



Unfallforschung kompakt

Sicherheitstechnische Aspekte schneller Pedelecs

Impressum

Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. Unfallforschung der Versicherer

Wilhelmstraße 43/43G, 10117 Berlin
Postfach 08 02 64, 10002 Berlin
unfallforschung@gdv.de
www.udv.de

Redaktion: Dr. Matthias Kühn
Layout: Franziska Gerson Pereira
Bildnachweis: Unfallforschung der Versicherer
Erschienen: 09/2011
Aktualisiert: 10/2012

Einleitung

Elektrisch unterstützte Fahrräder (Pedelecs) liegen in Deutschland im Trend. Nach Angaben des Zweirad-Industrie-Verbandes (ZIV) wurden im Jahr 2009 rund 150.000 dieser Fahrräder verkauft [1]. Im Jahr 2010 waren es bereits 200.000 und für das Jahr 2011 rechnet der Verband mit einem Absatz von 300.000 solcher Räder. Dabei ist der Anteil der schnellen Pedelecs im oberen einstelligen Prozentbereich. Auch der Markt für Umrüstsätze wächst laut ZIV. So wurden 2010 bereits 10.000 solcher Umrüstsets verkauft. Dabei entfielen in etwa 10 % auf die schnellen Pedelecs.

Doch diese Entwicklung birgt auch Gefahren. Um diese neuen Fahrzeuge besser einschätzen zu können und ein mögliches bestehendes Sicherheitsrisiko zu identifizieren, hat die Unfallforschung der Versicherer (UDV) die DEKRA beauftragt, umfangreiche Untersuchungen durchzuführen. Diese beinhalteten die Analyse der Bauvorschriften, der Betriebssicherheit genauso wie Fahr- und Crashversuche. Im Mittelpunkt der Untersuchungen standen die schnellen Pedelecs, deren Tretkraftunterstützung erst bei 45 km/h endet.

Inhalt

	Einleitung	2
1	Bauvorschriften	4
2	Untersuchte Fahrzeuge	5
3	Betriebssicherheit	8
4	Technische Prüfung und Manipulation	8
5	Crashtests und Stadtfahrten	10
6	Fazit	11
	Literatur	13

1 Bauvorschriften

Bisher wurde in die zwei Fahrzeugkonzepte muskelkraftbetriebenes Fahrrad und mit Motorkraft angetriebenes Kleinkrafttrad unterteilt. Heute entstehen Kombinationen beider Konzepte. Diese können die Bezeichnungen Pedelec (Pedel Electric Cycle), E-bike, LEV (Light Electric Vehicle) oder Elektrofahrrad tragen. Elektrofahrräder sind Fahrräder mit zusätzlichem Elektromotor. Die Art der Motorunterstützung hat dabei sowohl zulassungs- als auch fahrerlaubnisrechtliche Auswirkungen.

Bei den Pedelecs unterscheidet man zwei Gruppen. Ein entscheidendes Kriterium hierbei ist die maximale Geschwindigkeit bis zu der die Tretkraft elektrisch unterstützt wird. Diese beträgt bei den herkömmlichen und am weitesten verbreiteten Pedelecs 25 km/h. Bei den schnellen Pedelecs endet diese bei 45 km/h. Entsprechend der EU-Richtlinie 2002/24/EG ist ein langsames Pedelec wie folgt definiert [2]: „Fahrräder mit Trethilfe, die mit einem elektromotorischen Hilfsantrieb mit einer maximalen Nenndauerleistung von 0,25 kW ausgestattet sind, dessen Unterstützung unterbrochen wird, wenn der Fahrer im Treten einhält, und dessen Unterstützung sich mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit progressiv verringert und beim Erreichen einer Geschwindigkeit von 25 km/h unterbrochen wird.“

Die schnellen Pedelecs (bis 45 km/h) müssen aus Sicht der UDV im Sinne der EU-Richtlinie 2002/24/EG wie ein Kleinkrafttrad (Klasse L1e) mit allen technischen Konsequenzen betrachtet werden. Das bedeutet, sie benötigen u. a. eine Betriebserlaubnis, eine Pflichtversicherung (Versicherungskennzeichen) und eine Mofa-Prüfbescheinigung. Außerdem müssen Sie auf der Straße fahren und der Fahrer ist nach § 21a der STVO verpflichtet, einen geeigneten Schutzhelm zu tragen. In diesem Fall

wäre dies ein Motorradhelm. Technisch gesehen müssen z. B. die Bremsanlage nach 93/14/EWG (2006/27/EG), die Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen nach 2009/67/EG, Reifen und ihre Montage nach 97/24/EG Kapitel 1 oder Rückspiegel nach 97/24/EG Kapitel 4 den in der o. g. EU-Richtlinie hinterlegten Einzelrichtlinien entsprechen (siehe Tabelle 1).

Momentan vertriebene schnelle Pedelecs erfüllen diese Forderungen nicht. Diese Problematik wird zur Zeit intensiv in Fachkreisen und der Politik diskutiert.

In diesem Zusammenhang ist die Verhältnismäßigkeit zu hinterfragen. Hier wäre eine neue Fahrzeugklasse für „schnelle“ Pedelecs mit sinnvollen technischen und zulassungsrechtlichen Regelungen sinnvoll, wie z. B. Höchstgeschwindigkeit 35 km/h, 500 W maximale Nenndauerleistung, Versicherungskennzeichen, Mofa-Prüfbescheinigung, Fahrradhelm und Klingel statt Hupe.

Tabelle 1:
Übersicht der nach der Richtlinie 2002/24/EG für Kleinkrafträder der Klasse L1e zu erfüllenden Einzelrichtlinien [2]

Thema	Richtlinie
Bremsanlagen	93/14/EWG
Kennzeichnung der Betätigungseinrichtungen	2009/80/EG
Schallzeichen	93/30/EWG
Ständer	2009/78/EG
Halteeinrichtung	2009/79/EG
Sicherungseinrichtung gegen unbefugte Benutzung	93/33/EWG
Fabrikschild	93/34/EWG
Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen	2009/67/EG
Massen und Abmessungen	93/93/EWG
Anbringung hinteres Kennzeichen	2009/62/EG
Höchstgeschwindigkeit, Drehmoment, Nutzleistung Rili 95/1/EG geändert durch	2002/41/EG
Über bestimmte Bauteile und Merkmale	97/24/EG
Reifen und ihre Montage	97/24/EG Kap. 1
Bauartgenehmigung des Typs für eine Beleuchtungseinrichtung bzw. einer Lichtsignaleinrichtung	97/24/EG Kap. 2
Vorstehende Außenkanten	97/24/EG Kap. 3
Rückspiegel	97/24/EG Kap. 4
Maßnahmen gegen die Vereinigung der Luft	97/24/EG Kap. 5
Kraftstoffbehälter	97/24/EG Kap. 6
Maßnahmen gegen unbefugte Eingriffe	97/24/EG Kap. 7
Elektromagnetische Verträglichkeit	97/24/EG Kap. 8
Zulässiger Geräuschpegel und Auspuffanlage	97/24/EG Kap. 9
Anhängereinrichtungen	97/24/EG Kap. 10
Verankerung der Sicherheitsgurte	97/24/EG Kap. 11
Scheiben, Scheibenwischer, Scheibenwascher, Entfrostsungs- und Trocknungsanlagen	97/24/EG Kap. 12
Geschwindigkeitsmesser	2000/7/EG

2 Untersuchte Fahrzeuge

Untersucht wurden sechs Pedelecs verschiedener Hersteller (siehe Tabelle 2). Damit einhergehend variierten die Antriebskonzepte

genauso wie die Rahmenform und weitere technische Eigenschaften. Auf diese Weise kann natürlich kein vollständiges Bild der Risiken der am Markt verfügbaren Fahrzeuge gezeichnet werden. Es erlaubt aber eine erste Einschätzung dieser neuen Fahrzeugkategorie.

Tabelle 2:
Übersicht der untersuchten Pedelecs

	Sachs Electra 3	Unterstützung bis	45 km / h nach Übersetzung
		Motor	350 W Frontnabenmotor mit Bewegungssensor
		Bremsen	V-Felgenbremse mechanisch und Rücktritt
		Gewicht Leer/Batterie	29,9 kg / 3,5 kg
		zGG	150 kg
	Diamant Zuoma Supreme⁺	Unterstützung bis	30 km / h
		Motor	250 W Hinterradnabenmotor mit Drehmomentsensor
		Bremsen	hydraulische Felgenbremse
		Gewicht Leer/Batterie	21,6 kg / 3,0 kg
		zGG	130 kg
	Raleigh Cityliner	Unterstützung bis	25 km / h je nach Übersetzung
		Motor	250 W Tretlagermotor mit Drehmomentsensor
		Bremsen	V-Felgenbremse mechanisch
		Gewicht Leer/Batterie	29,9 kg / 3,5 kg
		zGG	150 kg

Flyer S-Serie 	Unterstützung bis	45 km/h je nach Übersetzung
	Motor	250 W Tretlagermotor mit Drehmomentsensor
	Bremsen	hydraulische Scheibenbremse
	Gewicht Leer/Batterie	19 - 22 kg / 2,6 kg
	zGG	149 kg

Flyer X-Serie 	Unterstützung bis	36 km/h
	Motor	300 W Tretlagermotor mit Drehmomentsensor
	Bremsen	hydraulische Scheibenbremse
	Gewicht Leer/Batterie	22 - 24 kg / ca. 3 kg
	zGG	149 kg

Excelsior Alu City 	Unterstützung bis	45 km/h je nach Übersetzung
	Motor	180 W Frontnabenmotor mit Bewegungssensor
	Bremsen	V- Felgenbremse und Rücktritt
	Gewicht Leer/Batterie	24 kg / 1,1 kg
	zGG	140 kg

3 Betriebssicherheit

Die elektrische Anlage wurde in Anlehnung an die ECE-R100-01 geprüft. Es zeigte sich, dass die untersuchten Räder unkritisch in Bezug auf einen Stromschlag sind, da die Komponenten im Niederspannungsbereich arbeiten. Alle ermittelten Spannungen waren kleiner als 60 V. Ein Kurzschluss im Motor kann nur bei Radnabenkonzepten ohne Freilauf (z. B. durch Rekuperationsfunktion) zu einem kritischen Blockieren des Vorder- oder Hinterrades führen. Die im Test analysierten Batterien waren ausreichend gekapselt und sicher befestigt. Gefahren können allerdings bei unsachgemäßen Nachrüstungen entstehen. Diese können Einfluss auf die Sicherheitseigenschaften des Fahrzeugs haben. So könnten bereits durch einfache Anbauteile Kabel der elektrischen Anlage beschädigt werden.

Es wurde auch deutlich, dass geringere Sicherheitsstandards bei Fahrzeugen der unteren Preisklassen bezüglich des Antriebskonzeptes allgemein, der elektronischen Batterieüberwachung und besonders bei der Kabelverlegung existieren.

4 Technische Prüfung und Manipulation

Im Rahmen der Untersuchungen wurden auch technische Aspekte entsprechend der Richtlinie 2002/24/EG geprüft. So wurde in Anlehnung an die Einzelrichtlinie 93/14/EG (2006/27/EG) die Bremsanlage der ausgewählten Pedelecs überprüft. Dabei konnten alle Bremsen auf trockener Fahrbahn ausreichend verzögern. Speziell bei Nässe gab es allerdings sehr große Unterschiede in der Bremsleistung. Vor allem die untersuchten mechanischen Felgenbremsen überzeugten bei Nässe nicht, wie man der Abbildung 1 entnehmen kann.

Hydraulische Felgenbremsen wiesen bessere Bremsseigenschaften auf. Die untersuchte hydraulische Scheibenbremsanlage überzeugte mit den besten Bremswerten und konnte die geforderten Grenzwerte bezüglich des Bremsweges und der Vollverzögerung erfüllen. Allerdings besteht bei ihnen die Gefahr einer Überbremsung des Vorderrades bei plötzlicher, starker Betätigung.

Außerdem wurden noch Pedelec-Anhängerkombinationen hinsichtlich der Bremsleistungen bewertet. Die Kombination von elektrounterstütztem Fahrrad und Kinderanhänger kann eine attraktive Alternative für Familien darstellen. Die Untersuchungen zeigten, dass die auflaufgebremsten Anhänger deutlich bessere Bremswerte aufwiesen und deshalb zu bevorzugen sind. Bei jetziger rechtlicher Einordnung der schnellen Pedelecs in die Klasse L1e hätte dies allerdings zur Folge, dass der Anhänger in beladenem Zustand nur die Hälfte des Leergewichts des Zugfahrzeugs wiegen dürfte. Dies wiederum schließt einen Betrieb mit entsprechenden Anhängern zur Beförderung von Kindern aus. Für langsame Pedelecs gibt es solch eine Einschränkung aufgrund ihrer Einordnung als Fahrrad nicht.

Auch die verschiedenen Antriebskonzepte weisen im Fahrbetrieb unterschiedliche und teilweise kritische Eigenschaften auf. So stellte besonders der Nabenmotor im Vorderrad eine eher ungünstige Kombination dar. Hier kann es vor allem auf nassem Untergrund und/oder in Kurven zu kritischen Situationen kommen, beispielsweise durch ruckartig, mit voller Kraft einsetzender Tretunterstützung oder durch ein Wegrutschen des Vorderrades. Auch das kurzzeitige Nachlaufen der Motor-kraftunterstützung beim Abbremsen oder Absteigen führte bei einigen Konzepten zu kritischen Situationen.

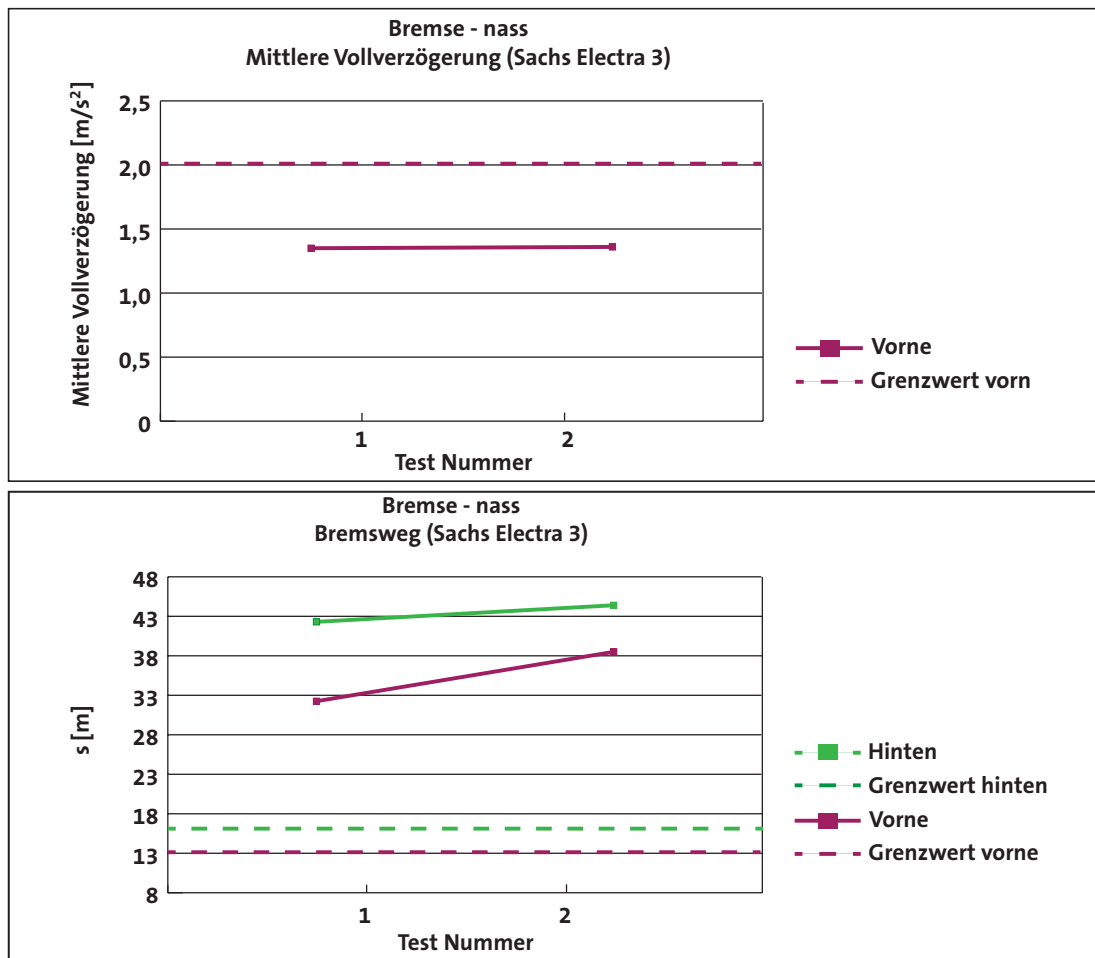


Abbildung 1:
Ermittelte Verzögerungen und Bremswege für das Fahrzeug Sachs Electra 3 mit mechanischer Felgenbremse

Manipulation

Pedelecs bieten auch die Möglichkeit der Manipulation. Vor allem eine Erhöhung der mit Tretkraftunterstützung erreichbaren Höchstgeschwindigkeit kann ein Ziel des Tunings sein. Man unterscheidet die mechanische, die elektrische und die elektronische Manipulation. Alle drei Arten sind bei heute erhältlichen Pedelecs umsetzbar. Durch den einfachen Austausch des Antriebsritzels bei einem Pedelec mit Tretlagermotor zum Beispiel und dem damit geänderten Übersetzungsverhältnis konnte eine Erhöhung der mit Tretkraftunterstützung erreichten Höchstgeschwindigkeit um 20 %

erreicht werden. Es konnte weiterhin gezeigt werden, dass auf elektronischem Wege sehr einfach die erreichbare Höchstgeschwindigkeit durch die Eingabe einer speziellen Tastenkombinationen über die Steuereinheit manipuliert werden kann. In der Regel sind Pedelecs ohne Antimanipulationsschild, wie es in der Richtlinie 2002/24/EG gefordert wird [2], ausgestattet. Somit ist es z.B. nicht ersichtlich, welcher Motor- oder Batterietyp an dem jeweiligen Fahrzeug herstellerseitig verbaut ist. Es bleibt dem Nutzer ein großer Spielraum für Manipulationen jeglicher Art. Zur besseren Übersicht und Kontrolle des Ausrüstungsstandes wäre ein Antimanipulationsschild erforderlich.

5 Crashtests und Stadtfahrten

Neben der Erfüllung der technischen Voraussetzungen birgt vor allem die Benutzung der Pedelecs ein zusätzliches Risiko im Straßenverkehr. Pedelecs erreichen nicht nur eine höhere Durchschnitts- und Höchstgeschwindigkeit sondern sie lassen auch eine höhere Kilometerleistung erwarten. Dies gilt nicht nur in ebenen, sondern auch in bergigen Regionen. Die sich ändernden Randbedingungen lassen mehr kritische Situationen bzw. Unfälle und somit mehr Verunglückte befürchten.

So sind z.B. häufigere Überholmanöver vorprogrammiert, die durch die hohe Geschwindigkeit im Ernstfall mit schweren Unfallfolgen für Radfahrer und Pedelecfahrer enden können. Fußgänger sind die schwächsten Verkehrsteilnehmer. Wenn Pedelecs auf Gehwegen oder kombinierten Geh-/Radwegen unterwegs sind, können bei Zusammenstößen alle Beteiligten schwere Verletzungen davon tragen.

Pedelecs sprechen viele Radfahrergruppen an. Senioren genauso wie Eltern (Kinderanhänger) oder sogar sportliche Fahrer. Für Autofahrer ist es künftig schwieriger zu erkennen, wie schnell ein Radfahrer unterwegs ist. Auch ein Senior auf einem Citybike kann jetzt dank Elektrounterstützung viel schneller fahren, als aus der Erfahrung „gelernt“. Riskante Situationen können dadurch an Ausfahrten und Kreuzungen entstehen. Schwere Verletzungen beim seitlichen Anprall an ein Auto sind nicht nur bei Pedelecfahrern ohne Schutzhelm zu erwarten.

Crashtests

Beispielhaft wurden Crashversuche durchgeführt, die die beschriebenen typischen Alltagssituationen im Straßenverkehr reprä-

sentieren. Sie unterscheiden sich von herkömmlichen Alltagssituationen mit dem Fahrrad nur in den höheren Kollisionsgeschwindigkeiten und der höheren Masse des beteiligten Pedelecs. Abgeleitet aus den aufgezeichneten Messwerten der Dummies konnte die Gefährlichkeit solcher Situationen für die Beteiligten gezeigt werden. Diese Erkenntnisse sind ohne weiteres auch auf Radfahrer übertragbar.

Der erste Versuch bildet einen Überholvorgang ab. Dabei überholt das Pedelec mit 44 km/h das Fahrrad, das 22 km/h schnell war, mit einer Überdeckung von 0,2 m (siehe Abbildung 2). Sowohl das Pedelec als auch das Fahrrad waren mit je einem instrumentierten Hybrid III-Dummy besetzt. Die Kopf- und Halsbelastungen des Pedelec-Dummies überschritten die Grenzwerte, die in Anlehnung an die ECE-R 94/95 gewählt wurden. Am Fahrrad-Dummy wurden sehr hohe Hals- und Brustbelastungen gemessen.



Abbildung 2:
Zusammenprall zwischen Fahrrad ($v=22\text{ km/h}$) und überholendem Pedelec ($v=44\text{ km/h}$)

Beim zweiten Versuch stieß das Pedelec mit 44 km/h rechtwinklig gegen die Mitte der Beifahrertür eines stehenden Pkw (siehe Abbildung 3). Auf dem Pedelec saß ein instrumentierter Hybrid III-Dummy. Die Messwerte zeigten sehr hohe Kopf-, Hals- und Brustbelastungen, die zum Überschreiten der Grenz-

werte für das Nackenbeugemoment und die Brusteingriffs- und -geschwindigkeit führten.



Abbildung 3:
Zusammenstoß zwischen stehendem Fahrzeug
und in die Seite fahrendem Pedelec ($v = 44 \text{ km/h}$)

Beim dritten Versuch fuhr ein Pedelec mit 25 m/h einem stehenden Fußgänger in die Seite (siehe Abbildung 4). Der Fußgänger wird durch einen Hybrid III-Dummy mit Stehbecken abgebildet. Auf dem Pedelec saß ebenfalls ein Hybrid III-Dummy. An beiden Dummies wurden die Grenzwerte für die Kopfbelastungen überschritten.



Abbildung 4:
Zusammenstoß zwischen Pedelec ($v = 25 \text{ km/h}$)
und Fußgänger

Stadtfahrten

In Dresden durchgeführte Stadtfahrten mit vier Personen und vier verschiedenen Pedelecs zeigten, dass die durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit im Vergleich zu einem her-

kömmlichen Fahrrad ohne Tretkraftunterstützung von $14,9 \text{ km/h}$ auf beispielhaft $18,8 \text{ km/h}$ stieg. Die gefahrenen maximalen Geschwindigkeiten stiegen in diesem Fall von $23,8 \text{ km/h}$ auf $35,5 \text{ km/h}$. Der Innenstadtkurs hatte eine Länge von ca. $5,05 \text{ km}$ (siehe Abbildung 5).



Abbildung 5:
Verlauf des Stadtkurses in Dresden

Es zeigte sich, dass sich alle Probanden mit ihren Pedelecs wie Radfahrer verhielten. Es ist stark anzunehmen, dass sich ein ungeübter Nutzer eines schnellen Pedelecs eher auf den Rad- oder Fußweg zurückzieht, da ihm das Fahren im dichten Verkehr nicht behagt. Und genau hier liegt das größte Gefährdungspotenzial. Es ist unbedingt notwendig, mehr objektive Daten zum Verhalten von Pedelecfahrern im Straßenverkehr zu erheben.

6 Fazit

Pedelecs erfreuen sich seit geraumer Zeit wachsender Beliebtheit. Sie werden sich auf Deutschlands Straßen etablieren. Vor allem die schnellen Pedelecs stellen hier ein neues, nicht zu unterschätzendes Risiko dar. Selbst „langsame“ Pedelecs erhöhen für den Alltagsfahrer die Spitzen- und Durchschnittsgeschwindigkeit. Die meisten Fahrzeugkonzepte sind angenehm zu fahren und werden nicht zuletzt deshalb die durchschnittlich mit dem Fahrrad zurückgelegten Strecken erhöhen. Diese Kombination aus höheren Geschwindigkeiten und zurückgelegter Distanz lässt mehr Unfälle unter Beteiligung dieser Fahrzeuge für

die Zukunft vermuten. Da es sich um ungeschützte Verkehrsteilnehmer handelt, werden die Folgen der Unfälle entsprechend schwer sein. Es gilt, alle Verkehrsteilnehmer aufzuklären und über die neuen Risiken zu informieren. Darüber hinaus muss die Rechtslage für Pedelecs allgemein schnell geklärt werden. Dies hat direkten Einfluss auf die Konstruktion der Fahrzeuge. Aus sicherheitstechnischer Sicht sollten Pedelecs keine Fahrräder mit Batterie und Motor sein. Vielmehr erfordern die er-

höhten Belastungen und Einsatzbedingungen eigenständige Entwicklungen und technische Lösungen. Insofern sind Nachrüstungen herkömmlicher Fahrräder zum Pedelec sehr kritisch zu betrachten.

Filme zu den Crashtests sind unter www.youtube.com/unfallforschung zu sehen. Weitere Informationen stehen im Internet unter www.udv.de im Fachbereich Fahrzeugsicherheit zur Verfügung.

Literatur

- [1] Pardey, H.-H. (2011): „Die E-Mobilität findet bei uns statt“. Frankfurter Allgemeine Zeitung, Technik und Motor, 29.3.2011, Nr. 74.

- [2] Richtlinie 2002/24/EG: Typgenehmigung für zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge, Amtsblatt Nr. L 124 vom 09.05.2002 S.1 ff.



Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V.

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

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