



Verkehrssicherheit von Elektrofahrrädern

Unfallforschung kompakt

Unfallforschung
der Versicherer



Inhalt

Vorbemerkung	4
Soziodemografische Merkmale von Pedelecnutzern	6
Mobilitätsverhalten	7
Geschwindigkeit	8
Verkehrssicherheit	13
Zusammenfassung	21
Fazit	22
Literatur	24

Vorbemerkung

Vorbemerkung

Elektrofahrräder erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Ihre Absatzzahlen steigen seit 2007 kontinuierlich an. 605.000 Elektrofahrräder wurden allein im Jahr 2016 in Deutschland verkauft. Der Marktanteil der Elektrofahrräder an allen verkauften Fahrrädern beträgt laut Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) bereits 15 Prozent [1].

Tab. 1 gibt einen Überblick über die technischen Merkmale und die straßenverkehrsrechtliche Einordnung von Elektrofahrrädern. Elektrofahrräder können mit tretunabhängigem Zusatzantrieb (sogenannte E-Bikes) oder mit motorisierter Tretunterstützung (sogenannte Pedelecs und S-Pedelecs) ausgestattet sein. Je nach Ausmaß der Tretunterstützung werden Pedelecs und S-Pedelecs unterschieden. Pedelecs weisen eine Motorleistung bis 250 Watt auf und unterstützen die Tretleistung bis zu einer Geschwindigkeit von 25 km/h. Straßenverkehrsrechtlich werden Pedelecs wie Fahrräder behandelt und dürfen wie diese die Radverkehrsanlagen nutzen. Radverkehrsanlagen sind insbesondere Radwege, Radfahrstreifen, Schutzstreifen, Fahrradstraßen und alle durch entsprechende Beschilderung für den Radverkehr freigegebenen Flächen. In Deutschland werden am häufigsten Pedelecs gekauft. S-Pedelecs hingegen können eine Motorleistung bis 500 Watt erzielen und unterstützen die Tretleistung bis zu einer Geschwindigkeit von 45 km/h. Sie werden als Kleinkrafträder eingestuft und dürfen nur mit gültiger Fahrerlaubnis bzw. Mofa-Prüfbescheinigung, einem geeigneten Helm und Kfz-Versicherungskennzeichen gefahren werden. Den S-Pedelecfahrern ist die Nutzung der Radverkehrsinfrastruktur nicht gestattet [2].

In dieser UDV kompakt werden die verschiedenen Elektrofahrräder in Übereinstimmung mit der rechtlichen Einordnung bezeichnet. Als Pedelecs werden die Elektrofahrräder mit einer Tretunterstützung bis 25 km/h bezeichnet, als S-Pedelec die bis 45 km/h. Der Begriff Elektrofahrrad als Überbegriff wird für alle Zweiräder mit Tretunterstützung verwendet, also Pedelec und S-Pedelec. E-Bikes mit einem

Tab. 1: Vergleich Pedelec, S-Pedelec und E-Bike, technische Merkmale und rechtliche Einordnung

	Pedelec	S-Pedelec	E-Bike
Motorleistung	250 Watt	500 Watt	4.000 Watt**
Unterstützung bis	25 km/h	45 km/h	Tretunabhängiger Zusatzantrieb bis 45 km/h
Fahrzeugtyp	Fahrrad	Kleinkraftrad	Kleinkraftrad
Führerschein	Nein	Ja	Ja
Helm	Empfohlen	Verpflichtend	Verpflichtend
Versicherung	Nein	Ja	Ja
Nutzung der Radverkehrsanlagen	Ja	Nein	Nein
Marktanteil*	98%	2-3%	
<p>* laut Zweirad-Industrie-Verband (ZIV) [1] ** E-Bikes können auch mit stärkeren Motoren ausgerüstet sein und eine höhere Leistung erzielen. In diesem Fall gehören sie zum Fahrzeugtyp „Kraftrad“.</p>			

tretunabhängigen Antrieb sind nicht Gegenstand dieser Forschung. Allerdings wird der Begriff E-Bike umgangssprachlich recht häufig synonym für Elektrofahrräder, Pedelecs oder S-Pedelecs verwendet.

Mit der wachsenden Verbreitung, vor allem von Pedelecs, ergeben sich neue Herausforderungen für die Verkehrssicherheit. Insbesondere die Frage, ob und wie sich die potenziell höheren Geschwindigkeiten auf das Fahrverhalten und die Sicherheitsrisiken auswirken, steht im Fokus der Verkehrssicherheitsforschung.

Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV) und durch die UDV selbst wurden in den letzten Jahren mehrere Studien zur Mobilität und zur Verkehrssicherheit von Pedelecs und S-Pedelecs realisiert:

Die Untersuchung „**Sicherheitstechnische Aspekte schneller Pedelecs**“ (2012) analysierte mittels Crashtests und Fahrversuchen sicherheitsrelevante Fahreigenschaften von S-Pedelecs [3].

In der „**Pedelec -Naturalistic Cycling Studie**“ (2014) wurde das Mobilitäts- und Fahrverhalten von Pedelec-, S-Pedelec- und Fahrradfahrern im Realverkehr über einen Zeitraum von vier Wochen beobachtet und verglichen [4]. Im Mittelpunkt standen u.a. die tatsächlich zurückgelegten Streckenlängen und die tatsächlich realisierten Geschwindigkeiten. In einer weiteren Studie wurden die erhobenen Daten hinsichtlich Helmnutzung, Rotlichtverstößen und Infrastrukturnutzung ausgewertet [5].

In der Studie „**Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen**“ (2015) wurde an ausgewählten Streckenabschnitten ebenfalls die Geschwindigkeit von Pedelec- und Fahrradfahrern gemessen [6].

Die Studie „**Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen**“ (2015) untersuchte in vier Wahrnehmungsexperimenten, wie andere Verkehrsteilnehmer (insbesondere Pkw-Fahrer) die Geschwindigkeiten von verschiedenen Zweirädern (insbesondere Elektrofahrrädern) einschätzen [7].

Soziodemografische Merkmale von Pedelecnutzern

In der Befragung „**Verkehrsklima in Deutschland**“ (2016) wurde die Charakteristik von Pedelecfahrern erfasst und mit Fahrradfahrern und einer bevölkerungsrepräsentativen Gesamtstichprobe verglichen [8].

Die UDV analysierte und verglich in einer umfassenden **Unfallanalyse** die polizeilich erfassten Unfälle mit Beteiligung von Pedelec- und Fahrradfahrern seit 2012 in Deutschland (Kapitel 4.1).

Diese UDV kompakt fasst die Ergebnisse dieser Untersuchungen zusammen und gibt einen Überblick über den aktuellen Erkenntnisstand.

Soziodemografische Merkmale von Pedelecnutzern

Im Jahr 2016 wurde in der Befragung „**Verkehrsklima in Deutschland**“ erstmals explizit die Gruppe der Pedelec-fahrer (Tretunterstützung bis 25 km/h) erfasst [8]. In Tab. 2 sind die soziodemografischen Merkmale dieser Gruppe dargestellt und der Gruppe der Fahrradfahrer und der bevölkerungsrepräsentativen Gesamtstichprobe gegenübergestellt. Der Gruppe der Pedelec- bzw. Fahrradfahrer wurde zugeordnet, wer mindestens ein bis drei Tage pro Woche das Pedelec bzw. das Fahrrad nutzt. Wer die Mindestnutzung für Fahrrad und Pedelec erfüllte, wurde beiden Gruppen zugewiesen. Rund die Hälfte der Pedelec-fahrer wurde auch der Gruppe der Fahrradfahrer zugewiesen. Unter den Fahrradfahrern fanden sich allerdings nur vier Prozent, die auch der Gruppe der Pedelec-fahrer zugewiesen werden konnten. 93 Prozent der Fahrradfahrer fuhren nie Pedelec, drei Prozent ein bis drei Tage pro Monat oder noch seltener.

Pedelecnutzer sind deutlich älter als Fahrradfahrer oder die repräsentative Gesamtstichprobe. 58 Prozent der Pedelecnutzer sind über 54 Jahre alt, im Vergleich zu 40 Prozent in der repräsentativen Gesamtstichprobe und 37 Prozent in der Gruppe der Fahrradfahrer. Dementspre-

Tab. 2: Stichprobencharakteristik Pedelec-fahrer, Fahrradfahrer, Gesamtstichprobe (gewichtet, Pedelec-fahrer: n=48, Fahrradfahrer: n=572, Gesamtstichprobe: N=2.061)

		Pedelec-fahrer in %	Fahrrad-fahrer in %	Gesamtstichprobe in %
Geschlecht	Männlich	69,1	55,0	48,8
	Weiblich	30,9	45,0	51,2
Alter	18-24 Jahre	13,4	8,9	7,7
	25-34 Jahre	1,2	13,8	14,6
	35-44 Jahre	20,8	18,0	16,0
	45-54 Jahre	6,3	22,6	21,6
	55-64 Jahre	26,1	13,5	15,7
	65-74 Jahre	26,1	14,6	15,6
	75 Jahre und mehr	6,1	8,5	8,8
	Durchschnitt	54 Jahre	49 Jahre	50 Jahre
HH-Einkommen (mtl. Netto)	Bis unter 1.500 Euro	4,2	17,2	19,3
	1.500 bis unter 2.000 Euro	28,2	14,7	13,4
	2.000 bis unter 2.600	13,9	12,9	12,2
	2.600 bis unter 3.600	9,1	14,2	14,6
	Ab 3.600	21,6	17,2	16,1
	Keine Angaben	23,0	23,7	24,5
Tätigkeit	Erwerbstätig	56,6	59,5	55,2
	Geringfügig/gelegentlich beschäftigt	0,8	7,7	5,2
	Ausbildung, Weiterbildung	0,0	4,7	2,3
	Nicht erwerbstätig	38,0	25,4	29,3
	Keine Angaben	4,6	7,4	7,9



		Pedelec- fahrer in %	Fahrrad- fahrer in %	Gesamt- stich- probe in %
Pkw-Nutzung	(Fast) täglich	49,6	40,6	52,3
	1-3 Tage pro Woche	29,5	30,1	21,2
	1-3 Tage pro Monat	1,4	7,6	5,8
	Seltener als monatlich	0,0	2,6	2,9
	Nie oder fast nie	19,4	19,0	17,8

chend ist ein höherer Anteil nicht (mehr) erwerbstätig im Vergleich zu den anderen beiden Gruppen (38 Prozent Pedelecfahrer vs. 29 Prozent Gesamtstichprobe vs. 25 Prozent Fahrradfahrer). Mehr als zwei Drittel der Pedelec-fahrer ist männlich (69 Prozent). In der Gesamtstichprobe beträgt der Anteil der Männer nur rund die Hälfte. Ähnlich wie in der Gesamtstichprobe nutzt etwa die Hälfte der Pedelec-fahrer (fast) täglich den Pkw. Unter den Fahrradfahrern nutzen nur rund 41 Prozent täglich den Pkw.

Pedelecs sind demnach bei Älteren besonders beliebt. Ein Umstand, dem bei der Bewertung des Sicherheitsrisikos Rechnung getragen werden muss.

Mobilitätsverhalten

In der „**Pedelec - Naturalistic Cycling Studie**“ wird das Mobilitäts- und Fahrverhalten von Radfahrern, Pedelec-fahrern und S-Pedelec-fahrern verglichen [4]. Damit ist diese Studie eine der wenigen in Deutschland, die das Fahr- und Mobilitätsverhalten umfassend abbildet.

Das alltägliche Fahren von insgesamt 90 Teilnehmern wurde über einen Zeitraum von vier Wochen mit Hilfe von Radsensoren, Videokameras und GPS-Tracker aufgezeichnet. In Abb. 1 ist links die Voraussicht durch die Kamera und rechts ein Pedelec mit den verschiedenen Messinstrumenten abgebildet. Mittels Fragebögen wurde die Einstellung gegenüber herkömmlichen Fahrrädern und Elektrofahrrädern sowie die subjektive Wahrnehmung des Fahrverhaltens erfasst.

Für die Gruppen der Fahrrad-, Pedelec- und S-Pedelec-fahrer wurden jeweils Mittelwerte für die einzelnen untersuchten Variablen bestimmt, z.B. Geschwindigkeit, Einstellungen etc. Bei vorhandenen Unterschieden zwischen den Gruppen wurde diese statistisch abgesichert. Das heißt, es wurde geprüft, ob sich die Unterschiede auf zufällige Schwankungen innerhalb der Teilnehmergruppe zurückführen lassen. Ist die Wahrscheinlichkeit für einen zufälligen Unterschied fünf Prozent oder kleiner, wird von einem statistisch signifikanten Ergebnis gesprochen.



Abb. 1: Voraussicht durch die Kamera (links), Pedelec mit Messinstrumentierung (rechts)



Geschwindigkeit

Das bedeutet, mit 95-prozentiger Wahrscheinlichkeit (oder mehr) handelt es sich um einen „echten“ Unterschied zwischen den Teilnehmergruppen. Außerdem wurden Beobachtungen beschrieben und Tendenzen berichtet, falls beispielsweise eine zu geringe Stichprobengröße keine Signifikanztests zuließ.

Ergebnisse zum Mobilitätsverhalten

Wegedauer/Wegeanzahl: Die Teilnehmer legen im Durchschnitt 50 Wege in vier Wochen zurück. Die durchschnittliche Wegedauer beträgt 17 Minuten pro Weg. Die Wegeanzahl und Wegedauer unterscheidet sich nicht zwischen den Pedelec- und Fahrradfahrern. S-Pedelec-fahrer legen im Durchschnitt signifikant längere Wege (7,1 km) als Pedelec- (4,7 km) und Fahrradfahrer (3,5 km) zurück.

Genutzte Infrastruktur: Die am häufigsten genutzte Infrastruktur aller Teilnehmer ist die Fahrbahn (61,4 Prozent der zurückgelegten Kilometer, N=16.986 km). Darauf folgen die Radverkehrsanlagen (15,9 Prozent) und die Gehwege (9,5 Prozent). Gehwege, die nicht für Fahrräder freigegeben sind, werden trotzdem von allen Fahrern genutzt (Kapitel 4.2.3). Obwohl sie rechtlich nicht darauf zugelassen sind, nutzen S-Pedelec-fahrer die Radverkehrsanlagen.

Wegezweck: Der am häufigsten verfolgte Wegezweck ist die Fahrt zur Arbeit und zurück (30 Prozent der Wege, N=4.348). Pedelecs werden häufiger als Fahrräder oder S-Pedelecs zu Erholungs- oder sportlichen Zwecken verwendet. S-Pedelecs werden häufiger als Fahrräder und Pedelecs für den Weg zur Arbeit genutzt. Diese Unterschiede spiegeln das unterschiedliche Durchschnittsalter und die Erwerbssituation von Pedelec- und S-Pedelec-fahrern wider. Pedelec-fahrer sind auch in dieser Untersuchung im Durchschnitt älter als S-Pedelec-fahrer (53 Jahre vs. 42 Jahre) und entsprechend häufiger nicht mehr berufstätig. Daher steht bei Pedelec-fahrern die Freizeitmobilität stärker im Vordergrund, während bei S-Pedelec-fahrern die Arbeitswege dominieren.

Alternatives Verkehrsmittel: Als alternatives Verkehrsmittel geben Fahrradfahrer am häufigsten den Öffentlichen Personennahverkehr an, während Pedelec- und S-Pedelec-fahrer den Pkw am häufigsten als Alternative nennen. Ein ähnliches Bild vermittelt auch die bereits beschriebene Pkw-Nutzungshäufigkeit in der Gruppe der Pedelec-fahrer (Tab. 2).

Zusammenfassend lassen sich keine bedeutsamen Mobilitätsunterschiede zwischen Fahrrad- und Pedelec-fahrern erkennen. Die S-Pedelec-fahrer verzeichnen dagegen durchschnittlich längere Wege und nutzen ihr Zweirad häufiger für Arbeitswege.

Geschwindigkeit

In der „**Pedelec - Naturalistic Cycling Studie**“ und in der Studie zum „**Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen**“ wurden die im Straßenverkehr real gefahrenen Geschwindigkeiten gemessen [4, 6]. In der Studie „**Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen**“ wurden in mehreren Wahrnehmungsexperimenten Pkw-Fahrer zu ihrer Einschätzung der Geschwindigkeit von Zweirädern untersucht [7].

Geschwindigkeiten im Realverkehr

In den Studien zu Elektrofahrrädern wurden verschiedene Arten von Durchschnittsgeschwindigkeiten gemessen. Im Folgenden werden nur die Ergebnisse zur Fahrgeschwindigkeit, d.h. die Geschwindigkeiten ohne Standzeiten an Ampeln, Kreuzungen o.ä. dargestellt. Die Fahrgeschwindigkeit kann über Strecken hinweg gemessen werden, wie z.B. in der „**Pedelec - Naturalistic Cycling Studie**“ [4] oder lokal an Querschnitten, wie z.B. in der Studie „**Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen**“ [6].

Dabei gilt es zu beachten, dass lokal gemessene Fahrgeschwindigkeiten an einem Querschnitt höher sind als Fahrgeschwindigkeiten, die über eine Strecke hinweg gemessen werden [9].

Abb.2 zeigt die Geschwindigkeitsprofile der Fahrgeschwindigkeit für Fahrradfahrer, Pedelec-fahrer und S-Pedelec-fahrer aus der „Pedelec - Naturalistic Cycling Studie“. Auf der x-Achse ist die durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit abgetragen. Die y-Achse zeigt den kumulierten Anteil der Teilnehmer (in Prozent), die die entsprechende durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit erreicht haben. Das Geschwindigkeitsprofil der Gruppe der Fahrradfahrer ist mit der grauen Linie dargestellt, das der Pedelec-fahrer in Rosa und das der S-Pedelec-fahrer in Rot. Die beiden grau gepunkteten Linien charakterisieren den unteren und oberen Bereich der Geschwindigkeitsverteilung. Der mittlere Teil der Geschwindigkeitsverteilung umfasst daher die Geschwindigkeit, die 15 Prozent der Fahrer über- und 85 Prozent der Fahrer unterschreiten. Daraus lassen sich folgende Ergebnisse ablesen:

- Im Mittel fahren S-Pedelec-fahrer am schnellsten (23,2 km/h), gefolgt von Pedelec-fahrern (17,4 km/h) und Fahrradfahrern (15,3 km/h). Die Unterschiede sind jeweils statistisch signifikant.
- Die Durchschnittsgeschwindigkeit des langsamsten aller Zweiradfahrer betrug 10,1 km/h, die des schnellsten 31,9 km/h.
- Die schnellsten 15 Prozent der Fahrradfahrer fahren im Durchschnitt mindestens 18,1 km/h, die schnellsten 15 Prozent der Pedelec-fahrer dagegen schon 22,3 km/h und S-Pedelec-fahrer 27,9 km/h.
- Die langsamsten 15 Prozent der Fahrradfahrer fahren im Durchschnitt nicht schneller als 12,3 km/h, Pedelec-fahrer nicht schneller als 13,5 km/h und S-Pedelec-fahrer nicht schneller als 18,3 km/h.

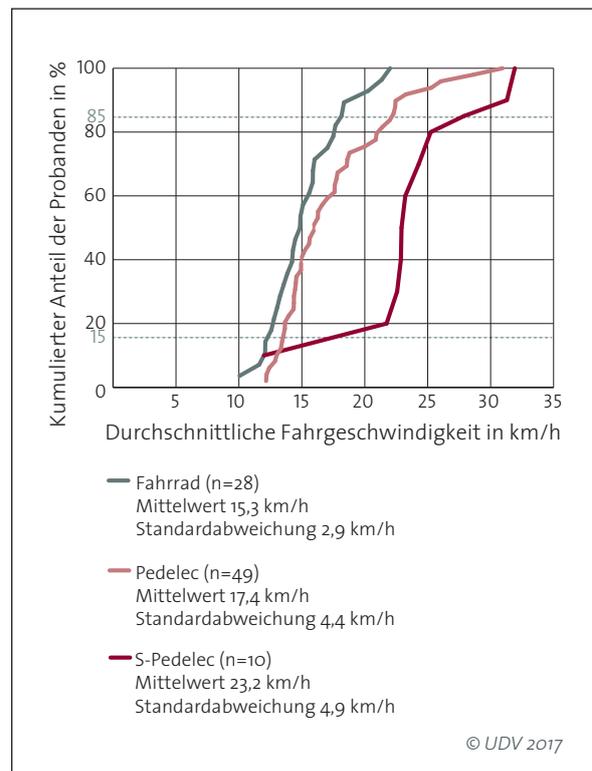


Abb. 2: Fahrgeschwindigkeit nach Zweiradtyp (Radsensordaten pro Weg; Erhebungszeitraum vier Wochen)

Fahrer über 65 Jahre fahren statistisch signifikant langsamer als jüngere Zweiradfahrer. Das gilt für Fahrräder und Pedelecs gleichermaßen. Ihre Durchschnittsgeschwindigkeit liegt unter dem Mittelwert ihrer entsprechenden Zweiradgruppe :

- 65+ Fahrradfahrer 13,9 km/h vs. 15,3 km/h alle Fahrradfahrer,
- 65+ Pedelec-fahrer 14,8 km/h vs. 17,4 km/h alle Pedelec-fahrer.

Aber auch in der Altersgruppe 65+ fahren Pedelec-fahrer schneller als Fahrradfahrer. Aufgrund der geringen Stichprobengröße konnte für S-Pedelec-fahrer keine Differenzierung nach Altersgruppen vorgenommen werden.

Geschwindigkeit

In der Studie „**Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur**“ auf das Unfallgeschehen wurden Geschwindigkeiten von Radfahrern und Pedelec-fahrern lokal, d.h. an einem Querschnitt, erfasst. Die gemessenen Durchschnittsgeschwindigkeiten liegen absolut etwa ein bis zwei km/h höher als die der „**Pedelec-Naturalistic Cycling Studie**“. Das hat methodische Gründe. Bei einer lokalen Geschwindigkeitsmessung werden mehr schnellere Radfahrer erfasst als bei einer momentanen Messung. Dadurch sind die ermittelten Durchschnittsgeschwindigkeiten in der Regel ein bis zwei km/h höher als bei einer momentanen Messung. Berücksichtigt man diese Unterschiede in der Methodik, so sind die ermittelten Geschwindigkeiten der Pedelecs im Realverkehr in beiden Studien durchaus vergleichbar. Ebenso wie in der „**Pedelec - Naturalistic Cycling Studie**“ unterscheiden sich die Durchschnittsgeschwindigkeiten der Fahrradfahrer und der Pedelec-fahrer auch in der Studie „**Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur**“ kaum. Der Unterschied zwischen Pedelec- und Radfahrern war etwas größer bei den Fahrern, die augenscheinlich älter als 65 Jahre waren.

Zusammenfassend zeigen die Geschwindigkeitsmessungen beider Studien [4, 6], dass Pedelec-fahrer im Realverkehr schneller unterwegs sind als Fahrradfahrer. Der Unterschied ist aber nicht so groß wie erwartet. Pedelec-fahrer scheinen die Motorunterstützung in erster Linie einzusetzen, um ähnliche Geschwindigkeiten wie Fahrradfahrer zu realisieren, nur mit geringerem Aufwand. Trotzdem fahren auch ältere Pedelec-fahrer schneller als ältere Fahrradfahrer. Auffällig ist, dass die Fahrgeschwindigkeiten der Pedelec-fahrer stärker variieren als die der Fahrradfahrer. Ein kleinerer Teil der Fahrer nutzt den höheren Geschwindigkeitsbereich von Pedelecs auch aus. S-Pedelec-fahrer sind dagegen deutlich schneller als Pedelec- und Fahrradfahrer. Sie erreichen regelmäßig Fahrgeschwindigkeiten außerhalb des üblichen Fahrradgeschwindigkeitsbereichs.

Geschwindigkeitswahrnehmung durch andere Verkehrsteilnehmer

Für die Verkehrssicherheit sind nicht nur die gefahrenen Geschwindigkeiten bedeutsam, sondern auch die Wahrnehmung durch andere Verkehrsteilnehmer. Da Elektrofahrräder äußerlich kaum von Fahrrädern zu unterscheiden sind, wird befürchtet, dass andere Verkehrsteilnehmer die Geschwindigkeiten von Pedelecs und S-Pedelecs unterschätzen. Daher wurden in vier Wahrnehmungsexperimenten Pkw-Fahrer zu ihrer Einschätzung der Geschwindigkeit von Zweirädern, insbesondere von Elektrofahrrädern, untersucht [7].



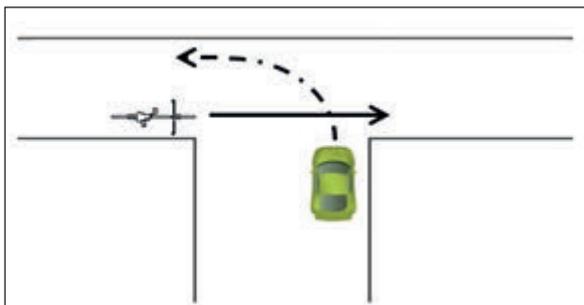
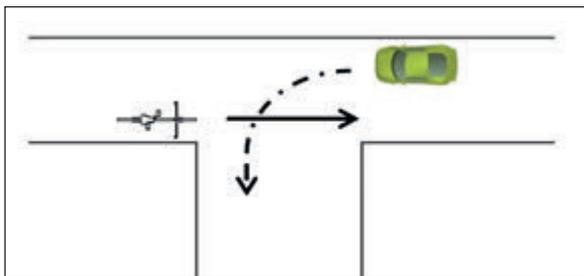
Abb. 3: Videoausschnitt zur Schätzung der Ankunftszeit (TTA) aus Sicht der Teilnehmer

Die Einschätzung von Geschwindigkeiten bildet die Grundlage vieler Entscheidungen im täglichen Straßenverkehr, z.B. beim Abbiegen oder Überqueren einer Fahrbahn. Die meisten Menschen sind darin ausreichend gut. Es fällt ihnen allerdings sehr schwer, Geschwindigkeiten explizit einzuschätzen und anzugeben. Diese Angaben sind in der Regel ungenau. Daher wurde in dieser Studie die Geschwindigkeitseinschätzung erhoben über:

- die geschätzte Zeit, die ein Zweirad bis zum Erreichen eines bestimmten Punktes benötigt (**geschätzte Ankunftszeit**; englisch: Time to Arrival bzw. TTA) und
- die Entscheidung zum Abbiegen vor einem herannahenden Zweirad (**sogenannte Zeitlückenwahl**) [7, 10].

Für die geschätzte Ankunftszeit (TTA) wurden den Teilnehmern Videos von sich im Gegenverkehr nähernden Zweirädern gezeigt (Abb. 3, siehe vorherige Seite). In definierten Abschnitten wurde das Video ausgeblendet. Die Teilnehmer sollten dann per Knopfdruck angeben, wann der Zweiradfahrer die weiße Linie erreicht.

Für die Untersuchung der Zeitlückenwahl nahmen die Teilnehmer in einem modifizierten Pkw Platz. Zweiradfahrer kamen auf sie zu und die Teilnehmer sollten entscheiden, wann sie gerade noch vor ihnen abbiegen würden (Abb. 4). Untersucht wurde der frontale und der seitliche Blick auf den Zweiradfahrer (frontal: Einbiegen; seitlich: Abbiegen).



An den Experimenten nahmen jeweils 42 bis 46 aktive Pkw-Fahrer teil. Als einzuschätzende Zweiräder wurden ein Fahrrad, ein Moped und ein Elektrofahrrad verwendet. Das Elektrofahrrad war ein S-Pedelec, um Geschwindigkeiten bis 45 km/h realisieren zu können. Gleichzeitig wurde das Versicherungskennzeichen entfernt und ein Modell gewählt, welches sich äußerlich nicht von einem Pedelec unterschied. Damit sind die Ergebnisse im Geschwindigkeitsbereich bis zu 25km/h auch für Pedelecs gültig.

Geschätzte Ankunftszeit (TTA)

TTA allgemein: Die Teilnehmer unterschätzen in der Regel die Zeit, die die Zweiradfahrer bis zum Erreichen eines bestimmten Punktes benötigen. Das bedeutet, dass sie die Zweiradfahrer als zeitiger ankommend wahrnehmen als sie tatsächlich ankommen. Dies gilt für alle Zweiradtypen. Vermutlich wird unbewusst ein Zeitpuffer mit berücksichtigt.

TTA/Geschwindigkeit: Bei höheren Geschwindigkeiten (hier: 35 km/h) wird die Zeit bis zum Ankommen der Zweiradfahrer signifikant länger geschätzt als bei Geschwindigkeiten von 25 km/h. Das bedeutet, dass die Zweiradfahrer bei der höheren Geschwindigkeit als später ankommend wahrgenommen werden als bei der niedrigeren Geschwindigkeit. Auch dies gilt für alle Zweiradtypen gleichermaßen. Der möglicherweise unbewusst einkalkulierte Zeitpuffer ist damit bei höheren Geschwindigkeiten kleiner.

TTA/Zweiradtyp: Zudem schätzen die Teilnehmer die Ankunftszeit eines Mopeds bei gleicher Geschwindigkeit signifikant früher ein als die eines Elektrofahrrades oder Fahrrades. Das Elektrofahrrad wird also bei gleicher Geschwindigkeit als langsamer fahrend wahrgenommen als das Moped.

Abb. 4: Einbiegen- und Abbiegeszenario zur Zeitlückenwahl (oben); Umsetzung des Abbiegeszenarios (unten)

Geschwindigkeit

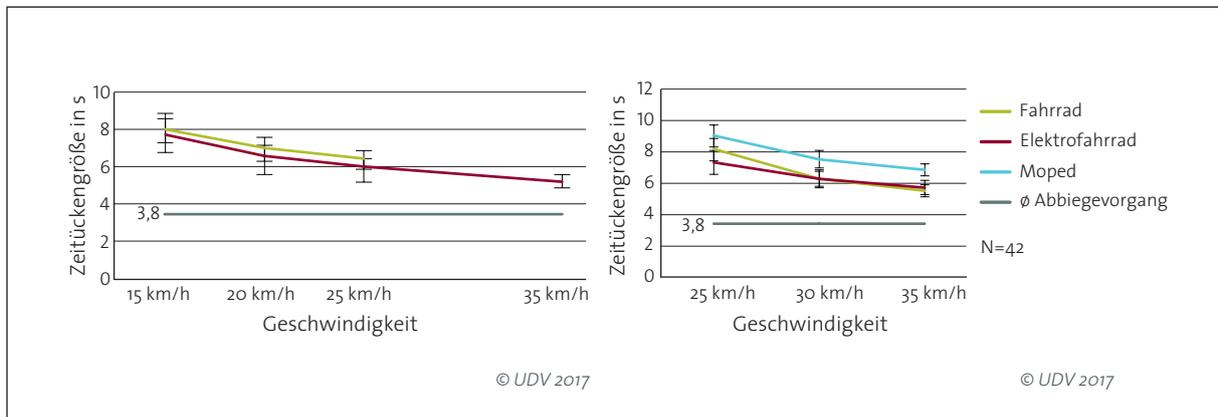


Abb. 5: Zeitlücke für das Abbiegen vor Zweiradfahrern nach Geschwindigkeit und Zweiradtyp

Entscheidung über das Abbiegen (Zeitlückenwahl)

Abb. 5 zeigt die gewählte Zeitlückengröße in Sekunden (y-Achse) in Abhängigkeit der Geschwindigkeit (x-Achse) für verschiedene herannahende Zweiräder. Die gerade graue Linie veranschaulicht die Zeit für einen durchschnittlichen Abbiegevorgang in dem gewählten Szenario. Sie wurde vorher durch mehrmaliges Abbiegen bestimmt.

Zeitlücke/Geschwindigkeit: Die Zeitlücken sind bei geringen Geschwindigkeiten größer als bei höheren Geschwindigkeiten. Die Teilnehmer biegen signifikant knapper vor Zweiradfahrern mit höheren Geschwindigkeiten ab als vor Zweiradfahrern mit niedrigeren Geschwindigkeiten, unabhängig von der Art des Zweirades. Das Abbiegen ist somit riskanter.

Zeitlücke/Zweiradtyp: Bei gleicher Geschwindigkeit der Zweiräder werden vor einem Elektrofahrrad kleinere Lücken gewählt als vor einem Fahrrad. Das ist besonders ausgeprägt bei einer Geschwindigkeit von 25 km/h (Abb. 5 rechts), einer Geschwindigkeit, die von Pedelecs und S-Pedelecs im Realverkehr durchaus erreicht wird (Kapitel 3.1). Das Ergebnis ist insofern bemerkenswert, da aus Sicht der Teilnehmer das Elektrofahrrad und das Fahrrad äußerlich nicht zu unterscheiden sind.

Bei gleicher Geschwindigkeit werden vor dem Elektrofahrrad und dem Fahrrad signifikant kleinere Lücken gewählt als vor dem Moped (Abb. 5 rechts).

Die Mehrheit der Teilnehmer wählt aber immer Zeitlücken, die größer sind als ein durchschnittlicher Abbiegevorgang erfordert (Abb. 5, graue Linie). Das heißt, es gab in der Regel keine kritischen Abbiegesituationen für die Zweiradfahrer.

Trittfrequenz

Hypothese: Die Ergebnisse zur geschätzten Ankunftszeit und Zeitlückenwahl legen nahe, dass die Teilnehmer noch andere Merkmale zur Abschätzung der Geschwindigkeit heranziehen. S-Pedelecs und Pedelecs ermöglichen durch die elektrische Tretunterstützung beispielsweise ein entspannteres Treten bei gleicher Geschwindigkeit im Vergleich zum Fahrrad. Das könnte sich auf die Art des Fahrens oder die Haltung der Fahrer niederschlagen und zur Geschwindigkeitseinschätzung herangezogen werden. Auf Grund dieser Annahme wurde in einem weiteren Experiment der Zusammenhang zwischen der Trittfrequenz als Indikator für entspanntes Fahren und der geschätzten Ankunftszeit untersucht.

Ergebnis: Ein Zweirad mit geringer Trittfrequenz des Fahrers wird als später ankommend erwartet (und somit langsamer eingeschätzt) als eines mit hoher Trittfrequenz bei jeweils gleicher Geschwindigkeit. Es wird nicht zwischen Zweiradtypen unterschieden. Fahrer, die langsamer treten, werden als langsamer fahrend eingeschätzt, auch wenn sie genauso schnell fahren wie schneller tretende Fahrer.

Zusammenfassend zeigen die verschiedenen Wahrnehmungsexperimente, dass höhere Geschwindigkeiten und eine entspannte Fahrweise in Form einer geringen Trittfrequenz mit einer größeren Schätzung der Ankunftszeit und mit der Wahl von kleineren Zeitlücken beim Abbiegen verbunden sind. Da Elektrofahrräder ein schnelleres und entspannteres Fahren erlauben, ist davon auszugehen, dass andere Verkehrsteilnehmer deren Geschwindigkeit unterschätzen und kleinere Zeitlücken zum Abbiegen vor Elektrofahrrädern als vor Fahrrädern wählen.

Verkehrssicherheit

Für die Bewertung der Verkehrssicherheit von Pedelecs wurde eine umfassende **Unfallanalyse** der polizeilich gemeldeten Pedeleccunfälle seit 2012 durchgeführt und das **Verkehrsverhalten** von Pedelecfahrern an Hand der Daten aus der „**Pedelec - Naturalistics Cycling Studie**“ analysiert [4,5]. Weiterhin wurden in Crashtests die möglichen **Unfallfolgen von S-Pedelecfahrern** bei Zusammenstößen mit anderen Verkehrsteilnehmern untersucht [3].

Unfallgeschehen

Unfälle mit Pedelecfahrern werden erst seit einigen Jahren separat erfasst. Beispielsweise erfasst das Statistische Bundesamt (Destatis) erst seit 2014 bundesweit Pedeleccunfälle. Die aktuell verfügbaren Daten für das Jahr 2016 zeigen [16]:

- Im Jahr 2016 verunglückten insgesamt 3.982 Pedelec-fahrer, davon 61 tödlich, 1.158 wurden schwer und 3.095 leicht verletzt. Im Vergleich zum Vorjahr ist die Zahl der verunglückten Pedelec-fahrer um 25 Prozent gestiegen (2015: 2.992). Allerdings stieg auch die Anzahl der verkauften Pedelecs im gleichen Zeitraum um 13 Prozent [1].
- Es verunglücken vor allem ältere Fahrer. So verunglückten 2015 in der Altersgruppe 65+ neun Pedelec-fahrer pro 100.000 Einwohner, in den Altersgruppen 25 bis 35 Jahre oder 35 bis 45 Jahre dagegen nur ein bzw. zwei [11].

Für eine detaillierte Analyse des Unfallgeschehens wurde auf die polizeilichen Unfalldaten zurückgegriffen. In einigen Bundesländern erfasst die Polizei bereits seit 2012 die Pedelecbeteiligung an Unfällen separat. Anhand der Daten, die der UDV aus Baden-Württemberg, Brandenburg, Sachsen, Hamburg, Sachsen-Anhalt, Hessen, Thüringen, Bremen und Münster (Nordrhein-Westfalen) vorliegen, konnte die Charakteristik der Pedeleccunfälle analysiert und mit Fahrradunfällen verglichen werden. Repräsentative Mobilitätsdaten von Pedelecs, wie z.B. die Anzahl der Wege oder gefahrenen Kilometer, die normalerweise für die Beurteilung eines Unfallrisikos herangezogen werden, fehlen. Da die Erfassung in den einzelnen Bundesländern (beginnend mit Baden-Württemberg) zu unterschiedlichen Zeitpunkten begann, sind die Zeiträume zwischen den Bundesländern nicht vergleichbar. Für die Analyse wurden daher pro Bundesland jeweils dieselben Zeiträume für Pedelec- und Fahrradunfälle ausgewählt.

Zwischen 2012 und 2015 wurden in den genannten Bundesländern insgesamt 2.458 Pedeleccunfälle registriert. Im gleichen Zeitraum wurden 82.209 Fahrradunfälle erfasst.

Die Auswertung der polizeilichen Unfalldaten kommt dabei zu folgenden Ergebnissen:

Altersverteilung: Auch hier zeigt sich die bereits bei Destatis [11] beschriebene Altersverteilung. Der Anteil älterer Fahrer ist bei Unfällen mit Pedelecs deutlich höher

Verkehrssicherheit

als bei Fahrradunfällen. 67 Prozent der verunfallten Pedelec Fahrer sind mindestens 55 Jahre alt (Radfahrer: 26 Prozent), fast die Hälfte (47 Prozent) sind älter als 65 Jahre (Fahrradfahrer: 14 Prozent) und 21 Prozent sogar älter als 74 Jahre (Fahrradfahrer: 6 Prozent). Das spiegelt die Altersverteilung in der Nutzergruppe wider. Zumeist fahren ältere Menschen Pedelec [8].

Unfallfolgen: Abb. 6 stellt den Anteil der Verunglückten nach Verletzungsschwere für Pedelec- und Fahrradfahrer gegenüber. Daraus wird ersichtlich, dass die Unfallfolgen der Pedelec Fahrer im Vergleich zu Fahrradfahrern über alle Altersgruppen schwerwiegender sind. Wenn Pedelec Fahrer verunglücken, werden sie häufiger schwer verletzt oder getötet (29 Prozent) als Fahrradfahrer (17 Prozent).

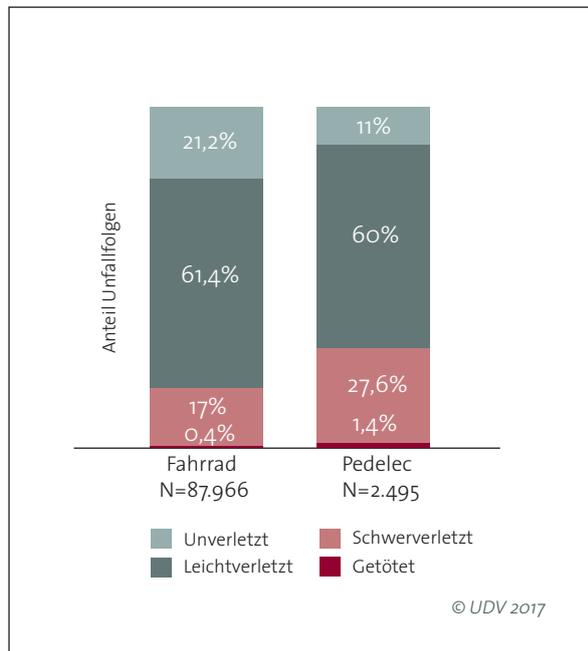


Abb. 6: Anteil der unverletzten, verletzten und getöteten Pedelec- und Fahrradfahrer im Vergleich

Örtlichkeit: Fahrrad- und Pedelecunfälle ereignen sich überwiegend innerorts. Allerdings ist der Anteil der außerörtlichen Unfälle für Pedelecs mit 16 Prozent fast doppelt so hoch wie der für Fahrräder (9 Prozent). Ältere Pe-

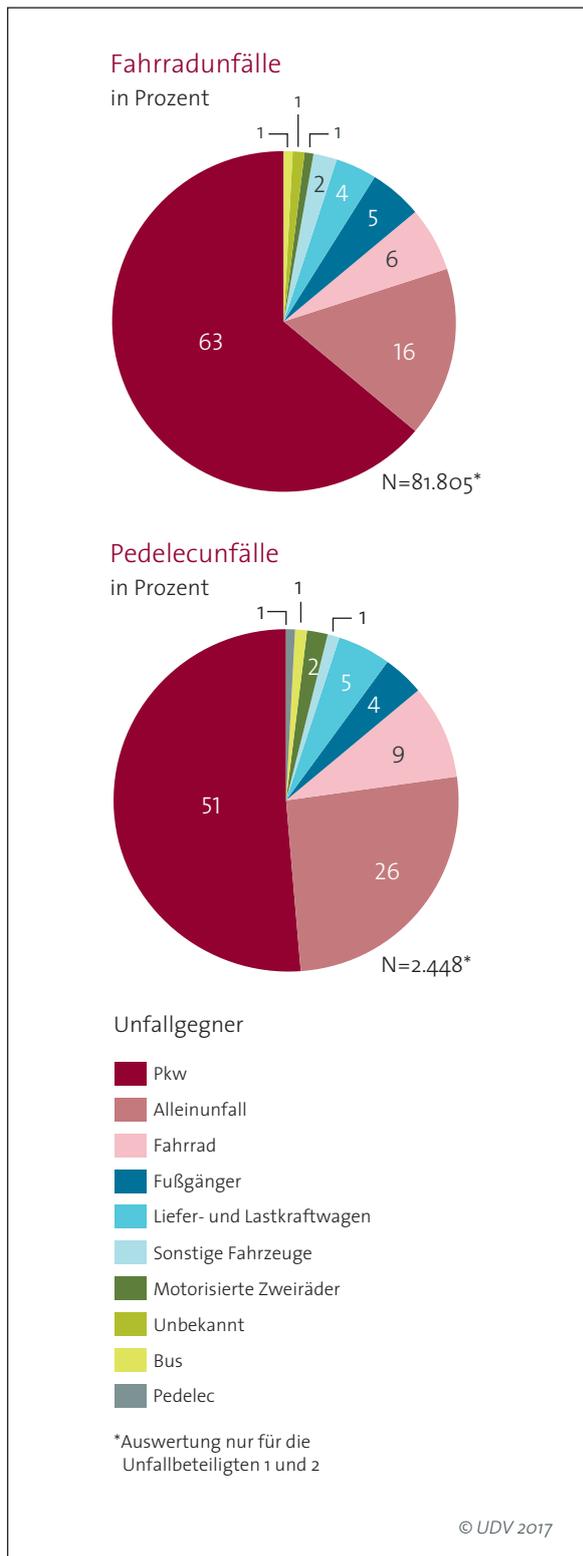
delecfahrer (65+) haben mehr Unfälle außerorts als jüngere Pedelec Fahrer. Vermutlich sind Pedelec Fahrer (insbesondere ältere Pedelec Fahrer) häufiger außerorts unterwegs. So zeigen die Ergebnisse zum Mobilitätsverhalten, dass Pedelec Fahrer ihr Pedelec häufiger für Erholungs- und Freizeitfahrten nutzen als Fahrradfahrer und tendenziell längere Wege zurücklegen (Kapitel 2).

Unfalltypen: Pedelec Fahrer haben mehr Fahrnfälle als Fahrradfahrer. So sind 39 Prozent der von Pedelec Fahrern verursachten Unfälle Fahrnfälle (Radfahrer 24 Prozent). Fahrnfälle sind durch den Verlust der Kontrolle über das Fahrzeug charakterisiert. Die große Mehrheit dieser Unfälle sind dabei Alleinunfälle (Radfahrer 85 Prozent, Pedelec Fahrer 91 Prozent). Etwa jeder dritte Fahrnfall stand in Zusammenhang mit unangepasster Geschwindigkeit. Mit Pedelecs entstehen also häufiger Fahrfehler, z.B. durch unangepasste Geschwindigkeiten oder Probleme beim Handling, die zu entsprechenden Fahrnfällen führen. Allerdings ist zumindest für Fahrradunfälle bekannt, dass vor allem bei Alleinunfällen eine hohe Dunkelziffer nicht zur Anzeige gebracht und damit nicht in die polizeiliche Unfallstatistik aufgenommen wird. Es ist auch möglich, dass Alleinunfälle mit Pedelecs häufiger zur Anzeige gebracht werden, u.a. weil die Unfälle schwerer sind.

Unfallgegner: In der Abb. 7 sind die Unfallgegner von Pedelec- und Fahrradunfällen im Vergleich dargestellt. Der Anteil der Alleinunfälle ist bei Pedelecunfällen deutlich höher (26 Prozent) als bei Fahrradunfällen (16 Prozent). Des Weiteren sind an Pedelecunfällen häufiger andere Fahrradfahrer als Unfallgegner beteiligt als an Fahrradunfällen.

Geschlechterverteilung: Bezüglich der Geschlechterverteilung gibt es keinen Unterschied zwischen Pedelec- und Fahrradunfällen. Mit jeweils etwa 60 Prozent ist der Anteil der Männer sowohl bei Fahrrad- als auch bei Pedelecunfällen etwas höher als der Anteil der Frauen.

Unfallursachen: Bei der Unfallaufnahme [12] werden die festgestellten Unfallursachen nach einem standardisierten Ursachenverzeichnis aufgenommen. Als Unfallursache wird hier am häufigsten die Kategorie "andere Fehler beim Fahrzeugführer" angegeben (Fahrradfahrer 38 Pro-



zent, Pedelecfahrer 46 Prozent). Dazu gehören beispielsweise Stürze. Bei Pedelecunfällen wird mit 21 Prozent der Unfälle häufiger die Unfallursache „nicht angepasste Geschwindigkeit“ angegeben als bei Fahrradunfällen (17 Prozent). Es scheint, dass Pedelecfahrer häufiger als Fahrradfahrer die Kontrolle über ihr Zweirad verlieren, oder zumindest Probleme bei der Wahl einer situationsangepassten Geschwindigkeit haben. Auffällig ist weiterhin, dass Pedelecfahrer ab 65 Jahren häufiger an Unfällen mit unangepasster Geschwindigkeit beteiligt sind als Fahrradfahrer der gleichen Altersgruppe. Möglicherweise realisieren ältere Pedelecfahrer durch die Tretunterstützung häufiger Geschwindigkeiten, die sie mit einem Fahrrad nicht erreicht hätten und die sie auch nicht mehr ausreichend kontrollieren können.

Gelände: Pedelecfahrer verzeichnen im Vergleich zu Fahrradfahrern einen höheren Anteil an Unfällen bei Gefälle. Auch dieses könnte für einen vermehrten Kontrollverlust über das Pedelec bei höheren Geschwindigkeiten sprechen.

Das Pedelecunfallgeschehen unterscheidet sich in relevanten Aspekten vom Fahrradunfallgeschehen. Der höhere Anteil der Älteren kann mit der Überrepräsentation älterer Fahrer in der Nutzergruppe erklärt werden. Die höhere Unfallschwere der Pedelecfahrer im Vergleich zu den Fahrradfahrern verweist darauf, dass das Pedelec an sich problematisch sein kann. Das gilt für alle Altersgruppen, aber für ältere Pedelecfahrer ganz besonders. Ältere Pedelecfahrer fallen bei Unfällen mit unangepasster Geschwindigkeit auf, einer Unfallursache, die sonst eher mit jüngeren Fahrern assoziiert wird. Möglicherweise führt die Tretunterstützung zu einem den eigenen Fähigkeiten nicht angepassten Fahrstil, der ohne die Tretunterstützung so nicht zu realisieren wäre. Entsprechende Unfälle können auch bei niedrigen Geschwindigkeiten passieren.

Abb. 7: Anteile der Unfallbeteiligten an Fahrradunfällen und Pedelecunfällen im Vergleich

Verkehrssicherheit

Verkehrsverhalten von Elektrofahrradfahrern

In der „**Pedelec - Naturalistic Cycling Studie**“ wurde auch das Verkehrsverhalten beobachtet und ausgewertet. Von besonderem Interesse waren dabei sicherheitsrelevante Verhaltensweisen, wie die Helmnutzung, Rotlichtverstöße und die regelwidrige Infrastrukturnutzung. Hauptaugenmerk lag auf den relativen Unterschieden zwischen Fahrrad und Pedelec bzw. S-Pedelec. Wegen der kleinen Fallzahl von insgesamt N=90 Teilnehmer ist die Aussagekraft der absoluten Werte eingeschränkt [5].

Helmnutzung

Während des vierwöchigen Beobachtungszeitraums wurde mittels einer Kamera, die auf das Gesicht des Fahrers gerichtet war, aufgezeichnet, ob während der Fahrt ein Helm getragen wurde (vgl. Abb. 2). 85 Teilnehmer wurden in die Auswertung eingeschlossen (28 Fahrrad-, 48 Pedelec, 9 S-Pedelecfahrer). Davon tragen 76 Prozent gelegentlich oder öfter einen Helm. Etwa die Hälfte der Fahrrad- und S-Pedelecfahrer tragen gelegentlich einen Helm, bei den Pedelecfahrern etwa 37 Prozent. Bei nahezu jeder Fahrt tragen rund 15 Prozent der Fahrradfahrer einen Helm, 46 Prozent der Pedelecfahrer und ein Drittel der S-Pedelecfahrer. 35 Prozent der Fahrradfahrer, 20 Prozent der Pedelecfahrer und 11 Prozent der S-Pedelecfahrer tragen nie einen Helm. Dies ist eine recht häufige Helmnutzung, verglichen mit der repräsentativen Verkehrsbeobachtung der BAST im Jahr 2015. Dabei trugen 20 Prozent der 41 bis 60jährige Fahrradfahrer einen Helm. Für die 17 bis 41jährigen lag die Quote noch niedriger [13]. Da sich die Teilnehmer freiwillig an der „**Pedelec - Naturalistic Cycling Studie**“ beteiligten, ist zu vermuten, dass sie besonders sicherheitsbewusst sind und daher häufiger einen Helm tragen.

Des Weiteren wurde untersucht, welche Merkmale auf Ebene der Fahrten mit einer Helmnutzung einhergehen. Bei 58 Prozent aller Fahrten wird ein Helm getragen (N=3.711 Fahrten; alle Zweiradtypen).

Zweiradtyp: Auf 66 Prozent der Fahrten mit einem Pedelec wird ein Helm getragen. Das sind signifikant mehr Fahrten als mit einem Fahrrad, auf denen ein Helm getragen wird (42 Prozent der Fahrten). Auf 89 Prozent der Fahrten mit einem S-Pedelec wird ein Helm getragen, obwohl die Fahrer laut StVO bei allen Fahrten einen Helm tragen müssten.

Streckenlänge: Auf längeren Strecken (>3 km) wird häufiger ein Helm getragen als auf kürzeren Strecken (<3 km). Das gilt für alle Zweiradtypen gleichermaßen. Abb. 8 zeigt den mittleren Anteil der Fahrten, auf denen ein Helm getragen wird, für Fahrten unter und über drei Kilometern nach Zweiradtyp. Beispielsweise wird bei 74 Prozent der Pedelecfahrten, die länger als drei Kilometer sind, ein Helm getragen. Bei Pedelecfahrten unter drei Kilometern sind es lediglich 59 Prozent der Fahrten.

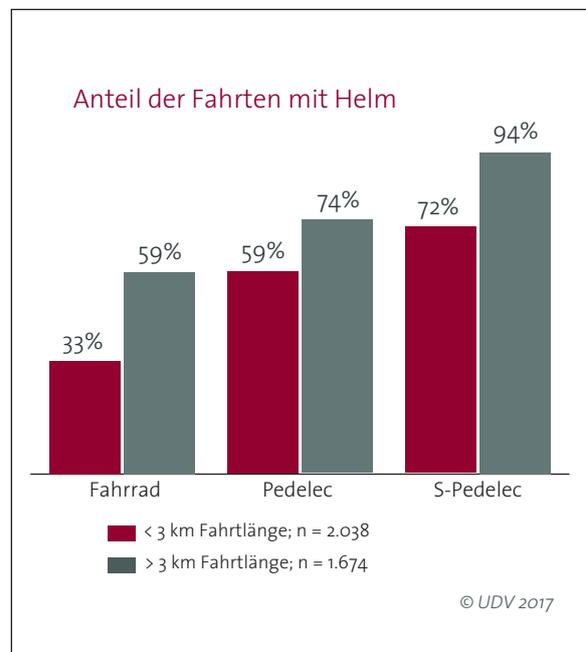


Abb. 8: Mittlerer Anteil der Fahrten mit Helm nach Fahrtlänge und Zweiradtyp

Geschwindigkeit: Fahrten mit Helm verzeichnen tendenziell eine höhere Durchschnittsgeschwindigkeit als Fahrten ohne Helm. Abb. 9 stellt die durchschnittliche

Fahrgeschwindigkeit aller Fahrten mit und ohne Helm nach Zweiradtyp und Altersgruppe dar. Vor allem bei S-Pedelec-Fahrern sowie für die Gruppe der 41- bis 64-Jährigen sind die Unterschiede deutlich. Bei Fahrten mit einem S-Pedelec ohne Helm werden durchschnittlich 19,4 km/h erreicht, während bei Fahrten mit Helm durchschnittlich 25 km/h gefahren werden.

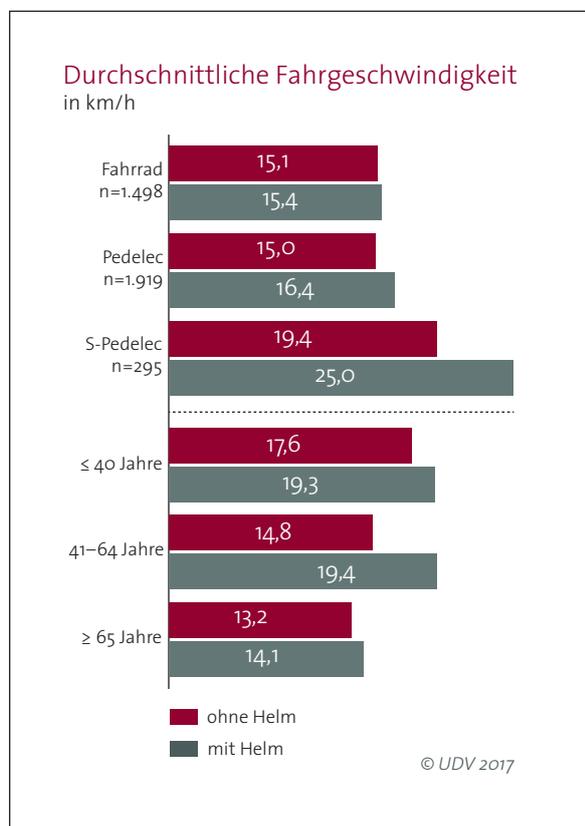


Abb. 9: Durchschnittliche Fahrgeschwindigkeit in km/h für die Fahrten mit und ohne Helm, nach Zweiradtyp und Alter

Risikokompensation: Eine höhere Geschwindigkeit bei Fahrten mit Helm lässt vermuten, dass Fahrrad- und Elektrofahradfahrer mit Helm schneller und gegebenenfalls auch risikoreicher fahren (sogenannte Risikokompensation). Um dies zu prüfen, wurde die gefahrene Geschwindigkeit u.a. durch Merkmale der Fahrt (Fahrtlänge, Helmnutzung) statistisch vorhergesagt. Eine Risi-

kokompensation wird wahrscheinlich, wenn die Helmnutzung einen relevanten Beitrag zur Vorhersage der gefahrenen Geschwindigkeit leistet. S-Pedelecs wurden wegen ihrer Helmpflicht und einer gegebenenfalls anderen Motivation ausgeschlossen. Im Ergebnis zeigt sich, dass die Helmnutzung nur einen sehr geringen Beitrag zur Vorhersage der gefahrenen Geschwindigkeit leistet. Das Tragen eines Helmes verleitet offensichtlich nicht zum schnelleren Fahren in Sinne einer Risikokompensation. Stattdessen leistet die Fahrtlänge einen sehr großen Beitrag zur Vorhersage der Geschwindigkeit. Die Fahrer fuhren bei längeren Strecken höhere Geschwindigkeiten. Da Fahrer bei längeren Strecken auch eher einen Helm tragen, scheint es vielmehr plausibel, dass andere Merkmale einer Fahrt sowohl die Helmnutzung als auch die Geschwindigkeit beeinflussen. Das könnten beispielsweise der Wegezweck oder die genutzte Infrastruktur sein.

Rotlichtverstöße

In der „Pedelec - Naturalistic Cycling Studie“ wurden, mit Hilfe einer in Fahrtrichtung ausgerichteten Kamera, Rotlichtverstöße erfasst. In die Analyse gingen die Daten von 88 Teilnehmern ein (31 Fahrrad-, 47 Pedelec, 10 S-Pedelec-fahrer). Während des vierwöchigen Beobachtungszeitraumes wurden insgesamt 7.969 Ampelsituationen erfasst, in denen die Fahrer hätten anhalten müssen. In 17 Prozent der Situationen (n=1.335) fahren die Teilnehmer bei Rot, in weiteren fünf Prozent umgehen die Teilnehmer das Rotlicht durch einen Wechsel der Infrastruktur. Diese Quote ist für Fahrrad- und beide Gruppen der Elektrofahradfahrer vergleichbar. Elektrofahradfahrer fahren genauso häufig bei Rot wie Fahrradfahrer. Fahrer ab 65 Jahren fahren, im Vergleich zu jüngeren Fahrern, signifikant seltener über eine rote Ampel. Das gilt für Fahrräder und Elektrofahräder gleichermaßen.

Im Folgenden werden die Rotlichtverstöße näher beschrieben. Da sich keine Unterschiede zwischen Fahrrad- und Elektrofahradfahrern zeigen, wurden beide Gruppen gemeinsam analysiert. Die folgenden Verhaltensweisen charakterisieren Elektrofahrad- und Fahrradfahrer also gleichermaßen.

Verkehrssicherheit

Verhalten: Am häufigsten wird das Rotlicht überfahren, ohne eine Reaktion wie Bremsen oder Stoppen (70 Prozent der Rotlichtverstöße) zu zeigen. In rund einem Fünftel der Situationen stoppen die Fahrer zunächst an einer roten Ampel und überqueren diese nach Prüfung der Verkehrslage dann doch.

Verkehrssituation: Die Mehrheit der Rotlichtverstöße geschieht beim Rechtsabbiegen (56 Prozent der Rotlichtverstöße, Linksabbiegen: 14 Prozent, Geradeausfahren: 15 Prozent).

Infrastruktur: Am häufigsten wird auf der „markierten Radverkehrsführung auf der Fahrbahn“ bei Rot gefahren (26 Prozent der Rotlichtverstöße). Auf dem Gehweg (21 Prozent der Rotlichtverstöße) und bei straßenbegleitendem getrennten Rad- und Gehweg (18 Prozent der Rotlichtverstöße) zeigen sich ebenfalls vergleichsweise hohe Übertretungszahlen.

Kreuzungssituation: Am häufigsten werden Rotlichtverstöße bei einer Annäherung an eine T-Kreuzung beobachtet (38 Prozent aller Rotlichtverstöße; Abb. 10). Bei 58 Prozent dieser Rotlichtverstöße biegen die Fahrer anschließend rechts ab, bei 27 Prozent links und bei 15 Prozent fahren sie gerade aus. Eine solche Kreuzung ist vergleichsweise einfach und überschaubar. Möglicherweise fühlen sich Zweiradfahrer hier besonders sicher und glauben, das Verkehrsgeschehen ausreichend gut beobachten und sich absichern zu können.

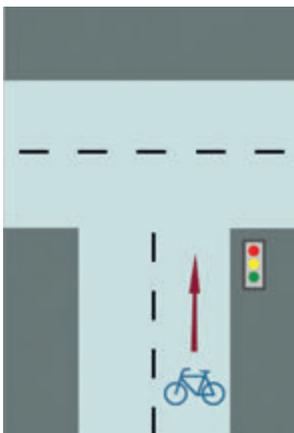


Abb. 10: Annäherung an eine T-Kreuzung

Rotlichtumfahrung: Zusätzlich zu den 17 Prozent Ampelsituationen, in denen das Rotlicht überfahren wurde, wird in weiteren fünf Prozent Ampelsituationen das Rotlicht umfahren. Das bedeutet, der Zweiradfahrer wechselt die Infrastruktur und umfährt die Ampel, z.B. auf dem Gehweg. Diese Quote liegt bei Fahrradfahrern bei sechs Prozent, bei Pedelecfahrern bei fünf Prozent und bei S-Pedelecfahrern bei drei Prozent. Männer und jüngere Fahrer umgehen häufiger rote Lichtzeichen.

Infrastrukturnutzung

Während des vierwöchigen Beobachtungszeitraums der „Pedelec - Naturalistic Cycling Studie“ zeichneten Kameras, die in Fahrtrichtung ausgerichtet waren, die Infrastrukturnutzung der Teilnehmer auf [5]. Mittels Videokodierungen wurden regelwidrige Infrastrukturnutzungen und das regelwidrige Fahren entgegen der Fahrtrichtung erfasst und ausgewertet. Bei der regelwidrigen Infrastrukturnutzung konzentrierte sich die Auswertung auf das Fahren auf dem Gehweg, wenn die Fahrbahn hätte genutzt werden müssen. Dieser Fall tritt mit Abstand am häufigsten auf.

Regelwidrige Gehwegnutzung

Häufigkeit: 81 von 90 Teilnehmern (90 Prozent) nutzen mindestens einmal regelwidrig den Gehweg, wenn laut StVO die Fahrbahn hätte genutzt werden müssen. Sieben Prozent der Gesamtkilometer (ca. 1.200 km) werden regelwidrig auf dem Gehweg gefahren (Fahrrad: 9 Prozent; Pedelec: 7 Prozent, S-Pedelec: 3 Prozent).

Infrastrukturwechsel: Die Infrastrukturwechsel ergeben sich zumeist im Längsverkehr. Die Fahrer fahren vor und nach der regelwidrigen Gehwegnutzung zumeist auf der Fahrbahn. Für den Wechsel wird häufig ein abgesenkter Bordstein genutzt, häufiger zum Auffahren auf den Gehweg als zum Abfahren. Eine regelwidrige Gehwegnutzung ergibt sich ebenfalls oft durch den Wechsel der Infrastruktur ohne bauliche Veränderung (z.B. Wechsel von freigegebenen zu nicht freigegebenen Gehweg nur durch Beschilderung). Die Fahrer verbleiben oft auf dem Gehweg bis sich eine barrierefreie Möglichkeit zum Ab-

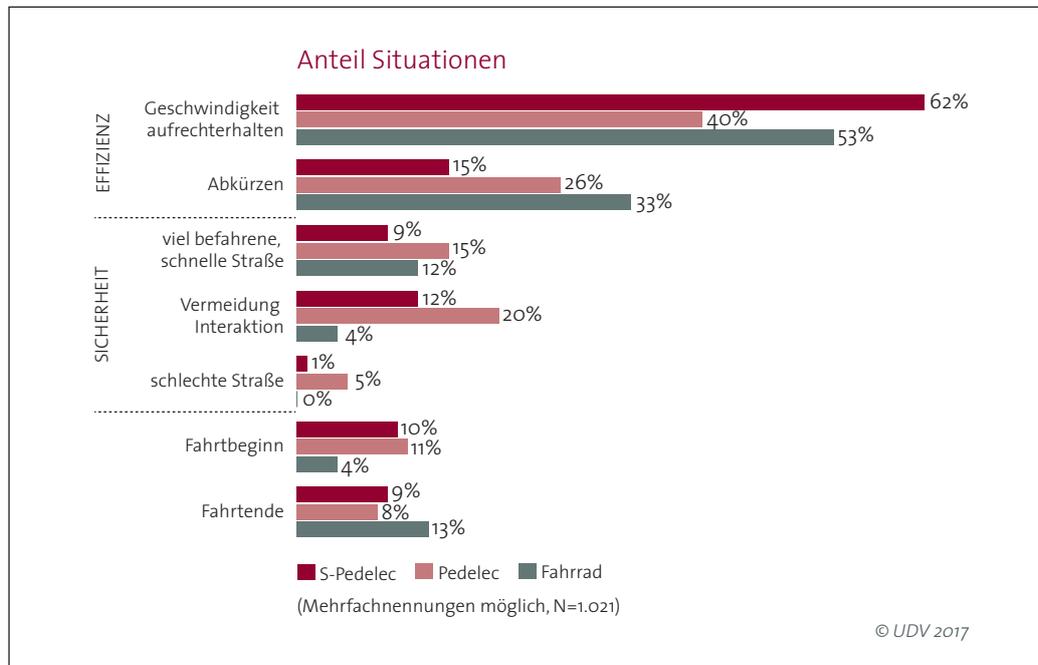


Abb. 11: Anteil der Situationen regelwidriger Gehwegnutzung nach Motiv und Zweiradtyp

fahren ergibt. Es gibt auch eine Reihe von Situationen, in denen auf den Gehweg gewechselt wird, um das Rotlicht zu umfahren. Zurückgewechselt auf die korrekte Infrastruktur wird am häufigsten um abzubiegen oder auch beim Beginn einer Radverkehrsanlage.

Motive: Effizienz scheint das bestimmende Motiv für die Gehwegnutzung zu sein (Abb. 11). Am häufigsten wird von allen Teilnehmern der Gehweg genutzt, um die Fahrtgeschwindigkeit aufrechtzuerhalten oder die Strecke abzukürzen, vor allem von S-Pedelecfahrern. Sie nutzen beispielsweise in rund einem Drittel der Situationen (33 Prozent) den Gehweg anstatt der Fahrbahn, wenn damit eine Abkürzung möglich ist. S-Pedelecfahrer nutzen das Rad am häufigsten für Arbeitswege und berichten häufiger Zeitdruck als Pedelec- und Fahrradfahrer. Fahrradfahrer versuchen am häufigsten (62 Prozent) ihre Geschwindigkeit aufrechtzuerhalten. Das scheint plausibel angesichts der zusätzlichen Anstrengung, ihre Geschwindigkeit (wieder) zu erreichen, im Gegensatz zu Fahrern mit Tretunterstützung.

Fahren entgegen der Fahrtrichtung

Häufigkeit: Die Nutzung von Fahrbahn und Radwegen entgegen der Fahrtrichtung tritt vergleichsweise selten auf. Im Mittel fahren die Teilnehmer nur ein Prozent der zurückgelegten Kilometer auf Fahrbahn und Radverkehrsanlagen auf der falschen Seite [4]. Die Hälfte der Teilnehmer fährt mindestens einmal entgegen der vorgeschriebenen Fahrtrichtung (auf der Fahrbahn oder einer Radverkehrsanlage, n=181).

Infrastrukturwechsel: Am häufigsten wird im Längsverkehr, auf einem straßenbegleitenden getrennten Geh- und Radweg und der Fahrbahn entgegen der Fahrtrichtung gefahren. Häufig wird von der Fahrbahn auf einen straßenbegleitenden getrennten Rad- und Gehweg gewechselt, der dann in entgegengesetzter Fahrtrichtung befahren wird. In die korrekte Fahrtrichtung gewechselt wird am häufigsten beim Einbiegen in eine andere Straße, aber auch wenn sich baulich die Möglichkeit bietet, z.B. die Mittelleitplanke unterbrochen ist.

Verkehrssicherheit

Motiv: Am häufigsten wird bei Defiziten der Radverkehrsanlagen entgegen der Fahrtrichtung gefahren. In 22 Prozent der Situationen war keine Radverkehrsanlage in der korrekten Fahrtrichtung vorhanden, in weiteren 22 Prozent der Situationen für den Fahrer (z.B. durch Mittelleitplanken) nicht erreichbar. Das Abkürzen (32 Prozent) und die Möglichkeit des Aufrechterhaltens der Fahrtgeschwindigkeit (25 Prozent) sind weitere erkennbare Motive (Mehrfachkodierungen waren möglich).

Unfallfolgen von S-Pedelecs

Für die Studie „**Sicherheitstechnische Aspekte schneller Pedelecs**“ wurden u.a. Kollisionen von S-Pedelecfahrern mit je einem Fahrrad, einem Pkw und einem Fußgänger in Crashtests nachgestellt, um Abläufe und mögliche Verletzungen im Falle eines Unfalls beispielhaft zu untersuchen [3]. Die nachgestellten Situationen stehen hier für mögliche Unfallscenarien, die sich aus der verstärkten S-Pedelecnutzung ergeben könnten. In den Versuchen wurden instrumentierte Hybrid-III-Dummies verwendet, um die Belastungen von Kopf, Nacken, Brust und Becken zu erfassen. Die Grenzwerte wurden in Anlehnung an die ECE-Regelungen 94 und 95 [14] gewählt. Überschreiten die Belastungswerte an den Dummies die Grenzwerte, wäre es bei einem realen Unfall wahrscheinlich zu schweren Verletzungen gekommen.

Unfallscenario: Zusammenstoß im Zweiradlängsverkehr

Im ersten Szenario überholt das S-Pedelec (mit 44 km/h) das Fahrrad (mit 22 km/h) mit einer Überdeckung von 0,2 m (Abb. 12). In der Folge berühren sich beide und stürzen. Die bei der Kollision entstandenen Kopf- und Halsbelastungen des S-Pedelec-Dummies überschreiten die Grenzwerte. Der fahrradfahrende Dummy weist hohe Hals- und Brustbelastungen auf.



Abb. 12: Zusammenprall zwischen Fahrrad ($v=22$ km/h) und überholendem Pedelec ($v=44$ km/h)

Unfallscenario: Aufprall auf Pkw-Tür

Im zweiten Szenario prallt das S-Pedelec mit einer Geschwindigkeit von 44 km/h seitlich auf einen stehenden Pkw (in der Mitte der Beifahrertür) (Abb. 13). Der S-Pedelec-Dummy weist sehr hohe Kopf-, Hals- und Brustbelastungen auf. Die Grenzwerte für das Nackenbeugemoment und die Brusteingdrückgeschwindigkeit werden überschritten.



Abb. 13: Zusammenstoß zwischen stehendem Fahrzeug und in die Seite fahrendem S-Pedelec ($v=44$ km/h)

Unfallszenario: Zusammenstoß mit Fußgänger

Im dritten Szenario fährt ein S-Pedelec mit 25 m/h einem stehenden Fußgänger in die Seite (Abb. 14). Der Zusammenstoß verursacht hohe Kopfbelastungen an beiden Dummies, welche die Grenzwerte überschreiten.



Abb. 14: Zusammenstoß zwischen S-Pedelec (v=25 km/h) und Fußgänger

Zusammenfassung

Elektrofahrräder erfreuen sich immer größerer Beliebtheit. Insbesondere die Frage, ob und wie sich die potenziell höheren Geschwindigkeiten auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit auswirken, ist von Bedeutung für die Verkehrssicherheit. Im Auftrag der Unfallforschung der Versicherer (UDV) und durch die UDV selbst wurden in den letzten Jahren mehrere Studien zur Mobilität und zur Verkehrssicherheit von Elektrofahrrädern, insbesondere Pedelecs und S-Pedelecs durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen:

- Pedelecfahrer sind schneller als Fahrradfahrer in ihrer jeweiligen Altersgruppe, allerdings ist der Unterschied nicht so groß wie vermutet. Pedelecfahrer scheinen die Motorunterstützung in erster Linie einzusetzen, um ähnliche Geschwindigkeiten wie Fahrradfahrer zu realisieren, nur mit geringerem Aufwand. Die Fahrgeschwindigkeiten der Pedelecfahrer variieren jedoch stärker als die der Fahrradfahrer. Ein kleiner Teil der Fahrer nutzt den höheren Geschwindigkeitsbereich von Pedelecs auch aus.
- S-Pedelecfahrer sind deutlich schneller als Pedelec- und Fahrradfahrer. Sie erreichen regelmäßig Fahrgeschwindigkeiten außerhalb des üblichen nicht-motorisierten Zweirad-Geschwindigkeitsbereichs.
- Die Wahrnehmung und Einschätzung der Geschwindigkeit von Zweiradfahrern unterliegt systematischen Verzerrungen. Die Ankunftszeit von Zweiradfahrern an einem bestimmten Punkt wird systematisch unterschätzt, besonders bei höheren Geschwindigkeiten. Analog werden bei höheren Geschwindigkeiten kleinere Zeitlücken beim Abbiegen vor einem Zweiradfahrer gewählt. Vor einem Elektrofahrrad werden bei gleicher Geschwindigkeit kleinere Zeitlücken gewählt als vor einem Fahrrad. Eine geringe Trittfrequenz als Indikator für entspanntes Fahren führt dazu, dass die Fahrradfahrer als später ankommend wahrgenommen werden als Fahrer mit einer hohen Trittfrequenz bei gleicher Geschwindigkeit.
- Mit der Zahl der Pedelecs selbst steigt auch die Zahl der Unfälle mit Pedelecbeteiligung, mit einem sehr hohen Anteil älterer Fahrer. Unfallursache ist meist der Kontrollverlust über das Pedelec, bei älteren Pedelecfahrern auch unangepasste Geschwindigkeit. Pedelecfahrer verunglücken schwerer als Fahrradfahrer ihrer jeweiligen Altersgruppe.
- Pedelecfahrer tragen häufiger einen Helm als Fahrradfahrer. S-Pedelecfahrer tragen sehr oft, aber nicht immer einen Helm. Auf längeren Strecken und bei höheren Geschwindigkeiten tragen alle Zweiradfahrer häufiger einen Helm. Es gibt aber keine Anzeichen für

- Pedelecs werden vor allem von älteren Nutzern zu Freizeit-/Erholungszwecken gefahren. S-Pedelecs werden von jüngeren, berufstätigen Personen vor allem für den Arbeitsweg eingesetzt.

Fazit

eine sogenannte Risikokompensation, d.h. schnelleres und gegebenenfalls risikoreicheres Fahren allein aufgrund der Helmnutzung.

- Regelverstöße, wie Rotlichtverstöße oder die regelwidrige Infrastrukturnutzung, zeigen sich für Fahrrad-, Pedelec- und S-Pedelecfahrer gleichermaßen, vor allem um effizienter voranzukommen. Aber auch eine defizitäre oder nicht vorhandene Radverkehrsanlage begünstigt Regelverstöße.

Fazit

Pedelecs sind im Durchschnitt etwas schneller als Fahrräder, bewegen sich aber in ähnlichen Geschwindigkeitsbereichen. S-Pedelec sind erheblich schneller und erreichen regelmäßig Geschwindigkeiten außerhalb des nicht-motorisierten Zweiradbereiches.

Verkehrsverhalten

Pedelecs werden vor allem von Älteren gefahren. Gleichzeitig steigt der Anteil von Älteren am Zweiradunfallgeschehen. Ältere Pedelecfahrer fallen bei Unfällen mit unangepasster Geschwindigkeit auf, einer Unfallursache, die sonst eher mit jüngeren Fahrern assoziiert wird. Möglicherweise führt die Tretunterstützung zu einem den eigenen Fahrfähigkeiten nicht angepassten Fahrstil, der ohne die Tretunterstützung nicht möglich wäre. Hier kristallisiert sich eine neue Risikogruppe heraus, die beim Fahrradunfallgeschehen bisher nicht in Erscheinung getreten ist.

Um das Pedelec sicher zu beherrschen, sollten spezielle Fahrtrainings angeboten und genutzt werden, um die Fahrdynamik eines Pedelec und das Fahren mit höheren Geschwindigkeiten zu trainieren. Das gilt nicht nur, aber ganz besonders für die älteren Fahrer. Im Sinne eines Eigenschutzes ist die konsequente Nutzung eines Fahrradhelms empfehlenswert.

Sowohl Pedelecfahrer als auch Fahrradfahrer und S-Pedelecfahrer verstoßen regelmäßig gegen die Straßenverkehrsordnung (StVO), um beispielsweise schneller voranzukommen oder auch um eine unzureichende Radverkehrsanlage zu kompensieren. Damit gefährden sie nicht nur sich selbst, sondern auch andere Verkehrsteilnehmer. Hier gilt es, bei den Radfahrern das Bewusstsein nicht nur für ihre Rechte, sondern auch für ihre Pflichten im Straßenverkehr zu schaffen. Gleichzeitig müssen die Radverkehrsanlagen in einem Zustand sein, die ein zügiges und sicheres Vorankommen ermöglichen.

S-Pedelecfahrer halten sich nur bedingt an das Straßenfahrgebot oder die Helmpflicht. Allerdings gibt es gegenwärtig auch keinen geeigneten Helm für S-Pedelecs. Daher scheint es geboten, potenzielle S-Pedelecnutzer verstärkt vor dem Kauf bzw. der Nutzung umfassend über die Nutzungsmöglichkeiten und -einschränkungen zu informieren.

Radverkehrsanlagen

Die stärkere Variation der Fahrgeschwindigkeit von Pedelec Fahrern im Vergleich zu Fahrradfahrern in Verbindung mit ihrer zunehmenden Verbreitung stellt besondere Anforderungen an die Dimensionierung der Radverkehrsanlagen. Sie sollte den Empfehlungen der ERA 2010 [15] folgend so ausgestaltet sein, das sichere Überholvorgänge von Zweiradfahrern untereinander möglich sind. Die ERA 2010 liefert hierzu geeignete Vorgaben und Maßnahmenvorschläge, um eine sichere Radverkehrsführung zu gewährleisten. Wie Hochrechnungsmodelle der UDV zeigen, ist es mit Blick in die Zukunft notwendig, diese Regelwerke auch konsequent anzuwenden und bereits heute keine Mindestmaße mehr zu planen [6].

Fahrzeugtechnik

Für S-Pedelecs besteht eine Helmpflicht. Aber sowohl Fahrrad- als auch Motorradhelme nach ECE-R22 scheinen nicht geeignet. Daher ist die Entwicklung von speziellen Helmen für S-Pedelecs angezeigt. Gegenwärtig gibt es Bemühungen seitens der Zweiradindustrie, die forciert werden sollten.

Da auch die Wahrnehmung und Einschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer ein Problem für die Verkehrssicherheit der Elektrofahräder darstellen kann, wäre es wünschenswert, wenn sich S-Pedelecs und Pedelecs besser von Fahrrädern unterscheiden lassen, z.B. durch ein individuelles Design oder Beleuchtungsmuster.

Aufgrund der deutlich höheren Geschwindigkeiten von S-Pedelecs und der Unfallfolgen sollte über eine bessere sicherheitstechnische Ausstattung nachgedacht werden. So könnten Sicherheitssysteme, die sich im Motorradbereich bewährt haben, wie z.B. ABS oder Kombi-bremse, für S-Pedelecs adaptiert werden.

Literatur

Literatur

- [1] Zweirad-Industrie-Verband e.V. (2017). Pressemitteilung Zahlen-Daten-Fakten zum Deutschen Fahrradmarkt 2016. Zweirad-Industrie-Verband e.V., Bad Soden a.Ts.
- [2] Verkehrsblatt-Verlag (2012). Landverkehr Ausgabe Nr. 22/2012. Bekanntmachung zur verkehrsrechtlichen Einstufung von Elektrofahrrädern. VO-Nr. 193, S. 848.
- [3] Kühn, M. (2012). Sicherheitstechnische Aspekte schneller Pedelecs. Unfallforschung kompakt Nr. 30. Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- [4] Schleinitz, K., Franke-Bartholdt, L., Petzoldt, T., Schwannitz, S., Kühn, M. & Gehlert, T. (2014). Pedelec - Naturalistic Cycling Study. Forschungsbericht Nr. 27. Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- [5] Schleinitz, K., Petzoldt, T., Krems, J., Gehlert, T. & Kröling, S. (2016). Helmnutzung und regelwidriges Verhalten von Pedelec- und Fahrradfahrern. Forschungsbericht Nr. 43. Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- [6] Alrutz, Dankmar et al., (2015b): Einfluss von Radverkehrsaufkommen und Radverkehrsinfrastruktur auf das Unfallgeschehen. Forschungsbericht Nr. 29. Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. Berlin.
- [7] Schleinitz, K., Petzoldt, T., Krems, J., Kühn, M. & Gehlert, T. (2015). Geschwindigkeitswahrnehmung von einspurigen Fahrzeugen. Forschungsbericht Nr. 33. Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- [8] UDV- Unfallforschung der Versicherer (2016). Verkehrsklima in Deutschland 2016. Unfallforschung kompakt Nr. 59. Unfallforschung der Versicherer. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Berlin.
- [9] Schnabel, Werner/ Lohse, Dieter (2011): Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung: Band 1 – Straßenverkehrstechnik. Beuth, Berlin.
- [10] Tresilian, J. R. (1995). Theory and Evaluative Reviews Perceptual and cognitive processes in time-to-contact estimation: Analysis of prediction-motion and relative judgment tasks. Perception & Psychophysics, 57, S. 231-245.
- [11] Statistisches Bundesamt (2016). Verkehrsunfälle. Kraftrad- und Fahrradunfälle im Straßenverkehr 2015. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- [12] Statistisches Bundesamt (2016). Verkehrsunfälle 2015. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden.
- [13] BASt-Bundesanstalt für Straßenwesen (2016). Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung 2015. Forschung kompakt. BASt, Bergisch Gladbach.
- [14] UNECE, ECE R 94/95 Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the protection of the occupants in the event of a frontal/lateral collision. <https://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs81-100.html>, abgerufen am 11.01.2017.
- [15] FGSV-Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (Hrsg.).(2010): Empfehlungen für Radverkehrsanlagen ERA. Arbeitsgruppe Straßenentwurf. Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. Köln.
- [16] Statistisches Bundesamt (2017). Verkehrsunfälle - Fachserie 8 Reihe 7 - Dezember 2016. statistisches Bundesamt, Wiesbaden.



Gesamtverband der Deutschen
Versicherungswirtschaft e.V.

Wilhelmstraße 43/43 G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

Telefon 030 . 20 20 - 58 21
Fax 030 . 20 20 - 66 33

unfallforschung@gdv.de
www.udv.de
www.gdv.de

Facebook: facebook.com/unfallforschung
Twitter: [@unfallforschung](https://twitter.com/unfallforschung)
YouTube: youtube.com/unfallforschung
Instagram: instagram.com/udv_unfallforschung

Redaktion:
Dr. rer. nat. Tina Gehlert

Gestaltung:
pensiero KG, www.pensiero.eu

Bildquellen:
Die Nutzungsrechte der in dieser
Broschüre abgebildeten Fotos liegen bei
der Unfallforschung der Versicherer.

Erschienen: 05/2017



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.

Wilhelmstraße 43 / 43G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin

Tel.: 030/20 20 - 50 00, Fax: 030/20 20 - 60 00
www.gdv.de, www.udv.de