

# VKU

# Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik

Fachzeitschrift für Kraftfahrzeug-Sachverständige,  
Experten für Straßenverkehr, Kfz-Technik und Transportsicherheit



Unfallrekonstruktion  
und Datenblätter

BMW Z4  
Mercedes-Benz GLE

# E-Scooter – rechtliche Grund- lagen, Beschleunigungs-, Brems- und Fahrversuche

# Elektro-Tretroller (E-Scooter) – rechtliche Grundlagen, Beschleunigungs-, Brems- und Fahrdynamikversuche

Von Felix Jung, Björn Siemer, Stephan Schal, Tim Hoger\*

**Diese Ausarbeitung gewährt einen Einblick bezüglich unfallrelevanter Parameter einer neuen, stetig wachsenden Gruppe von Verkehrsteilnehmern: den Elektro-Tretrollern (E-Scootern). Zunächst werden die rechtlichen Grundlagen für E-Scooter erläutert. Der Hauptteil befasst sich mit Fahrversuchen, bei denen Probanden Beschleunigungs-, Brems- und Fahrdynamikversuche durchführten. Die Ergebnisse stellen erste Anhaltspunkte für die Unfallrekonstruktion dar und helfen bei der Beantwortung der Frage, inwieweit Elektrokleinstfahrzeuge mit den bereits für die Teilnahme im Straßenverkehr zugelassenen Fahrzeugen vergleichbar sind.**

## 1 Einleitung

In der Öffentlichkeit und den Medien wurde in den letzten Monaten vielfach über das Thema Elektrokleinstfahrzeuge und im Speziellen über E-Scooter diskutiert. Oftmals fielen die E-Scooter negativ auf und waren bereits kurz nach ihrer Zulassung in Unfälle verwickelt. Schon Anfang Juli 2019 wurden erste Statistiken zur Anzahl der E-Scooter in ausgewählten deutschen Städten publiziert [1]. Hierbei stellte sich heraus, dass zu diesem Zeitpunkt deutlich mehr als 13.000 E-Scooter von urbanen Anbietern auf deutschen Straßen unterwegs waren, wobei lediglich die E-Scooter von drei Anbietern gezählt wurden.

Heute sind innerhalb Deutschlands fünf Anbieter vertreten, die zu einer Vervielfachung der Anzahl von E-Scootern beigetragen haben. Zukünftig sollen zusätzliche Modelle im Straßenverkehr folgen. Außerdem wollen große Multimedia-Märkte ebenfalls mietbare E-Scooter anbieten. Mit diesem Zuwachs wird aber auch die Zahl der Unfälle ansteigen, an denen E-Scooter beteiligt sind. Dies war der Anlass sich frühzeitig technischen Grundlagenuntersuchungen zu widmen.

## 2 Rechtliche Grundlagen

Aus der Elektrokleinstfahrzeugeverordnung (eKFV) vom 06.06.2019 geht her-

vor, dass E-Scooter eine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 20 km/h ( $\pm 10\%$ ) erreichen dürfen. Die Nenndauerleistung darf nicht mehr als 500 W oder nicht mehr als 1400 W betragen, wenn mindestens 60% der Leistung zur Selbstbalancierung verwendet wird. Eine Gesamtbreite von maximal 700 mm, eine Gesamthöhe von maximal 1400 mm und eine Gesamtlänge von maximal 2000 mm sind vorgeschrieben. Die Fahrzeugmasse ohne Fahrer darf höchstens 55 kg betragen. Zum Führen von E-Scootern sind nur Personen berechtigt, die das 14. Lebensjahr vollendet haben.

Innerhalb und außerhalb geschlossener Ortschaften müssen E-Scooter Radwege, Radfahrstreifen, Fahrradstraßen und Seitenstreifen befahren. Sofern die o.g. Verkehrsflächen nicht vorhanden sind, müssen sie Fahrbahnen oder verkehrsberuhigte Bereiche befahren. Andere Verkehrsflächen können durch die Straßenverkehrsbehörde für bestimmte Einzelfälle freigegeben werden, sofern sie durch Anordnung des Zusatzzeichens „Elektrokleinstfahrzeuge frei“, siehe **BILD 1**, bekannt gegeben werden.

Elektrokleinstfahrzeuge dürfen im Straßenverkehr nur genutzt werden, wenn eine Allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) oder eine Einzelbetriebserlaubnis erteilt wurde. Sie müssen eine gültige Versicherungsplakette, eine Fahrzeug-Identifikationsnummer und

ein Fabrikschild besitzen. Auf dem Fabrikschild muss ersichtlich sein, dass es sich bei dem Fahrzeug um ein Elektrokleinstfahrzeug handelt. Die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit und die Genehmigungsnummer der Betriebserlaubnis müssen auf dem Fabrikschild vermerkt sein.

Um eine Betriebserlaubnis zu erhalten, müssen die Prüfanforderungen und Anforderungen an die Fahrdynamik eingehalten werden. Die Anforderungen an die Verzögerungseinrichtung (eKFV, §4) besagen, dass das Elektrokleinstfahrzeug über zwei voneinander unabhängige Bremsen verfügen muss. Dabei müssen die Bremsen das Fahrzeug bis zum Stillstand abbremsen können und bis zur Maximalgeschwindigkeit wirken. Die Bremsvorrichtung muss mindestens einen mittleren Verzögerungswert von  $3,5 \text{ m/s}^2$  erreichen und jeweils einzeln, bei Ausfall der jeweils anderen Bremse, eine Mindestverzögerung von 44% der Bremswirkung erzielen. Um die Verzögerung im Rahmen der Zulassung zu testen, wird der E-Scooter von einem Fahrer (70 kg–100 kg) maximal beschleunigt und danach abgebremst. Anschließend wird der Bremsweg gemessen und die durchschnittliche Verzögerung des Fahrzeugs bestimmt. Dabei darf es nicht zu einer Sturzgefährdung, zum Beispiel durch ein blockierendes Vorderrad, kommen. Weitere Tests bezüglich der Fahrdynamik erfolgen durch das Befahren von Fahrbahnelementen von unterschiedlichem Aufbau. Dabei wird eine Kantenhöhe von maximal 5 cm überfahren.

## 3 Versuchsvorbereitung

Im Rahmen der Vorbereitung einer Bachelor-Thesis an der Technischen

Hochschule Lübeck wurden in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Schal und Meyer Lübeck/Schwerin zugelassene Elektro-Tretroller der Anbieter „Tier-Mobility GmbH“, „Voi Technology AB“, „LMTS Holding S.C.A.“ (Circ), „Bird Rides Europe B.V.“, „LimeBike Germany GmbH“ und ein Elektro-Tretroller ohne Straßenzulassung des Herstellers „Hiboy Ltd.“ getestet.

Exemplarisch für die untersuchten Modelle ist ein E-Scooter des Anbieters „Tier“ in **BILD 2** zu sehen. Ein Blick auf den Lenker zeigt die typische Verteilung der Bedienelemente. So verfügt dieser E-Scooter über eine Klingel und zwei Bremshebel, die jeweils eine Vorder- und eine Hinterradbremse bedienen. Der Fahrhebel befindet sich bei diesem Modell auf der rechten Seite. Mittig auf der Haltestange ist ein Display angebracht, auf dem die Geschwindigkeit und die Akkuladung abgelesen werden können.

Der Aufbau der anderen E-Scooter weicht nur geringfügig von diesem Modell ab. Eine Übersicht der verwendeten E-Scooter-Modelle kann der **TABELLE 1** entnommen werden. Es wurden von jedem Anbieter jeweils zwei baugleiche Elektro-Tretroller getestet. Die Prüfanforderungen der Anlage zu § 7 Nr. 1 der eKFV wurden eingehalten.

### 3.1 Beschleunigungsversuche

In den Versuchen waren alle E-Scooter mit einem waagrecht auf dem Trittbrett montierten Datenlogger „DL1 MK1“ aus dem Hause Race Technology ( $f=100\text{ Hz}$ ) ausgerüstet.



**BILD 1:** Zusatzzeichen „Elektrokleinstfahrzeuge frei“ (Quelle: eKFV, § 10 Absatz 3)  
**FIGURE 1:** Additional sign for personal light electric vehicles (source: eKFV, § 10 paragraph 3)

„Elektrokleinstfahrzeuge frei“



**BILD 2:** Seitenansicht eines „Tier“ E-Scooters und Draufsicht des Lenkers  
**FIGURE 2:** Side view of a „Tier“ electric scooter and top view of the handlebar

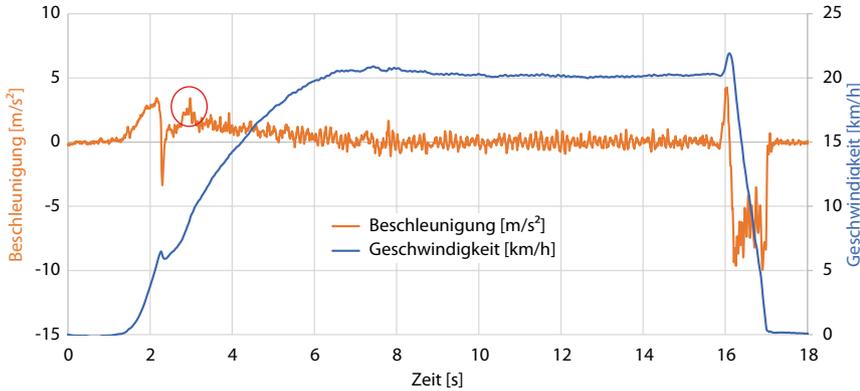
Die Fahrer der E-Scooter, drei Männer im Alter zwischen 21 und 27 Jahren und einem Gewicht zwischen 70 und 95 kg, wurden angewiesen, aus dem Stand heraus „normal“ zu beschleunigen, um übliche Anfahrbeschleunigungen reproduzieren zu können. Die E-Scooter mussten dabei durch ein

erstes Anschieben oder Antreten auf eine geringe Anfangsgeschwindigkeit beschleunigt werden, bis der E-Scooter begann, selbstständig zu fahren. Bei den Anfahrversuchen konnte der zeitliche Verlauf der Beschleunigung, ausgehend vom ersten Anstieg, integriert werden. Hieraus ließen sich die

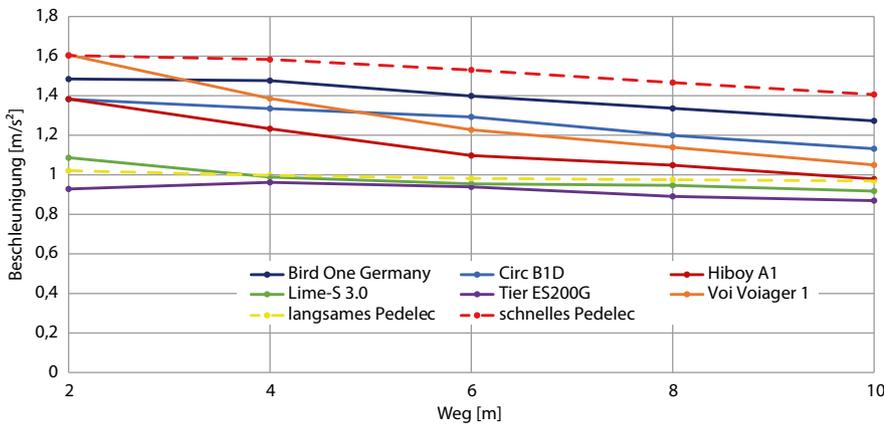
**TABELLE 1:** Getestete E-Scooter mit ihren Eigengewichten und Höchstgeschwindigkeiten

**TABLE 1:** Tested electric scooters with their weights and maximum speeds

Modell	Gewicht (ca.)	Höchstgeschwindigkeit	Bremsanlage Vorderrad	Bremsanlage Hinterrad
Voi Voyager 1	19 kg	20 km/h	—	Trommelbremse + Trittbremse
Tier ES200G	23 kg	20 km/h	Trommelbremse	Trommelbremse
Circ B1D	20 kg	20 km/h	Trommelbremse	—
Bird One Germany	18 kg	20 km/h	Trommelbremse	Trommelbremse
Lime-S 3.0	25 kg	20 km/h	—	Trommelbremse + Trittbremse
Hiboy A1	13 kg	25 km/h	—	Trommelbremse



**BILD 3:** Beschleunigung-Zeit-Verlauf eines „Bird One Germany“  
**FIGURE 3:** Acceleration-time course of a “Bird One Germany”



**BILD 4:** Vergleich der Anfahrbeschleunigungen von E-Scootern und Pedelecs  
**FIGURE 4:** Comparison of accelerations between electric scooters and pedelecs

Geschwindigkeit und die zurückgelegte Wegstrecke berechnen.

Ein exemplarischer Beschleunigungsverlauf des getesteten „Bird One Germany“ ist in **BILD 3** gegen die Zeit dargestellt. Auf der Primärachse in Y-Richtung ist die Beschleunigung aufgetragen und innerhalb des Diagramms mit einer roten Linie veranschaulicht. Die Sekundärachse in Y-Richtung zeigt in Blau den (aus der Beschleunigung integrierten) Geschwindigkeitsverlauf des getesteten E-Scooters. Die maximale Beschleunigung wurde nach etwa 3 s (rot umkreist) erreicht, da zuvor der Proband das erste Mal mit seinem Bein Schwung gab. Unmittelbar nach dem Beschleunigungsmaximum erfolgte eine zweite Schwungbewegung des Probanden. Anschließend setzte die Beschleunigung des E-Scooters ein. Aus dem Diagramm wird ersichtlich, dass die Beschleunigung des E-Scooters

über der Zeit nahezu linear abnimmt (die Geschwindigkeitszunahme wird mit wachsender Geschwindigkeit immer geringer) und schließlich gegen null geht, sobald der E-Scooter seine Höchstgeschwindigkeit von circa 20km/h erreicht hat.

In der Grafik von **BILD 4** werden die Beschleunigungen der getesteten E-Scooter auf den ersten 10m beim Anfahren mit langsamen (bis 25km/h) und schnellen Pedelecs (bis 45km/h) aus einer Arbeit von Fischer [3] verglichen. Auf der X-Achse ist die Wegstrecke in Metern aufgetragen und auf der Y-Achse die jeweilige Beschleunigung. Die getesteten Elektro-Tretroller sind mit verschiedenfarbigen, durchgezogenen Linien gekennzeichnet. Die rot gestrichelte Linie stellt die schnellen Pedelecs und die gelb gestrichelte Linie die langsamen Pedelecs dar. Die Beschleunigungswerte sind gemittelte

Werte der beiden getesteten E-Scooter pro Anbieter mit jeweils mindestens fünf aufeinanderfolgenden Messungen. Der erste Messwert wurde nach zwei Metern aufgenommen, da dann die Anschwungphase bei den E-Scootern beendet war. Im Anschluss werden die mittleren Beschleunigungen alle 2 m bestimmt.

Die maximale Beschleunigung wird am Anfang (nach den ersten 2 m) erreicht. Danach fällt die Beschleunigung mit zunehmender Wegstrecke ab, was auf den Regelalgorithmus zurückzuführen ist. Kein E-Scooter hat nach 10 m bereits seine Höchstgeschwindigkeit erreicht.

Die Beschleunigung der langsamen Pedelecs ist mit zunehmender Wegstrecke nahezu konstant. Mit maximaler Motorunterstützung konnte ein Beschleunigungswert von im Mittel etwa 1,0 m/s<sup>2</sup> erreicht werden. Die schnelleren Pedelecs zeigten mittlere Beschleunigungswerte in einer Bandbreite von 1,4 bis 1,6 m/s<sup>2</sup>. Die vier getesteten E-Scooter-Modelle weisen somit Beschleunigungen auf, die im Bereich zwischen langsamen und schnellen Pedelecs liegen.

In [3] gab Fischer die mittleren Anfahrbeschleunigungen für langsame und schnelle Pedelecs ohne Motorunterstützung zwischen 0,6 und 1,1 m/s<sup>2</sup> an. Pedelecs ohne Motorunterstützung wären dabei vergleichbar mit herkömmlichen Fahrrädern. Da E-Scooter höhere Anfahrbeschleunigungen aufweisen, beschleunigen E-Scooter somit schneller als (normale) Fahrräder. **TABELLE 2** fasst die Ergebnisse zusammen.

Für Mofas und Leichtkrafträder wurden in [4] beim „normalen“ Anfahren Mittelwerte von etwa 1,5 bis 2,0 m/s<sup>2</sup> erzielt, eine Beobachtung von Personenkraftwagen im Straßenverkehr [5] führte zu mittleren Anfahrbeschleunigungen von 1,5 bis 2,0 m/s<sup>2</sup>. E-Scooter beschleunigen also langsamer als Kraftfahrzeuge mit Verbrennungsmotor.

### 3.2 Bremsversuche

Im Rahmen der Untersuchungen wurden auf trockener Asphaltfahrbahn auch Bremsversuche durchgeführt.

**TABELLE 2:** Mittlere Beschleunigungen im Vergleich zu Fahrrädern und Pedelecs  
**TABLE 2:** Medium accelerations compared to those of bicycles and pedelecs

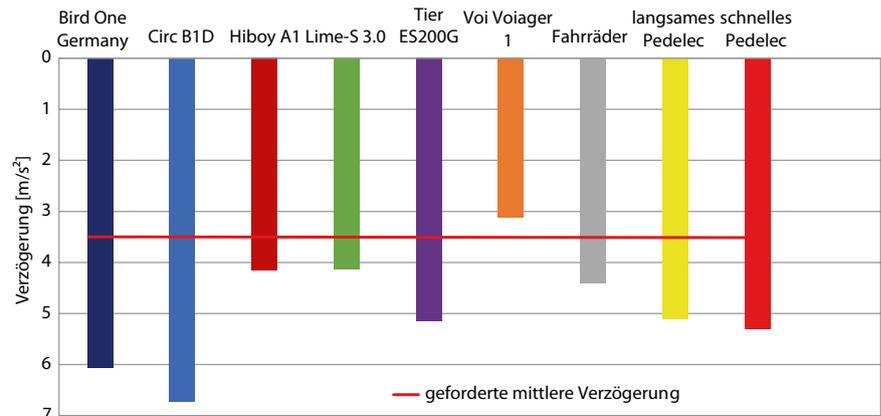
Mittlere Beschleunigungen im Vergleich (normales Anfahren geradeaus)				
Kategorie	Langsame Pedelecs	Schnelle Pedelecs	Langsame/ Schnelle Pedelecs	E-Scooter
Besonderheit	Max. Unterstützung	Max. Unterstützung	Ohne Unterstützung	—
Mittl. Beschl. [m/s <sup>2</sup> ]	1,0	1,4-1,6	0,6-1,1	0,9-1,6

Hierbei wurden die Fahrer angewiesen die E-Scooter aus ihrer Maximalgeschwindigkeit heraus zu verzögern. Bei den Bremsversuchen wurden aus den Werten der Längsbeschleunigung zunächst der Bremsbeginn, das heißt der Anstieg der Verzögerungswerte und das Bremsende (Stillstand des E-Scooter-Rades), mit dem damit verbundenen Vorzeichenwechsel bestimmt. Hierauf aufbauend konnten anschließend, durch zeitliche Integrationen des Beschleunigungsverlaufs, die Ausgangsgeschwindigkeit und der Bremsweg berechnet werden. Die mittlere Verzögerung wurde zwischen Bremsbeginn und Stillstand des E-Scooter-Rades ermittelt.

Anhand von Bild 3 konnte man einen kurzen, deutlichen Anstieg der Beschleunigung unmittelbar vor dem Beginn der Bremsung erkennen. Dies ist auf eine Bewegung des Probanden auf dem E-Scooter zurückzuführen, der sein Körpergewicht nach hinten verlagert, um der Verzögerung bei einer Vollbremsung entgegenwirken zu können. Somit wird der E-Scooter kurz nach vorne beschleunigt, ohne dass eine tatsächliche Beschleunigung des Gesamtsystems (aus Fahrer und E-Scooter) erfolgt.

In **BILD 5** sind die erreichten Verzögerungen zwischen E-Scootern, herkömmlichen Fahrrädern und Pedelecs miteinander verglichen. Die Verzögerungswerte sind gemittelte Werte aus den beiden getesteten E-Scootern pro Anbieter mit jeweils mindestens fünf aufeinanderfolgenden Messungen. Die geforderte mittlere Verzögerung nach der eKFV von 3,5 m/s<sup>2</sup> ist als rote Linie dargestellt.

In früheren Untersuchungen [3] wurden mittlere Verzögerungen von



**BILD 5:** Verzögerungsvergleich zwischen E-Scootern, Fahrrädern und Pedelecs  
**FIGURE 5:** Comparison of deceleration between electric scooters, bicycles and pedelecs

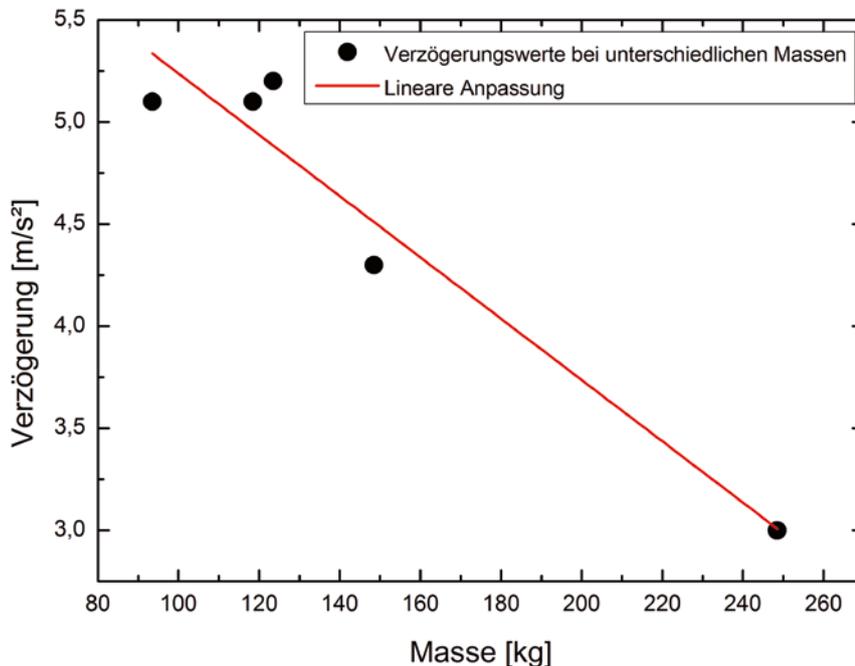
Fahrrädern mit etwa 3,9 bis 5,2 m/s<sup>2</sup> angegeben. Innerhalb jener Studie wurden bei langsamen Pedelecs maximal erreichbare Verzögerungen in einer Bandbreite von 2,9 bis 6,9 m/s<sup>2</sup> und bei schnellen Pedelecs 3,5 bis 6,5 m/s<sup>2</sup> erreicht. Die Grafik zeigt, dass fast alle E-Scooter die erforderliche mittlere Verzögerung von 3,5 m/s<sup>2</sup> erreichen. Lediglich der „Voi Voyager 1“ schaffte mit einer Verzögerung von knapp 3,1 m/s<sup>2</sup> diesen vorgegebenen Wert zumindest in den Versuchen nicht, was gegebenenfalls auf individuelles Bremsverhalten zurückzuführen ist.

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurden bereits erste Untersuchungen mit dem Nachfolgermodell des „Voi Voyager 1“ durchgeführt. Der „Voi ES100D“ erzielte dabei Verzögerungen von mehr als 6 m/s<sup>2</sup>. Auch der getestete E-Scooter ohne Straßenzulassung (Hiboy A1) mit nur einem Bremssystem erreichte die geforderte mittlere Verzögerung. Den höchsten Wert innerhalb dieser Versuchsreihe erzielte der „Circ B1D“ mit einer mittleren Verzögerung von etwa 6,7 m/s<sup>2</sup>. Hierfür waren vor allem die

beiden unabhängigen Bremsen, die auf das Vorderrad wirkten, verantwortlich. Allerdings führt eine solch hohe Verzögerung zu einem erhöhten Sturzrisiko für den Fahrer, insbesondere bei Nässe.

Weitere Messungen untersuchten die Abhängigkeit der erreichbaren Verzögerungen vom Körpergewicht des Fahrers. Laut Prüfanforderungen ist bei den Prüfverfahren ein Fahrergewicht von 70–100 kg vorgesehen. Laut Herstellerangaben sind die E-Scooter in der Regel mit einem Maximalgewicht von 100 kg belastbar. Dieses ist auch auf einem Schild am Scooter aufgeführt. Lediglich beim „Tier“ E-Scooter findet sich diese Angabe nur in der Gebrauchsanweisung. In der Realität ist allerdings nicht selten ein höheres Personen-Gesamtwicht gegeben. Unter Beachtung der Verwendung des E-Scooters als erweitertes Reisefahrzeug (letzte Meile) ist die Benutzung von einer fahrenden Person zum Beispiel mit einem schweren Rucksack möglich.

Für die Durchführung des Tests beschleunigten vier Personen mit unterschiedlichen Körpergewichten einen



**BILD 6:** Mittlere Verzögerungswerte des E-Scooters „Tier“ bei unterschiedlichen Fahrermassen  
**FIGURE 6:** Average deaccelerations for drivers of different masses the “Tier” electric scooter

„Tier“ E-Scooter (Eigengewicht 23 kg) auf die Maximalgeschwindigkeit und führten dann eine Vollbremsung durch. Der Untergrund war asphaltiert und trocken.

Bei den Gesamtgewichten von 93 und 118 kg (Fahrergewicht plus E-Scooter-Gewicht) wurde jeweils ein Verzögerungswert von  $5,1 \text{ m/s}^2$  erreicht. Bei einer (nicht mehr zugelassenen) Gesamtmasse von 148 kg fiel die Verzögerung schon auf einen Wert von  $4,3 \text{ m/s}^2$  ab, lag damit aber immer noch oberhalb der Mindestverzögerung von  $3,5 \text{ m/s}^2$ . Als Extremvergleich wurde der Test mit einer Gesamtmasse von 248 kg (2 Personen) durchgeführt. In diesem Fall konnte die Mindestverzögerung von  $3,5 \text{ m/s}^2$  nicht mehr erreicht werden, die mittlere Verzögerung betrug  $3,0 \text{ m/s}^2$ . Die ermittelten Verzögerungen sind in **BILD 6** in einem Diagramm gegen die Massen aufgetragen worden. Zusätzlich wurde eine Ausgleichsgerade eingezeichnet.

### 3.3 Fahrdynamische Tests

Da die meisten E-Scooter-Modelle kleine Räder besitzen (zum Beispiel Hiboy E-Scooter Raddurchmesser circa 0,2 m), kann davon ausgegangen wer-

den, dass im Alltag wendige Fahrmanöver möglich sind. Es ist somit von Interesse, welche Querbeschleunigungen erreicht werden können, um Kurvenfahrten der E-Scooter im Rahmen einer Rekonstruktion einzugrenzen. Zudem ist es für andere Verkehrsteilnehmer von Bedeutung, wie schnell ein wendiges Fahrmanöver erkennbar ist.

Für diese Untersuchungen konnten mit einem Hiboy E-Scooter fahrdynamische Untersuchungen auf einem ebenen, asphaltierten und trockenen Testgelände durchgeführt werden. Die einzelnen Fahrmanöver wurden dabei mit Videokameras dokumentiert.

Zur Bestimmung der möglichen Querbeschleunigung wurde ein Parcours aufgebaut, in dem mit der möglichen Maximalgeschwindigkeit im Kreis gefahren werden konnte. In **BILD 7** sind mehrere überlagerte Einzelbilder des aufgenommenen Videomaterials einer Kreisfahrt dargestellt. Der E-Scooter bewegte sich dabei innerhalb der aufgestellten Pylonen (Radius = 4 m). Wird eine Senkrechte an den Radaufstandspunkt der linken E-Scooter-Position konstruiert, kann eine Schrägstellung von ca.  $30^\circ$  des E-Scooters festgestellt und eine Querbeschleunigung von

$a_{\text{quer}} = 5,7 \text{ m/s}^2$  berechnet werden. Mit E-Scootern sind folglich Fahrmanöver mit großen Querbeschleunigungen möglich. Diese sorgen sicherlich bei den Fahrenden nicht selten für ein positives Fahrempfinden. Aber gerade im Hinblick auf die Erkennbarkeit möglicher Abbiegevorgänge ist eine solche Kurvenfahrt auch kritisch zu sehen.

Für die Sicherheit des Fahrers eines E-Scooters ist es unter anderem relevant, wie schnell ein anderer Verkehrsteilnehmer erkennen kann, dass der E-Scooter-Fahrer einen Richtungswechsel durchführen möchte. Aufgrund dessen hat der Gesetzgeber auch vorgesehen, dass die Fahrtrichtung rechtzeitig angezeigt werden muss (eKFV, § 11 (3)). Wenn keine Fahrtrichtungsanzeiger am E-Scooter vorhanden sind, muss dieses durch Handzeichen geschehen, **BILD 8**.

Bei dieser Handlung muss der Fahrer eine Hand vom Lenker nehmen und zur Seite ausstrecken. Handelt es sich dabei um die rechte Hand, kann der Fahrhebel, nicht weiter betätigt werden. Der E-Scooter bremst.

Da in der Regel die E-Scooter nicht mit Fahrtrichtungsanzeigern ausgestattet sind und das Anzeigen per Hand fahrdynamisch ungünstig ist [6], wird hierauf von den Fahrern in der Praxis meist verzichtet. Eine beginnende Kurvenfahrt der E-Scooter ist aber gerade für die nachfolgenden Fahrzeuge über die Schrägstellung des Lenkers oder des Vorderrades aufgrund des verdeckten E-Scooter-Aufbaus kaum zu erkennen. Der Richtungswechsel muss somit über die Schrägstellung des E-Scooter-Fahrers im Fahrmanöver erkannt werden. Dabei müssen leichte Wankbewegungen, zum Beispiel aufgrund einer Positionsänderung der Beine, nicht zwingend eine Abbiegeabsicht anzeigen.

In **BILD 9** ist ein abbiegender E-Scooter ( $v = 20 \text{ km/h}$ ) aus der Perspektive eines nachfolgenden Fahrzeugs gezeigt. Die Positionen aus den Einzelbildern sind in **BILD 10** aus der Vogelperspektive zu sehen. Der E-Scooter durchfährt mit Maximalgeschwindigkeit (circa  $20 \text{ km/h}$ ) einen Viertelkreis mit einem Radius von  $r = 7,7 \text{ m}$ . Hieraus resultiert eine „realistische“ Querbeschleunigung von  $a_{\text{quer}} = 4 \text{ m/s}^2$ .



**BILD 7:** Überlagerte Einzelbilder einer E-Scooter-Kreisfahrt  
**FIGURE 7:** Image superposition of an electric scooter circle course

Der gesamte Fahrvorgang wurde durch sechs Kameras gefilmt, um eine räumliche und zeitliche Zuordnung zu ermöglichen. Die Aufnahme der Kamera des nachfolgenden Fahrzeugs in Bild 9 erfolgte mit einer Bildfrequenz von 24 Hz, die dargestellten Positionen sind in Bild 10 aus der Vogelperspektive markiert.

In der Position A von Bild 9 ist noch keine Schrägstellung des E-Scooter-Fahrers zu erkennen. Eine halbe Sekunde später weist der E-Scooter-Fahrer in der Position B eine Schräglage von ungefähr  $10^\circ$  auf, aus der sich der Beginn einer Kurvenfahrt ableiten lässt. Hierauf weist auch das leicht nach links versetzte Vorderrad des E-Scooters im Vergleich zum Hinterrad hin. In der Position B hat der E-Scooter eine Strecke von weniger als 1 m auf dem Viertelkreis zurückgelegt, befindet sich also fast noch am Anfang der Kreisfahrt.

Setzt man die Position B als Signalposition, so kann eine Abwehrhandlung erst nach einer Reaktionsdauer von 1 s erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt befindet sich der E-Scooter in der Position C und hat sich relativ zur Position B um 5,5 m entlang des Viertelkreises fortbewegt. Der Querversatz relativ zur ursprünglichen Spur beträgt 2,8 m, was in etwa dem Querversatz bei einem



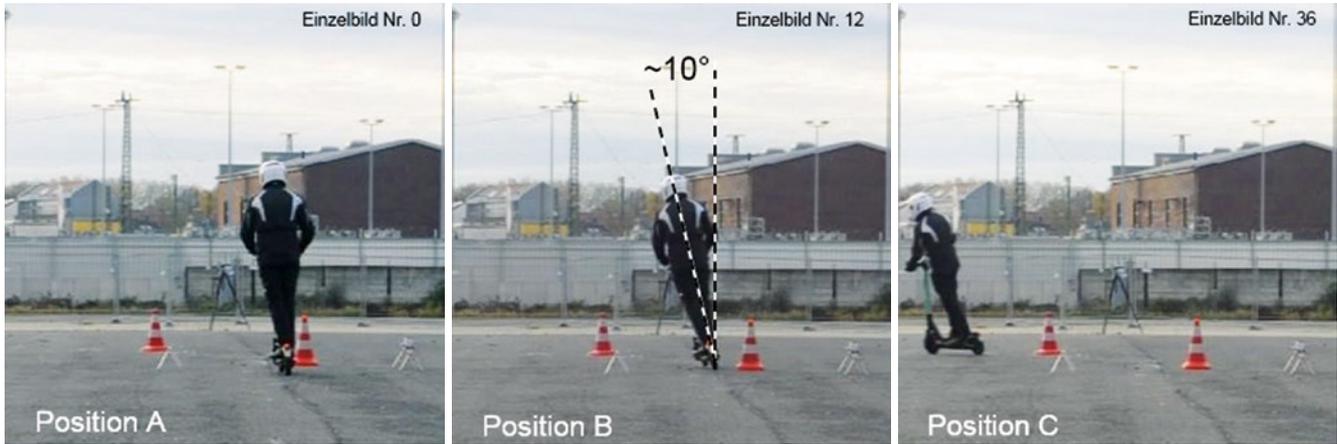
**BILD 8:** Anzeigen der Fahrtrichtung mittels Handzeichen  
**FIGURE 8:** Showing the direction of travel by means of a hand gesture

Spurwechselvorgang entspricht. Ein überholender Fahrzeugführer hat somit keine Möglichkeit, auf das Fahrmanöver des E-Scooter-Fahrers rechtzeitig zu reagieren. Durch installierte Fahrtrichtungsanzeiger sollte dem E-Scooter-Fahrer die Möglichkeit gegeben werden, eher auf seinen Abbiegevorgang hinzuweisen. Da Handzeichen die Fahrstabilität negativ beeinflussen, und diese daher von E-Scooter-Fahrern im Straßenverkehr nur sehr selten benutzt

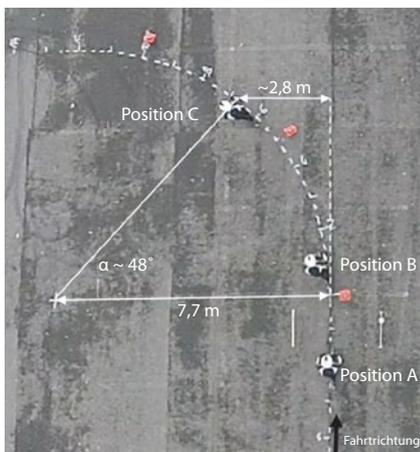
werden, sollten Fahrtrichtungsanzeiger bei E-Scootern verpflichtend werden.

#### 4 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurde ein erster Einblick bezüglich unfallrelevanter Parameter von E-Scootern vermittelt. E-Scooter beschleunigen mit rund  $1,0\text{--}1,5\text{ m/s}^2$ , wobei die Beschleunigung in Annäherung an die Höchstgeschwindigkeit von  $20\text{ km/h}$



**BILD 9:** Kurvenfahrt auf einem Viertelkreis: Ansicht von hinten  
**FIGURE 9:** Curving on a quadrant: view from behind



**BILD 10:** Kurvenfahrt auf einem Viertelkreis aus der Vogelperspektive  
**FIGURE 10:** Curve on a quadrant from a bird's eye view

abnimmt. Die Beschleunigung von E-Scootern liegt somit zwischen langsamen und schnellen Pedelecs, bleibt aber hinter typischen Beschleunigungen von Kraftfahrzeugen mit Verbrennungsmotoren zurück. Die laut eKFV geforder-

ten Bremsverzögerungen von  $3,5 \text{ m/s}^2$  werden von (fast) allen E-Scootern erreicht und teilweise deutlich (bis über  $6 \text{ m/s}^2$ ) überschritten.

Fahrdynamische Untersuchungen zeigen, dass mit einem E-Scooter Querbeschleunigungen von mehr als  $5 \text{ m/s}^2$  realisierbar sind. Dadurch können schnelle und wendige Fahrmanöver durchgeführt werden, die von anderen Verkehrsteilnehmern nicht rechtzeitig zur Unfallvermeidung erkannt werden können, wenn vorher kein Handzeichen gegeben wurde. Da das Geben von Handzeichen die Fahrstabilität negativ beeinflusst, werden Handzeichen im Straßenverkehr nur sehr selten beobachtet. Um trotzdem auf E-Scooter-Fahrer reagieren zu können, sollten Fahrtrichtungsanzeiger für diese verpflichtend werden.

**Literaturhinweise**

[1] Ahlswede A. Anzahl der E-Scooter in Deutschland nach ausgewählten

Städten im Juli 2019. Statista.com. 2019.

[2] Verordnung über die Teilnahme von Elektrokraftfahrzeugen am Straßenverkehr. Bundesgesetzblatt Teil I S. 756. 06. Juni 2019.  
 [3] Fischer H. Pedelecs – Rechtliche Grundlagen, technische Eigenschaften, Beschleunigungs- und Bremsversuche. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik. 2015; Heft 2.  
 [4] Schmedding K, Büscher W. Anfahrbeschleunigungen von motorisierten Zweirädern. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik. 1994; Heft 3.  
 [5] Krause R. Anfahrbeschleunigungen im alltäglichen Straßenverkehr. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik. 2002; Heft 4.  
 [6] Siemer B., Hoger T., DAR, 12/2019.

**\*Autoren**

Felix Jung erarbeitet seine Bachelor-Thesis an der Technischen Hochschule Lübeck in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Schal&Meyer in Lübeck/Schwerin.

Dr. rer. nat. Björn Siemer arbeitet im Ingenieurbüro Schmedding in Oldenburg.

Dipl.-Ing. Stephan Schal ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und Fahrzeugtechnik und Inhaber des Ingenieurbüros Schal&Meyer in Lübeck/Schwerin.

Dr. rer. nat. Tim Hoger ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle und arbeitet im IB Schimmelpfennig + Becke in Münster. ::

**Electric pedal scooters – legal basics, acceleration, braking and driving dynamics tests**  
 This paper provides an insight into accident relevant parameters of a new, constantly growing group of road users: the electric pedal-scooters (E-Scooters). First of all, the legal basis for electric scooters is explained. The main part deals with driving tests in which test persons carried out acceleration, braking and driving dynamics tests. The results provide initial indications for accident reconstruction and help to answer the question of the extent to which very small electric vehicles are comparable with other vehicles that have already been approved for use on the road.