mehrzahl 61–70 Jahre, v.a. Pedelec 25) geschah dies am häufigsten wegen falschem bzw. zu starkem Bremsen (in Verbindung mit dem teilweise gewöhnungsbedürftigen Bremsverhalten des Pedelecs). Zu enge Kurven oder Fahren gegen einen Bordstein wurden ebenfalls genannt. Dass ihr Unfall etwas mit der spezifischen Fahreigenschaft des Pedelecs zu tun gehabt habe, glaubte jedoch nur ein sehr kleiner Teil der Befragten. Jene, die dies vermuteten, nannten insbesondere die Bremsen sowie das Nachlaufen des Elektromotors als möglichen Einflussfaktor [32]. Von der schweizer Stichprobe (50 % älter als 47,5 J.) konnte mehr als die Hälfte keinen Grund für ihre Selbstunfälle nennen. Knapp ein Drittel nannte die zu hohe Geschwindigkeit, der Rest (14 %) gab Alkohol an [43].

4.5 Verletzungsschwere

Mehrere Arbeiten haben E-Bike- und Fahrrad-Unfälle hinsichtlich der **Verletzungsschwere** verglichen. Da sie sich in den berücksichtigten Unfallschweregraden, den Indikatoren für die Verletzungsschwere und den einbezogenen E-Bike-Typen merklich unterscheiden, ist der Vergleich anspruchsvoll. Tabelle 3 gibt einen Überblick über die vorhandenen Studien, die nachfolgend detaillierter beschrieben werden.

Gemäss einer grossen holländischen Fall-Kontroll-Studie weisen E-Bike-Fahrer (Pedelec 25) im Vergleich zu Fahrradfahrern ein 1,92-mal höheres Risiko auf, in einen behandlungsbedürftigen Unfall involviert zu sein. Untersucht wurden Zweiradfahrer, die sich wegen eines Unfalls in der Notaufnahme

Tabelle 3
Übersicht verfügbare Studien: Vergleich Verletzungsschwere Fahrräder und E-Bikes

	Indikator für Verletzungsschwere		
	Unfallbeteiligte: Behandlung ja / nein	**Spitalstatistik: Verletzungsschwere der Behandelten**	**Polizeistatistik: Verletzungsschwere gemäss Unfallaufnahmeprotokoll**
Ausland: Nur Pedelec 25 berücksichtigt	Niederlande: E-Bikes 1,92-mal höheres Risiko als Fahrräder für behandlungsbedürftigen Unfall in Notaufnahme [44]	Niederlande: Kein signifikanter Unterschied der Wahrscheinlichkeit für Überweisung von Notaufnahme ins Spital [44]	Deutschland: Hinweise, dass kein Unterschied in Verletzungsschwere (alle Verletzungsgrade) zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern [33]
Schweiz: Pedelec 25 und Pedelec 45	E-Bikes 1,8-mal höheres Risiko als Fahrräder für behandlungsbedürftigen Unfall stationär im Spital (Sekundäranalyse der Daten von [45]	Hinweise, dass kein Unterschied in Verletzungsschwere (Anteil MAIS 3+) zwischen stationär im Spital behandelten E-Bike- und Fahrradlenkern [45]	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 [40]

verschiedener Spitäler behandeln liessen. Die Kontrollgruppe stammte aus einem Befragungspanel. Alter, Geschlecht und Häufigkeit des Fahrzeuggebrauchs wurden in der Berechnung kontrolliert. Zwischen den Lenkern, die einer Behandlung bedurften, zeigte sich 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 [44].

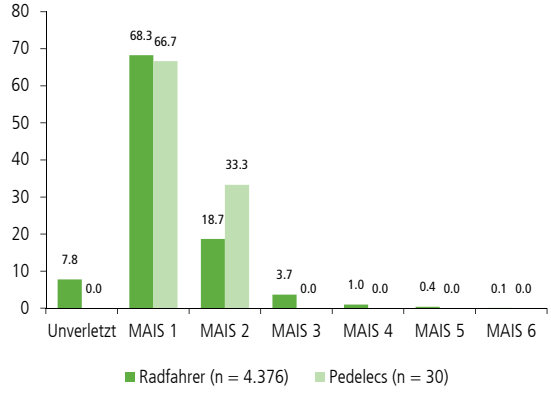
Zwei Arbeiten analysierten Daten aus den polizeilich registrierten Strassenverkehrsunfällen in der Schweiz (Pedelec 25 und 45). Um Alterseffekte bezüglich der Verletzungsschwere zu eliminieren, betrachtete die erste Studie nur Unfälle mit 40- bis 65-Jährigen. Beim Vergleich der Verletzungsschwere von 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 [40]. Die zweite Arbeit verknüpfte die Daten aus dem Strassenverkehrsunfall-Register mit der Spitalstatistik aus dem Jahr 2011. Die Stichprobe umfasste dementsprechend nur jene verunfallten Fahrrad- und E-Bike-Fahrer, die polizeilich registriert und stationär im Spital behandelt wurden. Letzteres traf auf 17 % der verunfallten Fahrrad- und 27 % der E-Bike-Fahrer zu [45]. Daraus lässt sich ableiten, dass E-Bike- im Vergleich zu Fahrradfahrern ein 1,8-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 Deseases) codiert und für die Studie in AIS bzw. MAIS (Max. Abbreviated Injury Sale) 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+ (schwerverletzt) 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 [45].

Auch die Resultate einer deskriptiven Analyse aus Deutschland (v. a. Pedelec 25) mit GIDAS-Daten (German-In-Depth-Accident-Study) deuten darauf hin, dass Pedelec- 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 Pedelecfahrern 67 %, von den Fahrradfahrern 68 %).

Die Verteilung der Gesamtverletzungsschwere ist in Abbildung 10 dargestellt. Erstere erlitten jedoch häufiger Kopfverletzungen. Aufgrund der geringen Fallzahlen konnten diese Aussagen aber nicht statistisch abgesichert werden [33].

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-Bikes ein höheres Risiko festgestellt als für Fahrräder. Werden nur jene Lenker in die Analyse einbezogen, die sich im Spital behandeln lassen, zeigen sich keine Unterschiede in der Verletzungsschwere. Da hier aber nur relativ schwer verletzte Personen betrachtet werden (eingeschränkte Varianz), kann aus diesem Befund noch nicht geschlossen werden, dass sich die Verletzungsschwere zwischen verletzten E-Bike- und Fahrradfahrern generell nicht unterscheidet. 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. 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 (Pedelec 25 oder 45) und damit der gefahrenen Geschwindigkeiten könnte von Bedeutung sein. Ebenfalls nicht auszuschliessen ist, dass die Unterschiede im Risiko für einen behandlungsbedürftigen Unfall zwischen Fahrrädern und E-Bikes auf die unterschiedliche Nutzerstruktur/Altersverteilung der Lenker zurückzuführen ist und nicht alleine auf den Fahrradtyp (vgl. [8]).

Abbildung 10
Prozentuale Verteilung der Gesamtverletzungsschwere MAIS für Rad- und Pedelecfahrer



Quelle: [33, S. 58]

Dass Verletzungen von verunfallten E-Bike-Fahrern oft den Kopf betreffen, zeigte auch eine Studie, welche sich mit der **Lokalisation** und der **Art der Verletzungen** befasste. Bei den 23 untersuchten Personen (70 % Männer, Durchschnittsalter 47,5 Jahre), die infolge eines E-Bike-Unfalls die Notaufnahme eines Schweizer Universitätsspitals aufsuchten, machten Verletzungen an Kopf und Hals mit 27 % den grössten Anteil aus, gefolgt von Verletzungen an den oberen Extremitäten (23 %), im Gesicht (19 %) und an Brust und Bauch (11 % bzw. 10 %). Verletzungen der unteren Extremitäten waren mit 6 % seltener. Die häufigsten Verletzungsarten an Kopf und Hals 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 %). Der Durchschnittliche Injury Severity Score (ISS) lag bei 8.5, das Minimum bei 2, das Maximum bei 29. Rund 60 % der Verunfallten wurden stationär behandelt. Keine Person starb [43].

4.6 Technische Sicherheit

Verschiedene Experten vermuten, dass auch technische Eigenschaften des E-Bikes die Sicherheit des Lenkers beeinträchtigen können. Insbesondere nachträgliches Aufrüsten von konventionellen Fahrrädern wird als problematisch erachtet [15,46,47].

Die Unfallforschung der deutschen Versicherer (GDV) hat 2011 sechs Pedelecs (Tretunterstützung von 25–45 km/h) verschiedener Hersteller einer technischen Prüfung unterzogen. Auf trockener Fahrbahn konnten alle **Bremsen** ausreichend verzögern. Speziell bei Nässe gab es jedoch grosse Unterschiede. V. a. die untersuchten mechanischen Felgenbremsen überzeugten 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. Die verschiedenen **Antriebskonzepte** wiesen im Fahrbetrieb unterschiedliche und teilweise kritische Eigenschaften auf. Besonders der Nabenmotor im Vorderrad schien eine eher ungünstige Kombination zu sein. Sie kann v. a. auf nassem Untergrund und / oder in Kurven zu kritischen Situationen führen, z. B. dadurch, dass die Tretunterstützung ruckartig, mit voller Kraft einsetzt oder das Vorderrad wegrutscht. Auch das kurzzeitige Nachlaufen der Motorkraftunterstützung beim Abbremsen oder Absteigen führte bei einigen Antriebskonzepten zu kritischen Situationen [46]. Das **Nachlaufen des Motors**, wenn bereits zu Treten aufgehört wurde, wird auch in Produktetests und von Experten als irritierend bzw. sicherheitskritisch beschrieben. Als ebenso problematisch wird ein **verzögertes Einsetzen** des Motorschubs empfunden. Dies kann bei Pedelecs passieren, welche mit Hilfe eines Drehzahlsensors gesteuert werden. Bei Pedelecs mit einem Drehmomentsensor kann dafür die Motorunterstützung einsetzen, wenn ein Fuss im Stillstand (z. B. an einer Ampel) auf dem Pedal ruht [8].

E-Bikes können relativ einfach manipuliert werden. Ziel des Tunings ist vor allem die Erhöhung der mit Tretkraftunterstützung erreichbaren Höchstgeschwindigkeit. Die **Manipulation** kann auf verschiedene Arten erfolgen. Durch den Austausch des Antriebsritzels ändert sich beispielsweise das Übersetzungsverhältnis, sodass die mit Tretkraftunterstützung erreichbare Höchstgeschwindigkeit um 20 % gesteigert werden kann. Sehr einfach scheint die elektronische Manipulation zu sein. Auf dem Markt sind bereits 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 [8,46,48]. Durch die Manipulation besteht die Gefahr, dass E-Bikes mit Geschwindigkeiten gefahren werden, für die sie nicht geprüft bzw. ausgelegt sind.

Bisher scheint erst eine Arbeit **Beschleunigungs- und Bremsversuche** mit verschiedenen Fahrradtypen durchgeführt zu haben. Aufgrund kleiner Stichproben und fehlender Standardisierung der Fahrzeuge (unterschiedliche Bremsen, Gewicht, Motorleistung, etc.) können die Ergebnisse aber nur als erste Anhaltspunkte dienen. Bei der «normalen» Beschleunigung aus dem Stand mit maximaler Motorunterstützung erreichten schnelle Pedelecs mit ca. 1,4-1,6 m/s^2 (Extremwerte über 2 m/s^2) höhere Beschleunigungen als langsame (ca. 1,0 m/s^2). Somit scheinen die Anfahrbeschleunigungen von schnel-

len Pedelecs im Bereich von Personenwagen und anderen motorisierten Verkehrsmitteln zu liegen, jene der langsamen Pedelecs etwas darunter. Die Beschleunigung dürfte jedoch vom gewählten Gang und der Motorleistung des Pedelecs abhängig sein. Aufgrund der stärkeren Motoren ist in der Schweiz möglicherweise mit höheren Beschleunigungswerten zu rechnen (Leistung schnelle Pedelecs Schweiz: bis 1000 W, Deutschland: bis 500 W). In den Bremsversuchen erzielten die langsamen Pedelecs (V-Bremsen) bei Ausgangsgeschwindigkeiten von mindestens 25 km/h mittlere Verzögerungen von ca. 5,0 m/s^2 (Bandbreite 3–7 m/s^2), schnelle Pedelecs (hydraulische Bremsen) 5,3 m/s^2 (Bandbreite 3,5-6,5 m/s^2). Vor allem geübte Motorrad- und Rollerfahrer erzielten bessere Leistungen und erreichten Werte von 6 m/s^2 und mehr. Weiter gab es Hinweise, dass Senioren die Bremssysteme möglicherweise weniger gut ausnutzen als Jüngere. Als mögliche Ursachen werden fehlende Fahrerfahrung oder Angst vor einem Sturz vermutet [47].

Aufgrund einer theoretischen Analyse folgert Jellinek [8], dass sich der Schwerpunkt des E-Bikes im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern je nach **Anordnung** der Komponenten **Motor und Batterie** verlagern kann. Bei Hinterradantrieb und Batterie am Gepäckträger verlagert sich der Gesamtschwerpunkt nach hinten, wodurch das Vorderrad bei Kurvenfahrten leichter wegrutschen kann. Ein hoher Schwerpunkt erhöht zudem das Kippmoment, was der Fahrer in der Kurve ausgleichen muss. Empfohlen werden daher eine neutrale Gewichtsaufteilung in Längsrichtung und ein tiefer Schwerpunkt. Das Antriebskonzept Mittelmotor mit Batterie am Sattelrohr erscheint dafür am geeignetsten. Motor und Batterie weisen ein gewisses Gewicht auf. Viele Pedelec-Hersteller scheinen jedoch normale Fahrradrahmen zu verwenden, die nicht speziell für den Anbau zusätzlicher Lasten konstruiert wurden. 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 [49].

4.7 Einschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer

Einspurige Fahrzeuge werden aufgrund ihrer schmalen Silhouette schlecht wahrgenommen und hinsichtlich ihrer Geschwindigkeit oft unterschätzt. Bei E-Bikes dürfte diese Gefahr erhöht sein, weil sie oft schneller unterwegs sind als konventionelle Fahrräder, von diesen aber kaum zu unterscheiden sind [15]. Daher ist zu vermuten, dass E-Bike-Fahrer stärker durch Fehleinschätzungen anderer Verkehrsteilnehmern gefährdet sind als Fahrradfahrer (z. B. durch PW-Lenker, die in eine übergeordnete Strasse einfahren). Ob PW-Lenker in Abhängigkeit des Zweiradtyps (Fahrrad oder Pedelec) andere Zeitlücken wählen (bzw. die Zeit bis zur Ankunft des Zweirads unterschiedlich einschätzen), wurde in einer Studie experimentell überprüft. Die Probanden sassen zu diesem Zweck in einem PW und mussten mittels Fusspedal den letzten Moment anzeigen, zu dem sie bereit wären, sich vor einem Zweiradfahrer in den Verkehr einzufügen (Linksabbiegen). Die Zweiradfahrer näherten sich entweder auf einem Pedelec oder einem Fahrrad mit einer Geschwindigkeit zwischen 15 und 35 km/h. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl der Zweiradtyp wie dessen Geschwindigkeit die Wahl der Zeitlücke beeinflussen.

Mit zunehmender Geschwindigkeit der Zweiradfahrer fielen die **akzeptierten Zeitlücken** kleiner aus. Unabhängig von der Geschwindigkeit wurden vor Pedelecs kleinere Lücken gewählt als vor Fahrrädern, dies obwohl die beiden Zweiradtypen aus der Position des Probanden nicht zu unterscheiden waren. Die Autoren vermuten, dass der Effekt des Zweiradtyps damit zusammenhängen könnte, dass sich die Sitzhaltung des Lenkers und die Frequenz der Pedalbewegungen unterscheiden. Auf Pedelecs wird vermutlich langsamer pedaliert und entspannter gesessen als auf Fahrrädern [50].

5. Fazit Literaturanalyse

1. Die aktuellen wissenschaftlichen Befunde sollten immer im jeweiligen Kontext betrachtet werden. Die Nutzergruppe besteht zurzeit vorwiegend aus Personen mittleren und höheren Alters. Zwischen verschiedenen Ländern bestehen bedeutsame Unterschiede bezüglich Art und Anteilen der verwendeten E-Bike-Typen und somit vermutlich auch hinsichtlich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten.
2. E-Bike-Fahrer sind schneller unterwegs als Fahrradfahrer. Die potenziell höheren Geschwindigkeiten werden vor allem von Fahrern schneller E-Bikes und von jüngeren Personen 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 komplexen Situationen wurden geringere Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen E-Bikes und Fahrrädern gefunden.
3. Es gibt erste Hinweise, dass die im Vergleich zu Fahrrädern höheren Geschwindigkeiten von E-Bikes zu häufigeren Interaktionen (Überholen, Kreuzen) mit anderen Verkehrsteilnehmern führen. Ob dies die mentalen Anforderungen erhöht, ist zurzeit noch nicht geklärt. Generell scheint das Konfliktgeschehen von E-Bike-Fahrern jenem der Fahrradfahrer zu entsprechen. Bezüglich Anzahl und Art der kritischen Situationen wurden keine Unterschiede gefunden.
4. Konsultierte Studien wiesen keine Unterschiede in der Unfallhäufigkeit zwischen E-Bike- und Fahrrad-Fahrern nach. Expositionsbezogene Daten (z. B. Fahrleistung, Anzahl Wege) blieben bis anhin jedoch weitgehend unberücksichtigt. Die vorhandenen Studien zur Verletzungsschwere von verunfallten E-Bike-Fahrern sind jedoch sowohl in Bezug auf die Methodik (z. B. berücksichtigte Unfallschwere, Indikator für Verletzungsschwere) wie die Ergebnisse nicht homogen. Deshalb lässt sich aktuell kein eindeutiges Fazit ziehen. E-Bike-Fahrer scheinen im Vergleich zu Fahrradfahrern ein höheres Risiko für Unfälle aufzuweisen, die einer Behandlung bedürfen. Studien, welche nur die Verletzungsgrade von Verunfallten in medizinischer Behandlung vergleichen, finden hingegen keine signifikanten Unterschiede.
5. Alleinunfälle sind der bedeutsamste Unfalltyp für E-Bike-Fahrer. Neben der Geschwindigkeit dürfte ein wichtiger Grund falsches oder zu starkes Bremsen sein.
6. 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.

7. Die Vermutung, dass E-Bike-Fahrer stärker durch Fehleinschätzungen anderer Verkehrsteilnehmer gefährdet sind als Fahrradfahrer, könnte zutreffen. In einem ersten Experiment akzeptierten PW-Lenker für ihr Linksabbiegen vor E-Bikes kleinere Zeitlücken als vor Fahrrädern.

V. Unfallanalyse (G. Scaramuzza)

1. Grundsätzliches

Die Unfallanalyse basiert auf dem **Rohdatensatz** des Bundesamtes für Strassen **(ASTRA)**. Dieser Datensatz enthält **sämtliche polizeilich registrierten Strassenverkehrsunfälle.** Die erfassten Unfälle werden durch verschiedene Merkmale charakterisiert, wie beispielsweise beteiligte Fahrzeugarten und Verkehrsteilnehmer oder den Unfallfolgen. E-Bikes werden seit dem Jahr 2011 als separate Verkehrsteilnehmerkategorie erfasst, sodass 3 Erhebungsjahre (2011–2013) analysiert werden konnten.

Wie bei allen amtlichen Verkehrsunfallstatistiken gilt es eine gewisse Dunkelziffer zu berücksichtigen, weil nicht bei jedem Unfall die Polizei beigezogen wird. Zudem können die angelasteten Unfallursachen gelegentlich von den effektiven (z. B. mit Unfallrekonstruktion ermittelt) abweichen.

2. Begriffe

Für gewisse Aussagen ist es angezeigt, Leichtverletzte, Schwerverletzte und Getötete in einer einzigen Kategorie zusammenzufassen und als **Personenschäden** zu bezeichnen.

Aus statistischer Sicht können sich Aussagen zu den Unfallfolgen (Getötete, Schwerverletzte, Leichtverletzte) bei Unfällen mit E-Bikes als unstabil erweisen. Dies, weil sich die Anzahl der jährlich getöteten E-Bike-Fahrer im einstelligen Bereich bewegt. Für die folgenden Analysen wurden deshalb die Getöteten zu den Schwerverletzten gezählt und als **schwere Personenschäden** bezeichnet.

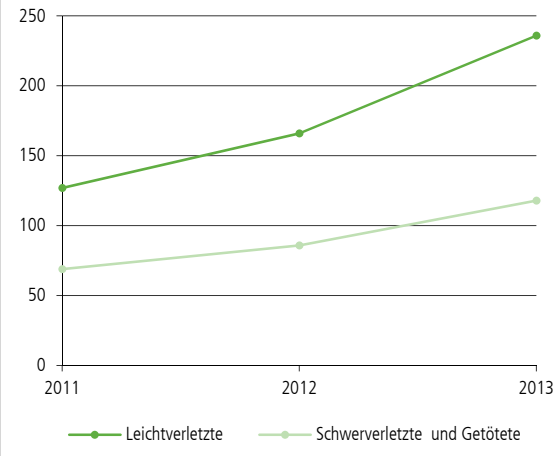
Als Kennwert für die Schwere von Unfällen wird üblicherweise die Letalität angegeben. Diese berechnet sich aus Anzahl Getötete pro 10 000 Personenschäden. Die – statistisch gesehen – kleine Anzahl Getöteter würde auch bei der Berechnung der Letalität zu instabilen Resultaten führen. Darum wurde in diesem Bericht die **Unfallschwere** als Anteil schwerer Personenschäden an allen Personenschäden definiert.

3. Zentrale Resultate

3.1 Entwicklung

Erwartungsgemäss zeigt sich während der analysierten Periode ein deutlicher **Anstieg** der verunfallten E-Bike-Fahrer (Abbildung 11). Von 2011 bis 2013 wurden insgesamt 14 E-Bike-Fahrer getötet, 259 schwer und 529 leicht verletzt.

Abbildung 11
Entwicklung der Anzahl verunfallter E-Bike-Fahrer nach Unfallschwere, 2011–2013

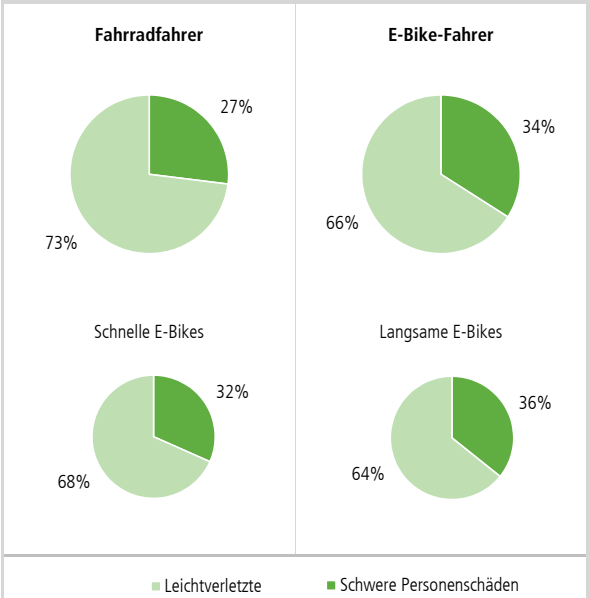


Wie bereits erwähnt geht diese **Entwicklung** mit der kontinuierlichen Zunahme des E-Bike-Fahrzeugbestands einher (Abbildung 11). In derselben Periode nahm die Anzahl der schwer verunfallten und getöteten E-Bike-Fahrer von 69 auf 118 zu. Der Vergleich der Verkaufszahlen und der Unfallzahlen für die Periode 2011–2013 zeigt einen Anstieg der schweren Personenschäden um das 1,7-Fache und ein Anstieg der total verkauften E-Bikes (Approximation für die im Verkehr zirkulierenden E-Bikes) um das 1,8-Fache.

3.2 Unfallschwere

Hinsichtlich der **Unfallschwere** liefert der **Vergleich** von E-Bike-Unfällen mit **Fahrradunfällen** einen ersten Hinweis. Über die Dreijahresperiode von 2011 bis 2013 aufsummiert beträgt der Anteil schwerer Personenschäden an allen verunfallten E-Bike-Fahrern 34 %. Bei Fahrradunfällen beträgt dieser Anteil lediglich 27 %. Dieses plausible Resultat führt zum Verdacht, dass das Risiko für schwere Verletzungen mit E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern erhöht sein dürfte (Abbildung 12).

Abbildung 12
Anteil schwer Personenschäden bei Fahrrad- und E-Bike-Unfällen mit Verletzten, Ø 2011–2013

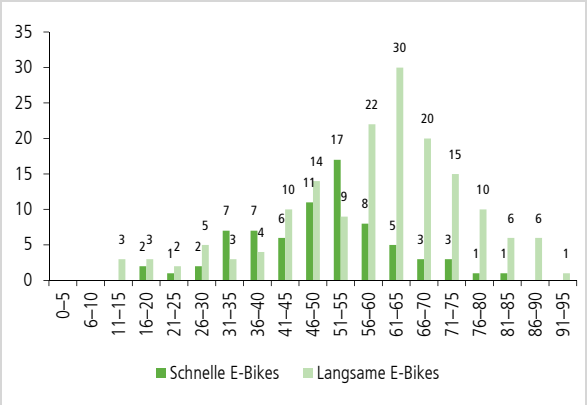


Weniger plausibel erscheint demgegenüber das Resultat der nach E-Bike-Typ[2] differenzierten Unfallschwere. So beträgt der Anteil schwerer Personenschäden an allen Verletzten bei Unfällen mit schnellen E-Bikes 32% bei langsamen E-Bikes hingegen 36%. Unfälle mit langsamen E-Bikes erscheinen nach dieser Analyse als schwerer im Vergleich zu Unfällen mit schnellen E-Bikes. Es stellt sich somit die Frage, ob die Unfallschwere nur vom Tretfahrzeugtyp abhängt oder ob andere Faktoren – insbesondere das Alter der Tretfahrzeug-fahrer - diese Unfallschwere (mit)beeinflussen. Mehr dazu in Kapitel V.3.3.

3.3 Alter

Die Analyse der **Altersverteilung** der **schweren Personenschäden nach E-Bike-Typ** (Abbildung 13) zeigt, dass schwer verletzte bzw. getötete Fahrer schneller E-Bikes im Durchschnitt 49 Jahre alt, Fahrer langsamer E-Bikes 59 Jahre alt sind.

Abbildung 13
Verteilung der schweren Personenschäden nach Alter und E-Bike-Typ

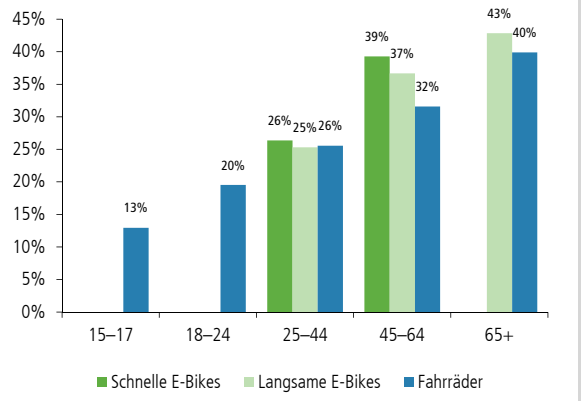


[2] Der E-Bike-Typ wurde auf Grund der im Unfallaufnahmeprotokoll zugewiesenen Kennzeichen-Art bestimmt (gelbes Kennzeichen = schnelles E-Bike). Dadurch gehen Fälle verloren, weil diese Rubrik häufig nicht ausgefüllt wurde (auch die Option «kein Kennzeichen» nicht).

Ob dieser Unterschied auf die Exposition und/oder auf die mit zunehmendem Alter ansteigende Vulnerabilität zurückzuführen ist, kann hiermit jedoch nicht beurteilt werden.

Die Analyse der **Altersverteilung** nach **Unfallschwere und Tretfahrzeugtyp** liefert einen weiteren Anhaltspunkt. Obwohl (aus statistischen Gründen) in einigen Altersklassen die Unfallschwere nicht für alle Tretfahrzeugtypen ausgewiesen wird, ist eine deutliche Tendenz zu erkennen: Die **Unfallschwere** steigt mit **zunehmendem Alter** für alle **Tretfahrzeugtypen** markant an, was als Hinweis für die altersbedingte Vulnerabilität gewertet werden kann (Abbildung 14). Zudem zeigt sich, dass in den Altersklassen der über 45-Jährigen die Unfallschwere für E-Bike-Farher grösser ist als für Fahrradfahrer.

Abbildung 14
Unfallschwere bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeugtyp und Altersklasse, 2011–2013



Ob und wie stark **Tretfahrzeugtyp und Alter** die Verletzungsschwere beeinflussen und ob gegebenenfalls ein Interaktionseffekt zwischen Alter und Tretfahrzeugtyp besteht, wurde mit einer **logistischen Regression** geprüft. Als abhängige (dichotome) Variable wurde dabei die Verletzungsschwere für E-Bike-Fahrer bzw. Fahrradfahrer definiert (schwerverletzt/getötet vs. leichtverletzt). Vier Modell-Grundtypen wurden dabei erstellt (Tabelle 4).

Alle Modelle zeigen einen **hochsignifikanten** Einfluss des **Alters** auf die Verletzungsschwere (p=0.000): Pro Altersjahr steigt die Chance, schwer zu verunfallen, um 2% (Odds Ratio OR 1.019).

Bei allen 4 Modelltypen konnten **keine signifikanten Interaktionseffekte** zwischen Alter und Tretfahrzeugtypen nachgewiesen werden.

Tabelle 4
Modelltypen zur Prüfung von Einflussfaktoren auf die Verletzungsschwere

	Differenzierung zwischen E-Bike-Typen			Keine Differenzierung zwischen E-Bike-Typen		
Berücksichtigung von Interaktionseffekten zwischen Tretfahrzeugtyp und Alter	**Modell 1**	**Sig.**	**Odds Ratio**	**Modell 2**	**Sig.**	**Odds Ratio**
	Alter	.000	1.019	Alter	.000	1.019
	Langsames E-Bike	.839	1.074	E-Bike	.381	1.276
	Schnelles E-Bike	.128	2.056			
	Geschlecht	.171	.936	Geschlecht	.175	.937
	Alter*Langsames E-Bike	.807	1.001	Alter*E-Bike	.676	.998
	Alter*Schnelles E-Bike	.166	.987			
	Konstante	.000	.173	Konstante	.000	.173
Keine Berücksichtigung von Interaktionseffekten zwischen Tretfahrzeugtyp und Alter	**Modell 3**	**Sig.**	**Odds Ratio**	**Modell 4**	**Sig.**	**Odds Ratio**
	Alter	.000	1.019	Alter	.000	1.019
	Langsames E-Bike	.134	1.168	E-Bike	.122	1.142
	Schnelles E-Bike	.542	1.092			
	Geschlecht	.174	.936	Geschlecht	.178	.937
	Konstante	.000	.174	Konstante	.000	.174

Hinsichtlich Einfluss des Tretfahrzeugtyps zeigen zwar alle Modelle eine Erhöhung der Unfallschwere bei E-Bike-Unfällen im Vergleich zu Fahrradunfällen. In keinem der Modelle erreichte der Einfluss jedoch statistische Signifikanz. Der stärkste Einfluss (OR = 2,056; p = 0,128) zeigt sich in Modell 1, bei dem auch Interaktionseffekte und eine Differenzierung zwischen E-Bike-Typen berücksichtigt wird.

Zusammengefasst kann festgehalten werden:

1. Mit zunehmendem Alter nimmt die Verletzungsschwere von Tretfahrzeug-Unfällen kontinuierlich zu.
2. Statistisch konnte nicht nachgewiesen werden, ob das Benützen eines E-Bikes (insbesondere eines schnellen E-Bikes) ebenfalls das Risiko erhöht, schwer zu verunfallen. Es zeigen sich lediglich schwache Hinweise für diesen Zusammenhang.
3. Der Einfluss des Alters auf die Unfallschwere hängt nicht vom benützten E-Bike-Typ ab.

3.4 Alter und Geschlecht

Die Verteilung der Anzahl schwerer Personenschäden von **E-Bike-Fahrern** nach **Geschlecht** und **Alter** zeigt, dass **Männer** etwas **häufiger** als Frauen schwere Personenschäden (53 % vs. 47 %) erleiden (Abbildung 15). Möglicherweise können diese Unterschiede zum Teil durch die Exposition erklärt werden. (Vgl. dazu die Verkaufszahlen von [2] und [4]).

Markante Unterschiede zeigt der **Vergleich** der schweren Personenschäden zwischen **E-Bike- und Fahrradunfällen** hinsichtlich **Altersklassen und Geschlecht** (Abbildung 16). So beträgt der Anteil schwer verunfallter männlicher Radfahrer gar 68 %. Ebenso deutlich unterscheidet sich die Verteilung schwerer Personenschäden hinsichtlich Altersklassen. So finden sich bei **E-Bikes** die meisten Opfer in der **Altersklasse 61–65** Jahre, bei den **Radfahrern** hingegen in der **Altersklasse 45–50** Jahre. Selbstredend entfallen bei den E-Bikes die Altersklassen unter 14 fast vollständig (Mindestalter für E-Bike fahren = 14 Jahre).

Abbildung 15
Schwere Personenschäden bei E-Bike-Fahrern nach Altersklasse und Geschlecht, ∑ 2011–2013

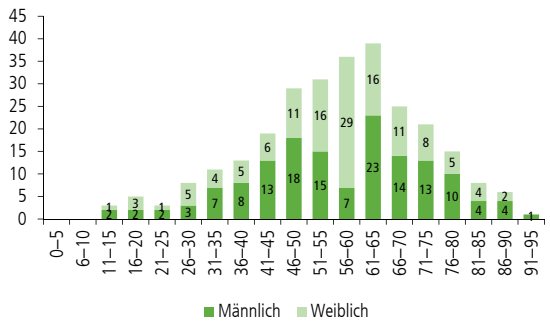
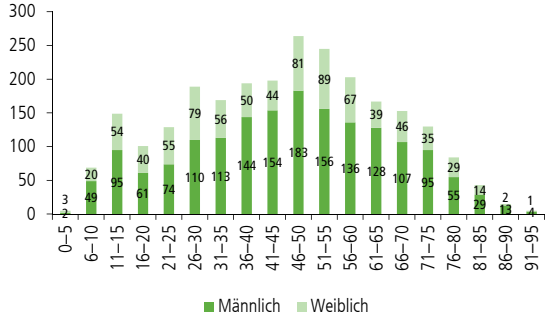


Abbildung 16
Schwere Personenschäden bei Fahrradfahrern nach Altersklasse und Geschlecht, ∑ 2011–2013



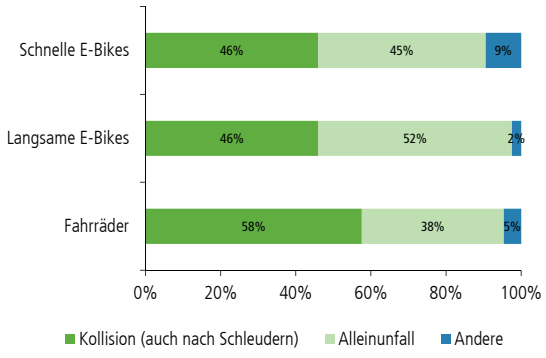
3.5 Unfalltyp

Überraschend fällt auch der Vergleich der **Unfalltypen** in Abhängigkeit des **Fahrzeugtyps** aus (Abbildung 17). So sind polizeilich registrierte **Alleinunfälle** (Schleuder-/Selbstunfälle mit nur einem beteiligten Fahrzeug) langsamer E-Bikes häufiger (52 %) als Alleinunfälle schneller E-Bikes (45 %). Bei schweren Fahrrad-Unfällen dominieren hingegen offenkundig die Kollisionen (58 % zu 38 %).

Die statistische Prüfung der Verteilungen erweist sich dabei als hochsignifikant. Und zwar unabhängig davon, ob nach E-Bike-Typ unterschieden wird (Pearson-Chi-Square = 0.001) oder ob beide E-Bike-Typen zusammengefasst betrachtet werden (Pearson-Chi-Square = 0.002).

Eine detailliertere Analyse der so genannt «anderen Unfalltypen» zeigt, dass es sich dabei insbesondere um Unfälle im Zusammenhang mit Parkiermanövern von anderen Fahrzeugen handelt. Würden diese Unfälle ebenfalls zu den Kollisionen gezählt, so würde der Unterschied zwischen schnellen und langsamen E-Bikes hinsichtlich Unfalltypverteilungen noch deutlicher ausfallen.

Abbildung 17
Schwere Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeug- und Unfalltyp, ∑2011–2013



In der Annahme, dass keine nennenswerten Unterschiede hinsichtlich Dunkelziffer zwischen langsamen und schnellen E-Bikes bestehen, könnten die ungleichen Verteilungen der Unfalltypen damit erklärt werden, dass langsame E-Bikes möglicherweise von weniger erfahrenen Personen gefahren werden. (vgl. Kap. V.3.6.2). Es wäre aber auch denkbar, dass potenzielle Kollisionsgegner die Geschwindigkeit schneller E-Bikes stärker unterschätzen als die Geschwindigkeit langsamer E-Bikes, was die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen erhöht.

Schliesslich sei auch auf den Vergleich mit dem Unfallgeschehen des Fahrradverkehrs hingewiesen. In der Tat beträgt der Anteil von schweren Alleinunfällen bei Radfahrern lediglich 38 %.

3.6 Hauptverursacher und Hauptursache

3.6.1 Vorbemerkung

Im amtlichen Unfallaufnahmeprotokoll des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) muss der unfallrapportierende Beamte pro Unfall eine sogenannte Hauptursache sowie einen Hauptverursacher bestimmen.

Sinnvollerweise muss eine Analyse nach Hauptursachen zwischen **Kollisionen** und **Alleinunfällen** unterscheiden. Denn bei Alleinunfällen kann die Hauptursache eindeutig dem Lenker des Tretfahrzeugs angelastet werden. Bei Kollisionen muss hingegen in einem ersten Schritt der Hauptverursacher bestimmt werden.

Die separate Betrachtung dieser zwei Unfalltypen führt zwangsläufig zu **kleinen Fallzahlen.** Um

trotzdem zu aussagekräftigen Resultaten zu gelangen, wurde deshalb für die Auswertung nach Hauptursachen nicht mehr zwischen «schnellen» und «langsamen» E-Bikes unterschieden.

3.6.2 Alleinunfälle

Der auffälligste Unterschied hinsichtlich Hauptursachen von schweren E-Bike- und Fahrrad-Allein-Unfällen zeigt sich in den Anteilen der Hauptursachen «Alkohol» und «Geschwindigkeit» (Abbildung 18). Kaum überraschend wird den **E-Bike-Fahrern** bei schweren Alleinunfällen 1,5-mal so oft die Hauptursache **Geschwindigkeit** angelastet (22 % zu 15 %). Umgekehrt findet sich bei **Radfahrern** bei schweren Alleinunfällen 1,6-mal so oft die Hauptursache **Alkohol.** Eine mögliche Erklärung könnte im Einsatzzweck von E-Bikes und Fahrrädern liegen. E-Bikes werden bekanntlich oft fürs Pendeln oder für längere Ausfahrten eingesetzt, wo Alkohol kaum ein Thema ist. Mangelnde Fahrzeugbedienung ist erwartungsgemäss ebenfalls eine wichtige Ursache, die jedoch anteilsmässig sowohl für E-Bike-Alleinunfälle wie auch für Fahrrad-Alleinunfälle etwa gleich häufig vorkommt (rund 15 %).

Die statistische Prüfung der Verteilungen der 6 analysierten Hauptursachengruppen zeigt ein signifikantes Ergebnis (Pearson-Chi-Square = 0,012).

3.6.3 Kollisionen

Die Auswertung der Hauptverursacher schwerer Kollisionen zeigt vor allem eine grosse Auffälligkeit:

Sowohl E-Bike-Fahrer als auch Fahrradfahrer sind bedeutend seltener Hauptverursacher schwerer Kollisionen als deren Kollisionsgegner (Abbildung 19). **Kollisionsgegner** von **E-Bike-Fahrern** sind in **70 %** der Fälle **Hauptverursacher; Kollisionsgegner** von **Fahrradfahrern** in immerhin **61 %** der Fälle. Die statistische Prüfung dieser Verteilungen ergibt dabei ein hochsignifikantes Ergebnis (Pearson-Chi-Square = 0,003)

Diese Erkenntnis kann als Hinweis dafür interpretiert werden, dass potenzielle Kollisionsgegner die Geschwindigkeit von E-Bikes im Vergleich zur Geschwindigkeit von Fahrrädern unterschätzen.

Abbildung 18
Verteilung der Hauptursachen bei schweren Alleinunfällen nach Fahrzeugtyp, Ø 2001–2013

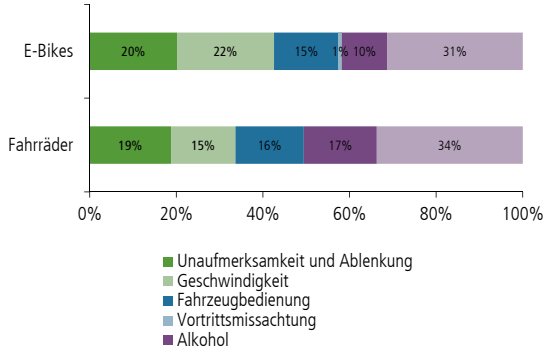
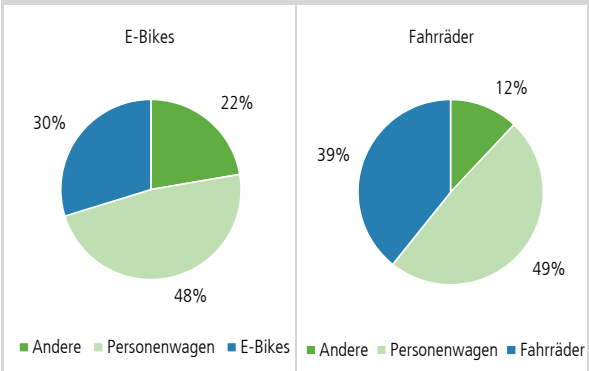


Abbildung 19
Verteilung der Hauptverursacher bei schweren Kollisionen nach Fahrzeugtyp, Ø 2011–2013



Die detaillierte Analyse der **Hauptverursacher** von schweren Kollisionen hinsichtlich deren **Hauptursache** (Abbildung 20) zeigt:

a) Als Hauptverursacher schwerer Kollisionen unterscheiden sich **Fahrradfahrer** und E-Bike-Fahrer hinsichtlich der ihnen angelasteten Hauptursachen nicht (Pearson-Chi-Square = 0,340).

b) Der Vergleich von **Tretfahrzeug-Lenkern** mit **Kollisionsgegner** als Hauptverursacher schwerer Kollisionen zeigt hingegen einen **signifikanten Unterschied** (Pearson-Chi-Square = 0,000). Kollisionsgegner missachten den Vortritt signifikant häufiger als Tretfahrzeug-Lenker.

3.7 Unfallstelle und Kollisions-Unfalltyp

3.7.1 Überblick

Aus verkehrstechnischer Sicht interessiert schliesslich die Kombination von einzelnen **Kollisions-Unfalltypen** und **Unfallstellen**. Eine entsprechende Kreuztabelle (5 Unfallstellen und 51 verschiedene Kollisionstypen) besteht aus 255 Kombinationen pro

Abbildung 20
Verteilung der Hauptursachen bei schweren Kollisionen nach Hauptverursachern und Tretfahrzeugtyp, ∑ 2011–2013)

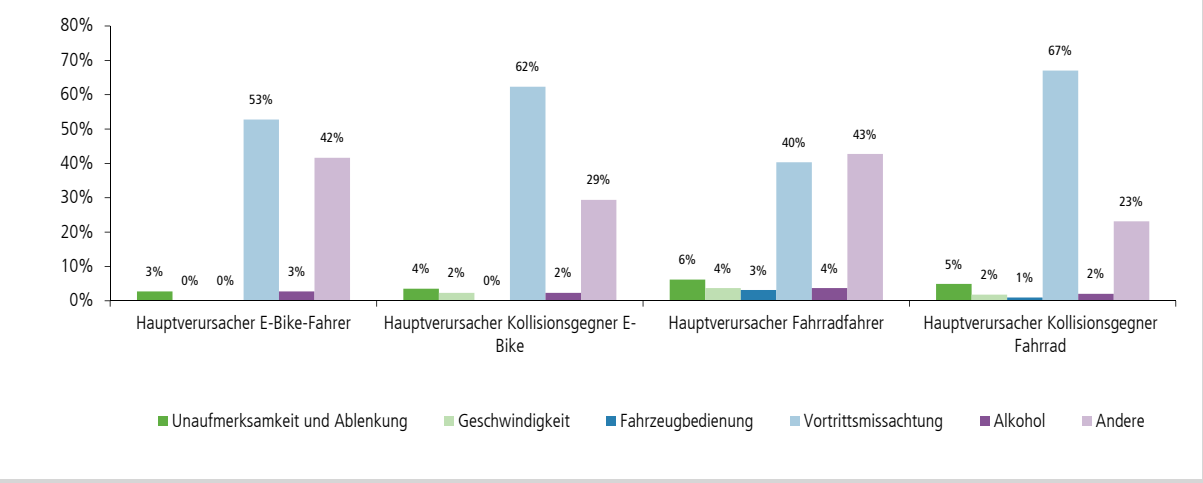


Tabelle 5
Hauptverursacher bei Kollisionen mit verunfallten Fahrradfahrern (leicht/schwer verletzt, getötet) nach Unfallstelle und Unfalltyp, Auswahl, ∑ 2011–2013

Unfalltyp	Unfallstelle				
	Gerade Strecke	Herkömmlicher Knotenpunkt	Kreisverkehrs-platz	Andere	Total
Streifen mit überholtem Fahrzeug	213	24	7	29	273
Aufprall auf fahrendes Fahrzeug	159	39	31	23	252
Kollision beim Linksabbiegen mit Gegenverkehr	122	410	1	27	560
Kollision beim Rechtsabbiegen mit nachfolgendem Fahrzeug	78	186	52	12	328
Kollision beim Linkseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug	99	525	4	26	654
Kollision beim Rechtseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug	33	250	493	12	788
Koll. beim Rechtseinbiegen mit von rechts kommendem Fahrzeug	40	168	1	10	219
Kollision mit von links kommendem Überquerer	91	235	55	12	393
Kollision mit von rechts kommendem Überquerer	74	345	11	12	442
Andere	1 022	740	53	359	2 174
Total	**1 931**	**2 922**	**708**	**522**	**6 083**

Tretfahrzeugtyp. Die Analyse von lediglich 109 – bei Kollisionen schwer verunfallten E-Bike-Fahrern (Abbildung 17) – würde stark an Aussagekraft einbüssen. Um statistisch aussagekräftigere Zahlen zu erhalten, wurden deshalb für diese Analyse nebst den schwer
oder tödlich verletzten auch die **leichtverletzten Lenker von Tretfahrzeugen** berücksichtigt**.**

Erwartungsgemäss finden sich in den allermeisten Zellen kleine Häufigkeiten oder Nullwerte. Aus Lesbarkeitsgründen werden deshalb in Tabelle 5 und Tabelle 6 lediglich Zeilen und Spalten mit grossen Häufigkeiten abgebildet.

Der Gesamtvergleich über die 5 im Unfallaufnahmeprotokoll ausgewiesenen verschiedenen **Unfallstellen** zeigt, dass 11,6 % aller Fahrradfahrer an einem **Kreisverkehrsplatz** verunfallen, wogegen dieser Anteil bei E-Bike-Fahrern 15,2 % beträgt. Allerdings ist dieser Unterschied statistisch nicht signifikant (Pearson-Chi-Square = 0,244).

Tabelle 6
Hauptverursacher bei Kollisionen mit verunfallten E-Bike-Fahrern (leicht/schwer verletzt, getötet) nach Unfallstelle und Unfallyp, Auswahl, ∑ 2011–2013

Unfalltyp	Unfallstelle				
	Gerade Strecke	Herkömmlicher Knotenpunkt	Kreisverkehrs-platz	Andere	Total
Streifen mit überholtem Fahrzeug	16	1	1	2	20
Streifen beim Vorbeifahren	8	5	0	2	15
Aufprall auf fahrendes Fahrzeug	8	1	1	1	11
Kollision beim Linksabbiegen mit Gegenverkehr	4	18	0	2	24
Kollision beim Linksabbiegen mit nachfolgendem Fahrzeug	8	4	0	1	13
Kollision beim Rechtsabbiegen mit nachfolgendem Fahrzeug	3	20	2	2	27
Kollision beim Linkseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug	7	48	0	3	58
Kollision beim Rechtseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug	3	23	54	0	80
Koll. beim Rechtseinbiegen mit von rechts kommendem Fahrzeug	0	19	0	1	20
Kollision mit von links kommendem Überquerer	2	12	4	0	18
Kollision mit von rechts kommendem Überquerer	6	24	0	0	30
FussgängerIn quer mit Geradeaus	8	1	0	0	9
Andere	57	35	5	20	117
Total	**130**	**211**	**67**	**34**	**442**

Die häufigsten **Unfalltypen** sind sowohl bei E-Bike-Kollisionen als auch bei Fahrrad-Kollisionen so genannte Kollisionen beim **Links- bzw. Rechtseinbiegen (in eine übergeordnete Strasse) mit einem von links kommenden Fahrzeug.** Ein analoger Unfalltyp, und zwar die so genannte **Kollision mit Überquerern (von links oder von rechts)** macht bei Fahrrädern 13,8% bzw. bei den E-Bikes 11,5% aller Kollisionen aus (Abbildung 21).

Mit einem Anteil von 9,2% erweisen sich schliesslich die **Kollisionen** von E-Bikes **beim Linksabbiegen mit Gegenverkehr** als besonders häufig (Abbildung 22).

Bei dieser Betrachtungsweise kann freilich nichts darüber ausgesagt werden, welcher der beiden Kollisionsgegner den Unfall verursacht hat. Hierfür muss jeder Unfalltyp nach dem Merkmal «Hauptverursacher» aufgeschlüsselt werden. Mehr dazu im folgenden Abschnitt.

3.7.2 Detailanalyse

In der Detailanalyse wurden die in Tabelle 5, S. 66 und Tabelle 6, S. 67 als relevant beurteilten Kombinationen von Unfalltyp und Unfallstelle dahingehend untersucht, ob der Tretfahrzeugfahrer oder der Kollisionsgegner Hauptverursacher war. Die detaillierten Resultate können Tabelle 7 entnommen werden.

Folgende Kombinationen erweisen sich dabei als besonders häufig:

1. Kollisionen in Kreiseln zwischen einmündendem Fahrzeug und im Kreisel fahrendem Fahrzeug (Abbildung 23).

12,2 % der bei Kollisionen verunfallten E-Bike-Fahrer finden sich allein bei dieser Kombination. Dabei ist besonders bemerkenswert, dass E-Bike-Lenkende nicht ein einziges Mal Hauptverursacher sind. Anschaulich ausgedrückt handelt es sich um Kollisionen, bei denen ein Lenker eines Fahrzeugs (in über 90 % der Fälle ein Personenwagen) bei einer Kreiseleinfahrt dem im Kreisverkehr fahrenden E-Bike-

Tabelle 7
Anzahl Hauptverursacher bei Kollisionen mit verunfallten Tretfahrzeug-Fahrern (leicht/schwer verletzt, getötet) nach Unfallstelle und Unfallyp, Auswahl, ∑ 2011–2013

Unfallsituation		E-Bike-Fahrer	Kollisions-gegner	Fahrrad-fahrer	Kollisions-gegner
Kollisionen in Kreiseln zwischen einmündendem Fahrzeug und im Kreisel fahrendem Fahrzeug	Total	54		493	
	Hauptverursacher	0	54	20	473
	Anteil	0%	100%	4%	96%
Kollisionen an herkömmlichen Knoten zwischen einmündendem oder querendem Fahrzeug und geradeaus fahrendem Fahrzeug	Total	107		1 355	
	Hauptverursacher	29	78	501	854
	Anteil	27%	73%	37%	63%
Kollisionen mit nachfolgendem Fahrzeug beim Rechtsabbiegen an herkömmlichen Knoten	Total	20		186	
	Hauptverursacher	2	18	17	169
	Anteil	10%	90%	9%	91%
Kollisionen beim Linksabbiegen mit Gegenverkehr an herkömmlichen Knoten	Total	18		410	
	Hauptverursacher	3	15	49	361
	Anteil	17%	83%	12%	88%
Streifkollisionen beim Überholen auf gerader Strecke	Total	16		213	
	Hauptverursacher	2	14	32	181
	Anteil	13%	88%	15%	85%

Abbildung 21
Häufigste Unfalltypen

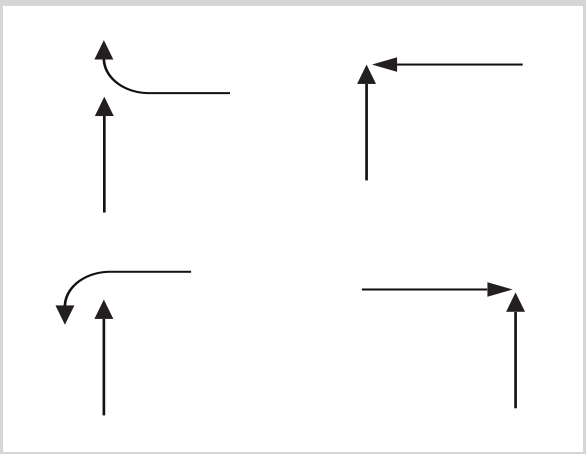


Abbildung 22
Zweithäufigste Unfalltypen

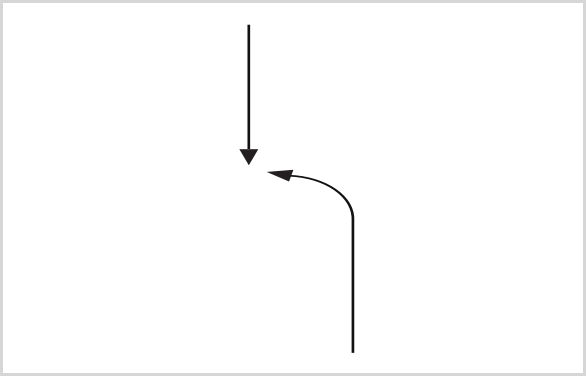
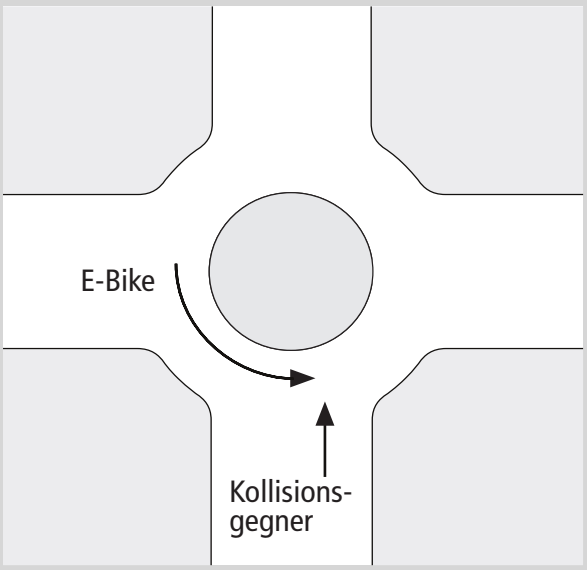


Abbildung 23
Relevanteste Unfall-Situation Tretfahrzeug/Kollisionsgegner

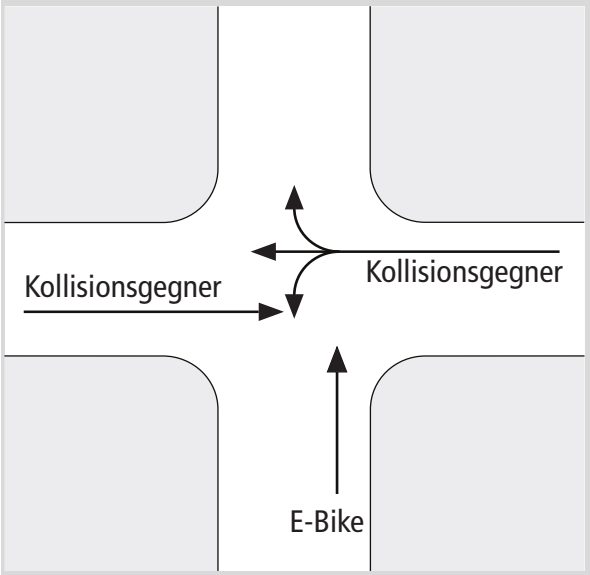


Fahrer den Vortritt nicht gewährt. Der Vergleich dieser Unfalltyp-Unfallstellen-Kombination mit der analogen Situation beim Fahrrad-Unfallgeschehen zeigt deutliche Unterschiede. Mit 8,1 % aller möglichen Unfalltyp-Unfallstellen-Kombinationen tritt dieses Problem beim Fahrradverkehr viel seltener auf. Dieser Unterschied in den Verteilungen ist statistisch hochsignifikant (Pearson-Chi-Square = 0.003). Zudem ist der Fahrradfahrer in dieser Konstellation manchmal selbst Hauptverursacher (4 % der Fälle).

2. Kollisionen an herkömmlichen Knoten mit einmündendem oder querendem (vortrittsbelastetem) Verkehr (Abbildung 24)

Analoge Resultate liefert die Analyse der Unfalltypen «Kollision beim Linkseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug», «Kollision beim Rechtseinbiegen mit von links kommendem Fahrzeug» und «Kollision mit von links/rechts kommenden Überquerer».

Abbildung 24
Zweitrelevanteste Unfall-Situation Tretfahrzeug/ Kollisionsgegner



Es handelt sich hierbei um folgende Situation: Ein vortrittsbelasteter Lenker gewährt an einer Kreuzung dem Fahrzeug, das sich von links nähert, den Vortritt nicht. Hinsichtlich Häufigkeit dieser Unfalltyp-Unfallstelle-Kombination unterscheiden sich E-Bike- und von Fahrradfahrer kaum.

Erstaunlich ist jedoch der Unterschied in der Verteilung der Hauptverursacher: Bei Kollisionen mit **Fahrrädern ist in 63 % der Fälle der Kollisionsgegner Hauptverursacher**, bei Kollisionen mit **E-Bikes hingegen gar in 73 % der Fälle.** Dieser Unterschied in den Verteilungen ist statistisch signifikant (Chi-Pearson = 0,041)

3. Kollisionen mit nachfolgendem Fahrzeug beim Rechtsabbiegen an herkömmlichen Knoten (Abbildung 25)

Hierbei handelt es sich um den klassischen Fall, bei dem ein Motorfahrzeug ein Tretfahrzeug überholt (oder umgekehrt) und unmittelbar danach nach rechts abbiegt. Hauptverursacher bei diesem Unfalltyp ist erwartungsgemäss fast immer das (überholende) Motorfahrzeug, und dies unabhängig davon, ob ein E-Bike oder ein Fahrrad überholt wird.

4. Kollisionen beim Linksabbiegen mit Gegenverkehr an herkömmlichen Knoten (Abbildung 26)

Von diesem Unfalltyp sind die Fahrradfahrer im Vergleich zu den E-Bike-Fahrern stärker betroffen (6,7 % vs. 4,1 %; statistisch signifikant: Pearson-Chi-Square = 0,029) Diese Feststellung gilt auch hinsichtlich Häufigkeit der Hauptverursacher: Meistens ist der Kollisionsgegner Hauptverursacher, und zwar in 83 % der Fälle bei Kollisionen mit E-Bike-Fahrern und in 88 % der Fälle bei Kollisionen mit Fahrradfahrern.

5. Streifkollisionen beim Überholen auf gerader Strecke

Dieser – in Fahrradkreisen oft gefürchtete Unfalltyp – ist in Realität viel seltener als erwartet und macht rund 3,5 % der Unfälle mit verletzten Tretfahrzeug-Lenkern aus. Dabei ist der Anteil an allen Kollisionen für beide Tretfahrzeug-Typen ähnlich hoch. Hauptverursacher ist erwartungsgemäss auch bei diesem Unfalltyp meistens der Kollisionsgegner (88 % bei E-Bike-Unfällen, 85 % bei Fahrrad-Unfällen).

Abbildung 25
Drittrelevanteste Unfall-Situation Tretfahrzeug/Kollisionsgegner

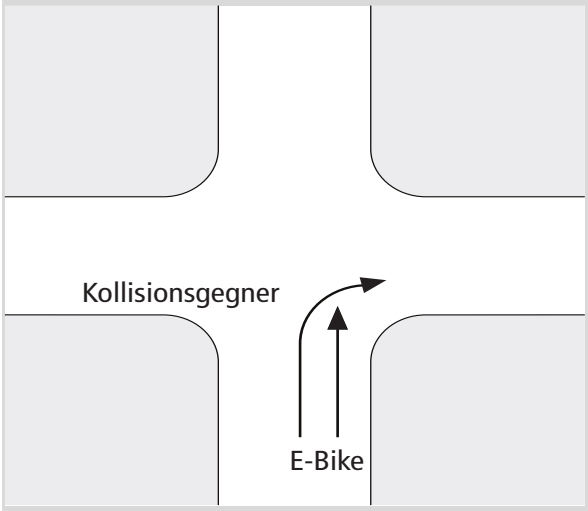
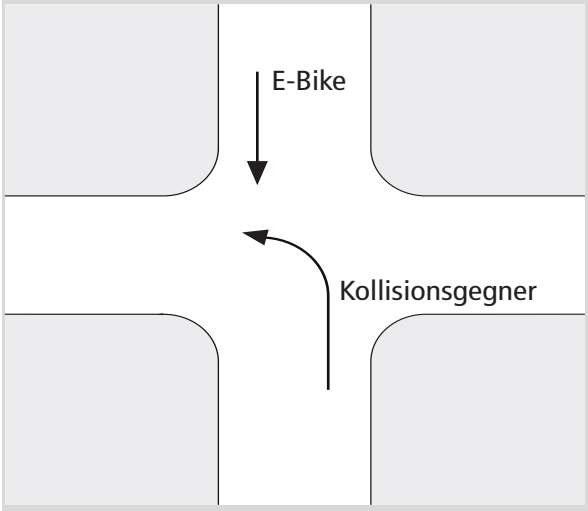


Abbildung 26
Viertrelevanteste Unfall-Situation Tretfahrzeug/Kollisionsgegner



3.8 Jahreszeit

Die Verteilung der schweren Personenschäden über die **Jahreszeiten** zeigt die erwarteten Schwankungen, was grösstenteils mit der unterschiedlichen Exposition erklärt werden kann (Abbildung 27).

Interessant ist indessen, dass bei **schnellen E-Bikes** diese **Schwankungen** im Unfallgeschehen **am wenigsten deutlich** ausgeprägt sind. Möglicherweise beeinflussen die verschiedenen Einsatzzwecke die Verteilung der schweren Unfälle übers Jahr (jahreszeitunabhängige Nutzung schneller E-Bikes zum Pendeln).

Die statistische Prüfung dieser Verteilungen zeigt ein knapp nicht signifikantes Resultat (Pearson-Chi-Quadrat = 0,070). Dabei übertrifft die Anzahl schwerer Personenschäden bei E-Bike-Unfällen im Herbst am deutlichsten die erwarteten Werte. Die Detailanalyse der schweren, herbstlichen Unfälle schneller E-Bike-Fahrer zeigt zudem, dass schwere Personenschäden doppelt so häufig auf Kollisionen zurückzuführen sind als auf Alleinunfälle (Pearson-Chi-Square = 0,018).

4. Weitere Resultate

4.1 Witterung

Die Auswertung des Unfallgeschehens in Abhängigkeit der **Witterung** dürfte im Wesentlichen ebenfalls die **Exposition widerspiegeln**. Erwartungsgemäss ereignen sich die allermeisten schweren Unfälle mit E-Bikes oder Fahrrädern bei schönem Wetter, wobei die Unterschiede zwischen den verschiedenen Witterungszuständen bei den Fahrrädern am stärksten ausgeprägt sind (Abbildung 28).

Die statistische Prüfung dieser Verteilungen zeigt jedoch ein nicht signifikantes Resultat (Pearson-Chi-Quadrat = 0,106).

Abbildung 27
Schwere Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeugtyp und Jahreszeit, ∑2011–2013)

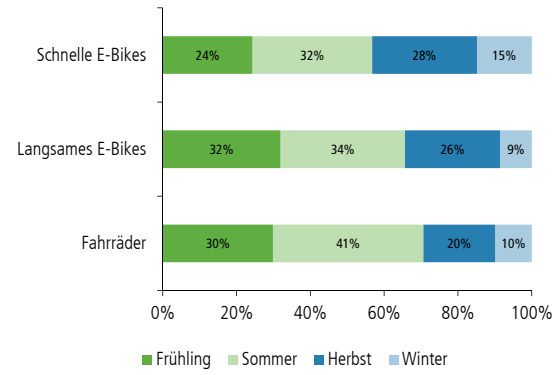
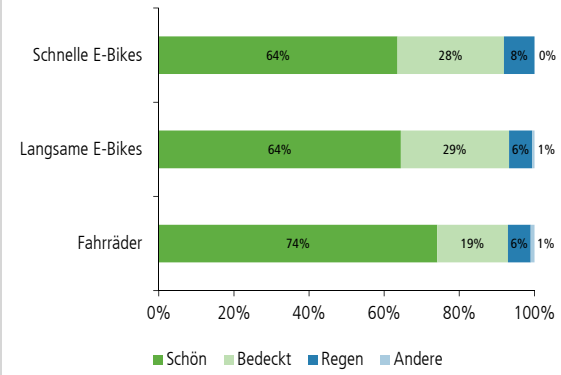


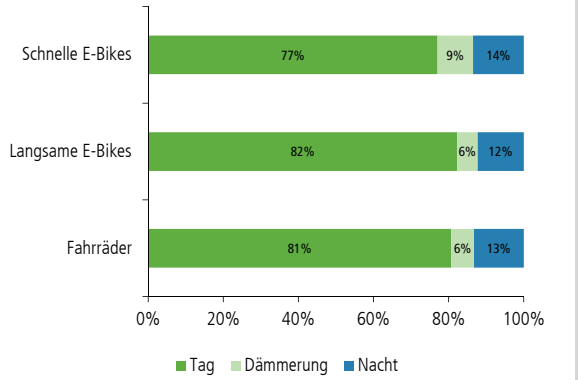
Abbildung 28
Schwere Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeugtyp und Witterung, ∑2011–2013)



4.2 Lichtverhältnisse

Die Verteilung der Anzahl schwerer Personenschäden in Abhängigkeit der zum Zeitpunkt des Unfalls herrschenden **Lichtverhältnisse** ist für schnelle E-Bikes, langsame E-Bikes und Fahrräder sehr ähnlich (Abbildung 29) Die allermeisten schweren Unfälle ereignen sich bei Tag. Die statistische Prüfung dieser Verteilungen zeigt denn auch keine Auffälligkeiten (Pearson-Chi-Quadrat = 0,786).

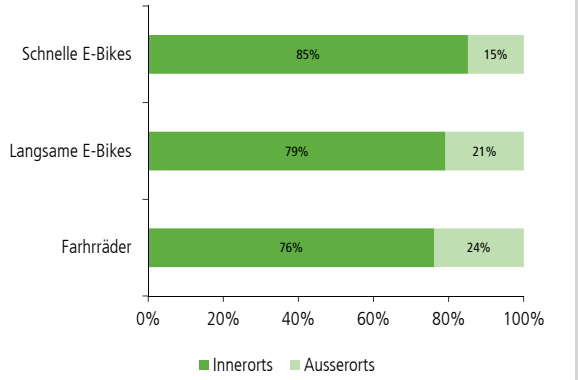
Abbildung 29
Schwere Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeugtyp und Lichtverhältnisse, ∑ 2011–2013



4.3 Ortslage

Überraschend fällt der Vergleich der Verteilungen der schweren Personenschäden von E-Bike- und Fahrradfahrern nach Ortslage aus (Abbildung 30). **Ausserorts** verunfallen Fahrradfahrer prozentual am häufigsten (24 %), Lenker **schneller E-Bikes am seltensten** (15 %). Allerdings zeigt die statistische Prüfung keine Abhängigkeiten in den Verteilungen (Pearson-Chi-Quadrat = 0,141).

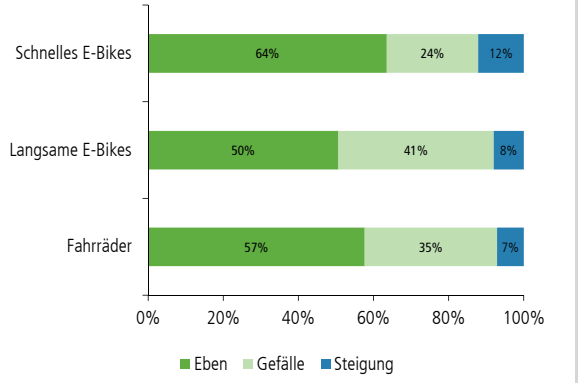
Abbildung 30
Schwere Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeugtyp und Ortslage, ∑ 2011–2013



4.4 Strassenanlage

Ein weiteres interessantes Resultat geht aus dem Vergleich der Verteilungen der schweren Personenschäden nach **Fahrzeugtyp** und **Strassenanlage** hervor (Abbildung 31). So bewegen sich die Anteile der schwer verunfallten Lenker langsamer E-Bikes im Gefälle und auf ebener Strecke in einer ähnlichen Grössenordnung (41 % zu 50 %). Hingegen betragen bei schnellen E-Bikes die entsprechenden Anteile 24 % und 64 %. Andererseits zeigt sich keine statistische Signifikanz in der Verteilung (Pearson-Chi-Square = 0,302).

Abbildung 31
schweren Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeugtyp und Strassenanlage, ∑ 2011–2013



4.5 Unfallstelle

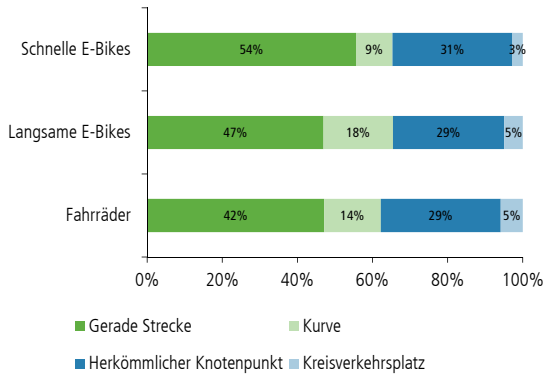
Der Vergleich des Unfallgeschehens nach **Fahrzeugtyp** und **Unfallstelle** zeigt ein unerwartetes Resultat (Abbildung 32): Lenker **langsamer E-Bikes** scheinen **häufig in Kurven** überdurchschnittlich oft schwer zu verunfallen im Vergleich zu Lenkern schneller E-Bikes (bei den Fahrradfahrern liegt dieser Anteil dazwischen). Allerdings zeigt auch diese Auswertung keine statistische Signifikanz (Pearson-Chi-Square = 0,541).

4.6 Fazit und Folgerungen aus der Unfallanalyse

Der Gesamtdatensatz der polizeilich registrierten Unfälle gilt zurzeit als beste und detaillierteste verfügbare Datenquelle des Unfallgeschehens im Strassenverkehr. Obwohl gewisse Einschränkungen zu berücksichtigen sind (Dunkelziffer, Unfallursachen), können die daraus ermittelten Resultate als erste **Befunde** gewertet werden, die es jedoch genauer zu prüfen gilt:

1. Die Zunahme der schweren Unfälle mit E-Bikes von 2011 bis 2013 geht proportional mit der Erhöhung des E-Bike-Bestands einher.

Abbildung 32
Schwere Personenschäden bei E-Bike- und Fahrradfahrern nach Fahrzeugtyp und Unfallstelle, ∑ 2011–2013



2. Die Unfallschwere nimmt mit zunehmendem Alter – statistisch signifikant – zu.
3. Die meisten schwer verunfallten E-Bike-Fahrer finden sich in den Altersklassen 46–65 Jahre.
4. Die polizeilich registrierten Unfälle mit E-Bikes sind im Vergleich zu den Unfällen mit Fahrrädern schwerer. Der Hauptgrund für diesen Unterschied liegt jedoch weniger am Fahrzeugtyp als an der Altersstruktur der Nutzer: E-Bike-Fahrer sind im Durchschnitt älter und damit verletzlicher als Fahrradfahrer.
5. Die Wahrscheinlichkeit, mit E-Bikes schwerer zu verunfallen als mit Fahrrädern ist vermutlich erhöht.
6. E-Bike-Fahrer verunfallen deutlich häufiger bei Alleinunfälle als bei Kollisionen schwer.
7. Die Analyse der Unfälle hinsichtlich Jahreszeiten, Witterung und Lichtverhältnisse zeigt inhomogene Resultate. Es gibt gewisse Hinweise, dass bei suboptimalen Bedingungen E-Bikes schlechter als Fahrräder wahrgenommen werden.
8. E-Bike-Fahrer verunfallen – sowohl absolut betrachtet als auch im Vergleich zu Fahrradfahrern – auffallend oft unverschuldet in Kreisverkehrsplätzen, weil einfahrende Motorfahrzeuge ihnen den Vortritt nicht gewähren.
9. E-Bike-Fahrer verunfallen – sowohl absolut betrachtet als auch im Vergleich zu Fahrradfahrern – auffallend oft unverschuldet an Knotenpunkten. Dies, weil insbesondere von rechts einmündende Motorfahrzeuge ihnen den Vortritt nicht gewähren.

Auf Grund der Analyse des polizeilich registrierten Unfallgeschehens lassen sich für die Präventionsarbeit folgende Schlüsse ziehen: Die Entwicklung des Unfallgeschehens seit 2011, die im Vergleich zu Fahrradunfällen höhere Unfallschwere von E-Bike-

Unfällen sowie die betroffenen Alterssegmente der schwer verunfallten E-Bike-Fahrer (Fazit: Punkte 1 bis 5) sprechen dafür, die Entwicklung verschiedener **Sicherheits- und Unfallindikatoren genau zu verfolgen**. Zu diesem Zweck ist es deshalb angezeigt, ein systematisches **Monitoring** der Kennwerte, die für E-Bike-Unfälle relevant sind, zu betreiben.

Die Analyse von Unfalltypen und Hauptursachen Fazit: Punkt 6) nährt den Verdacht, dass E-Bike-Fahrer Defizite bei der Einschätzung des eigenen Fahrkönnens bzw. der Fahrzeugbedienung aufweisen könnten. Aus dieser Erkenntnis wird gefolgert, den Einfluss verschiedener psychologischer Faktoren auf das **Fahrverhalten von E-Bike-Fahrern** näher zu untersuchen.

Auf Grund der Analyse von Unfalltypen und Hauptursachen (Fazit: Punkte 7 bis 9) ist zu vermuten, dass Motorfahrzeuglenker Defizite aufweisen, an Knoten von links nahende E-Bikes wahrzunehmen sowie deren Geschwindigkeit korrekt einzuschätzen. Deshalb wurde beschlossen, im Rahmen des vorliegenden Forschungsberichtes, die Fähigkeit von Motorfahrzeuglenkern zu untersuchen, **Geschwindigkeiten** von E-Bikes, die von links nahen, korrekt **einzuschätzen** (Kap. VII: Experiment).

VI. Lenkerbefragung (A. Uhr)

1. Ausgangslage

Im Vergleich zum konventionellen Fahrrad werden bei E-Bikes erstaunlicherweise mehr schwere Unfälle aufgrund von Selbstunfällen (Kontrollverlust) als aufgrund von Kollisionen registriert. Dies lässt vermuten, dass nicht nur andere Verkehrsteilnehmer die Geschwindigkeit der E-Bike-Fahrer unterschätzen, sondern auch die E-Bike-Fahrer selber den Risikofaktor Geschwindigkeit verkennen und zu wenig defensiv fahren.

Das Verhalten der Verkehrsteilnehmer wird als wichtige Determinante für die Verkehrssicherheit erachtet (z. B. [51,52]). Zwischen riskantem Fahrverhalten und der Beteiligung an Unfällen oder Beinaheunfällen wurden signifikante Zusammenhänge aufgezeigt [53]. Für die Unfallprävention ist es daher wichtig zu wissen, welche psychologischen Faktoren das Fahrverhalten beeinflussen beziehungsweise welche Faktoren zu einem sicherheitsorientierten Fahrstil beitragen. Verschiedene Theorien betonen diesbezüglich den Einfluss von kognitiven Komponenten. Ein Faktor, welchem dabei oft eine wichtige Bedeutung zugeschrieben wird, ist die Risikowahrnehmung (s. Übersicht Ranney [54]). Ebenfalls diskutiert wird ein Einfluss der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle (z. B. [55,56]), einer Komponente aus der Theorie des geplanten Verhaltens [57]. Die Effekte von kognitiven Faktoren auf das Fahrverhalten wurden in der Forschung zur Verkehrssicherheit bisher in erster Linie bei Personenwagenlenkern untersucht. Spezifisch in Bezug auf E-Bike-Fahrer konnten nur Studien aus China mit deutlich jüngeren Stichproben als das Durchschnittsalter der E-Bike-Fahrer in der Schweiz gefunden werden [18,19,28,58].

Um Wissenslücken zu schliessen, wurde die vorliegende Lenkerbefragung durchgeführt. Ziel war es, bei **Fahrern von schnellen E-Bikes** in der Schweiz zu untersuchen, welche psychologischen Komponenten mit dem Fahrverhalten in Zusammenhang stehen.

2. Forschungsfragen

Auf Basis einer Literaturrecherche zu den Themen E-Bike, Fahrverhalten und Risikokompetenz sowie aufgrund von theoretischen Überlegungen wurde ein Modell zur Vorhersage des (selbstberichteten) Fahrverhaltens entwickelt. Es ist in Abbildung 33 dargestellt. Auf der rechten Seite finden sich die vermuteten psychologischen Einflussfaktoren (Prädiktoren). Neben dem Gefahrenbewusstsein und der wahrgenommenen Verhaltenskontrolle wurden die Faktoren Wissen über das Unfallgeschehen von E-Bikes, Perspektivenübernahme und Gefühl der Unverletzbarkeit in das Modell aufgenommen. Demnach wird insbesondere dann sicherheitsorientiert E-Bike gefahren, wenn die wichtigsten Unfallsituationen bekannt sind und wenn ein ausgeprägtes Gefahrenbewusstsein und die Fähigkeit zur Perspektivenübernahme vorhanden sind. Riskanter fährt hingegen, wer das Gefühl hat, das E-Bike jederzeit unter Kontrolle zu haben oder wer sich unverletzbar fühlt.

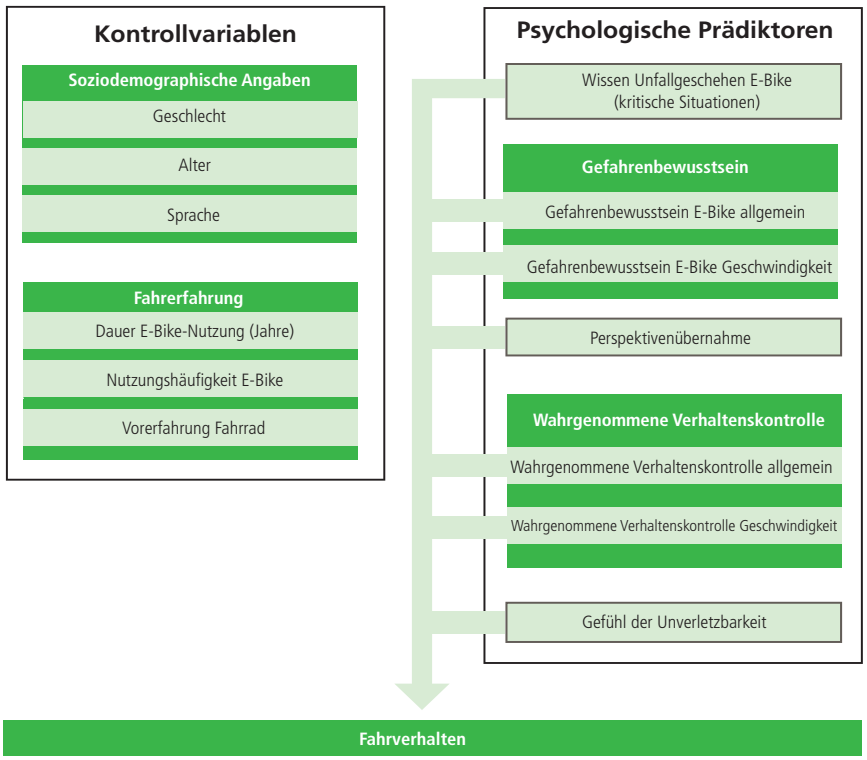
Auf der linken Seite sind verschiedene Kontrollvariablen aufgeführt, deren möglicher Einfluss ebenfalls überprüft werden soll. Ziel dieser Studie ist es zu prüfen, ob die vermuteten Einflussfaktoren tatsächlich signifikant mit dem Fahrverhalten in Zusammenhang stehen. Neben diesen theoriegeleiteten Fragen interessieren auf deskriptiver Ebene die Bekanntheit relevanter Gesetze, die Helmtragquote, die Lichteinschaltquote und der häufigste Fahrzweck.

3. Methoden

3.1 Datenerhebung

Alle interessierenden Informationen wurden mittels einer **schriftlichen Befragung** erhoben. Der Erhebungszeitraum betrug einen Monat (Juni 2014). Um Adressen von E-Bike-Fahrern zu erhalten, wurden alle 26 Strassenverkehrsämter der Schweiz angefragt. Hier sind alle Besitzer von schnellen E-Bikes (Tretunterstützung bis 45 km/h) registriert, da diese als Motorfahrräder gelten und einen Fahrzeugausweis und ein Kontrollschild benötigen. In der Anfrage wurde garantiert, dass die Daten nur einmalig und anonymisiert verwendet werden. 6 Strassenverkehrsämter erklärten sich bereit, die Adressen zur Verfügung zu stellen. Sie lieferten insgesamt 9894 Adressen. Davon wurde eine Zufallsstichprobe von 40 % gezogen und 3957 Personen angeschrieben. Als Anreiz wurde dem Fragebogen eine Wettbewerbskarte zur Teilnahme an der Verlosung von 2 iPads beigelegt. 2247 Personen sendeten den Fragebogen zurück. Dies entspricht einer Rücklaufquote von 56,8 %.

Abbildung 33
Modell mit vermuteten Einflussfaktoren (Prädiktoren)



3.2 Fragebogen

Der Fragebogen erhob die im theoretischen Modell (Kap. VI.2) vermuteten Einflussfaktoren sowie die Kontrollvariablen. Da auf keine bestehenden Skalen zurückgegriffen werden konnte, mussten die interessierenden Einflussfaktoren selber operationalisiert werden. Die Überprüfung mittels Faktorenanalyse führte dazu, dass die wahrgenommene Verhaltenskontrolle und die Risikowahrnehmung in je zwei Faktoren unterteilt wurden (Allgemein und Geschwindigkeit). In der Endversion des Fragebogens enthielt jeder der 7 Einflussfaktoren zwischen 2 und 5 Items. Mit Ausnahme des Wissens zum Unfallgeschehen von E-Bikes wurden für jeden Faktor die Werte der einzelnen Items zu einem einzelnen Index addiert. Die einzelnen Itemwerte reichten von «1 = trifft überhaupt nicht zu» bis «4 = trifft völlig zu». Die internen Konsistenzen der verschiedenen Skalen müssen als tief bezeichnet werden. Das höchste Cronbach's Alpha der Skalen zur Prüfung des Modells lag bei $\propto$ = ,789, das tiefste bei $\propto$ = ,328. Eine Übersicht der Skalen (Zuordnung der Items, Skalenbildung, interne Konsistenzen) gibt Tabelle 17 im Anhang.

Zusätzlich zu den im Modell aufgeführten Variablen wurden das Wissen über gesetzliche Bestimmungen, die Lichteinschaltquote, die Helmtragquote, der häufigste Fahrzweck und die Unfallerfahrung erfasst. Der Fragebogen enthielt insgesamt 45 Fragen (Anhang Kap. IX.1).

3.3 Stichprobe

Um sicher zu gehen, dass die befragten Personen über etwas Erfahrung mit dem E-Bike verfügten, wurden all jene Teilnehmenden ausgeschlossen, welche gemäss eigener Angaben noch nicht mindestens einen Monat Fahrerfahrung aufwiesen oder das E-Bike nicht selber besassen. Obwohl beim Strassenverkehrsamt nur schnelle E-Bikes registriert sind, gaben einige Personen an, ein langsames E-Bike zu fahren. Diese wurden ebenfalls aus der Stichprobe entfernt, da bei schnellen E-Bikes der Unterschied zum konventionellen Fahrrad deutlicher ausfällt als beim langsamen E-Bike. Personen mit zu vielen Missings (fehlende Werte) wurden ebenfalls ausgeschlossen.

Schlussendlich bestand die Stichprobe aus 2158 Personen. (50,3% Männer, 49,7 % Frauen). Das Durchschnittsalter betrug 50 Jahre (SD = 11). Die jüngste Person war 14 Jahre, die älteste 87 Jahre alt. 88 % füllten den Fragebogen in Deutsch, 12 % auf Französisch aus. Im Durchschnitt nutzten die Teilnehmenden das E-Bike seit 37 Monaten (SD = 32,8).

3.4 Datenanalyse

Für die Prüfung der im Modell postulierten Zusammenhänge wurde mit SPSS eine multiple lineare Regressionsanalyse (Enter-Methode) gerechnet. Der Vergleich der Modellvariablen zwischen Personen mit und ohne Unfallerfahrung wurde mittels t-Tests für unabhängige Stichproben ermittelt, der Zusammenhang zwischen Fahrverhalten und Unfallrate mittels Rangkorrelation (Spearman).

4. Resultate

4.1 Deskriptive Statistik

4.1.1 Rahmenbedingungen

Die Mehrheit der Befragten (61 %) gab an, vor der Zeit ihrer E-Bike-Nutzung regelmässig Fahrrad gefahren zu sein. Nur 10 % wiesen praktisch keine Erfahrung mit dem Fahrrad auf. 92 % sagten aus, das Helmobligatorium einzuhalten und auf dem E-Bike immer einen Helm zu tragen, lediglich 2 % taten dies nur selten oder nie. Tagsüber schalteten 23 % der Teilnehmenden das Licht des E-Bikes immer ein, 40 % fuhren tagsüber nie mit Licht. Während der warmen Jahreszeit fuhr die Mehrheit der Befragten mehrmals pro Woche E-Bike: 35 % fuhren fast täglich, 40 % mehrmals pro Woche. Am häufigsten wurde das E-Bike für den Arbeitsweg bzw. die Schule verwendet (60 %), gefolgt von Fahrten in der Freizeit (26 %). Grafische Darstellungen dieser Resultate finden sich in Abbildung 34 bis Abbildung 38.

Abbildung 34
Vorerfahrung Fahrrad: Sind Sie in der Zeit vor Ihrer «E-Bike-Nutzung» Velo gefahren? (n = 2153)

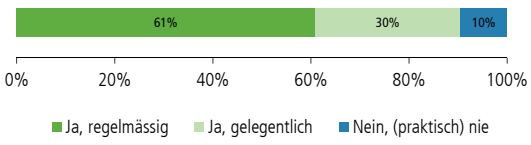


Abbildung 35
Helmtragquote: Tragen Sie beim E-Bike-Fahren einen Helm? (n = 2150)

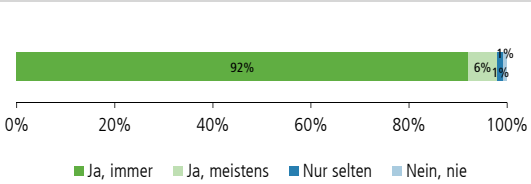


Abbildung 36
Lichteinschaltquote: Schalten Sie das Licht Ihres E-Bikes auch tagsüber ein? (n = 2145)

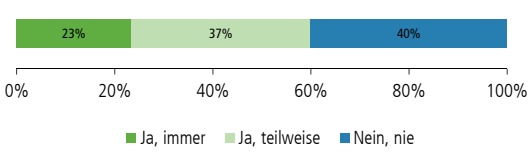


Abbildung 37
Häufigkeit der Fahrten: Wie häufig fahren Sie in der warmen Jahreszeit (ohne Winter) E-Bike? (n = 2144)

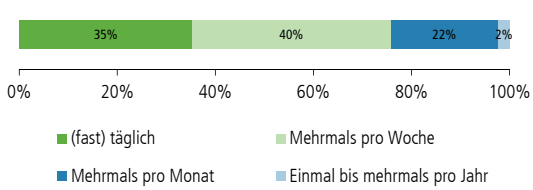
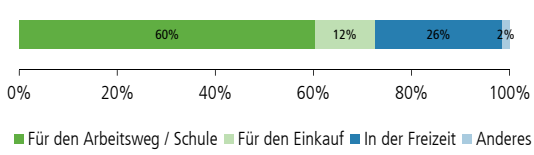


Abbildung 38
Fahrzweck: Wozu nutzen Sie ihr E-Bike hauptsächlich? (n = 2149)



4.1.2 Fahrdauer und Häufigkeit der Fahrten

Eine durchschnittliche E-Bike-Fahrt dauerte gemäss Selbstauskunft 42 Minuten (SD = 39). Diese durchschnittliche Dauer war davon abhängig, wie häufig eine Person mit dem E-Bike unterwegs war. Bei Personen, die fast täglich E-Bike fuhren, dauerte die durchschnittliche Fahrt 26 Minuten (SD = 19), bei jenen, die nur mehrmals pro Monat fuhren, mit 67 Minuten (SD = 52) deutlich länger.

Ein Boxplot zur Illustrierung des Zusammenhangs zwischen durchschnittlicher Fahrdauer und der Häufigkeit der Fahrten ist in Abbildung 39 dargestellt.

4.1.3 Einzelne Items zur Erfassung der Prädiktoren

Der Grossteil der Befragten legte Wert darauf, sicher und umsichtig zu fahren (90 %). Die Mehrheit (75 %) wusste, dass der Anhalteweg des E-Bikes länger und die Geschwindigkeit höher ist als beim konventionellen Fahrrad. Dass andere Verkehrsteilnehmer die Geschwindigkeit der E-Bike-Fahrer unterschätzen, wurde gar von 96 % der Teilnehmenden bejaht. Die meisten E-Bike-Fahrer bringen demnach gute Voraussetzungen mit, sich sicherheitsorientiert zu verhalten. Möglicherweise überschätzten aber viele 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.

In Abbildung 40, S. 80 sind die Verteilungen der Zustimmungen zu einzelnen Items dargestellt, in Abbildung 41 und Abbildung 42 die Einschätzungen des eigenen Fahrstils. Bei Letzterem zeigten sich nur wenige extreme Ausprägungen. Die meisten der Befragten beurteilten ihren Fahrstil entsprechend einer der mittleren Kategorien. Zwischen den beiden Polen «zurückhaltend – rasant» ging die Tendenz eher in Richtung rasant, zwischen den Polen «vorsichtig – forsch» eher in Richtung vorsichtig.

Bei der Aufgabe, die häufigsten Unfallursachen von E-Bike-Fahrer einzuschätzen, orteten die Teilnehmenden bei Kollisionen an Kreuzungen infolge von Vortrittsmissachtung die grössten Gefahren. Ebenfalls als häufig wurden Kollisionen an Kreiseln infolge Vortrittsmissachtung erachtet. Der Sturz/Selbstunfall (ohne Fremdeinwirkung) wurde dagegen in seiner Auftretenshäufigkeit eher verkannt. Die Mehrheit ging fälschlicherweise davon aus, dass er seltener auftritt als Kollisionen an Knoten oder Kreiseln. Eine detaillierte Übersicht der Antworten gibt Abbildung 43.

Abbildung 39
Zusammenhang durchschnittlichen Fahrdauer und Häufigkeit der Fahrten

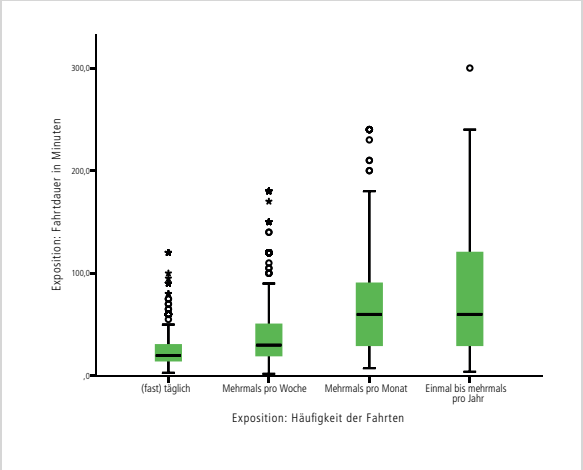


Abbildung 40
Verteilung der Zustimmung zu einzelnen Items

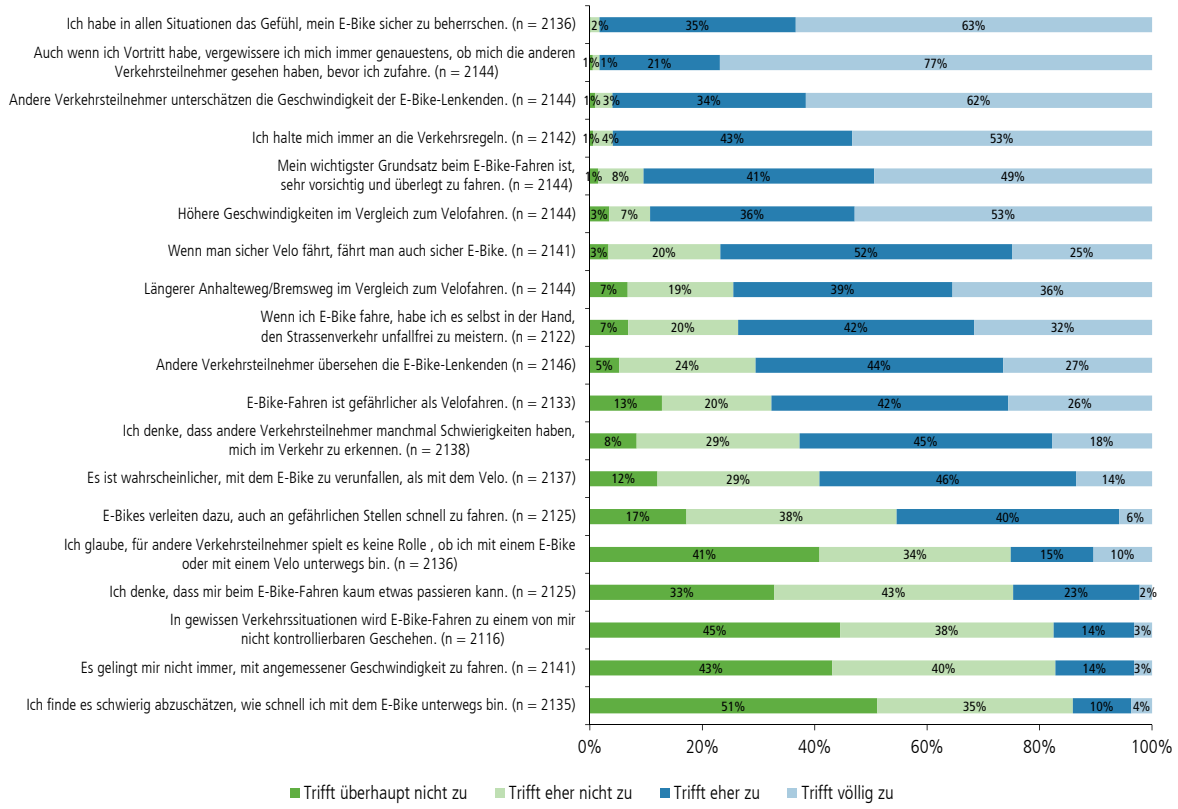


Abbildung 41
Einschätzung des eigenen Fahrstils: zurückhaltend – rasant (n = 2118)

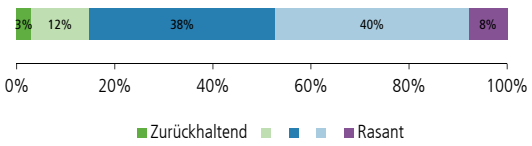


Abbildung 42
Einschätzung des eigenen Fahrstils: vorsichtig – forsch (n = 2136)

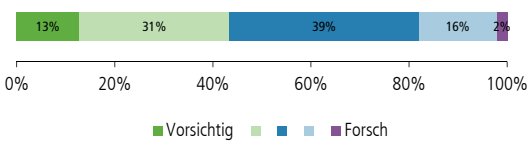
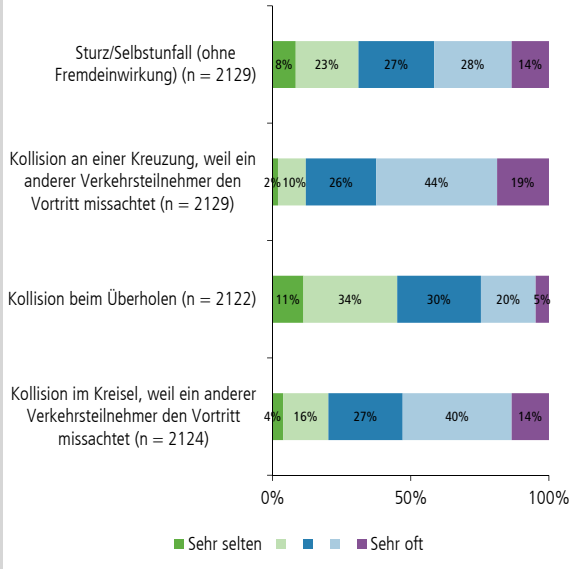


Abbildung 43
Einschätzung der häufigsten Unfallursachen



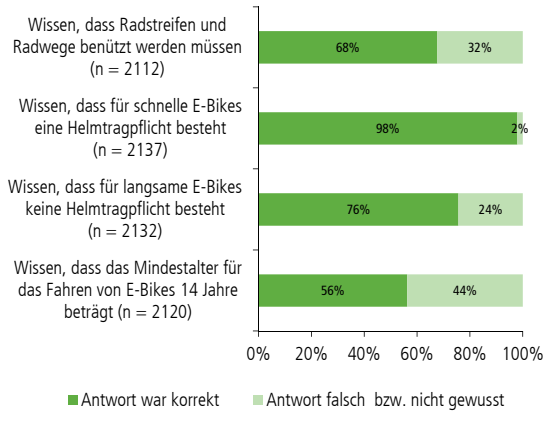
4.1.4 Wissen über gesetzliche Bestimmungen

Zur Überprüfung des Wissens über gesetzliche Bestimmungen wurden vier Fragen formuliert. Die Verteilung der korrigierten Antworten sind in Abbildung 44 dargestellt. Die Resultate zeigen, dass die Befragten gut über die Helmpflicht für schnelle E-Bikes Bescheid wussten. Das Mindestalter von 14 Jahren für das Fahren von E-Bikes war hingegen weniger gut bekannt.

4.1.5 Unfallerfahrung

Der grösste Teil der Teilnehmenden hatte mit dem E-Bike bis zum Zeitpunkt der Befragung noch keinen Unfall erlebt. Wenn es zu einem Unfall kam, dann war es häufiger ein Selbstunfall/Sturz als eine Kollision. Knapp 13 % der Befragten hatten bisher einen, rund 3 % zwei Selbstunfälle. Rund 4 % waren in eine, knapp 1 % in zwei Kollisionen verwickelt. Unter Berücksichtigung der Fahrerfahrung ergab sich bei den Selbstunfällen pro Jahr eine durchschnittliche Unfallrate von ,09 (SD = ,27), bei den Kollisionen von ,02 (SD = ,16). Dies bedeutet, dass pro Jahr von 100 E-Bike-Fahrer rund 9 einen Selbstunfall erlebten und 2 in eine Kollision verwickelt waren. Die Fahrleistung bleibt dabei jedoch unberücksichtigt.

Abbildung 44
Wissen über gesetzliche Fragen



4.1.6 Überblick Skalen

Um die Modellvariablen zu erfassen wurden insgesamt 8 Skalen gebildet. Die Skala Fahrverhalten diente als abhängige Variable, die anderen 7 Skalen als Prädiktoren (Modell Kap. VI.2). Eine Übersicht der Skalen (Zuordnung der Items, Skalenbildung, interne Konsistenzen) findet sich in Tabelle 17 im Anhang. Die Ausprägungen der Skalen mit Mittelwerten, Standardabweichungen, Minimum und Maximum sind in Tabelle 8 dargestellt. Die Skala Fahrverhalten umfasste 5 Items, deren Werte für die Skalenbildung addiert wurden. Theoretisch begann die Skala bei Wert 5 und endete bei 22. Die Stichprobe wies im Minimum eine Ausprägung von 8, im Maximum von 22 auf. Der Mittelwert lag bei 16,59, die Standardabweichung bei 2,43.

Tabelle 8
Skalenwerte mit Mittelwert, Standardabweichung, Minumum und Maximum

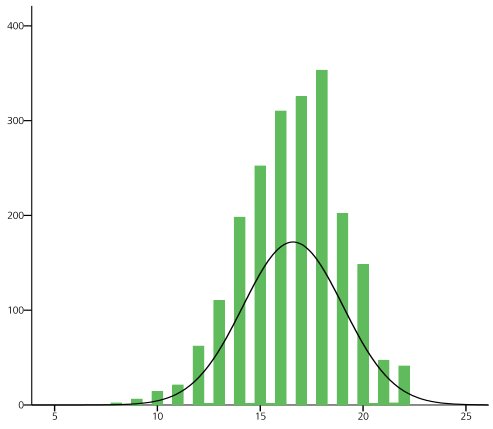
Skalen	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
Wissen Unfallgeschehen E-Bike (kritische Situationen)	–0.18	2.15	–3.00	3.00
Gefahrenbewusstsein E-Bike allgemein	7.43	2.00	3.00	12.00
Gefahrenbewusstsein E-Bike Geschwindigkeit	8.76	1.82	3.00	12.00
Perspektivenübernahme	12.28	2.26	4.00	16.00
Wahrgenommene Verhaltenskontrolle allgemein	5.38	0.87	2.00	8.00
Wahrgenommene Verhaltens-kontrolle Geschwindigkeit	5.56	1.32	1.00	7.00
Gefühl der Unverletzbarkeit	4.93	1.32	2.00	8.00
Fahrverhalten	16.59	2.43	8.00	22.00

Die Verteilung ist in Abbildung 45 dargestellt. Inhaltlich bedeutet eine hohe Ausprägung auf der Skala Fahrverhalten, dass die Person angab, vorsichtig, überlegt und zurückhaltend E-Bike zu fahren.

4.2 Modellprüfung: Bedeutsame Faktoren für das Fahrverhalten

Mit Hilfe einer multiplen Regression wurde geprüft, ob und wie stark die erfassten Variablen mit dem Fahrverhalten in Beziehung stehen. Dieses Verfahren ermöglicht Aussagen darüber, ob sich das Fahrverhalten (abhängige Variable) verändert, wenn beispielsweise das Gefahrenbewusstsein oder die Fähigkeit zur Perspektivenübernahme (Prädiktoren) höher oder tiefer ausfallen. Die Analyse zeigt, dass das selbstberichtete Fahrverhalten mit einigen der erfassten Variablen in signifikantem Zusammenhang steht. Die Ergebnisse finden sich in Tabelle 9. Alle Prädiktoren zusammen können insgesamt 17 % der Varianz des selbstberichteten Fahrverhaltens erklären. Die Effektstärke für das Gesamtmodell beträgt $f^2 = ,20$, was gemäss Cohen einem kleinen bis mittleren Effekt entspricht [59].

Abbildung 45
Häufigkeitsverteilung der Skala Fahrverhalten



Mittelwert = 16.59, Standardabweichung = 2.43, n = 2097

Die stärksten Zusammenhänge finden sich bei zwei Kontrollvariablen, dem Geschlecht und dem Alter. Frauen (β = –,27) und ältere Personen (β = ,17) geben im Vergleich zu Männern bzw. jüngeren Personen an, sicherheitsorientierter E-Bike zu fahren.

Von den postulierten Einflussfaktoren weisen nur vier einen signifikanten Zusammenhang mit dem Fahrverhalten auf. Die Richtung der Zusammenhänge entspricht nicht der Theorie, erscheint aber teilweise dennoch plausibel. Wer glaubt, die Geschwindigkeit des E-Bikes gut im Griff zu haben (wahrgenommene Verhaltenskontrolle Geschwindigkeit, β = ,15) und ganz allgemein das E-Bike gut unter Kontrolle zu haben (wahrgenommene Verhaltenskontrolle allgemein, β = ,05), gibt eher an, sicherheitsorientiert zu fahren. Auch Personen, die

Tabelle 9
Multiple Regression zur Vorhersage des Fahrverhaltens

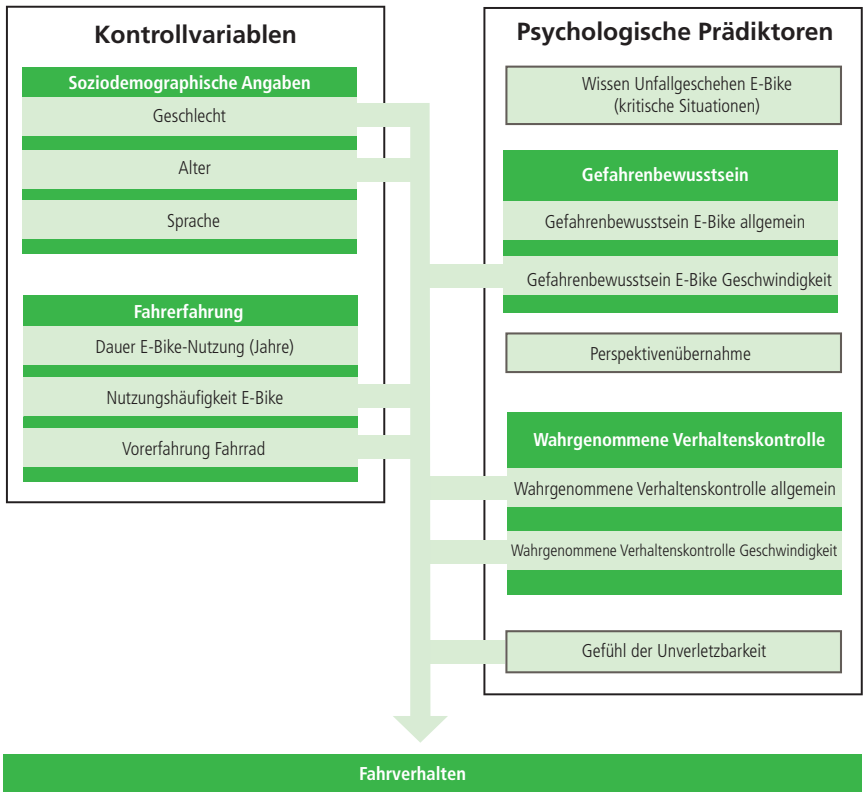
Skala	Koeffizienten		Standardisierte Koeffizienten
	B	Standard-fehler	β
Wissen Unfallgeschehen E-Bike (kritische Situationen)	.03	.02	.03
Gefahrenbewusstsein E-Bike allgemein	–.04	.03	–.03
Gefahrenbewusstsein E-Bike Geschwindigkeit	–.07	.03	–.06*
Perspektivenübernahme	–.02	.03	–.02
Wahrgenommene Verhaltenskontrolle allgemein	.14	.06	.05*
Wahrgenommene Verhaltenskontrolle Geschwindigkeit	.28	.04	.15***
Gefühl der Unverletzbarkeit	.12	.04	.07**
Kontrollvariable	**Koeffizienten**		**Standardisierte Koeffizienten**
	B	Standard-fehler	β
Geschlecht	–1.30	.10	–.27***
Alter	.04	.01	.17***
Sprache	–.25	.16	–.03
Dauer E-Bike-Nutzung (Jahre)	-.06	.03	-.04
Exposition Häufigkeit (dichotom)	.46	.12	.08***
Fahrerfahrung Velo (dichotom)	.38	.11	.08***

Anmerkung: $F(13,1898) = 29.20$, $p = .00$, $R^2 = .17$, $= f^2 = .20$. * $p \leq .05$, **$p \leq .01$, *** $p \leq .001$

das Gefühl haben, eher unverletzbar zu sein, fahren gemäss Selbstauskunft vorsichtiger (Gefühl der Unverletzbarkeit, β = ,07). Wer sich der Gefahren des Risikofaktors Geschwindigkeit stärker bewusst ist, fährt hingegen nach eigener Angabe weniger sicherheitsorientiert (β = –,05). Mögliche Gründe für die eher unerwarteten Richtungen der Zusammenhänge werden in der Diskussion (Kap. VIII) thematisiert. Das Wissen über das Unfallgeschehen, die generelle Gefährlichkeitseinschätzung bezüglich des E-Bikes (Gefahrenbewusstsein allgemein) und die Fähigkeit zur Perspektivenübernahme stehen hingegen nicht mit dem selbstberichteten Fahrverhalten in Zusammenhang.

Neben dem Geschlecht und dem Alter finden sich bei den Kontrollvariablen zwei weitere signifikante Prädiktoren. Personen, die weniger häufig E-Bike fahren (Exposition Häufigkeit, β = ,08) und Personen, die weniger Fahrerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad aufweisen (Vorerfahrung Fahrrad, β = ,08), fahren nach eigenem Bekunden vorsichtiger E-Bike. In Abbildung 46 sind die Ergebnisse der Analyse zur Modellprüfung zusammenfassend dargestellt. Im Gegensatz zum ursprünglichen Modell sind nun jene Zusammenhänge mit Pfeilen gekennzeichnet, die sich als signifikant erwiesen haben.

Abbildung 46
Signifikante Einflussfaktoren (Prädiktoren) auf das Fahrverhalten



4.3 Vergleich von Modellvariablen und einzelnen Items zwischen Personen mit und ohne Unfallerfahrung

Um zu prüfen, ob sich Personen mit und ohne Unfallerfahrung in den verschiedenen Modellvariablen unterscheiden, wurden t-Tests für unabhängige Stichproben (zweiseitige Testung) durchgeführt. In Tabelle 10 sind die Kennwerte jener Modellvariablen angegeben, in denen sich die beiden Gruppen signifikant unterscheiden. Die Unterschiede bzw. die Effektstärken müssen jedoch als gering bezeichnet werden. Personen ohne Unfallerfahrung geben an, ein sichereres Fahrverhalten zu zeigen als Personen mit Unfallerfahrung ($t(600) = 3{,}62$, $p < {,}001$). Sie haben zudem stärker das Gefühl, das E-Bike unter Kontrolle zu haben (wahrgenommene Verhaltenskontrolle, $t(2109) = 2{,}252$, $p < {,}05$) und unverletzbar zu sein (Gefühl der Unverletzbarkeit $t(2121) = 4.50$, $p < {,}001$). Wer hingegen schon einen Unfall erlebte, ist sich der allgemeinen Gefahren, die mit dem E-Bike einhergehen, stärker bewusst ($t(2120) = –2{,}722$, $p < .01$) und weiss besser über das Unfallgeschehen Bescheid ($t(2113) = –3{,}466$, $p < {,}01$). Die Wahrscheinlichkeit für einen Unfall steigt mit zunehmender Fahrdauer an: Die bereits Verunfallten fuhren bis zum Befragungszeitpunkt im Durchschnitt etwa ein halbes Jahr länger E-Bike als Personen ohne Unfallerfahrung ($t(618) = -7{,}29$, $p < {,}001$). Die statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Personen mit und ohne Unfallerfahrung bleiben in den aufgeführten fünf Skalen auch bestehen, wenn der Einfluss sämtlicher Kontrollvariablen konstant gehalten, d. h. herausgerechnet wird (geprüft mittels multivariater Kovarianzanalyse).

Die Unterschiede im Gefühl, das E-Bike unter Kontrolle zu haben (wahrgenommenen Verhaltenskontrolle) und unverletzbar zu sein (Gefühl der Unverletzbarkeit) gehen vor allem auf zwei Items zurück: 66 % der Personen ohne Unfallerfahrung geben an, das Gefühl zu haben, das E-Bike in allen Situationen sicher zu beherrschen. Bei den bereits Verunfallten sind es nur 52 %. Von Ersteren denken 34 %, sie hätten es völlig selbst in der Hand, den Strassenverkehr unfallfrei zu meistern. Bei Letzteren sind nur 24 % dieser Meinung. Wer noch keinen Unfall erlebt hat, ist zudem eher der Meinung, dass man sicher E-Bike fährt, wenn man sicher Fahrrad fährt. 27 % sind absolut dieser Ansicht. Bei den Unfallerfahrenen sind es nur 17 %.

Tabelle 10
Mittelwerte und Standardabweichungen der Modellvariablen mit signifikanten Unterschieden zwischen Gruppen mit und ohne Unfallerfahrung

Skala	Unfallerfahrung nein		Unfallerfahrung ja	
Fahrverhalten	16.70 (2.37)	n = 1678	16.19 (2.62)	n = 419
Wissen Unfallgeschehen E-Bike (kritische Situationen)	–.26 (2.1)	n = 1691	.15 (2.13)	n = 424
Gefahrenbewusstsein E-Bike allgemein	7.37 (2.01)	n = 1699	7.66 (1.91)	n = 423
Wahrgenommene Verhaltenskontrolle allgemein	5.40 (.86)	n = 1693	5.29 (.87)	n = 418
Gefühl der Unverletzbarkeit	4.99 (1.33)	n = 1702	4.67 (1.26)	n = 421
Kontrollvariablen				
Alter	50.50 (11.22)	n = 1711	48.66 (12.04)	n = 425
Dauer E-Bike-Nutzung (Jahre)	2.91 (1.63)	n = 1712	3.59 (1.73)	n = 422
Exposition Häufigkeit (dichotom)	1.26 (.44)	n = 1721	1.18 (.38)	n = 423

5. Fazit

Ziel dieser Befragung war es, bei E-Bike-Fahrern in der Schweiz zu untersuchen, welche psychologischen Komponenten mit dem Fahrverhalten in Zusammenhang stehen und die entsprechenden Ausprägungen festzustellen. Zu diesem Zweck wurde ein Modell mit sieben Prädiktoren zur Vorhersage des (selbstberichteten) Fahrverhaltens entwickelt. Zusätzlich wurde der Einfluss verschiedener Kontrollvariablen geprüft. Alle Variablen wurden mittels Fragebogen erfasst.

Die Vermutung, dass E-Bike-Fahrer selber den Risikofaktor Geschwindigkeit verkennen, hat sich nicht bestätigt. Die Mehrheit der Befragten ist sich durchaus bewusst, dass der Anhalteweg des E-Bikes länger und die Geschwindigkeit höher ist als beim konventionellen Fahrrad. Dass andere Verkehrsteilnehmende die Geschwindigkeit der E-Bike-Fahrer unterschätzen, wurde gar von 96 % der Teilnehmenden bejaht. In der Regressionsanalyse zur Vorhersage des Fahrverhaltens stellte sich das Bewusstsein, dass die höhere Geschwindigkeit des E-Bikes mit grösseren Gefahren einhergeht, aber als sekundär heraus. Der Zusammenhang mit dem selbstberichteten Fahrverhalten fällt nur gering aus. Zudem verläuft er entgegen der gemäss Theorie erwarteten Richtung. Wer sich der Gefahren der Geschwindigkeit stärker bewusst ist, fährt nach eigener Angabe weniger vorsichtig E-Bike.

Auch die Richtungen der Zusammenhänge der 3 anderen signifikanten Einflussfaktoren sind auf den ersten Blick teilweise überraschend. Das Gefühl, unverletzbar zu sein, steht in positivem Zusammenhang mit dem sicherheitsorientierten Fahrverhalten. Wer sich unverletzbarer fühlt, fährt demnach vorsichtiger. Dieser Befund läuft der Theorie zuwider, wonach Personen, welche sich als unverletzbar fühlen, eher riskante Verhaltensweisen zeigen ([60]). Die subjektive Überzeugung, E-Bike und Geschwindigkeit im Griff zu haben (wahrgenommene Verhaltenskontrolle allgemein und Geschwindigkeit), steht ebenfalls positiv mit dem Fahrverhalten in Beziehung. Je eher jemand das Gefühl hat, das E-Bike allgemein sowie die Geschwindigkeit gut unter Kontrolle zu haben, desto eher gibt die Person auch an, sicherheitsorientiert zu fahren.

Die vorgefundenen Richtungen der Zusammenhänge zwischen diesen psychologischen Variablen und dem Fahrverhalten weisen darauf hin, dass die Kognitionen eher Ausdruck des gezeigten Verhaltens sind, als dass sie das Verhalten steuern. Die Befragten dürften von ihrem Fahrverhalten auf ihre Unverletzbarkeit, ihre Verhaltenskontrolle und auf die mit der Geschwindigkeit verbundenen Gefahren geschlossen haben: Gerade weil sie stets vorsichtig E-Bike fahren, verfügen sie jederzeit über die Kontrolle des Gefährts und denken, dass sie sich kaum verletzen werden. Wer hingegen riskanter fährt, erlebt die Gefahren des E-Bikes direkter und entwickelt daher ein höheres Bewusstsein für die Gefahren.

Die anderen vermuteten Einflussfaktoren – die generelle Gefährlichkeitseinschätzung bezüglich des E-Bikes (Gefahrenbewusstsein allgemein), die Fähigkeit zur Perspektivenübernahme und das Wissen über das Unfallgeschehen von E-Bikes – stehen nicht mit dem selbstberichteten Fahrverhalten in Zusammenhang. Die deskriptive Statistik zeigt zwar, dass Selbstunfälle in ihrer Auftretenshäufigkeit eher verkannt werden. Dieses Wissen bzw. Nichtwissen scheint sich aber nicht auf das Fahrverhalten auszuwirken. Von den signifikanten psychologischen Variablen weist die subjektive Überzeugung, die Ge-schwindigkeit unter Kontrolle zu

haben (wahrgenommene Verhaltenskontrolle Geschwindigkeit), die stärkste Assoziation auf, gefolgt von der allgemeinen Kontrollüberzeugung (wahrgenommene Verhaltenskontrolle allgemein) und dem Gefühl, unverletzbar zu sein.

Am besten lässt sich das selbstberichtete Fahrverhalten aber durch zwei Eigenschaften des Fahrers vorhersagen, dem Alter und dem Geschlecht. Frauen und ältere Personen gaben im Vergleich zu Männern bzw. jüngeren Personen an, sicherheitsorientierter E-Bike zu fahren. Mit der Nutzungshäufigkeit und der Vorerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad stellten sich zwei weitere Kontrollvariablen als signifikante Prädiktoren heraus. 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. Dass ältere und ungeübtere E-Bike-Fahrer sicherheitsorientierter fahren, könnte eventuell auf eine subjektive Unsicherheit zurückzuführen sein.

Zwischen Personen mit und ohne Unfallerfahrung wurden in einigen Modell- und Kontrollvariablen signifikante Unterschiede festgestellt. Personen, die bereits einen Unfall erlebt hatten, weisen im Vergleich zu Personen ohne Unfallerfahrung ein leicht höheres Gefahrenbewusstsein hinsichtlich des E-Bikes im Allgemeinen auf, wissen etwas besser über das Unfallgeschehen Bescheid und haben weniger das Gefühl, unverletzbar zu sein. Auch im selbstberichteten Fahrverhalten zeigt sich ein kleiner aber signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen: Unfallfreie E-Bike-Fahrer fahren nach eigener Angabe vorsichtiger E-Bike. Über die Kausalität kann jedoch keine Aussage gemacht werden. Möglicherweise ist der Befund auf Unterschiede in der Selbstwahrnehmung zurückzuführen. Wer noch keinen Unfall erlebt hat, könnte eher das Gefühl haben, einen sicheren Fahrstil aufzuweisen.

Alles in allem konnte in der vorliegenden Studie ein erster Einblick gewonnen werden, wie E-Bike-Fahrer in der Schweiz die besonderen Gefahren des E-Bikes wahrnehmen und wie sie damit umgehen. Es konnten verschiedene psychologische Faktoren identifiziert werden, die mit dem Fahrverhalten in Beziehung stehen. Da die Resultate tendenziell eher so zu interpretieren sind, dass sich das Gefahrenbewusstsein für den Risikofaktor Geschwindigkeit und das Gefühl der Unverletzbarkeit aus dem Fahrverhalten ableiten, können keine gesicherten Aussagen über allfällige Interventionen gemacht werden. Aus theoretischer Perspektive ist es aber durchaus plausibel, dass sich eine Sensibilisierung für die Gefahren des E-Bike-Fahrens lohnt, um das Fahrverhalten und damit das Unfallrisiko zu beeinflussen. Mehrere Wirkmodelle der Gesundheitspsychologie weisen auf entsprechende Zusammenhänge hin und gelten weitgehend auch für das Verhalten im Strassenverkehr [61,62].

In dieser Arbeit konnte der Fahrstil nur mittels Selbstauskunft erfasst werden. Um die Ergebnisse zu überprüfen, sollten die Befunde deshalb anhand von objektiven Massen des Fahrverhaltens validiert werden. Weiterer Forschungsbedarf besteht darin, welche Faktoren mit der Unfallerfahrung in Zusammenhang stehen. Mit Hilfe von Längsschnittstudien könnten die Richtungen der Zusammenhänge genauer untersucht und Vermutungen über Kausalitäten geprüft werden. In Anbetracht der Seltenheit der Unfälle dürfte es dabei sinnvoll sein, auch Beinaheunfälle einzubeziehen.

VII. Experiment (G. Scaramuzza, S. Niemann)

1. Ausgangslage

Schwere Kollisionen mit E-Bikes sind im Vergleich zu Alleinunfälle zwar seltener, machen aber dennoch mehr als 40% aller schweren Personenschäden bei Unfällen mit E-Bikes aus. Eine nähere Betrachtung der Ursachen von Kollisionen mit E-Bikes drängte sich deshalb auf.

Die Resultate der Unfallanalyse (Kap. V) und der Literaturanalyse (Kap. IV) lassen vermuten, dass Motorfahrzeug-Lenker, die im Begriff sind in eine übergeordnete Strasse oder in einen Kreisverkehrsplatz einzumünden, einspurige Fahrzeuge, die sich ihnen von links nähern, **schlecht wahrnehmen** und/oder deren **Geschwindigkeit unterschätzen**. Es wird davon ausgegangen, dass die schmale Silhouette von Zweiradfahrzeugen sich aus zwei Gründen negativ auswirkt:

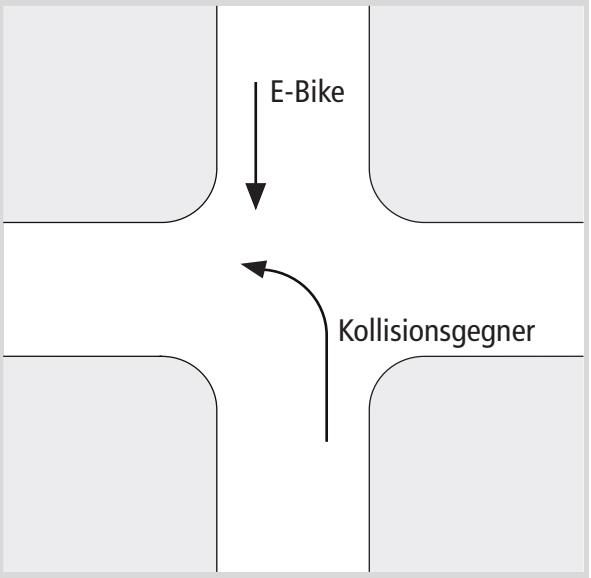
1. Zweiradfahrzeuge werden leicht von anderen Motorfahrzeugen verdeckt, verschwinden in den toten Winkeln oder werden eher übersehen. Ihre Erkennbarkeit ist somit eingeschränkt.
2. Die schmale Silhouette kann darüber hinaus auch zu einer Fehleinschätzung der Fahrgeschwindigkeit führen. Schmalere Objekte werden langsamer eingeschätzt als grosse Objekte (Size-arrival Effect). Dies kann zur Folge haben, dass andere Verkehrsteilnehmer die Ankunftszeit von Motorradfahrern falsch einschätzen. Sie erwarten sie später, als dies tatsächlich der Fall ist.

Die Unfallanalyse zeigt zudem, dass E-Bike-Fahrer **im Vergleich zum Fahrradverkehr ein erhöhtes Risiko** aufweisen, an Knoten und Kreisverkehrsplätzen mit einem vortrittsbelasteten, von rechts einmündenden Motorfahrzeug zu kollidieren (Abbildung 47):

Eine naheliegende Vermutung dazu: E-Bikes fahren schnell, sind aber kaum von herkömmlichen Fahrrädern zu unterscheiden, weil sie die Assoziation «langsames Fahrzeug» auslösen.

In der Literatur konnten keine Anhaltspunkte gefunden werden, die diese Vermutung untermauerten. Deshalb war es naheliegend, diese Hypothese in einem **Feldexperiment** zu überprüfen. Konkret sollte der Zusammenhang zwischen eingeschätzten und real gefahrenen Geschwindigkeiten untersucht werden.

Abbildung 47
Titelzeile Typische Kollision zwischen E-Bike und Motorfahrzeug



2. Ziel

Hauptziel des Feldexperiments war es, empirisch zu prüfen, ob:

- Motorfahrzeuglenker, die an einer Kreuzung warten, die Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen unterschätzen, die von links nahen.
- die Fehleinschätzung stärker ausgeprägt ist, wenn es sich bei den herannahenden Fahrzeugen um E-Bikes handelt.
- die Beurteilung der Geschwindigkeit zusätzlich erschwert wird, wenn das Erscheinungsbild der herannahenden einspurigen Fahrzeuge nicht intuitiv eine hohe gefahrene Geschwindigkeit vermuten lässt (z. B. bei älteren E-Bike-Fahrern).

3. Hypothesen

Diese Vermutung wurde in folgende Hypothesen ausformuliert:

Hypothese 1:

Fahrzeug-Lenker, die an einer Kreuzung warten und in eine übergeordnete Strasse einmünden wollen, unterschätzen die Geschwindigkeit von E-Bike-Fahrern, die von links herannahen, und zwar:

- Hypothese 1a:
  Absolut, d. h. im Vergleich zu der realen Geschwindigkeit des E-Bike-Fahrers
- Hypothese 1b:
  Relativ, d. h. im Vergleich zu anderen einspurigen Fahrzeugen

Hypothese 2:

Die Unterschätzung der Geschwindigkeiten von E-Bikes ist stärker, wenn der E-Bike-Fahrer schneller unterwegs ist (Interaktion Fahrzeugtyp * Geschwindikeit)

Hypothese 3:

Die Unterschätzung der Geschwindigkeiten von E-Bikes ist stärker, wenn E-Bike-Fahrer älter sind (Interaktion Fahrzeugtyp * Erscheinungsbild [Alter])

Hypothese 4:

Die Unterschätzung der Geschwindigkeiten von E-Bikes ist stärker, wenn E-Bike-Fahrer weiblich sind. (Interaktion Fahrzeugtyp * Erscheinungsbild [Geschlecht])

Hypothese 5:

Die Unterschätzung der Geschwindigkeiten von E-Bikes ist stärker, wenn E-Bike-Fahrer älter, weiblich und schneller unterwegs sind (Interaktion Fahrzeugtyp * Geschwindikeit * Erscheinungsbild)

4. Methode

4.1 Grundidee

Die Grundidee des Feldexperimentes beruhte darauf, die vorgängig geschilderte Situation zu simulieren. Konkret sollten Probanden die **Geschwindigkeit** von einspurigen Fahrzeugen **einschätzen**, die sich ihnen von links her näherten.

4.2 Umsetzung

4.2.1 Ablauf des Experimentes

Auf Grund der formulierten Hypothesen wurde die Grundidee des Feldexperiments wie folgt umgesetzt:

Auf einer abgesperrten Strecke wurden am Fahrbahnrand sitzende **Probanden** angewiesen, die Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen einzuschätzen, die sich ihnen von links näherten.

Die einspurigen Fahrzeuge wurden von instruierten **Akteuren** gelenkt. Diese fuhren in verschiedenen Konstellationen approximativ im 1-Minuten-Takt auf die Probanden zu.

Um die in den Hypothesen erwähnten **Einflussvariablen** testen zu können, wurden **Alter** und **Geschlecht** der Akteure sowie die vorgegebene **Geschwindigkeit** und das einspurige **Versuchsfahrzeug** nach einem fest vorgegebenen Schema variiert. Tabelle 11 zeigt die **52 Kombinationen**, die den Probanden dargeboten wurden (grün). Selbstredend entfiel für langsame E-Bikes und Alltagsvelos die Geschwindigkeitsstufe 40 km/h (rot). Jede Fahrt wurde gleichzeitig von max. 8 unabhängig voneinander agierenden Probanden eingeschätzt (Abbildung 48).

Jede dieser **Probandengruppen** schätzte 26 (also die Hälfte) aller möglichen Kombinationen ein. Danach wurde eine neue Probandengruppe eingesetzt. Insgesamt waren 12 Probandengruppen im Einsatz.

Tabelle 11
Den Probanden dargebotene Kombinationen von Fahrzeug-Art, Geschwindigkeits-Niveau, Alter und Geschlecht

Vorgegebene Geschwindigkeit		E-Bike langsam	E-Bike schnell	Alltagsvelo	Rennvelo	Elektro-Roller
Mann Alter < 30	15 km/h	√	√	√	√	√
	25 km/h	√	√	√	√	√
	40 km/h	×	√	×	√	√
Mann Alter > 50	15 km/h	√	√	√	√	√
	25 km/h	√	√	√	√	√
	40 km/h	×	√	×	√	√
Frau Alter < 30	15 km/h	√	√	√	√	√
	25 km/h	√	√	√	√	√
	40 km/h	×	√	×	√	√
Frau Alter > 50	15 km/h	√	√	√	√	√
	25 km/h	√	√	√	√	√
	40 km/h	×	√	×	√	√

Bei der Festlegung der Reihenfolge der Versuchsfahrt-Kombinationen wurden folgende Vorgaben berücksichtigt (Anhang IX.2.1):

- Zyklische Rotation der Akteure
- Zufällige Reihenfolge der Fahrzeugtypen und vorgegebenen Geschwindigkeiten
- Inversion der Reihenfolgen nach jeweils 2 Gruppen (bzw. 52 Fahrten)

4.2.2 Operationalisierung der abhängigen Variable

Die numerische Einschätzung einer Geschwindigkeit (z. B. 27 km/h) wurde als zu abstrakte und für den Alltag nicht relevante Aufgabe eingestuft. Deshalb wurde auf ein **Proxy** zurückgegriffen.

Die Probanden sollten das nahende Versuchsfahrzeug auf einem bestimmten Streckenabschnitt beobachten und danach schätzen, wieviel **Zeit** das jeweilige Fahrzeug vom Ende dieser Beobachtungsstrecke bis zum Standort der Probanden benötigen würde, wenn es mit konstanter Geschwindigkeit weiterfahren würde.

Abbildung 48
Probandengruppe mit Assistent

Um die Beeinflussung der Probanden durch äussere Faktoren zu verhindern (gegenseitige Beeinflussung der Probanden, Geräuscherzeugung durch die Fahrzeuge), wurde dabei wie folgt vorgegangen:

1. Die Probanden durften die Versuchsfahrzeuge während der Beschleunigungsphase nicht anschauen. Sie wurden angewiesen, während dieser Zeit den Versuchsassistenten anzuschauen (Abbildung 49).
2. Der Assistent beobachtete während der Beschleunigungsphase sowohl die Probanden als auch das beschleunigende Versuchsfahrzeug.
3. Sobald das Fahrzeug den Ausgangspunkt der festgelegten Beobachtungsstrecke erreicht hatte, wies der Versuchsassistent die Probanden an, das nahende Fahrzeug zu beobachten (Abbildung 50). Die Länge der Beobachtungsstrecke betrug 45 Meter.
4. Am Endpunkt der Beobachtungsstrecke aktivierte das Fahrzeug mittels Lichtschranke simultan für jeden Probanden eine individuelle Stoppuhr (Abbildung 51).
5. Im selben Augenblick wurden die Probanden angewiesen, ihre Augen zu schliessen und sich vorzustellen, das Fahrzeug fahre mit konstanter Geschwindigkeit weiter. Die Probanden sollten sodann einschätzen, wann das Fahrzeug an ihrem Standort eintreffen würde (Abbildung 52). Die Länge der Schätz-Strecke betrug 44,4 Meter.

Abbildung 49
Proband schaut während der Beschleunigungsphase des Versuchsfahrzeugs den Versuchsassistenten an

Abbildung 50
Proband beobachtet Versuchsfahrzeug auf der Beobachtungsstrecke

Abbildung 51
Akteur aktiviert am Ende der Beobachtungsstrecke via Lichtschranke die Stoppuhren

Abbildung 52
Proband schliesst die Augen und stellt sich vor, das Versuchsfahrzeug fahre mit konstanter Geschwindigkeit weiter

6. Die persönliche Einschätzung gaben die Probanden mithilfe eines geräuscharmen Handtasters ein (Abbildung 53).
7. Die Fahrzeuge fuhren in Realität nicht weiter. Sie schwenkten unmittelbar nach dem Passieren der Lichtschranke ab und begaben sich an den Ausgangspunkt zurück (Abbildung 54). Dadurch wurde eine allfällige Beeinflussung der Probanden durch Fahrzeuggeräusche minimiert.
8. Die Kleidung der Akteure wurde konstant gehalten.

Auf Grund der Geschwindigkeitsvorgaben und der bekannten Distanz der Schätzstrecke, konnte für jede einzelne Fahrt berechnet werden, wieviel Zeit das Versuchsfahrzeug für das Zurücklegen der Schätzstrecke theoretisch benötigt hätte, wenn es mit konstanter Geschwindigkeit weitergefahren wäre.

Abbildung 53
Geräuscharmer Handtaster zur Zeitstoppung

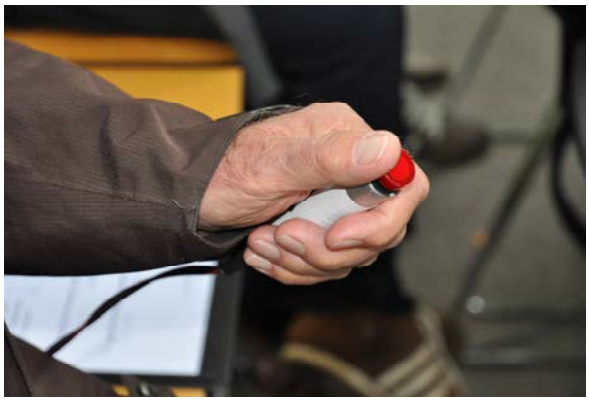


Abbildung 54
Versuchsfahrzeug schwenkt nach Durchfahren der Lichtschranke am Ende der Beobachtungsstrecke ab

Als Messgrösse für die Genauigkeit der Zeitschätzung wurde die Differenz zwischen der theoretischen und der gestoppten Zeit herangezogen, die nachfolgend als **Fehlerzeit** bezeichnet wird. **Negative Werte** der Fehlerzeit bedeuteten folglich eine **Unterschätzung** der real gefahrenen Geschwindigkeit. Mit anderen Worten: Eine negative Fehlerzeit bedeutet, dass der Proband davon ausgegangen war, das Versuchsfahrzeug benötige für das Zurücklegen der Beobachtungsstrecke mehr Zeit als es in Realität benötigt hätte.

4.2.3 Unabhängige Variablen /Kontrollvariablen

Die primär interessierenden unabhängigen Variablen gehen aus den Hypothesen hervor. Zusätzlich wurden jedoch auch Probandenmerkmale erhoben, von denen auszugehen war, dass sie die Schätzung der Geschwindigkeiten beeinflussen könnten. Konkret wurden folgende unabhängige Variablen erhoben:

1. Alter der Akteure:
   dichotomer Faktor mit den Ausprägungen «jung» (unter 30 Jahre) und «älter» (über 50 Jahre)
2. Geschlecht der Akteure:
   dichotomer Faktor mit den Ausprägungen «männlich» und «weiblich»
3. Versuchsfahrzeug:
   5-stufiger Faktor mit den Ausprägungen «langsames E-Bike», «schnelles E-Bike», «Alltagsvelo», «Rennvelo, «Elektroroller»

4. Vorgegebene Geschwindigkeit:
   3-stufiger Faktor mit den Ausprägungen «langsam» (15 km/h), «mittelschnell» (25 m/h), «schnell» (40 km/h)
5. Alter der Probanden:
   Metrische Variable
6. Geschlecht der Probanden:
   dichotome Variable «männlich», «weiblich»
7. Häufigkeit der Verkehrsteilnahme nach Art der Verkehrsteilnahme:
   Total 4 Variablen «Personenwagen», «Motorrad», «Lastwagen», «Fahrrad» mit ordinalskalierter Ausprägung «oft», «selten», «nie»
8. Benutzung einer Brille im Strassenverkehr: dichotome Variable «ja/nein»
9. Benutzung einer Brille während des Experimentes: dichotome Variable «ja/nein»

Das **Design des Experiments** (12 Gruppen zu 8 Probanden, Probanden beurteilen jeweils 26 der 52 verschiedenen Kombinationen) bewirkt, dass der auszuwertende **Datensatz hierarchischer Struktur** ist und dass der mögliche Effekt von Messwiederholungen berücksichtigt werden muss.

Die erste Hierarchiestufe ist diejenige der Probanden. Es ist davon auszugehen, dass die Fähigkeit sowie die Art und Weise, Geschwindigkeiten einzuschätzen, von Proband zu Proband variieren. Die Möglichkeit eines **zufälligen Effekts «Probanden»** muss zumindest berücksichtigt werden.

Dieselbe Überlegung gilt für die nächsthöhere Hierarchiestufe. Es muss zumindest die Möglichkeit eines **zufälligen Effektes «Probandengruppe»** in Betracht gezogen werden. Einflüsse wie beispielsweise die Tageszeit oder der Sonnenstand können durchaus probandenübergreifende Effekte ausüben.

Schliesslich ist mitzuberücksichtigen, dass 26 aufeinanderfolgende Fahrten vom gleichen Probanden eingeschätzt wurden. Die Einschätzungen können somit nicht a priori als unabhängige Ereignisse eingestuft werden, denn es können Trends entstehen.

4.2.4 Probanden

Die Probanden wurden über diverse Kanäle **akquiriert** (Anhang Kap. IX.2.3). Die maximal mögliche Anzahl von 96 Probanden (12 Gruppen zu 8 Probanden) wurde mit den Anmeldungen erreicht. Am Experiment nahmen schliesslich 90 Probanden teil (Abbildung 55).

Weil davon auszugehen war, dass die Zeiteinschätzungen der Probanden beeinflusst worden wären, wenn sie gewusst hätten, dass beim Experiment mit E-Bikes zu rechnen war, wurde der Inhalt des Experiments bei der Akquirierung systematisch unterschlagen. Insbesondere wurde der **Begriff «E-Bike»** im Dialog mit den Probanden bis nach Beendigung des Experiments **nie erwähnt**. Zudem wurden die Probandengruppen örtlich und zeitlich getrennt von der Versuchsstrecke empfangen und erst nach Abschluss der jeweils vorausgehenden Gruppe zur Versuchsstrecke geführt. Dies um zu

Abbildung 55
Vom Versuchsgelände getrennter Empfang der Probanden

vermeiden, dass die Probanden beim Eintreffen auf dem Experimentgelände bemerken könnten, dass E-Bikes im Spiel sind.

Die probandenspezifischen Einflussfaktoren wurden vor dem Experiment mit Fragebogen erfasst. Nach Abschluss des Experiments wurden die Probanden mit einem geringfügigen Barbetrag und einem kleinen Geschenk **entschädigt**.

4.2.5 Akteure (Lenker von einspurigen Fahrzeugen)

Aus den Hypothesen 3, 4, und 5 (Kap. VII.3) sowie aus der Definition der unabhängigen Variablen (Kap. VII.4.2.3) folgt, dass zur Realisierung der entsprechenden Fahrten 4 Akteure benötigt wurden:

- Mann, Alter über 50 Jahre
- Mann, Alter unter 30 Jahre
- Frau, Alter über 50 Jahre
- Frau, Alter unter 30 Jahre

Die Akteure sollten insbesondere in der Lage sein, von Zeit zu Zeit ein Rennvelo auf 40 km/h zu beschleunigen und knapp 50 Meter lang diese Geschwindigkeit zu halten. Die Rekrutierung erfolgte im Bekanntenkreis der Projektmitarbeitenden und fiel auf sportliche Personen.

Die Akteure wurden im Vorfeld des Experiments einen Nachmittag lang instruiert. Während des Experimentes orientierten sich die Akteure selber anhand eines«Fahrplans» (Abbildung 56) über die persönliche einzuhaltende Reihenfolge der Fahrten. Der korrekte Ablauf der Fahrten wurde zusätzlich durch einen Versuchsassistenten im Startbereich (Abbildung 57) sowie durch die Erhebung (mittels Lichtschranken) der real gefahrenen Geschwindigkeit auf der Beobachtungsstrecke sichergestellt (Abbildung 58).

Abbildung 56
«Fahrplan» für Akteure im Starbereich

Abbildung 57
Assistent überprüft Akteur im Startbereich

Abbildung 58
Kontrolle der real gefahrenen Geschwindigkeiten mittels Lichtschranke

4.2.6 Durchführung

Das Experiment wurde am 5. September 2014 zwischen 8:30 und 17:30 Uhr unter der Leitung von 9 Versuchsassistenten durchgeführt. Örtlichkeit war ein abgesperrtes Strassenstück innerhalb des Kasernenareals der Stadt Bern. Im Verlauf des Tages wechselte das Wetter von bedeckt zu heiter, die Fahrbahn war während des ganzen Tages trocken.

5. Resultate

5.1 Beschreibung der Probanden

Insgesamt nahmen 90 Probanden am Experiment teil. Ihr Alter lag zwischen 19 und 78 Jahren (Durchschnittsalter 47). 32 Probanden waren männlich, 58 weiblich. Die Männer waren im Durchschnitt 33,6 und die Frauen 54,7 Jahre alt.

Alle Probanden berichten, dass sie als Personenwagtenlenker im Strassenverkehr unterwegs sind, zwei Drittel sogar oft (Tabelle 12). Auch mit dem Fahrrad sind die meisten (91 %) unterwegs. Seltener nehmen sie als Motorrad- (30 %) oder Lastwagenfahrer (5 %) am Strassenverkehr teil. 41 % der Probanden tragen als Fahrzeuglenker eine Brille. 48 % gaben an, am Experiment eine getragen zu haben. Neben den in Tabelle 12 abgebildeten Merkmalen wurde zusätzlich erhoben, seit wie vielen Jahren die Probanden den Führerausweis für die entsprechende Fahrzeugkategorie besitzen. Erwartungsgemäss korreliert diese Angabe sehr hoch mit dem Lebensalter.

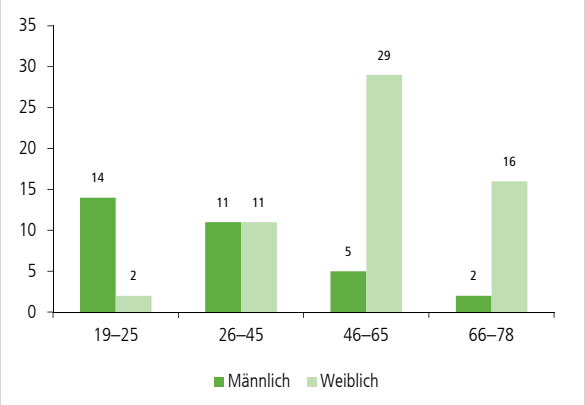
Auffällig und in weiteren Analysen zu beachten ist die Verteilung des Alters der Probanden nach Geschlecht: Die Männer sind überproportional in den jüngeren, die Frauen in den älteren Altersklassen zu finden (Abbildung 59).

Die 90 Probanden beurteilten jeweils die Geschwindigkeit von 26 Fahrten. Damit liegt ein Datensatz mit 90 x 26 = 2340 Zeilen vor. In 5 Beurteilungen konnte kein gültiges Messergebnis erzielt werten. Somit sind 2335 Messungen auswertbar.

Tabelle 12
Kennwerte der Probanden

		Männlich	Weiblich	Total
Anzahl		32	58	9(
Mittleres Alter		33.6	54.7	47.:
Brillenträger (n = 90)	im Strassenverkehr	44%	40%	41%
	am Experiment	44%	50%	48%
PW-Fahrer (n = 90)	nie	0%	0%	0%
	selten	44%	29%	34%
	oft	56%	71%	66%
Motorradfahrer (n = 82)	nie	82%	63%	70%
	selten	11%	19%	16%
	oft	7%	19%	15%
Lastwagenfahrer (n = 77)	nie	100%	92%	95%
	selten	0%	8%	5%
	oft	0%	0%	0%
Fahrradfahrer (n = 90)	nie	9%	9%	9%
	selten	22%	41%	34%
	oft	69%	50%	57%

Abbildung 59
Alter der Probanden nach Geschlecht



5.2 Fehlerzeiten

Als zentrale Variable für die Auswertung des Experiments wurde die Differenz zwischen der vom Probanden geschätzten und der real gemessenen Zeit, die ein Fahrzeug vom Ende der Schätzstrecke bis zum Beobachtungsstandort der Probanden benötigt, gebildet (Kap. VII.4.2.2). Bei einem Wert von Null hat der Proband die benötigte Zeit und damit die Geschwindigkeit des herannahenden Fahrzeugs korrekt eingeschätzt. Bei einem positiven Wert wurde die Geschwindigkeit über-, bei einem negativen unterschätzt. Negative Werte bei der Fehlerzeit könnten damit potenziell ein Risiko darstellen.

Das arithmetische Mittel der Fehlerzeit aller 2335 Messungen beträgt –0,86 Sekunden, der Median –0,52 Sekunden. Der Wertebereich reicht von einer Unterschätzung der Geschwindigkeit um 19 Sekunden bis zu einer Überschätzung um 26 Sekunden. Je nach eingeschätztem Fahrzeug und vorgegebener Geschwindigkeit unterscheidet sich die Verteilung der Fehlerzeit (Abbildung 60 und Abbildung 61).

Die geringste mittlere Unterschätzung der Geschwindigkeit ist mit 0,33 Sekunden bei Fahrten des Elektro-Rollers zu beobachten (Tabelle 13). Bei E-Bikes und dem Alltagsfahrrad liegt das Mittel bei mehr als einer Sekunde.

Bei den Vorgabegeschwindigkeiten liegen die Fahrten bei 25 km/h mit durchschnittlich 1 Sekunde Unterschätzung an erster Stelle.

Abbildung 60
Prozentuale Verteilung der Fehlerzeiten nach vorgegebener Geschwindigkeit

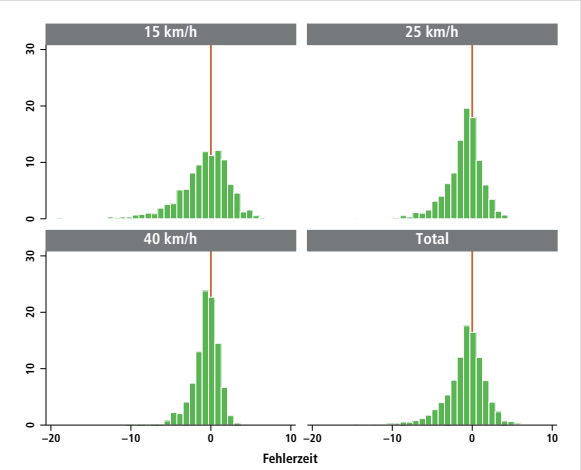


Abbildung 61
Prozentuale Verteilung der Fehlerzeiten nach Fahrzeugart

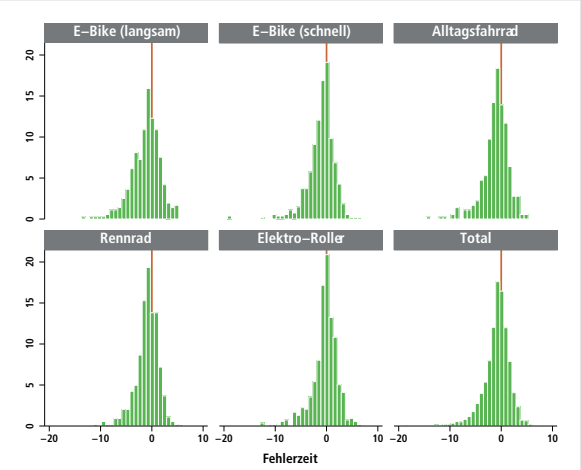


Tabelle 13
Mittlere Fehlerzeiten nach Fahrzeugart und vorgegebener Geschwindigkeit, arithmetisches Mittel (M, Standardabweichung (SD) und Anzahl Fälle (n)

Fahrzeugart		Vorgegebene Geschwindigkeit			
		15 km/h	25 km/h	40 km/h	Total
E-Bike (langsam)	M	-1.14	-1.18	...	-1.16
	SD	3.19	2.41	...	2.81
	n	176	182	...	358
E-Bike (schnell)	M	-1.17	-1.03	-0.86	-1.02
	SD	3.7	2.22	1.7	2.67
	n	178	182	179	539
Alltagsfahrrad	M	-0.82	-1.38	...	-1.10
	SD	2.71	2.38	...	2.57
	n	180	179	...	359
Rennrad	M	-0.85	-1.01	-0.74	-0.86
	SD	2.77	2.04	1.59	2.19
	n	184	178	181	543
Elektro-Roller	M	-0.37	-0.42	-0.20	-0.33
	SD	3.45	2.08	1.55	2.5
	n	181	177	178	536
Total	**M**	**-0.87**	**-1.00**	**-0.60**	**-0.86**
	SD	**3.19**	**2.25**	**1.64**	**2.55**
	n	**899**	**898**	**538**	**2 335**

Insgesamt zeigt sich, dass im Durschnschnitt alle Fahrzeuge in ihrer Geschwindigkeit unterschätzt werden. Auffallend sind massive Unterschätzungen, die bis zu 19 Sekunden reichen.

Da Fehlerzeiten kleiner Null – unabhängig von ihrer Grösse – mit einem Risiko einhergehen können, ist die Auswertung einer am Nullwert dichotomisierten Variable eine weitere Option. Es zeigt sich, dass ingesamt in 62 % aller Messungen die Geschwindigkeit unterschätzt wurde (Tabelle 14).

E-Bikes und Fahrräder weisen mit etwa zwei Dritel Unterschätzungen einen ähnlich hohen Anteil auf. Im Vergleich zu diesen wurde die Geschwindigkeit des Elektro-Rollers besser eingeschätzt. Letztendlich aber auch bei diesem in rund 50 % aller Fälle zu tief.

Auffallend ist ein deutlicher Unterschied zwischen den Probanden (Abbildung 62): 3 Probanden überschätzen die Geschwindigkeit bei allen 26 Durchläufen, 13 Probanden unterschätzten diese konsequent.

5.3 Detailanalyse

Um die vermuteten Effekte auf die Einschätzung der Geschwindigkeit bzw. die Fehlerzeiten auswerten zu können, werden im Folgenden multiple Regressionen berechnet. Diese können als lineares Modell zur Schätzung der Fehlerzeit oder als Logit-Modell zur Schätzung des Risikos einer Geschwindigkeitsunterschätzung ausgeführt werden.

Für die Berechnung der Modelle und die Interpretation müssen folgende Punkte beachtet werden:

- Die Stichprobe der Probanden beruht auf einer beliebigen Auswahl («convenience sample»)
- Die Einschätzungen wurden in Gruppen bis zu 8 Probanden vorgenommen.
- Jeder Proband beurteilte 26 Fahrten.

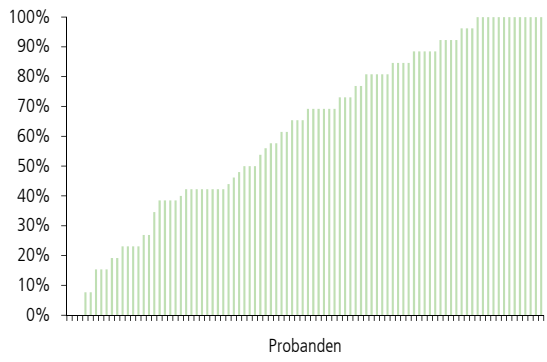
Während der erste Punkt zentral für die Interpretation bzw. die Generalisierbarkeit der Ergebnisse ist, müssen die beiden anderen Punkte bereits in der Datenanalyse berücksichtigt werden.

Bei der gemeinsamen Beurteilung der Geschwindigkeit in Gruppen muss geprüft werden, ob ein Gruppeneffekt durch eine gegenseitige Beeinflussung der Probanden oder eines situativen Effekts vorhanden ist. Auch die einzelnen Einschätzungen der Probanden sind nicht unabhängig voneinander: Da jeder Proband mehrere Fahrten beurteilte, können Effekte durch Merkmale des Probanden oder auch ein «Lerneffekt» durch mehrmaliges einschätzen entstanden sein.

Tabelle 14
Anteil Geschwindigkeitsunterschätzungen nach Fahrzeugart und vorgegebener Geschwindigkeit

	Vorgegebene Geschwindigkeit			
Fahrzeug	15 km/h	25 km/h	40 km/h	Total
E-Bike (langsam)	59 %	70 %	...	65 %
E-Bike (schnell)	59 %	69 %	68 %	66 %
Alltagsfahrrad	57 %	76 %	...	66 %
Rennrad	59 %	65 %	66 %	63 %
Elektro-Roller	47 %	56 %	54 %	52 %
Total	**56 %**	**67 %**	**63 %**	**62 %**

Abbildung 62
Anteil an Geschwindigkeitsunterschätzungen nach Proband (jeweils n = 26)



Zur Berücksichtigung solcher Gruppierungseffekte bieten sich Mehrebenen-Verfahren («Multilevel-Models») an. Mit diesen können die Varianzkomponenten der Gruppenbildung geprüft und wenn nötig berücksichtigt werden. Die folgenden Auswertungen wurden mit Stata in der Version 12 durchgeführt [63]. Genutzt wurden die Prozeduren «xtmelogit» für die binären und «xtmixed» für die linearen Modelle.

5.3.1 Prüfung der Gruppierungseffekte

Um die Notwendigkeit der Berücksichtigung von Gruppierungseffekten zu prüfen, wurden im Folgenden anhand der abhängigen Variable «Fehlerzeit» Varianzkomponentenmodelle berechnet. Für die binären Modelle wurde anschliessend analog vorgegangen. Die Modelle enthalten ausschliesslich eine Konstante. Gleichzeitig werden für die vermuteten Gruppierungseffekte eigene Varianzanteile berechnet. Als Indikator für die Modellgüte bzw. Modellverbesserung ist das «Bayessche Informationskriterium (BIC)» abgebildet (Tabelle 15). Ziel bei der Berechnung eines «besten Modells» ist die Minimierung des BIC.

Die Konstante gibt jeweils den Mittelwert der abhängigen Variable «Fehlerzeit» an. In Modell 1 wurde die Gruppenzugehörigkeit als 2. Varianzkomponente berechnet. In Modell 2 die Probanden-ID und in Modell 3 Gruppenzugehörigkeit und Probanden-ID. In Modell 1 beträgt der Varianzanteil der Gruppenzugehörigkeit lediglich rund 6 % (0,398/(0,398+6,108)). Werden zusätzlich die Probanden als Varianzkomponente berücksichtigt (Modell 3) sinkt die Varianz der Gruppenzugehörigkeit praktisch auf Null ($3x10^{-11}$).

Tabelle 15
Vergleich der Basismodelle: Lineares Modell «Fehlerzeit» mit Varianzkomponenten

	Modell 1	Modell 2	Modell 3
Konstante	-0.857	-0.859	-0.859
Varianz (Gruppen-ID)	0.398	...	3.E-11
Varianz (Probanden-ID)	...	3.526	3.526
Varianz (Residuen)	6.108	2.982	2.982
BIC	10 906	9 511	9 519

Der Varianzanteil der Probanden beträgt dagegen 54 % (Modell 2). Die «Probandenvarianz» muss damit im multiplen Modell berücksichtigt werden. Mithilfe der Mehrebenen-Analyse können Gruppierungen auf zwei Arten berücksichtigt werden: Das Regressionsmodell kann mit einer Konstante berechnet werden, die für jedes Mitglied der Gruppe einen eigenen Wert annimmt (sog. «random effects» oder «random intercepts»). In einem weiteren Schritt kann für jedes Gruppenmittglied ein variierender Regressionskoeffizient zugelassen werden («random coefficients» oder «random slopes»).

Im Fall der linearen Modelle, die die Fehlerzeit schätzen heisst dies z. B., dass für jeden Probanden die Regressionsgrade auf einem anderen Niveau liegen kann («random intercept») und zusätzlich über die 26 Versuche eine Steigung der Geraden erlaubt ist («random slope»).

Um zu bestimmen, welches Modell die beste Anpassung an die vorliegenden Daten zeigt, wurden verschiedene Varianten berechnet. Im linearen Modell und im binären Modell zeigten die freie Variation der Konstante und der Regressionsparameter über die Anzahl der Versuche pro Proband die beste Modellgüte.

In der weiteren Auswertung wurden sowohl für das lineare als auch für das binäre Modell Prädiktoren in die Regressionsgleichung eingeführt und beurteilt.

Zusätzlich wurden Interaktionen zwischen den Prädiktoren systematisch getestet.

Auffallend im gesamten Prozess war der Einfluss des Prädiktors «Geschlecht der Probanden» in beiden Regressionsarten: Weibliche Probanden schnitten in der Geschwindigkeitsabschätzung unabhängig von anderen Prädiktoren deutlich schlechter ab als Männer. Gleichzeitig waren aber die Konfidenzintervalle der Koeffizienten ausserordentlich gross, was auf Probleme in der Schätzung hinwies. Eine genauere Betrachtung der Daten zeigte Folgendes: Die Verteilung «Fehlerzeit» zeigt im negativen Bereich einige deutliche Extremwerte. Bei der binären Variable fiel auf, dass es Probanden gab, die in allen 26 Fahrten die Geschwindigkeit unterschätzten (13 Probanden) aber auch der gegensätzliche Fall, dass sie die Geschwindigkeit überschätzten (3 Probanden). Diese 16 Probanden beeinflussen die Modellschätzungen mit variablen Konstanten massiv. Bei der binären (logistischen) Regression liegt die Chance (Odds) über alle Fälle bei 1 bzw. 0. Bei der linearen liegt die Konstante weit entfernt von der Konstante der Gesamtstichprobenschätzung.

Die Variable «Geschlecht des Probanden» weist in den Regressionsgleichungen sehr hohe Koeffizienten und sehr breite Konfidenzintervalle auf. Dies ist darauf zurückzuführen, dass für «konstante Überschätzungen» kein weiblicher Proband verantwortlich war, jedoch für 92 % der «konstanten Unterschätzungen».

Für die finalen Modelle wurden diese Beobachtungen aus der Berechnung ausgeschlossen. Dadurch werden gleichzeitig 16 Beobachtungen mit extremen Werten (Fehlerzeiten mit mehr als 10 Sekunden Geschwindigkeitsunterschätzung) nicht für die Berechnung berücksichtigt. In den Regressionsmodellen verbleiben 74 Probanden und 1920 Geschwindigkeitseinschätzungen.

Die Ergebnisse der linearen und der binären Mehrebenen-Regression sind in Abbildung 63 bzw. Abbildung 64 zu finden. Die numerischen Ergebnisse sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 im Anhang abgebildet. Es werden nur die mittleren Effekte über die gesamte Stichprobe abgebildet. Die «zufälligen» Effekte der Probanden (Konstante und Steigungen über die 26 Fahrten) sind nur von sekundärem Interesse.

Abbildung 63
Lineare Regression auf Fehlerzeit (Koeffizienten und 95 % Konfidenzintervalle)

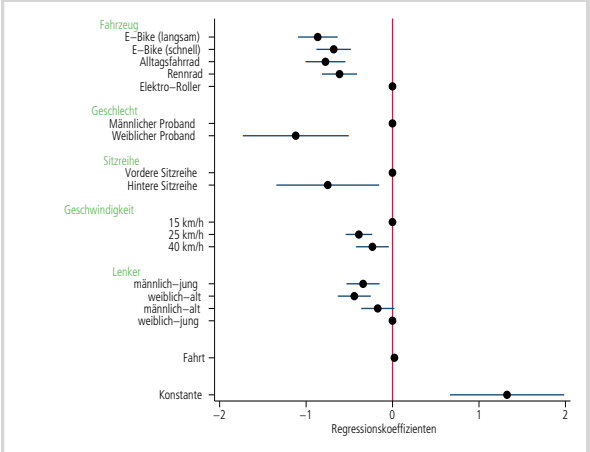
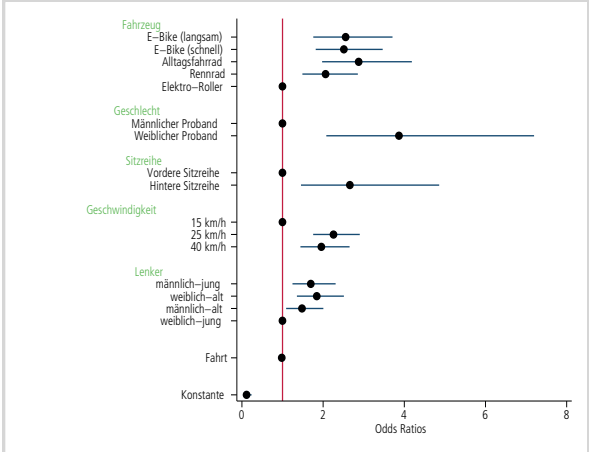


Abbildung 64
Logit-Regression auf Geschwindigkeitsunterschätzung (Odds Ratios und 95 % Konfidenzintervalle



Beide Regressionsarten zeigen identische Ergebnisse. Die Messwiederholungen (Variable «Fahrt») zeigen im Schnitt für alle Probanden einen Lerneffekt. Mit steigender Anzahl von Beurteilungen wird die Einschätzung der Geschwindigkeit besser. Der Elektro-Roller wurde in beiden Modellen als Vergleichskategorie eingesetzt. Alle anderen Fahrzeugarten werden in ihrer Geschwindigkeit unterschätzt. Zwischen den anderen Fahrzeugarten bestehen dagegen keine statistisch signifikanten Unterschiede. Ein Alltagsfahrrad wird gleich schlecht eingeschätzt wie ein langsames oder schnelles E-Bike. Auffallend ist der immer noch stark dominierende Effekt des Probandengeschlechts: Frauen schätzen die Geschwindigkeit schlechter bzw. unterschätzen diese stärker als die männlichen Probanden. Auch die Ausgangsgeschwindigkeit der Fahrzeuge zeigt einen Einfluss auf die Schätzung. Fahrten mit 25 km/h werden deutlich schlechter eingeschätzt. Ausserdem zeigt sich in den Experimenten ein Effekt der Sitzposition der Probanden: In den hinteren Sitzreihen wurde die Geschwindigkeit schlechter eingeschätzt bzw. ist die Wahrscheinlichkeit einer Unterschätzung höher. Andere vermutete Prädiktoren zeigten keinen Einfluss auf die Ergebnisse: Die Fahrerfahrung als Personenwagenlenker oder Fahrradfahrer, das Tragen einer Brille oder das Alter der Probanden. Kaum interpretierbar ist hingegen das Ergebnis hinsichtlich des Erscheinungsbildes der Fahrzeuglenker (Akteure). Dass eine junge Frau am korrektesten eingeschätzt wurde und die anderen 3 Akteure im Vergleich dazu signifikant unterschätzt wurden kann nicht erklärt werden.

5.3.2 Generalisierbarkeit der Ergebnisse

Es stellt sich die Frage nach der Generalisierbarkeit der Ergebnisse, da die Probandenstichprobe keine zufällige Auswahl einer möglichen Grundgesamtheit darstellte. Die spezielle Auswertung mittels Mehrebenen-Analyse, bei der für die Probanden «zufällige» Effekte und Koeffizienten zugelassen wurden, ist eng mit dieser Frage verknüpft. Durch diese Methode wird der Effekt der einzelnen Probanden nebensächlich. Es besteht eine Art Austauschbarkeit, d. h. mit einer anderen Probandenstichprobe könnten gleich mittlere Effekte erzielt werden. Damit ist eine Generalisierbarkeit der Ergebnisse theoretisch durchaus möglich. Doch nur eine Replikation des Experiments könnte diese Annahme bestätigen.

6. Diskussion

6.1 Hypothesen

Der Vergleich der Resultate mit den formulierten **Hypothesen** ergibt folgendes Bild:

Hypothese 1a:
Die Hypothese 1a, dass Fahrzeuglenker die **absolute** Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen, die von links herannahen, unterschätzen, wird bestätigt.

Hypothese 1b:
Die Hypothese 1b, dass Fahrzeuglenker die Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen, die von links herannahen, **relativ zueinander** unterschätzen, wird teilweise bestätigt. Die Geschwindigkeit von Fahrrädern und E-Bikes wird im Vergleich zur Geschwindigkeit von Motorrädern unterschätzt. Zwischen E-Bikes und Fahrrädern besteht jedoch kein Unterschied in der Geschwindigkeitseinschätzung.

Hypothese 2:
Die Hypothese 2, dass das Ausmass der Fehleinschätzung von den **gefahrenen Geschwindigkeiten** der einspurigen Fahrzeuge **abhängt**, wird bestätigt. Geschwindigkeiten von 25 km/h und von 40 km/h werden stärker unterschätzt als Geschwindigkeiten von 15 km/h.

Hypothese 3:
Die Hypothese 3, dass das Ausmass der Fehleinschätzung der gefahrenen Geschwindigkeiten von der Kombination **«Alter der Lenker und Tretfahrzeugtyp»** abhängt, wird verworfen.

Hypothese 4:
Die Hypothese 4, dass das Ausmass der Fehleinschätzung der gefahrenen Geschwindigkeiten von der Kombination **«Geschlecht der Lenker und Tretfahrzeugtyp»** abhängt, wird verworfen.

Hypothese 5:
Die Hypothese 5, dass das Ausmass der Fehleinschätzung der gefahrenen Geschwindigkeiten von der Kombination **«Alter, Geschlecht und Tretfahrzeugtyp»** abhängt, wird teilweise bestätigt. Die gefahrenen Geschwindigkeiten werden stärker unterschätzt, wenn z. B. eine über 50 Jahre alte Frau ein E-Bike oder ein Fahrrad lenkt.

6.2 Zusätzliche Erkenntnisse

Nebst den in den Hypothesen formulierten Effekten konnten **zusätzliche Erkenntnisse** gewonnen werden:

- Die Genauigkeit der Geschwindigkeits-Einschätzung hängt stark vom einzelnen **Probanden** ab.
- **Frauen** unterschätzen die Geschwindigkeit bedeutend stärker als Männer.
- Probanden, die in der **hinteren** (leicht erhöhten) **Sitzreihe** platziert waren, unterschätzten die Geschwindigkeiten stärker als Probanden in der vorderen Sitzreihe.

6.3 Fazit

Das postulierte Phänomen, dass leichte Zweiräder, die von links nahen, von potenziellen Kollisionsgegnern in ihrer **Geschwindigkeit unterschätzt** werden, konnte bestätigt werden. Die Unterschätzung lässt sich sowohl absolut als auch im Vergleich zu Motorrädern nachweisen. Mit dieser Methode konnte jedoch **kein Unterschied zwischen Fahrrädern und E-Bikes** aufgezeigt werden.

Aufschlussreich war auch der Befund, dass die Unterschätzung bei **mittleren und hohen Geschwindigkeiten** (25 km/h; 40 km/h) grösser war als für tiefe Geschwindigkeiten.

Es zeigte sich zudem, dass **Frauen die Geschwindigkeiten schlechter einschätzen** als Männer. Hinsichtlich der Auswirkungen dieses Befunds gilt es jedoch zu beachten, dass bei diesem Experiment nur die **Geschwindigkeit** der einspurigen Fahrzeuge eingeschätzt wurde. Ob Frauen infolge einer Unterschätzung der Geschwindigkeiten trotzdem losgefahren wären (Gap Acceptance), war nicht Gegenstand dieses Experiments. Immerhin zeigte die Unfallanalyse keine diesbezüglichen Auffälligkeiten.

Schliesslich zeigte es sich, dass aus **höherer und leicht zurückversetzter Position** die Geschwindigkeiten stärker **unterschätzt** werden als aus tieferen, der Fahrbahn näheren Positionen. SUV-Lenker müssten gemäss diesem Befund Geschwindigkeiten von herannahenden Tretfahrzeugen stärker unterschätzen. Dieser Befund kann jedoch mit einer

Unfallanalyse nicht geprüft werden, da im Unfallaufnahmeprotokoll dieser Fahrzeugtyp nicht gesondert ausgewiesen wird.

6.4 Methodenkritik

Die lineare Regression hinsichtlich der **abhängigen Variable** «Fehlerzeit» könnte einem Artefakt unterliegen, denn die korrekten Zeiten der Schätzstrecke variieren zwangsläufig in Abhängigkeit der Vorgabegeschwindigkeiten der Versuchsfahrzeuge. Bei **hohen Vorgabe-Geschwindigkeiten** ist die korrekte Zeit für die Schätzstrecke kleiner als bei tiefen Geschwindigkeiten (Tabelle 16).

Daraus folgt, dass bei der Vorgabe-Geschwindigkeit 40 km/h die Fehlerzeit nicht weniger als 4,00 Sek. (Überschätzung) betragen kann. Interessanterweise stimmen die Ergebnisse der binären Analysen (logistische Regression) trotzdem weitgehend mit den Resultaten der linearen Regression überein. Die Auswirkung dieser möglichen Verzerrung dürfte sich demnach in Grenzen halten.

Die Fähigkeit, die **Geschwindigkeit** eines von links nahenden Tretfahrzeugs **einzuschätzen**, ist **nur ein Teilfaktor**, der die Absicht beeinflusst, vor oder nach dem Vorbeifahren eines Tretfahrzeugs in die übergeordnete Strasse einzumünden. Ein weiterer Einflussfaktor ist die persönliche **Gap Acceptance**, also die Zeitlücke zum nahenden Fahrzeug, die ein Verkehrsteilnehmer nicht unterschreiten will, bevor er in eine übergeordnete Strasse einmündet. Erst beide Faktoren zusammen sind hinsichtlich Unfallrisiko eines Motorfahrzeuglenkers in dieser Situation aussagekräftig. So kann beispielsweise ein Lenker eines Motorfahrzeugs zwar die Geschwindigkeit eines von links nahenden Tretfahrzeugs stark unterschätzen, quert jedoch nur bei verhältnismässig grossen Zeitlücken.

Tabelle 16
Korrekte Zeiten für die Schätzstrecke in Abhängigkeit der vorgegebenen Geschwindigkeit

Vorgegebene Geschwindigkeit	Korrekte Zeit Schätzstrecke
15 km/h	10.66 Sek.
25 km/h	6.30 Sek.
40 km/h	4.00 Sek.

Ein weiteres Problem könnte das **Erscheinungsbild der Versuchsstrecke** darstellen, denn es kann nicht ausgeschlossen werden, dass dieses die Schätzungen der Probanden beeinflusst haben könnte. Zwar wurde sorgfältig versucht, vertikale Elemente entlang der Schätzstrecke zu vermeiden. Trotzdem ist es möglich, dass einzelne Probanden im Verlaufe ihrer Schätzungsserie «gelernt» haben, ihre Schätzung anhand bestehender Elemente zu optimieren. Die Auswertungen zeigen denn auch bei den Probanden einen Lerneffekt. Dieser Effekt wurde deshalb in den Auswertungen berücksichtigt. Idealerweise müsste ein derartiges Experiment auf einem freien Feld durchgeführt werden. Die Praktikabilität dürfte jedoch Grenzen setzen (Elektrizität, Erreichbarkeit, Infrastruktur).

Während eines **Experiments** befinden sich Probanden in einer **künstlichen Situation**. Sie können deshalb gezielt auf die Aufgabenstellung fokussieren. Die alltäglichen Bedingungen im Strassenverkehr sind zweifelsohne komplexer, denn unter Alltagsbedingungen müssen Lenker ihre Aufmerksamkeit selber steuern. In Realität dürfte daher die Ablenkung grösser sein, sodass das Risiko, einspurige Fahrzeuge nicht wahrzunehmen bzw. deren Geschwindigkeit zu unterschätzen, erhöht sein dürfte.

VIII. Diskussion

1. Einleitung

In diesem Bericht konnten anhand verschiedener Methoden und Datenquellen einige Erkenntnisse über die Verkehrssicherheit von E-Bike-Fahrten gewonnen werden. Nachfolgend werden die wichtigsten Befunde dargestellt und Schlussfolgerungen in Bezug auf Präventionsmöglichkeiten und Forschungsbedarf aufgezeigt. Für die Interpretation ist es wichtig, sich der **Grenzen der aktuellen Datenlage** bewusst zu sein. E-Bikes sind eine relativ neue Form der Mobilität und ihre Sicherheit noch wenig erforscht. In den Unfallaufnahmeprotokollen werden sie erst seit wenigen Jahren als separate Fahrzeugart erfasst. Aufgrund der eher geringen Fallzahlen sind gewisse Auswertungen nur eingeschränkt möglich (z. B. Differenzierung nach Unfallfolgen oder Altersklassen). Einschränkungen in der Aussagekraft der Daten sind auch bei der Analyse der wissenschaftlichen Literatur zu beachten. Zwischen verschiedenen Ländern bestehen bedeutsame Unterschiede bezüglich der verwendeten E-Bike-Typen und somit vermutlich auch hinsichtlich der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten. Aus diesen Gründen sind die vorliegenden Erkenntnisse vor dem Hintergrund der aktuellen Nutzergruppe und im jeweiligen Kontext zu betrachten.

2. Befunde

2.1 Unfall- und Verletzungsrisiko

Mit der zunehmenden Popularität von E-Bikes in den letzten Jahren hat auch das Unfallgeschehen kontinuierlich und deutlich zugenommen. Dabei fällt auf, dass der **Anstieg der Unfallzahlen proportional zur Zunahme des Fahrzeugbestands** (kumulierte Summe aller verkauften E-Bikes) verläuft.

Die Frage, ob E-Bike fahren im Vergleich zu Fahrrad fahren mit einem erhöhten **Unfallrisiko** einhergeht, kann zurzeit nicht abschliessend beantwortet werden. Zwar existieren einzelne Studien zur Unfallhäufigkeit, diese berücksichtigen die Exposition (z. B. Fahrleistung, Nutzungsdauer) aber nur unzureichend. Auch die Frage nach Unterschieden im **Verletzungsrisiko** zwischen E-Bike- und Fahrradfahrern ist noch nicht eindeutig geklärt. Aufgrund unterschiedlicher Ansätze und Methoden divergieren die empirischen Resultate internationaler Studien. Für E-Bike-Fahrer wurde ein höheres Risiko für Unfälle nachgewiesen, die einer ärztlichen Behandlung bedürfen. Ab einem bestimmten Verletzungsschweregrad (bzw. wenn nur Verunfallte in ärztlicher Behandlung untersucht werden) zeigen sich jedoch keine signifikanten Unterschiede mehr hinsichtlich der Verletzungsschwere von E-Bike- und Fahrradfahrern. In der Schweizerischen Strassenverkehrsunfall-Statistik findet sich unter allen verletzten E-Bike-Fahrern ein grösserer Anteil (34 %) an Schwerverletzten und Getöteten als bei den Fahrradfahrern (27 %).

Der **grössere Anteil an schweren Verletzungen** bei E-Bike-Fahrern im Vergleich zu Fahrradfahrern ist jedoch **primär auf Unterschiede in der Nutzerstruktur/Altersverteilung zurückzuführen**: E-Bike-Fahrer sind älter und damit vulnerabler für körperliche Verletzungen als Fahrradlenker. Ob das E-Bike als Fahrzeug darüber hinaus ebenfalls eine

Rolle spielt, kann nicht ausgeschlossen werden. Aktuell liegen entsprechende Hinweise, jedoch keine gesicherten Befunde vor. Mit zunehmendem Alter der Lenker von Tretfahrzeugen steigt das Risiko für schwere Unfälle. Der Einfluss des Alters wird aber durch das Benützen eines E-Bikes nicht noch zusätzlich verstärkt (kein Interaktionseffekt).

2.2 Unfallmerkmale

Die Analyse der Unfalltypen (Basis Strassenverkehrsunfall-Statistik) liefert einige wesentliche und zugleich unerwartete Erkenntnisse. Besonders auffällig ist der **hohe Anteil an schweren Alleinunfällen von E-Bike-Fahrern**. Diese sind nicht nur häufiger als schwere Kollisionen mit E-Bikes, sondern relativ betrachtet auch häufiger als schwere Alleinunfälle von Fahrradfahrern. Während bei E-Bikes mehr Schwerverletzte und Getötete auf Alleinunfälle (49,4 %) als auf Kollisionen (46 %) zurückzuführen sind, ist das Verhältnis bei schweren Fahrradunfällen entgegengesetzt (37,8 % Alleinunfälle und 57,6 % Kollisionen). Als Ursachen für Alleinunfälle von E-Bikes werden in der Literatur vor allem die erhöhte Geschwindigkeit sowie falsches bzw. zu starkes Bremsen erwähnt. Umso erstaunlicher mutet daher die Tatsache an, dass der hohe Anteil an Alleinunfällen **vor allem den Fahrern langsamer E-Bikes zuzuschreiben** ist. Mit 52 % sind mehr als die Hälfte ihrer schweren Unfälle Alleinunfälle (46 % Kollisionen). Bei den Fahrern schneller E-Bikes machen die Alleinunfälle hingegen nur 45 % aus (Kollisionen 46 %), womit sie relativ gesehen aber ebenfalls häufiger auftreten als bei den Fahrrädern. Über die Ursachen der häufigen Alleinunfälle von E-Bike- im Vergleich zu Fahrradfahrern ist bisher wenig bekannt. Neben der Geschwindigkeit und anderen Bremseigenschaften wären auch weitere Fahreigenschaften des E-Bikes wie zum Beispiel das hohe Gewicht oder das teilweise ruckartige Einsetzen des Motors denkbar. Möglich wäre aber auch, dass die Differenzen auf Unterschiede in den Nutzergruppen (z. B. bzgl. Verletzlichkeit oder Geschicklichkeit), andere Fahrumgebungen oder eine höhere Dunkelziffer in Abhängigkeit von der Lenkergruppe zurückzuführen sind. Eher auszuschliessen sind Unterschiede in der Fahrerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad (Kap. VIII.2.5).

Kollisionen mit verletzten E-Bike-Fahrern ereignen sich oft an **Kreisverkehrsplätzen** oder an **herkömmlichen Knoten**. Häufigster Grund dabei ist, dass Motorfahrzeuglenker den E-Bike-Fahrern den Vortritt nicht gewähren, und zwar wenn sich das E-Bike dem Motorfahrzeug von links nähert. In beiden Unfallsituationen zeigt sich bei E-Bikes gegenüber Fahrrädern eine Besonderheit: Sie sind **auffallend oft unschuldig**. Kollisionen in Kreiseln zwischen einmündendem Motorfahrzeug und im Kreisel fahrendem Tretfahrzeug sind bei Fahrrädern im Verglich zu E-Bikes seltener. Das gehäufte Auftreten von Vortrittsmissachtungen gegenüber E-Bikes könnte damit zusammenhängen, dass potenzielle Kollisionsgegner diese schlecht wahrnehmen oder deren Geschwindigkeit unterschätzen (Kap. VIII.2.6).

Männer sind etwas häufiger als Frauen Opfer schwerer E-Bike-Unfälle. Dies widerspiegelt einerseits das Geschlechtsverhältnis der Nutzergruppen gemäss Literatur. Andererseits dürfte dieser Befund auch Unterschiede im Sicherheitsverhalten repräsentieren, zeigte sich doch in der Lenkerbefragung, dass Frauen vorsichtiger fahren als Männer.

2.3 Geschwindigkeit

Die Geschwindigkeit wird als zentraler Risikofaktor für die Sicherheit bei E-Bike-Fahrten betrachtet. Dessen Relevanz hängt jedoch davon ab, in welchem Ausmass die potenziell höheren Geschwindigkeiten realisiert werden. Die Literaturanalyse lieferte Nachweise, dass mit **E-Bikes** im Durchschnitt 1–4 km/h **schneller** und ein **grösserer Anteil der Distanzen in höheren Geschwindigkeitsbereichen** gefahren wird als mit Fahrrädern. Diese absoluten Differenzen in den Durchschnittsgeschwindigkeiten mögen auf den ersten Blick gering erscheinen. Bei Betrachtung der prozentualen Differenzen (6–23 %) und deren Bedeutung für die Unfallkonsequenzen erscheinen sie allerdings durchaus bedeutsam für das Unfallgeschehen. Es gibt Schätzungen, dass eine Erhöhung der Durchschnittsgeschwindigkeit um 10 % zu einem Anstieg der Schwerverletzten um 33 % und der Getöteten um 54 % führt. Dennoch müssen diese Befunde differenziert betrachtet werden: Erstens werden die höheren Geschwindigkeiten vor allem von Fahrern schneller E-Bikes und von jüngeren Personen realisiert. Zweitens scheinen die E-Bike-Fahrer ihre Geschwindigkeit in anspruchsvollen Situationen zu reduzieren. Die Geschwindigkeit scheint trotzdem nicht immer ausreichend angepasst zu werden. Dies zeigt u. a. die Analyse der polizeilich registrierten Alleinunfälle. E-Bike-Fahrern wird bei Alleinunfällen 1,5-mal häufiger die Hauptursache «Geschwindigkeit» zugeschrieben als Fahrradfahrern. Welche Geschwindigkeiten dabei effektiv gefahren wurden, lässt sich den Unfallprotokollen aber nicht entnehmen.

Neben höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten im Vergleich zum Fahrrad wird bei E-Bikes auch eine höhere Variation der Geschwindigkeiten festgestellt. Auch kommt es zu **mehr Überholvorgängen und mehr Interaktionen** mit anderen Verkehrsteilnehmern. Auf die Unfallwahrscheinlichkeit von E-Bike-Fahrern scheint sich dies aber nicht negativ auszuwirken. Bezüglich des **Konfliktgeschehens (Anzahl und Art der kritischen Situationen)** bei E-Bike- und Fahrradfahrten wurden **keine Unterschiede** festgestellt.

Es gilt anzumerken, dass in der **Schweiz bisher keine Geschwindigkeitsmessungen** durchgeführt wurden. Infolge des höheren Anteils an schnellen E-Bikes dürften die Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen E-Bikes und Fahrrädern hierzulande noch etwas höher ausfallen als in der verfügbaren Literatur dokumentiert.

2.4 Fahrzeug (-typ)

In der Strassenverkehrsunfall-Statistik ist die Anzahl der schweren Unfälle von Fahrern langsamer E-Bikes bedeutend grösser als jene der Fahrer schneller E-Bikes. Das Verhältnis der schweren Personenschäden dürfte sich im Rahmen von zwei Dritteln zu einem Drittel bewegen. Bei einem beträchtlichen Teil fehlen jedoch die Angaben zum Tretfahrzeugtyp im Unfallaufnahmeprotokoll. Ob das Verhältnis dem Bestand und der Nutzung entspricht, kann aufgrund fehlender Daten nicht beurteilt werden. Somit sind aktuell auch noch keine Aussagen über das Unfallrisiko nach Fahrzeugtyp möglich.

Polizeilich registrierte Unfälle von Fahrern langsamer und schneller E-Bikes unterscheiden sich hinsichtlich der Verletzungsschwere. **Unfälle mit langsamen E-Bikes** sind **schwerer**. Auch dieser Befund ist primär auf **Unterschiede im Durchschnittsalter** (bzw. die Vulnerabilität) dieser beiden Gruppen zurückzuführen. Die Häufigkeitsverteilung der schwer verunfallten E-Bike- und Fahrradfahrer nach Altersklassen

zeigt hierzu ein deutliches Bild: Schwer verunfallte Fahrer langsamer E-Bikes sind im Durchschnitt 59 Jahre, Lenker schneller E-Bikes 49 Jahre und Fahrradfahrer 45 Jahre alt**.** Ob dieses Muster genau die Demografie der Fahrer widerspiegelt, kann aufgrund fehlender Daten nicht eindeutig überprüft werden.

Die Tatsache, dass **Fahrer langsamer E-Bikes** anteilsmässig **häufiger alleine** (schwer) **verunfallen** als Fahrer schneller E-Bikes, ist ebenfalls vor allem auf **Altersunterschiede** der Nutzer zurückzuführen. Die Fahrer langsamer E-Bikes dürften sich aufgrund des höheren Alters bzw. der höheren Vulnerabilität bei einem Alleinunfall eher schwer verletzen. Möglicherweise haben sie das Gefährt und die Geschwindigkeit infolge altersbedingter psychomotorischer Defizite auch weniger gut im Griff. Diesbezüglich wäre jedoch auch denkbar, dass ältere E-Bike-Fahrer allfällige Defizite durch vorsichtiges Fahren kompensieren. In der Lenkerbefragung ergaben sich Hinweise, dass ältere E-Bike-Fahrer vorsichtiger unterwegs sind als jüngere.

Der höhere Anteil schwerer Alleinunfälle bei Fahrern langsamer E-Bikes ist allerdings **nicht ausschliesslich durch das Alter erklärbar**. Wird das Alter der Fahrer statistisch kontrolliert (konstant gehalten), zeigt sich bei den langsamen E-Bikes relativ betrachtet nach wie vor ein grösserer Anteil an schweren Alleinunfällen als bei den schnellen E-Bikes. Über die Ursachen kann nur spekuliert werden. Ob langsame E-Bikes tatsächlich andere Fahreigenschaften aufweisen als schnelle E-Bikes, ist unklar.

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. All dies könnte das Risiko für Alleinunfälle erhöhen. Die besten Bremswerte scheinen hydraulische Scheibenbremsanlagen zu erzielen, wobei allerdings die Gefahr einer Überbremsung des Vorderrads bestehen kann. Um eine neutrale Gewichtsaufteilung mit tiefem Schwerpunkt zu erreichen, scheint das Antriebskonzept Mittelmotor mit Batterie am Sattelrohr am geeignetsten.

2.5 Fähigkeiten, Gefahrenbewusstsein und Fahrverhalten von E-Bike-Fahrern

Der hohe Anteil an Alleinunfällen wirft die Frage auf, ob E-Bike-Fahrer über ausreichende **psychomotorische Fähigkeiten** verfügen. Die diesbezüglichen Anforderungen und Ausprägungen wurden bisher noch nicht wissenschaftlich erforscht. Die verfügbare Literatur und die Lenkerbefragung zeigen jedoch, dass **die Mehrheit der E-Bike-Fahrer vor der Zeit ihrer E-Bike-Nutzung regelmässig oder zumindest gelegentlich Fahrrad gefahren** ist. Wer wenig Vorerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad aufweist oder eher wenig E-Bike fährt, scheint seine mangelnde Übung zudem mit vorsichtigerem Fahren zu kompensieren.

Die Lenkerbefragung konnte die Befürchtung, dass E-Bike-Fahrer den Risikofaktor Geschwindigkeit verkennen, nicht bestätigen. **Die meisten Lenker sind sich der Gefahren des E-Bikes bewusst.** Sie wissen um die längeren Anhaltewege und Schwierigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer, die Geschwindigkeit von E-Bikes angemessen einzuschätzen. Zudem zeigte sich, dass das Gefahrenbewusstsein hinsichtlich der Geschwindigkeit von E-Bikes nur

schwach mit dem Fahrverhalten in Zusammenhang stand. Mit dem Gefühl, unverletzbar zu sein und der Überzeugung, E-Bike und Geschwindigkeit im Griff zu haben, konnten weitere psychologische Faktoren identifiziert werden, die mit dem selbstberichteten Fahrverhalten in Zusammenhang stehen. Die Richtungen der Zusammenhänge weisen jedoch darauf hin, dass diese Kognitionen eher Ausdruck des gezeigten Verhaltens sind, als dass sie das Verhalten steuern. **Selbstunfälle scheinen von den Fahrern eher unterschätzt zu werden.** Zwischen dem Wissen über das Unfallgeschehen bei E-Bike-Fahrten und dem selbstberichteten Fahrverhalten konnte allerdings kein Zusammenhang nachgewiesen werden. Längsschnittstudien mit objektiven Massen des Fahrverhaltens wären am aufschlussreichsten, um Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten und damit Ansatzpunkte für allfällige Präventionsmassnahmen zu identifizieren.

2.6 Andere Verkehrsteilnehmer

Der im Vergleich zu Fahrrädern höhere Anteil von E-Bike-Kollisionen (mit verletzten E-Bike-Fahrern) an Knoten und Kreiseln aufgrund von Vortrittsmissachtungen durch Motorfahrzeuge wirft den Verdacht auf, dass **E-Bike-Fahrer stärker durch Fehleinschätzungen anderer Verkehrsteilnehmer gefährdet** sind **als Fahrradfahrer**. Potenzielle Kollisionsgegner scheinen die Geschwindigkeit von E-Bikes zu unterschätzen. Bestätigung hierzu liefert eine experimentelle Studie aus Deutschland. Personenwagenlenker akzeptierten vor E-Bikes (unabhängig von der Geschwindigkeit) kleinere Zeitlücken als vor Fahrrädern. Gründe könnten die im Vergleich zu Fahrrädern langsameren und weniger anstrengend erscheinenden Pedalbewegungen und die entspanntere Sitzhaltung des Fahrers sein.

Dass die Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen, die sich einem Beobachter von links her nähern, generell unterschätzt wird, wurde im vorliegenden Experiment (Kapitel VII) nachgewiesen. Bei Tretfahrzeugen fällt dieser Effekt deutlicher aus: E-Bikes und Fahrräder werden signifikant stärker unterschätzt als Elektro-Roller. In diesem Experiment ergaben sich zwischen E-Bikes und Fahrrädern bei gleicher Geschwindigkeit zwar keine Unterschiede in der Geschwindigkeitseinschätzung. Die gefahrene **Geschwindigkeit** stellte sich aber als **wesentlicher Einflussfaktor für** die **Unterschätzung des Tretfahrzeugs** heraus. Daher dürften E-Bike-Fahrer in Realität stärker von der Unterschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer betroffen sein als Fahrradfahrer. Die **Sitzposition** des potenziellen **Kollisionsgegners** scheint zudem ebenfalls einen Einfluss auf die Unterschätzung der Geschwindigkeit des Tretfahrzeugs zu haben (stärkere Unterschätzung bei höherer und zurückversetzter Sitzposition wie beispielsweise bei SUV's).

3. Schlussfolgerungen

3.1 Präventionsmöglichkeiten

3.1.1 Einleitung

In der Literatur sind einzelne Vorschläge für die Prävention von E-Bike-Unfällen zu finden. Da das Forschungsfeld aber noch sehr neu ist, ist nicht nur die Anzahl der vorgeschlagenen Massnahmen sehr bescheiden, sondern auch kaum Wissen über die Wirksamkeit allfälliger Massnahmen vorhanden. Die nachfolgenden Präventionsmöglichkeiten wurden aufgrund der Erkenntnisse in diesem Bericht hergeleitet. Sie können in die drei Bereiche **Sensibilisierung und Ausbildung** (Education), **Gesetz und**

Vollzug (Enforcement) sowie **Fahrzeugtechnik und Infrastruktur** (Engineering) unterteilt werden.

3.1.2 Sensibilisierung und Ausbildung (Education)

Es macht den Anschein, dass sich E-Bike-Fahrer der Gefahr des E-Bikes (Geschwindigkeit, Anhalteweg, Schwierigkeiten anderer Verkehrsteilnehmer) durchaus bewusst sind. Eine reine Sensibilisierung über die höheren Geschwindigkeiten im Vergleich zum Fahrrad scheint daher nicht angezeigt. Möglicherweise wäre aber eine **Sensibilisierung für** den **Effekt der Geschwindigkeit auf die Unfallkonsequenzen** sinnvoll. Die kinetische Energie nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit nicht linear, sondern quadratisch zu, weshalb Verletzungen im Falle eines Unfalls schon bei kleinen Geschwindigkeitsunterschieden deutlich schwerer ausfallen können. Hierzu könnte Informationsbedarf bestehen.

Alleinunfälle sind der häufigste Unfalltyp bei E-Bike-Fahrten, was von den Fahrern selber aber eher verkannt wird. Da jedoch über **Ursachen** und **Hergang** von **Alleinunfällen** im Moment noch wenig bekannt ist, sollte beides genauer analysiert werden (In-Depth-Analysen). Unabhängig vom Ergebnis sind Fahrkurse für Neueinsteiger mit wenig Vorerfahrung mit dem Fahrrad empfehlenswert; genauso wie allgemeine Sensibilisierungskampagnen über die Gefahr von Alleinunfällen. Für die gezielte Konzeption, Konkretisierung und Optimierung von Kursen und Sensibilisierungskampagnen dienen aber die Ergebnisse der Analysen zu UnfallUrsachen und -hergang als wertvolle Basis.

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. Indessen soll in bestehenden Einsatzmitteln stets auf die Bedeutung des Helms hingewiesen werden.

Des Weiteren ist die Wirksamkeit von Fahrradhelmen weiter zu verstärken. Entsprechende Aktivitäten in Forschung und Umsetzung sind zu unterstützen.

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. Hierzu sollten nicht nur Informationen für die Endkunden zur Verfügung gestellt, sondern auch eine Schulung oder Informationsmaterialien für Händler in Erwägung gezogen werden.

Das Unfallgeschehen von E-Bike-Fahrern an Knoten und Kreiseln aufgrund von Vortrittsmissachtungen durch Motorfahrzeuge und die Ergebnisse aus dem Geschwindigkeitseinschätzungs-Experiment machen deutlich, dass **Motorfahrzeuglenker** für die **Gefahr der Unterschätzung der E-Bike-Geschwindigkeit** sensibilisiert werden sollten. Mitunter kann es sinnvoll sein hervorzuheben, warum es zu dieser Täuschung kommt (Silhouette, kaum Unterschied zum Fahrrad, langsames in die Pedale treten und entspannte Haltung trotz höheren Geschwindigkeiten).

E-Bike-Fahrer sind für diese Problematik ebenfalls zu **sensibilisieren**. Die in ihrem Einfluss stehenden Präventionsmassnahmen sind ihnen aufzuzeigen (Sichtbarkeit erhöhen durch Tragen reflektierender Westen, adäquates und defensives Verhalten wie Bremsbereitschaft und Blickkontakt, Antizipation von Vortrittsmissachtungen). Dies kann mittels Broschüren, die beim Kauf eines E-Bikes von Händlern abgegeben werden oder mittels anderem Kampagnenmaterial wie Spots oder elektronischen Medien geschehen. Das Einbringen dieser Thematik in Kurse ist zwar begrüssenswert, erreicht jedoch lediglich ein kleines Zielpublikum.

Nebst Motorfahrzeuglenkern sind auch andere Verkehrsteilnehmer (v. a. Fussgänger und Fahrradfahrer) aufgrund der höheren Geschwindigkeiten von E-Bikes mit einer grösseren Spannbreite an gefahrenen Geschwindigkeiten von Tretfahrzeugen konfrontiert. Eine diesbezügliche Sensibilisierung erscheint aktuell wenig sinnvoll. Kollisionen mit den genannten Verkehrsteilnehmern sind bis anhin von untergeordneter Bedeutung.

3.1.3 Fahrzeugtechnik und Infrastruktur (Engineering)

Fahrzeug

Es ist davon auszugehen, dass die Sicherheit der E-Bike-Fahrer steigt, wenn diese 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.

Angesichts der grossen Anzahl von Alleinunfällen stellt sich unter anderem die Frage, ob die Eigenschaften der heutzutage eingesetzten **Bremssysteme** ausreichend sind. Dasselbe gilt hinsichtlich Stabilität und Material von Fahrrädern, die mittels **Zusatzkit** zu E-Bikes aufgerüstet werden können. Entsprechende **materialtechnische** Analysen durch spezialisierte Institute könnten aufschlussreich sein.

Ob eine automatische **Geräuschaktivierung** – zumindest bei schnellen E-Bikes – eine effiziente Massnahme ist, muss **bezweifelt** werden. Auf Grund der Unfallanalyse zeigt sich, dass potenzielle Kollisionsgegner motorisierte Fahrzeuge sind. Kollisionen mit Fussgängern sind gänzlich untergeordnet. Ob E-Bikes, die ein Geräusch in akzeptabler Lautstärke erzeugen, von Motorfahrzeuglenkern besser wahrgenommen werden, muss stark bezweifelt werden, sodass der gesamte Nutzen einer solchen Massnahme in Frage zu stellen ist. Zudem ist die gesellschaftliche Akzeptanz einer künstlichen Geräuscherzeugung ebenfalls stark in Frage zu stellen.

Persönliche Schutzausrüstung

Die Helmtragquote von E-Bike-Fahrern ist erfreulich hoch. Allenfalls wäre aber zu prüfen, ob die Norm für Velohelme, bzw. die vorgegebene Aufschlagsgeschwindigkeit beim Prüfverfahren (aktuell für Aufschlag auf Ebene 19,5 km/h), für die Anforderungen von E-Bikes ausreichend ist. In der wissenschaftlichen Literatur war diese Fragestellung bisher kein Thema.

Infrastruktur

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 Verkehrsteilnehmer, die von links nahen, rechtzeitig wahrnehmen können. Die notwendigen Sichtweiten sind in den VSS-Normen SN 640 273a «Knoten; Sichtverhältnisse» geregelt. Die dort festgelegten Werte gelten sowohl für private Zufahrten als auch für öffentliche Strassen ohne Vortritt. Die entsprechenden Werte für Kreisverkehrsplätze finden sich in der VSS-Norm SN 640 263 «Knoten; Knoten mit Kreisverkehr». Eine **Überprüfung** dieser beiden **Normen** hinsichtlich E-Bike-Tauglichkeit ist empfehlenswert.

Dasselbe gilt auch für weitere VSS-Normen, die den Radverkehr betreffen, wie beispielsweise die SN 640 060 «Leichter Zweiradverkehr; Grundlagen» 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 Gebüschen 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.

Infolge der grösseren Geschwindigkeitsdifferenzen zwischen herkömmlichen Fahrrädern und E-Bikes kommt es zwischen Zweiradfahrern vermehrt zu Überholvorgängen. Daher stellt sich die Frage, ob die **Breite der Radwege** ausreichend ist. Die Unfallanalyse zeigt jedoch keine Auffälligkeiten im Konfliktgeschehen zwischen Zweirädern, sodass eine Verbreiterung der Radwege aus Sicht der Verkehrssicherheit für E-Bikes aktuell **keine Priorität** hat. Ob sich die Problematik durch die voraussichtlich weitere Zunahme von E-Bikes verschärft und Handlungsbedarf mit sich bringt, kann zurzeit nicht abgeschätzt werden. Die Forschung hinsichtlich Rad-Schnellbahnen zur Förderung einer nachhaltigen Mobilität muss dieser Tatsache Rechnung tragen.

3.1.4 Gesetz und Vollzug (Enforcement)

Gesetz

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 schnelle E-Bikes. Zudem werden E-Bikes als Motorfahrräder behandelt, sodass diese erst ab 14 Jahren gefahren werden dürfen. Im Wissen, dass ein Grossteil der E-Bike-Unfälle Selbstunfälle 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. Schliesslich ist zu prüfen, ob **Zusatz-Kits** zur Aufrüstung von E-Bikes **verboten** werden können (Kap. VIII.3.1.3).

Repression

Es ist nicht bekannt, wie viele E-Bikes **manipuliert** (ugs. «frisiert») werden. Dieses mögliche Problem sollte daher im Auge behalten werden. Sollte es sich

als bedeutsam herausstellen, wären entsprechende Kontrollmassnahmen zu prüfen.

3.2 Forschungsbedarf

Alleinunfälle sind der bedeutsamste Unfalltyp von E-Bike-Fahrern. Erste Studien zu den Ursachen existieren, detailliertes Wissen fehlt aber nach wie vor. Neben den genauen Ursachen und dem Unfallhergang wäre insbesondere wichtig zu eruieren, ob vor allem Anfänger oder auch erfahrene Lenker alleine verunfallen. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage, ob E-Bikes im Vergleich zum Fahrrad höherer **psychomotorischer Anforderungen** bedürfen. Dabei gilt es zu prüfen, welche Fahrmanöver besonders anspruchsvoll sind und ob es Nutzergruppen gibt, die damit Schwierigkeiten haben. In diesem Sinne besteht Bedarf nach **In-Depth-Analysen von schweren Alleinunfällen mit E-Bikes**. Entsprechende Erkenntnisse könnten im Rahmen von Sensibilisierungsaktionen nutzbringend eingesetzt werden.

Forschungsbedarf besteht nach wie vor auch hinsichtlich der Bezifferung des **Unfallrisikos** (Unfallgeschehen im Verhältnis zur **Exposition**) und der Differenzierung dieses Risikos **nach E-Bike-Typ**.

In der Schweiz ist der Anteil an schnellen E-Bikes höher als in anderen europäischen Ländern. Daher sind die Erkenntnisse aus internationalen Studien nur beschränkt auf die Schweiz übertragbar. Zurzeit scheint noch keine Studie die **Geschwindigkeiten von E-Bike-Fahrern** in der Schweiz erfasst zu haben. Hier besteht Forschungsbedarf.

Da E-Bikes-Fahrern ein relativ neues Phänomen ist, die Anzahl E-Bike-Fahrer in der Schweiz weiter zunimmt und mit einer Ausdehnung der Nutzergruppe hin zu jüngeren Fahrern zu rechnen ist, sollte die Entwicklung verschiedener **Sicherheits- und Unfallindikatoren genau verfolgt werden**. Zu diesem Zweck ist es angezeigt, ein systematisches **Monitoring** von Kennwerten, die für E-Bike-Unfälle relevant sind, zu betreiben. Mit zunehmenden Fallzahlen werden die Aussagen aus gewissen Detailanalysen zudem zuverlässiger interpretiert werden können.

In der Lenkerbefragung konnte der Fahrstil nur mittels Selbstauskunft erfasst werden. Eine Überprüfung der Befunde anhand von objektiven Massen des **Fahrverhaltens** wäre sinnvoll. Weiterer Forschungsbedarf besteht darin, welche **psychologischen Faktoren** mit der **Unfallerfahrung** in Zusammenhang stehen. Mit Hilfe von Längsschnittstudien könnten die Richtungen der Zusammenhänge genauer untersucht und Vermutungen über Kausalitäten geprüft werden. In Anbetracht der Seltenheit der Unfälle dürfte es dabei sinnvoll sein, auch Beinaheunfälle einzubeziehen.

Zurzeit ist kaum abschätzbar, wie verbreitet das **Tuning** (ugs. «Frisieren») von E-Bikes ist und ob damit allenfalls ein erhöhtes Unfallrisiko einhergeht. Es ist einzig bekannt, dass dieses Phänomen existiert. Auch wenn aktuell noch kein dringender Klärungsbedarf vorliegt, sollte diese Thematik im Auge behalten werden. Bei Hinweisen auf eine Verschärfung der Problematik, wäre eine fundierte Bestimmung der Verbreitung und der Gefährdung angebracht.

4. Gesamtfazit/Folgerung

Proportional zu den Verkaufszahlen hat auch das Unfallgeschehen von E-Bike-Fahrern zugenommen. Deshalb werden E-Bikes zunehmend zum Thema für die Verkehrssicherheit. Ob das Unfallrisiko mit E-Bikes höher ist als mit Fahrrädern, diese Frage kann aktuell nicht beantwortet werden. Es fehlen angemessene Daten zur Exposition (Fahrleistung, Dauer, Anzahl der Fahrten). Wenn E-Bike-Fahrer schwer verunfallen, geschieht dies oft bei einem Alleinunfall. Gründe könnten die höheren Geschwindigkeiten oder spezifische Eigenschaften des Fahrzeugs (Bremsen, hohes Gewicht etc.) aber auch Charakteristika der Lenker (altersbedingte höhere Vulnerabilität, psychomotorische Defizite) sein. Eher auszuschliessen sind Mängel in der Fahrerfahrung oder in der Gefahrenwahrnehmung. Kollisionen mit verletzten E-Bike-Fahrern ereignen sich meistens an Knoten und Kreiseln, weil Motorfahrzeug-Lenker von links kommenden E-Bikes den Vortritt nicht gewähren. Entweder werden die E-Bikes zu spät wahrgenommen oder ihre Geschwindigkeit wird unterschätzt. Letzteres ist bei einspurigen Tretfahrzeugen generell der Fall, verschärft sich jedoch bei höheren Geschwindigkeiten. Darüber hinaus werden vor E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern kleinere Zeitlücken akzeptiert. Gründe könnten die beim E-Bike langsameren und weniger anstrengend erscheinenden Pedalbewegungen und die entspanntere Sitzhaltung des Fahrers sein.

Die internationalen Befunde zum Verletzungsrisiko von Fahrrad- und E-Bike-Fahrern variieren. In der Schweiz finden sich in den polizeilich registrierten Unfalldaten Hinweise auf schwerere Unfallfolgen für E-Bike-Fahrer. Nach heutigem Stand des Wissens ist die Ursache für die höhere Unfallschwere von E-Bikes im Vergleich zu Fahrrädern vor allem auf Unterschiede im Alter der Nutzergruppen zurückzuführen. E-Bike-Fahrer sind älter und somit verletzlicher als Fahrradfahrer. Ob darüber hinaus auch das Fahrzeug (bzw. dessen Fahreigenschaften) eine Rolle spielt, kann zurzeit nicht abschliessend beurteilt werden.

Für die Prävention von E-Bike-Unfällen besonders zu empfehlen sind folgende Massnahmen:

- **In-Depth-Analysen** von E-Bike-Unfällen, wobei insbesondere schwere **Alleinunfälle** interessieren. Zurzeit sind die Erkenntnisse zu diesem Unfalltyp mit E-Bikes noch dürftig. Entsprechende neue Erkenntnisse sind bei der Konzeption von Fahrkursen und Kampagnen zu berücksichtigen.
- Aufbau und Betrieb eines **Monitorings** zur permanenten Analyse der Entwicklung des Unfallgeschehens, der Exposition und weiterer Kennwerte, die für E-Bike-Unfälle relevant sind. Periodische Publikation und einfacher Zugriff sind zu gewährleisten.
- Für Neueinsteiger ohne Vorerfahrung mit dem konventionellen Fahrrad sind spezifische **E-Bike-Fahrkurse** anzubieten, erfahrene Umsteiger sind mittels **Kampagnen** zu erreichen.
- Bestehende Kanäle nutzen, um E-Bike-Fahrer hinsichtlich der **Besonderheiten** des E-Bikes zu **sensibilisieren**. Dazu gehören v. a. die erhöhte Gefahr von **Alleinunfällen** und die Konsequenzen unangepasster Geschwindigkeit, aber auch Bedienung, Bremsverhalten, schmale Silhouette, Antizipation möglicher Konflikte, Geschwindigkeitsunterschätzung durch Motorfahrzeuglenker, Eigenbeitrag zur Verbesserung der eigenen Wahrnehmbarkeit.
- In der Fahrausbildung Motorfahrzeuglenker hinsichtlich der reduzierten **Wahrnehmbarkeit** sowie der **Geschwindigkeitsunterschätzung** von (vortrittsberechtigten) Tretfahrzeugen an

Knoten, insbesondere an **Kreisverkehrsplätzen**, sensibilisieren.

- Überprüfung der **VSS-Normen** hinsichtlich der spezifischen Anforderungen von E-Bikes.
- Überprüfung der bestehenden **Strasseninfrastruktur**, insbesondere hinsichtlich der einzuhaltenden minimalen Sichtweiten an Knoten (ISSI-Instrument «Road Safety Inspection»).
- **Weiterentwicklung** der schutzwirkenden Eigenschaften von Fahrrad- bzw. **E-Bike-Helmen**. Entsprechende Aktivitäten in Forschung und Umsetzung sind anzustossen bzw. zu unterstützen.
- Förderung der **Entwicklung** höherer Sicherheitsstandards von E-Bikes (Lichteinschaltautomatik, adäquate Bremssysteme).
- Förderung des **Verkaufs** von **E-Bikes mit hohem Sicherheitsstandard** (Schulung Verkaufspersonal, Broschüren mit Empfehlungen, Sicherheitslabels).

IX. Anhang

1. Lenkerbefragung

1.1 Fragebogen

An Lenkerinnen und Lenker von E-Bikes

Ihr Zeichen
Ihre Nachricht
Unser Zeichen bfu/FO/Gs/Kol/Cd, g.scaramuzza@bfu.ch
Ort und Datum Bern, im Mai 2014

Befragung von E-Bike-Lenkerinnen und -Lenkern

Sehr geehrte Dame, sehr geehrter Herr

Im Rahmen des Projektes «Verkehrssicherheit von E-Bike-Lenkerinnen und -Lenkern» führen wir in diesem Jahr erstmals eine Befragung durch. Um möglichst eine repräsentative Stichprobe zu erhalten, wurde uns Ihre Adresse vom Kantonalen Strassenverkehrsamt zur Verfügung gestellt. Wir interessieren uns nicht für einzelne Personen, sondern ausschliesslich für das Gesamtbild, das sich aus allen Fragebögen ergibt. Die Daten werden strikt anonym ausgewertet (d. h. getrennt von Name und Adresse auf der Wettbewerbs-Teilnahmekarte).

Wenn Sie uns bis zum **30. Juni 2014** den ausgefüllten Fragebogen und die Wettbewerbs-Teilnahmekarte für die Verlosung zusenden, können sie eines von **zwei IPads2 Wi-Fi 16 GB, Retina Display von Apple im Wert von CHF 429.– gewinnen**. Auf Wunsch werden die Preise auch ausbezahlt.

Auskünfte zur Umfrage erteilt Gianantonio Scaramuzza, Tel. 031 390 21 56. Die Ergebnisse der Befragung können unter der E-Mail forschung@bfu.ch angefordert werden. Für Ihren Beitrag zur Unfallprävention dieser neuen Gruppe im Strassenverkehr bedanken wir uns sehr.

Freundliche Grüsse

bfu

G. Scaramuzza

Gianantonio Scaramuzza, dipl. Ing. ETH
Wissenschaftl. Mitarbeiter Forschung

bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung, Hodlerstrasse 5a, CH-3011 Bern
Tel. +41 31 390 22 22, Fax +41 31 390 22 30, info@bfu.ch, www.bfu.ch

Befragung von E-Bike-Lenkerinnen und -Lenkern

Sie finden im Folgenden eine Reihe von Fragen. Bitte beantworten Sie alle Fragen so ehrlich wie möglich.
Pro Frage ist jeweils eine Antwort anzukreuzen oder eine Zahl anzugeben.

1. Angaben zur Person

1.1 Geschlecht: ❑1 weiblich ❑2 männlich

1.2 Alter: ____ Jahre

2. Seit wann fahren Sie E-Bike?

Monat: _____/ Jahr: _____

3. Besitzen Sie ein eigenes E-Bike?

❑1 Ja

❑2 Nein

4. Welchen E–Bike-Typen fahren Sie hauptsächlich?

❑1 Schnelles E-Bike (mit gelbem Nummernschild)

❑2 Langsames E-Bike (ohne Nummernschild)

❑3 Umgerüstetes Velo (E-Bike Umbausatz)

❑4 Ich weiss nicht

5. Sind Sie in der Zeit vor Ihrer «E-Bike-Nutzung» Velo gefahren?

❑1 Ja, regelmässig

❑2 Ja, gelegentlich

❑3 Nein, (praktisch) nie

6. Tragen Sie beim E-Bike-Fahren einen Helm?

❑1 Ja, immer

❑2 Ja, meistens

❑3 Nur selten

❑4 Nein, nie

7. Schalten Sie das Licht Ihres E-Bikes auch tagsüber ein?

❑1 Ja, immer

❑2 Ja, teilweise

❑3 Nein, nie

8. Wie häufig fahren Sie in der warmen Jahreszeit (ohne Winter) E-Bike?

❑1 (fast) täglich

❑2 Mehrmals pro Woche

❑3 Mehrmals pro Monat

❑4 Einmal bis mehrmals pro Jahr

9. Wie lange dauert Ihre einzelne Fahrt im Durchschnitt?

Ungefähr _____ Minuten

10. Wozu nutzen Sie ihr E-Bike hauptsächlich?

❑1 Für den Arbeitsweg/Schulweg

❑2 Für den Einkauf

❑3 In der Freizeit

❑4 Anderes, wie: _____

11. Bitte beurteilen Sie die folgenden Aussagen:		Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
11.1.	Ich habe in allen Situationen das Gefühl, mein E-Bike sicher zu beherrschen.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.2	Wenn man sicher Velo fährt, fährt man auch sicher E-Bike.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.3	E-Bikes verleiten dazu, auch an gefährlichen Stellen schnell zu fahren.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.4	Für andere Verkehrsteilnehmer spielt es keine Rolle, ob ich mit einem E-Bike oder mit einem Velo unterwegs bin.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.5	Es ist wahrscheinlicher, mit dem E-Bike zu verunfallen, als mit dem Velo.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.6	Wenn ich E-Bike fahre, habe ich es selbst in der Hand, den Strassenverkehr unfallfrei zu meistern.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.7	Auch wenn ich Vortritt habe, vergewissere ich mich immer genauestens, ob mich die anderen Verkehrsteilnehmer gesehen haben, bevor ich fahre.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.8	Ich halte mich immer an die Verkehrsregeln.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.9	E-Bike-Fahren ist gefährlicher als Velofahren.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.10	In gewissen Verkehrssituationen wird E-Bike-Fahren zu einem, von mir nicht kontrollierbaren, Geschehen.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.11	Ich denke, dass andere Verkehrsteilnehmer manchmal Schwierigkeiten haben, mich im Verkehr zu erkennen.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.12	Ich denke, dass mir beim E-Bike-Fahren kaum etwas passieren kann.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.13	Ich finde es schwierig abzuschätzen, wie schnell ich mit dem E-Bike unterwegs bin.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.14	Es gelingt mir nicht immer, mit angemessener Geschwindigkeit zu fahren.	❑1	❑2	❑3	❑4
11.15	Mein wichtigster Grundsatz beim E-Bike-Fahrern ist, sehr vorsichtig und überlegt zu fahren.	❑1	❑2	❑3	❑4

12. Welchen besonderen Gefahren sind Ihrer Meinung nach E-Bike-Lenkende ausgesetzt?

		Trifft überhaupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Trifft eher zu	Trifft völlig zu
12.1.	Höhere Geschwindigkeiten im Vergleich zum Velofahren.	❑1	❑2	❑3	❑4
12.2	Längerer Anhalteweg/Bremsweg im Vergleich zum Velofahren.	❑1	❑2	❑3	❑4
12.3	Andere Verkehrsteilnehmer übersehen die E-Bike-Lenkenden.	❑1	❑2	❑3	❑4
12.4	Andere Verkehrsteilnehmer unterschätzen die Geschwindigkeit der E-Bike-Lenkenden.	❑1	❑2	❑3	❑4

13. Bitte schätzen Sie Ihren E-Bike-Fahrstil auf diesen Skalen ein.

zurückhaltend	❑1	❑2	❑3	❑4	❑5	rasant
vorsichtig	❑1	❑2	❑3	❑4	❑5	forsch

14. Was meinen Sie? Wie verunfallen die meisten E-Bike-Lenkende? Beurteilen sie – auf einer Skala von 1 bis 5 – wie oft E-Bike-Lenkende verunfallen durch ...

	Sehr selten					Sehr oft
... eine Kollision **im Kreisel,** weil ein anderer Verkehrsteilnehmer den Vortritt missachtet.	❑1	❑2	❑3	❑4	❑5	
... eine Kollision beim Überholen.	❑1	❑2	❑3	❑4	❑5	
... eine Kollision **an einer Kreuzung,** weil ein anderer Verkehrsteilnehmer den Vortritt missachtet.	❑1	❑2	❑3	❑4	❑5	
... Sturz/Selbstunfall (ohne Fremdeinwirkung).	❑1	❑2	❑3	❑4	❑5	

15. Sind diese Aussagen richtig oder falsch?

		richtig	falsch	Weiss nicht
15.1	Für Lenkende von E-Bikes besteht die Pflicht, Radstreifen und Radwege zu benützen.	❑1	❑2	❑3
15.2	Für Lenkende von schnellen E-Bikes besteht eine Helmtragepflicht.	❑1	❑2	❑3
15.3	Für Lenker von langsamen E-Bikes besteht eine Helmtragepflicht.	❑1	❑2	❑3
15.4	Das Mindestalter für das Fahren von E-Bikes beträgt 14 Jahre.	❑1	❑2	❑3

16. Bitte ergänzen Sie mit Zahlen:

Mit dem E-Bike hatte ich bisher folgende Unfälle:

_____ mal einen Selbstunfall/Sturz (ohne Fremdeinwirkung).

_____ mal eine Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer.

Wer trug bei den Kollisionen die Hauptschuld?

_____ mal ich

_____ mal der andere Verkehrsteilnehmer

_____ unklar

Bemerkungen

Besten Dank für das Ausfüllen des Fragebogens und Ihre Teilnahme am Wettbewerb.

1.2 Tabelle Skalenbildung

Tabelle 17
Übersicht der Skalen (Zuordnung der Items, Skalenbildung, interne Konsistenzen)

Skala	Items	Skalenbildung	Cronbach's α
Wissen Unfallgeschehen E-Bike (kritische Situationen)	14.1 Eine Kollision im Kreisel, weil ein anderer Verkehrsteilnehmer den Vortritt missachtet. 14.2 Eine Kollision beim Überholen. 14.3 Eine Kollision an einer Kreuzung, weil ein anderer Verkehrsteilnehmer den Vortritt missachtet. 14.4 Sturz/Selbstunfall (ohne Fremdeinwirkung).	Vergleiche: Antwort der Items 14.1, 14.2, 14.3 jeweils mit Antwort Item 14.4. Wenn 14.4. häufiger eingeschätzt wurde = 1 Punkt, gleich häufig = 0 Punkte, seltener = -1 Punkt. Dann Addition aller Punkte	.789
Gefahrenbewusstsein E-Bike allgemein	11.2 Wenn man sicher Velo fährt, fährt man auch sicher E-Bike (umcodiert). 11.5 Es ist wahrscheinlicher, mit dem E-Bike zu verunfallen, als mit dem Velo. 11.9 E-Bike-Fahren ist gefährlicher als Velofahren.	Addition aller Itemausprägungen	.650
Gefahrenbewusstsein E-Bike Geschwindigkeit	11.3 E-Bikes verleiten dazu, auch an gefährlichen Stellen schnell zu fahren. 12.1 Höhere Geschwindigkeiten im Vergleich zum Velofahren. 12.2 Längerer Anhalteweg/Bremsweg im Vergleich zum Velofahren.	Addition aller Itemausprägungen	.557
Perspektivenübernahme	11.4 Ich glaube, für andere Verkehrsteilnehmer spielt es keine Rolle, ob ich mit einem E-Bike oder mit einem Velo unterwegs bin (umcodiert). 11.11 Ich denke, dass andere Verkehrsteilnehmer manchmal Schwierigkeiten haben, mich im Verkehr zu erkennen. 12.3 Andere Verkehrsteilnehmer übersehen die E-Bike-Lenkenden. 12.4 Andere Verkehrsteilnehmer unterschätzen die Geschwindigkeit der E-Bike-Lenkenden.	Addition aller Itemausprägungen	.619
Wahrgenommene Verhaltenskontrolle allgemein	11.1 Ich habe in allen Situationen das Gefühl, mein E-Bike sicher zu beherrschen. 11.10 In gewissen Verkehrssituationen wird E-Bike-Fahren zu einem von mir nicht kontrollierbaren Geschehen (umcodiert).	Addition aller Itemausprägungen	.328
Wahrgenommene Verhaltenskontrolle Geschwindigkeit	11.13 Ich finde es schwierig abzuschätzen, wie schnell ich mit dem E-Bike unterwegs bin (umcodiert). 11.14 Es gelingt mir nicht immer, mit angemessener Geschwindigkeit zu fahren (umcodiert).	Addition aller Itemausprägungen, danach Werte umcodiert	.514
Gefühl der Unverletzbarkeit	11.6 Wenn ich E-Bike fahre, habe ich es selbst in der Hand, den Strassenverkehr unfallfrei zu meistern. 11.12 Ich denke, dass mir beim E-Bike-Fahren kaum etwas passieren kann.	Addition aller Itemausprägungen	.390
Fahrverhalten	11.7 Auch wenn ich Vortritt habe, vergewissere ich mich immer genauestens, ob mich die anderen Verkehrsteilnehmer gesehen haben, bevor ich zufahre. 11.8 Ich halte mich immer an die Verkehrsregeln. 11.15 Mein wichtigster Grundsatz beim E-Bike-Fahren ist, sehr vorsichtig und überlegt zu fahren. 13.1 Fahrstil zurückhaltend – rasant (umcodiert). 13.2 Fahrstil vorsichtig – forsch (umcodiert).	Addition aller Itemausprägungen	.656
Kontrollvariablen			
Exposition Häufigkeit (dichotom)	8. Wie häufig fahren Sie in der warmen Jahreszeit (ohne Winter) E-Bike?	Dichotomisierung: Wer mindestens mehrmals pro Woche fährt = Häufigfahrer, wer mehrmals pro Monat oder weniger fährt = Wenigfahrer	
Vorerfahrung Fahrrad (dichotom)	5. Sind Sie in der Zeit vor Ihrer «E-Bike-Nutzung» Velo gefahren?	Dichotomisierung: Wer vorher oft Velo fuhr = viel Erfahrung, wer gelegentlich oder nie Velo fuhr = wenig Erfahrung	

2. Experiment

2.1 Reihenfolge der Fahrten (Gruppen 1 bis 4)[3]

Fahrplan Gruppe 1

Fahrt	Schauspieler	Fahrzeugtyp	Tempo
TEST			
1	1	D	40 km/h
2	2	A	25 km/h
3	3	B	15 km/h
4	4	E	40 km/h
5	1	A	25 km/h
6	2	E	15 km/h
7	3	B	25 km/h
8	4	D	15 km/h
9	1	C	15 km/h
10	2	B	25 km/h
11	3	E	15 km/h
12	4	D	25 km/h
13	1	B	25 km/h
14	2	C	15 km/h
15	3	D	40 km/h
16	4	E	15 km/h
17	1	D	15 km/h
18	2	B	40 km/h
19	3	A	25 km/h
20	4	D	40 km/h
21	1	B	40 km/h
22	2	C	25 km/h
23	3	D	15 km/h
24	4	E	25 km/h
25	1	C	25 km/h
26	2	D	15 km/h

Fahrplan Gruppe 2

Fahrt	Schauspieler	Fahrzeugtyp	Tempo
TEST			
1	3	E	25 km/h
2	4	A	15 km/h
3	1	B	15 km/h
4	2	E	25 km/h
5	3	A	15 km/h
6	4	C	25 km/h
7	1	D	25 km/h
8	2	B	15 km/h
9	3	E	40 km/h
10	4	C	15 km/h
11	1	A	15 km/h
12	2	E	40 km/h
13	3	C	25 km/h
14	4	B	40 km/h
15	1	E	40 km/h
16	2	D	25 km/h
17	3	C	15 km/h
18	4	B	25 km/h
19	1	E	25 km/h
20	2	A	15 km/h
21	3	D	25 km/h
22	4	B	15 km/h
23	1	E	15 km/h
24	2	D	40 km/h
25	3	B	40 km/h
26	4	A	25 km/h

Fahrplan Gruppe 3

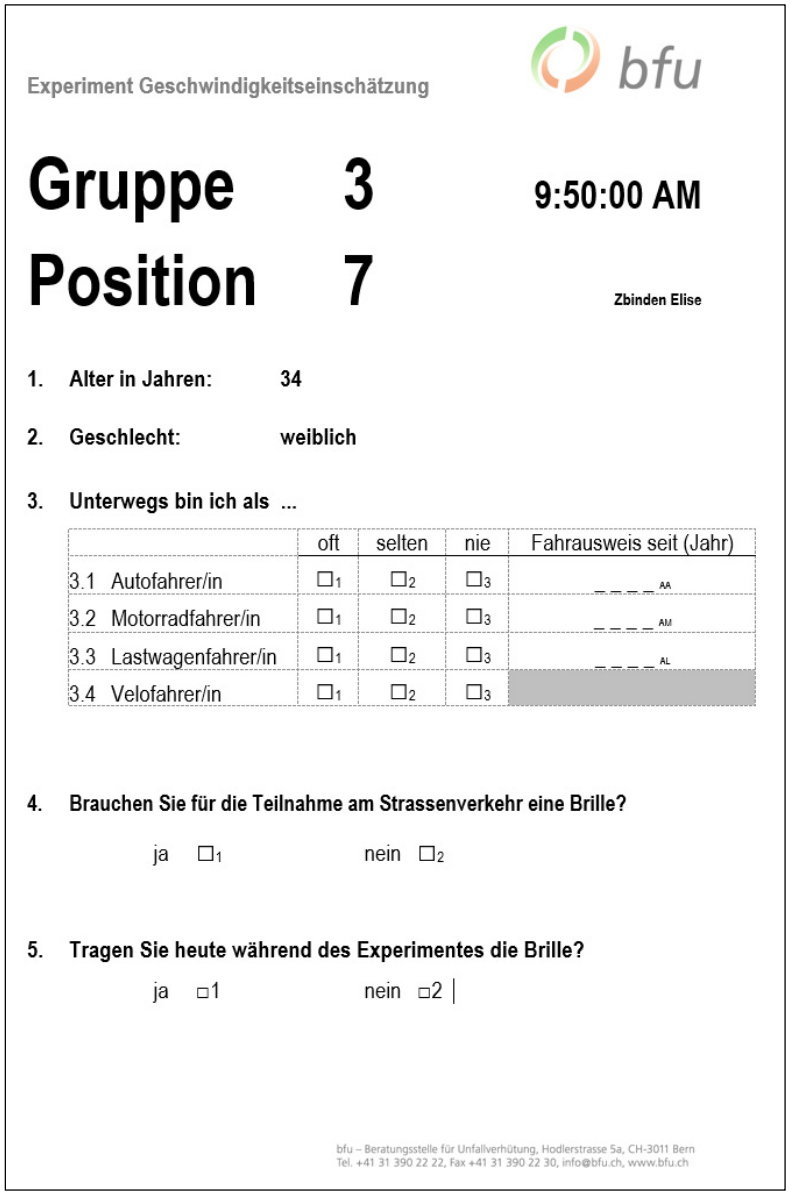
Fahrt	Schauspieler	Fahrzeugtyp	Tempo
TEST			
1	2	D	15 km/h
2	1	C	25 km/h
3	4	E	25 km/h
4	3	D	15 km/h
5	2	C	25 km/h
6	1	B	40 km/h
7	4	D	40 km/h
8	3	A	25 km/h
9	2	B	40 km/h
10	1	D	15 km/h
11	4	E	15 km/h
12	3	D	40 km/h
13	2	C	15 km/h
14	1	B	25 km/h
15	4	D	25 km/h
16	3	E	15 km/h
17	2	B	25 km/h
18	1	C	15 km/h
19	4	D	15 km/h
20	3	B	25 km/h
21	2	E	15 km/h
22	1	A	25 km/h
23	4	E	40 km/h
24	3	B	15 km/h
25	2	A	25 km/h
26	1	D	40 km/h

Fahrplan Gruppe 4

Fahrt	Schauspieler	Fahrzeugtyp	Tempo
TEST			
1	4	A	25 km/h
2	3	B	40 km/h
3	2	D	40 km/h
4	1	E	15 km/h
5	4	B	15 km/h
6	3	D	25 km/h
7	2	A	15 km/h
8	1	E	25 km/h
9	4	B	25 km/h
10	3	C	15 km/h
11	2	D	25 km/h
12	1	E	40 km/h
13	4	B	40 km/h
14	3	C	25 km/h
15	2	E	40 km/h
16	1	A	15 km/h
17	4	C	15 km/h
18	3	E	40 km/h
19	2	B	15 km/h
20	1	D	25 km/h
21	4	C	25 km/h
22	3	A	15 km/h
23	2	E	25 km/h
24	1	B	15 km/h
25	4	A	15 km/h
26	3	E	25 km/h

[3] Die Gruppen 5 bis 8 sowie 9 bis 12 sind identisch

2.2 Fragebogen für Probanden



Experiment Geschwindigkeitseinschätzung

bfu

Gruppe 3

Position 7

9:50:00 AM

Zbinden Elise

1. **Alter in Jahren:** 34

2. **Geschlecht:** weiblich

3. **Unterwegs bin ich als ...**

	oft	selten	nie	Fahrausweis seit (Jahr)
3.1 Autofahrer/in	☐1	☐2	☐3	_ _ _ _ AA
3.2 Motorradfahrer/in	☐1	☐2	☐3	_ _ _ _ AM
3.3 Lastwagenfahrer/in	☐1	☐2	☐3	_ _ _ _ AL
3.4 Velofahrer/in	☐1	☐2	☐3	

4. **Brauchen Sie für die Teilnahme am Strassenverkehr eine Brille?**

ja ☐1 nein ☐2

5. **Tragen Sie heute während des Experimentes die Brille?**

ja □1 nein □2

bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung, Hodlerstrasse 5a, CH-3011 Bern
Tel. +41 31 390 22 22, Fax +41 31 390 22 30, info@bfu.ch, www.bfu.ch

2.3 Akquisitionskanäle Probanden

- www.tutti.ch (Internetplattform für Gratis-Inserate)
- Einmaliges Inserat in der Berner Zeitung
- Aushang eines Flugblattes in diversen Geschäften, Sportstätten, Schulen, Hochschulen und Büroge-bäuden im Raum Bern
- Aufruf auf der Website der bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung
- Aufruf an die Sicherheitsdelegierte der bfu im Raum Bern, mögliche Probanden zu akquirieren
- Aufschalten des Flugblattes auf dem Intranet des Bundesamtes für Verkehr
- Persönliche Anwerbung im Bekanntenkreis der Versuchsassistenten

2.4 Ergebnisse der linearen binären Mehrebenen-Regression

Tabelle 18
Lineare Regression auf Fehlerzeit (Koeffizienten und 95 % Konfidenzintervalle)

Fehlerzeit	Coef.	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
Fahrzeug						
1	-0.8642955	0.1172772	-7.37	0	-1.094155	-0.6344363
2	-0.6810715	0.1018086	-6.69	0	-0.8806127	-0.4815302
3	-0.7770538	0.1177752	-6.6	0	-1.007889	-0.5462186
4	-0.6133615	0.1035999	-5.92	0	-0.8164136	-0.4103093
1.female	-1.119246	0.3125769	-3.58	0	-1.731885	-0.5066064
1.Sitzreihe	-0.7490617	0.303291	-2.47	0.014	-1.343501	-0.1546223
speed						
25	-0.3885894	0.0784984	-4.95	0	-0.5424435	-0.2347354
40	-0.2328576	0.0966699	-2.41	0.016	-0.4223272	-0.043388
Schauspieler						
1	-0.3413105	0.0976413	-3.5	0	-0.5326839	-0.1499371
2	-0.4422606	0.0975947	-4.53	0	-0.6335426	-0.2509786
3	-0.1710209	0.0975046	-1.75	0.079	-0.3621264	0.0200847
Fahrt	0.0223338	0.0067114	3.33	0.001	0.0091796	0.0354879
_cons	1.324951	0.3374605	3.93	0	0.6635402	1.986361

Random-effects Parameters	Estimate Std. Err.	[95% Conf. Interval]				

ProbandenID: Independent	Estimate	Std. Err	95% CI			
var(Fahrt)	0.0017758	0.0005247	0.0009951	0.0031689		
var(_cons)	1.294657	0.2601331	0.8732216	1.919487		
var(Residual)	2.273934	0.0773743	2.12723	2.430756		

LR test vs. linear regression: chi2(2) = 556.28 Prob > chi2 = 0.0000

Tabelle 19
Logit-Regression auf Geschwindigkeitsunterschätzung (Odds Ratios und 95 % Konfidenzintervalle

risk	Odds Ratio	Std. Err.	z	P>z	[95% Conf.	Interval]
Fahrzeug						
1	2.553481	0.4864738	4.92	0	1.757789	3.709355
2	2.510386	0.4136145	5.59	0	1.817588	3.467254
3	2.875566	0.5509148	5.51	0	1.975359	4.186014
4	2.062212	0.3422949	4.36	0	1.489523	2.855088
1.female	3.867702	1.225304	4.27	0	2.078686	7.19643
1.Sitzreihe	2.65848	0.8180102	3.18	0.001	1.454521	4.858999
speed						
25	2.256883	0.2896953	6.34	0	1.754882	2.902484
40	1.954796	0.3039452	4.31	0	1.441287	2.651259
Schauspieler						
1	1.695571	0.2668164	3.36	0.001	1.245576	2.308138
2	1.844541	0.2904752	3.89	0	1.354698	2.511505
3	1.478107	0.2303231	2.51	0.012	1.089103	2.006054
Fahrt	0.9803364	0.0096545	-2.02	0.044	0.9615955	0.9994426
_cons	0.1136562	0.0426985	-5.79	0	0.0544268	0.2373414

Random-effects Parameters	Estimate	Std. Err.	[95% Conf. Interval]			

ProbandenID: Independent	Estimate	Std. Err	95% CI	
var(Fahrt)	0.0028408	0.0010306	0.0013952	0.0057841
var(_cons)	0.9935277	0.27476	0.5778036	1.708361

LR test vs. logistic regression:	chi2(2) = 291.31	Prob > chi2 = 0.0000

3. Monitoring von E-Bike relevanten Kennwerten

Tabelle 20
Kennwerte E-Bike

Thema	Kennwert	Quelle	Periodizität	Aktualisierung
Unfallgeschehen	Getötete	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	Schwerverletzte	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	Leichtverletzte	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	nach Alter	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	nach Geschlecht	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	nach Unfalltyp	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	nach Ortslage	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	nach Kollisionsgegner	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
	nach Hauptverursacher bei Koll	ASTRA-MISTRA-Verkehrsunfälle	Jährlich	Juli
Exposition	Verkaufszahlen	Velosuisse	Jährlich	Juli
	E-Bike-Besitz (nach Typ)	Bevölkerungsbefragung	Jährlich	Juli
	Häufigkeit von Fahrten	Bevölkerungsbefragung	Jährlich	Juli
	Zurückgelegte Distanzen	Mikrozensus	Alle 5 Jahre	bfs-abhängig
	Zurückgelegte Etappen	Mikrozensus	Alle 5 Jahre	bfs-abhängig
	Fahrdauer	Mikrozensus	Alle 5 Jahre	bfs-abhängig
	Modal Split	Bfu-E-Bike-Erhebung**	Jährlich	Juli
Verhalten	Helmtragquote	Bfu-E-Bike-Erhebung	Jährlich	Juli
	Lichteinschaltquote	Bfu-E-Bike-Erhebung	Jährlich	Juli
	Geschwindigkeitsverhalten	Bfu-E-Bike-Erhebung	Jährlich	Oktober
Risikoanalyse	Unfallrisiken, -raten	Mikrozensus und ASTRA-MISTRA-VU	Alle 5 Jahre	Juli
	Erlebte kritische Situationen	Bevölkerungsbefragung	Jährlich	Juli
	Ursache kritischer Situationen	Bevölkerungsbefragung	Jährlich	Juli
Einstellungen	Gefahreneinschätzung	Bevölkerungsbefragung	Alle 3 Jahre	Juli
	Helmtragobligatorium	Bevölkerungsbefragung	Alle 3 Jahre	Juli
Neue Erkenntnisse	Literatur	Literaturanalyse	Jährlich	laufend

Quellen

[1] velosuisse. Übersicht Fahrradmarkt 2008 - 2013. 2014. http://www.velosuisse.ch/files/2%20Mehrjahresvergleich_2008-2013%20NEU.pdf. Zugriff am 20.02.2015.

[2] 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.

[3] Bundesamt für Statistik BFS, Bundesamt für Raumentwicklung ARE. *Mobilität in der Schweiz. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010.* Neuchâtel: BFS; 2012.

[4] Haefeli U, Walker D, Arnold T. *Begleitforschung NewRide 2012. Langzeitprofil der E-Bike-Käuferschaft in Basel.* Luzern: Interface; 2012.

[5] Huppertz B, Kern J. Elektrofahrräder. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit.* 2014;60(1): 44-51.

[6] Kubitzki J. *Nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer und Pedelecfahrer.* München: Allianz Deutschland AG; 2013.

[7] VCÖ. Bereits 150.000 Elektro-Fahrräder in Österreich. 2014. http://www.vcoe.at/de/presse/aussendungen-archiv/details/items/vcoe-bereits-150000-elektro-fahrraeder-in-oesterreich?print=true. Zugriff am 23.02.2015.

[8] 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.

[9] Schleinitz K, Franke-Bartholdt L, Petzoldt T, Schwanitz S, Gehlert T, Kühn M. *Pedelec-naturalistic cycling study.* Berlin: GDV UdV; 2014.

[10] 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.

[11] Zweirad-Industrie-Verband ZIV. E-Bikes bescheren der Fahrradindustrie weiterhin gute Umsätze. 2014. http://ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/PDFs/PM_25.03.2014_E-Bikes.pdf. Zugriff am 23.02.2015.

[12] Haefeli U, Hofmann H. Liegt die Zukunft der E-Mobilitaet bei zweiraedrigen Fahrzeugen? *Internationales Verkehrswesen.* 2013;65(1): 50-2.

[13] BMVIT. Schnelle Pedelecs; Unklarheiten betreffend rechtliche Rahmenbedingungen; Ersuchen um Information der Händler. 2012. https://www.wko.at/Content.Node/branchen/w/Handel-mit-Mode-und-Freizeitartikeln/Einzelabfertigung_mit_Logo_18.05.2012_2.pdf. Zugriff am 07.04.2015.

[14] Unfallforschung der Versicherer GDV. *Neues Risiko Pedelec?* Berlin: GDV; 2014.

[15] Scaramuzza G, Clausen N. *Elektrofahrräder (E-Bikes).* Bern: bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung; 2010. bfu-Faktenblatt Nr. 04.

[16] Cherry CR. *Electric two-wheelers in China: analysis of environmental, safety, and mobility impacts*. Berkeley: University of California; 2007.

[17] Saleh P, Kammer M, Hildebrandt B, Pumberger A, Schneider F et al. *SEEKING - safe e-biking. Eine wissenschaftliche Untersuchung des Fahr(erInnen)verhaltens von E-Zweirädern unter besonderer Berücksichtigung von Verkehrssicherheitsaspekten.* Wien: VSF, bmvit,; 2014.

[18] Weinert JX, Ma C, Yang X, Cherry CR. Electric two-wheelers in China: effect on travel behavior, mode shift, and user safety perceptions in a medium-sized city. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* 2007;2038(1): 62-8.

[19] Yao L, Wu C. Traffic Safety for Electric Bike Riders in China. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* 2012;2314(1): 49-56.

[20] Feng Z, Raghuwanshi RP, Xu Z, Huang D, Zhang C, Jin T. Electric-bicycle-related injury: a rising traffic injury burden in China. *Inj Prev.* Dec 2010;16(6): 417-9. DOI: 10.1136/ip.2009.024646.

[21] Lu L, Wang C, Wang T. Improving E-Bike Safety on Urban Highways in China. *Discrete Dynamics in Nature and Society.* 2015: 1-9.
[22] Yang J, Hu Y, Du W, Powis B, Ozanne-Smith J et al. Unsafe riding practice among electric bikers in Suzhou, China: an observational study. *BMJ open.* 2014;4(1). http://bmjopen.bmj.com/content/4/1/e003902.short. Zugriff am 19.02.2015.
[23] Lin S, He M, Tan Y, He M. Comparison Study on Operating Speeds of Electric Bicycles and Bicycles: Experience from Field Investigation in Kunming, China. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board.* 12/01/ 2008;2048(-1): 52-9. DOI: 10.3141/2048-07.
[24] Cherry C, He M. Alternative methods of measuring operating speed of electric and traditional bikes in China-implications for travel demand models. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies.* 2010;8: 1424-36.
[25] Wu C, Yao L, Zhang K. The red-light running behavior of electric bike riders and cyclists at urban intersections in China: an observational study. *Accident Analysis & Prevention.* 2012;49: 186-92.
[26] Du W, Yang J, Powis B, Zheng X, Ozanne-Smith J, Bilston L, Wu M. Understanding on-road practices of electric bike riders: an observational study in a developed city of China. *Accident Analysis & Prevention.* 2013;59: 319-26.
[27] Bai L, Liu P, Chen Y, Zhang X, Wang W. *Comparative analysis of the effects of e-bikes and bicycles on safety of signalized intersections using traffic conflicts technique*. Transportation Research Board 92nd Annual Meeting; 2013.
[28] Zhang Q, Zhang G, Qi Y. Analyzing Electric Bicycle Rider's Unsafe Crossing Behavior Based on Theory of Planned Behavior. *Modern Transportation.* 2013;2(2): 15-22.
[29] Yao L, Wu C. *Traffic safety of e-bike riders in China: Safety attitudes, risk perception, and aberrant riding behaviors*. Transportation Research Board Annual Meeting; 2012.
[30] Hu F, Lv D, Zhu J, Fang J. Related risk factors for injury severity of e-bike and bicycle crashes in Hefei. *Traffic injury prevention.* 2014;15(3): 319-23.
[31] Du W, Yang J, Powis B, Zheng X, Ozanne-Smith J et al. Epidemiological profile of hospitalised injuries among electric bicycle riders admitted to a rural hospital in Suzhou: a cross-sectional study. *Injury prevention.* 2014;20(2): 128-33.
[32] 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.
[33] Otte D, Facius T, Mueller C. Pedelecs im Unfallgeschehen und Vergleich zu konventionellen nicht motorisierten Zweiraedern. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik.* 2014;52(2): 48-60.
[34] 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.
[35] Elvik R, Christensen P, Amundsen A. *Speed and Road Accidents: An evaluation of the Power Model*. Oslo: Institute of Transport Economics TOI; 2004.
[36] Dozza M, Bianchi Piccinini G.F. *Do cyclists on e-bikes behave differently than cyclists on traditional bicycles?* International Cycling Safety Conference; 2014; Göteborg.
[37] Langford BC. *A comparative health and safety analysis of electric-assist and regular bicycles in an on-campus bicycle sharing system*. Knoxville: University of Tennessee; 2013.
[38] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *bfu-Erhebung 2014: Helmtragquoten der Radfahrenden im Strassenverkehr,*. Bern: bfu; 2014.
[39] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *Befragung zur Helmbenutzung von E-Bike-Lenkenden* 2015. Eigene Auswertung.
[40] Weber T, Scaramuzza G, Schmitt KU. Evaluation of e-bike accidents in Switzerland. *Accid Anal Prev.* Dec 2014;73: 47-52. DOI: 10.1016/j.aap.2014.07.020.
[41] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *Teilnehmerbefragung E-Bike-Fahrkurse* 2015. Eigene Auswertung.
[42] bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung. *SINUS-Report 2014: Sicherheitsniveau und Unfallgeschehen im Strassenverkehr 2013*. Bern: bfu; 2014.
[43] Papoutsi 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:

[44] 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.
[45] Schmitt KU, Baumgartner L, Furter K, Weber T, Gubler A et al. *Forschungspaket VeSPA Teilprojekt 5: Medizinische Folgen des Strassenunfallgeschehens*: Bundesamt für Strassen; 2014.
[46] Unfallforschung der Versicherer GDV. *Sicherheitstechnische Aspekte schneller Pedelecs.* Berlin: GDV; 2012.
[47] Fischer H. Pedelecs - rechtliche Grundlagen, technische Eigenschaften, Beschleunigungs- und Bremsversuche. *VKU Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik.* 2015;2: 70-80.
[48] 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 13.04.2015.
[49] Seidenstücker T. Über mögliche Schwächen, Defizite und offene Fragen bei Fahrrädern und Pedelecs. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik.* 2013;3: 110-6.
[50] Petzoldt T, Schleinitz K, Krems JF, Gehlert T. *Drivers' gap acceptance in front of approaching bicycles – Effects of bicycle speed and bicycle type*. In: Proceedings of the 3rd International Cycling Safety Conference ICSC; 2014; Göteborg, Sweden.
[51] Horswill MS, Helman S. A behavioral comparison between motorcyclists and a matched group of non-motorcycling car drivers: factors influencing accident risk. *Accident Analysis & Prevention.* 2003;35(4): 589-97. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/S0001-4575(02)00039-8.
[52] Näätänen R, Summala H. *Road-user behaviour and traffic accidents*. Amsterdam and New York: North-Holland/Elsevier; 1976.
[53] Iversen H, Rundmo T. Attitudes towards traffic safety, driving behaviour and accident involvement among the Norwegian public. *Ergonomics.* 2004;47(5): 555-72.
[54] Ranney TA. Models of driving behavior: A review of their evolution. *Accident Analysis & Prevention.* 1994;26(6): 733-50. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/0001-4575(94)90051-5.
[55] Paris H, Broucke SVd. Measuring cognitive determinants of speeding: An application of the theory of planned behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour.* 2008;11(3): 168-80.
[56] Wallén Warner H, Åberg L. Drivers' beliefs about exceeding the speed limits. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour.* 2008;11(5): 376-89.
[57] Ajzen I. The theory of planned behavior. *Organizational behavior and human decision processes.* 1991;50(2): 179-211.
[58] Bai L, Liu P, Guo Y, Yu H. Comparative analysis of risky behaviors of electric bicycles at signalized intersections. *Traffic injury prevention.* 2015;16(4): 424-8.
[59] Cohen J. A power primer. *Psychological Bulletin.* 1992;112: 155-9.
[60] Chan DC, Wu AM, Hung EP. Invulnerability and the intention to drink and drive: An application of the theory of planned behavior. *Accid Anal & Prev.* 2010;42(6): 1549-55.
[61] Walter E, Achermann Stürmer Y, Scaramuzza G, Niemann S, Cavegn M. *Fahrradverkehr.* Bern: bfu - Beratungsstelle für Unfallverhütung; 2012. bfu-Sicherheitsdossier Nr. 08.
[62] Ulleberg P, Vaa T, Ausserer K, Carstensen G, Forward S et al. *Road user model and persuasion techniques. Deliverable D 1.4.* http://www.cast-eu.org/pages/results%20and%20deliverables.html. Zugriff am 30.09.2011.
[63] StataCorp. *Stata Statistical Software: Release 12.* College Station, TX: StataCorp LP; 2011.

bfu-Reports

Kostenlose Bestellungen auf www.bestellen.bfu.ch
Neuere Publikationen können zudem heruntergeladen werden.
Die meisten bfu-Reports existieren nur in deutscher Sprache mit Zusammenfassungen in Französisch, Italienisch und Englisch.

Report 71 **Steffen Niemann, Christoph Lieb & Heini Sommer** (2014)
Nichtberufsunfälle in der Schweiz

Report 70 **Steffen Niemann & Yvonne Achermann Stürmer** (2014)
Gesamtunfallgeschehen in der Schweiz

Report 69 **Veit Senner, Stefan Lehner, Michaela Nusser & Frank I. Michel** (2014)
Skiausrüstung und Knieverletzungen beim alpinen Skifahren im Freizeitsport – Eine Expertise zum gegenwärtigen Stand der Technik und deren Entwicklungspotenzial

Report 68 **Mario Cavegn, Esther Walter, Gianantonio Scaramuzza, Christian Amstad, Uwe Ewert & Yves Bochud** (2013)
Evaluation der Zweiphasenausbildung

Report 67 **Judith Natterer Gartmann & Martin Kaiser** (2012)
Sportunfallprävention aus rechtlicher Sicht

Report 66 **Cornelia Furrer & Andreas Balthasar** (2011)
Evaluation der bfu-Präventionskampagne im Schneesport

Report 65 **Adrian Fischer, Markus Lamprecht, Hanspeter Stamm, Othmar Brügger, Steffen Niemann & Christoph Müller** (2011)
Unfälle im, am und auf dem Wasser

Report 64 **Eva Martin-Diener, Othmar Brügger & Brian Martin** (2010)
Physical Activity Promotion and Injury Prevention

Report 63 **Uwe Ewert** (2010) nur als PDF verfügbar
Evaluation der Kampagne «Kopf stützen – Nacken schützen»

Report 62 **Yvonne Achermann Stürmer** (2010)
Disparités régionales des accidents de la route

Report 61 **Uwe Ewert & Patrick Eberling** (2009)
Sicherheit auf Ausserortsstrassen

Report 60 **Gianantonio Scaramuzza** (2008)
Prozess-Evaluation des bfu-Modells Tempo 50/30 innerorts – Umsetzung, Einstellungen und Kenntnis

Report 59 **Jacqueline Bächli-Biétry & Uwe Ewert** (2008)
Verhalten, Einstellungen und Unfallerfahrungen von Motorradfahrern: Eine Längsschnittstudie über 10 Jahre

Report 58 **Heini Sommer, Othmar Brügger, Christoph Lieb & Steffen Niemann** (2007)
Volkswirtschaftliche Kosten der Nichtberufsunfälle in der Schweiz: Strassenverkehr, Sport, Haus und Freizeit

Sicher leben: Ihre bfu.

2.258.01 – 06.2015

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 2015. Alle Rechte vorbehalten; Reproduktion (z. B. Fotokopie), Speicherung, Verarbeitung und Verbreitung sind mit Quellenangabe (s. Zitationsvorschlag) gestattet.

bfu – Beratungsstelle für Unfallverhütung, Postfach 8236, CH-3001 Bern
Tel. +41 31 390 22 22, Fax +41 31 390 22 30, info@bfu.ch, www.bfu.ch