

Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 125

bast

Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

von

Maxim Bierbach
Thorsten Adolph
Alexander Frey
Bernhard Kollmus
Oliver Bartels
Heike Hoffmann
Armin-Laszlo Halbach

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bergisch Gladbach

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 125

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M - Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, dass die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt bei der Carl Ed. Schünemann KG, Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen, Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in der Regel in Kurzform im Informationsdienst **Forschung kompakt** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos angeboten; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit.

Ab dem Jahrgang 2003 stehen die **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)** zum Teil als kostenfreier Download im elektronischen BASt-Archiv ELBA zur Verfügung.
<http://bast.opus.hbz-nrw.de>

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt F1100.5115001:
Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Herausgeber

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon: (0 22 04) 43 - 0

Redaktion

Stabsstelle Presse und Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Fachverlag NW in der
Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7, D-28195 Bremen
Telefon: (04 21) 3 69 03 - 53
Telefax: (04 21) 3 69 03 - 48
www.schuenemann-verlag.de

ISSN 0943-9307
ISBN 978-3-95606-410-4

Bergisch Gladbach, November 2018



Kurzfassung – Abstract

Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Ziel des Projektes war es zu ermitteln, ob und wenn ja unter welchen Bedingungen Elektrokleinstfahrzeuge im Straßenverkehr sicher betrieben werden können, welche technischen Anforderungen dafür notwendig sind und welches Konfliktpotential zu anderen Verkehrsteilnehmern zu erwarten ist.

Stehend gefahrene (d.h. Fahrzeuge ohne Sitz z.B. Tretroller mit Elektrounterstützung) und selbstbalancierende Elektrokleinstfahrzeuge (z.B. dem Segway ähnliche) konnten bis 2016 nach der Rahmenrichtlinie 2002/24/EG (Typgenehmigungsvorschrift für Krafträder/Kategorie L-Fahrzeuge), die nun außer Kraft ist, genehmigt werden. Die dort genannten Anforderungen wurden durch die Elektrokleinstfahrzeuge größtenteils nicht erfüllt. Seit 2016 gilt die neue Typgenehmigungs-Verordnung (EU) 168/2013 für Krafträder. Nach dieser Verordnung kann die Genehmigung solcher Elektrokleinstfahrzeuge national geregelt werden, da die Verordnung diese definitiv vom Anwendungsbereich ausschließt. Um bei diesen Fahrzeugen national über eine Genehmigungsfähigkeit entscheiden zu können, wird zum einen eine Einschätzung zur Verkehrssicherheit solcher Fahrzeuge benötigt. Zum anderen müssen aus fahrdynamischen Versuchen Erkenntnisse gewonnen werden, um diese Fahrzeuge klassifizieren zu können und um jeweils Anforderungen festlegen zu können.

Die BAST hat im Rahmen dieses Forschungsprojektes Vorschläge für eine derartige Klassifizierung von bestimmten Elektrokleinstfahrzeugen und für die zu stellenden technischen Anforderungen an diese Fahrzeuge erarbeitet, um diese Fahrzeuge sicher im Straßenverkehr verwenden zu können.

In dem Forschungsprojekt wurden Elektrokleinstfahrzeuge in vier Teilstudien untersucht: Betrachtungen zur aktiven und passiven Sicherheit, zum Nutzerverhalten und zur Risikobewertung sowie zur Verkehrsfläche. Dabei wurde aufgezeigt, dass es möglich ist, neue Kategorien mit bestimmten Mindestanforderungen zu bilden. Es wird empfohlen, diese Anforderungen einzuhalten, sollten Elektrokleinstfahrzeuge zukünftig im öffentlichen Verkehr betrieben werden können und dürfen.

Seitens der aktiven Sicherheit wurden mit Hilfe von fahrdynamischen Versuchen und technischen Untersuchungen Anforderungen erarbeitet, die das verkehrssicherheitstechnische Risiko bestmöglich minimieren. Weiterhin wurden Empfehlungen in Bezug auf die passive Sicherheit von Elektrokleinstfahrzeugen ausgesprochen, die ein Sicherheitsniveau gewährleisten, das ähnlich zu heutigen bestehenden Fahrzeugen ist. Das subjektive Fahrverhalten zeigte, dass Elektrokleinstfahrzeuge grundsätzlich sicher vom Fahrer kontrollierbar sind, solange bestimmte Systemgrenzen eingehalten werden. Hinsichtlich der Aspekte des Nutzerverhaltens wurden Schutzausrüstung und das Kräfteverhältnis zu anderen Verkehrsteilnehmern bewertet. In Abhängigkeit von den vorgeschlagenen Fahrzeugkategorien werden entsprechende Verkehrsflächen für die Benutzung empfohlen, basierend auf der im öffentlichen Verkehr analysierten subjektiven Sicherheit und basierend auf einer Analyse des Konfliktpotenzials gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern.

Aus allen Ergebnissen des Projektes wurden Empfehlungen für die Nutzung der Verkehrsflächen sowie Anforderungen an die (sicherheits-) technische Ausstattung für die neu vorgeschlagenen Elektrokleinstfahrzeuge-Kategorien abgeleitet, die jeweils an Anforderungen für die bereits existierenden Fahrzeugkategorien „Leichtmofa“ bzw. „Mofa“ angelehnt sind

Examination of very small electric vehicles

The aim of this project was to determine whether and under which conditions very small electric vehicles so called Personal Light Electric Vehicles (PLEV) can be operated safely in road traffic, which technical requirements need to be satisfied and which potential conflicts with other road users are to be expected.

PLEV are those vehicles without a seat such as electric kick scooters and self-balancing vehicles (e.g. similar to the Segway). They could be approved up to 2016 in accordance with the Framework Directive 2002/24/EC (Type-approval of two or

three-wheel motor vehicles / category L vehicles), which is no longer in force. The new Type Approval Regulation (EU) No. 168/2013 for two or three-wheel vehicles and quadricycles has been in force since 2016. However, PLEV of this type are out of the scope of this regulation. Instead the approval can be regulated at a national level. An assessment of the traffic safety of such vehicles is required on the one hand to be able to decide on whether they can be approved. On the other hand vehicle dynamics tests are needed to provide information for the classification of these vehicles and the stipulation of the respective requirements.

In this research project, the Federal Highway Research Institute (BAST) prepared suggestions for a classification of this type of specific small electric vehicles and for the technical requirements to be placed on them so that they may be used safely in road traffic.

PLEV were investigated in four sub-studies: considerations with regard to active and passive safety, user behavior and risk assessment as well as traffic area. It emerged that it is possible to propose new categories of PLEV with certain minimum requirements. It is recommended that PLEV should comply with these requirements to be allowed to be driven in traffic.

With respect to active safety, requirements were elaborated using vehicle dynamics tests and technical experiments to minimise road safety risks as best as possible. Furthermore, recommendations were made for passive safety of PLEV. The subjective driving behaviour showed that PLEV can be controlled safely by the driver as long as certain system limits are not exceeded. As far as the aspects of user behaviour are concerned, protective equipment and the interaction with other road users were assessed. Depending on the proposed vehicle categories, corresponding traffic areas are recommended for use, based on the analysis of subjective safety and of the potential conflicts with other road users.

Recommendations were derived from all results of the different project parts with regard to the use of road areas and the requirements for (safety-related) technical equipment for the newly proposed PLEV categories. The requirements are based on those for the existing vehicle categories "light moped" and "moped".

Inhalt

Abkürzungen	7	4.2.1	Sicherheitstechnische Betrachtung.....	25
1 Einleitung, Problem, Fragestellungen, Ziele	9	4.2.2	Funktionale Sicherheit.....	28
1.1 Hintergrund	9	4.2.3	Elektrische Sicherheit.....	29
1.2 Ziele	9	4.2.4	Allgemeine Aspekte zu Elektrokleinstfahrzeugen	29
2 Übersicht zum aktuellen Stand	9	4.3	Schlussfolgerung aus Sicht der aktiven Sicherheit	32
2.1 Bereits bestehende Fahrzeugkategorien.....	9	4.3.1	Vorschlag für neue Kategorien und deren Anforderungen.....	32
2.2 Charakteristische Merkmale bestehender Fahrzeugkonzepte.....	10	4.3.2	Fahrzeuge, die nicht unter die Kategorievorschläge fallen	35
2.3 Rechtliche Hinweise zur Benutzung von Verkehrsflächen	11	5 Betrachtungen zur passiven Sicherheit		35
2.4 Vorhandene Bezeichnungen kleiner leichter Fahrzeuge	14	5.1	Einleitung	35
2.5 Situation im Ausland	14	5.2	Persönliche Schutzausrüstung (innere Sicherheit).....	36
2.5.1 Schweiz.....	14	5.2.1	Grundlagen / Literaturrecherche	36
2.5.2 Spanien.....	15	5.2.2	Anforderungen an die persönliche Schutzausrüstung.....	37
2.5.3 Finnland	15	5.2.3	Generelle Betrachtungen zum Kopfanprall.....	38
2.5.4 Niederlande	16	5.2.4	Helme für S-Pedelecs	38
2.5.5 Österreich	16	5.2.5	Ausführungen zur Helmpflicht.....	39
2.5.6 Frankreich	16	5.2.6	Nachteilige Wirkungen von Schutzhelmen	40
2.5.7 Schweden	16	5.2.7	Weitere persönliche Schutzausrüstung	40
2.6 Grenzübertritt.....	17	5.2.8	Auswertung der Befragung	40
3 Projektaufbau	18	5.2.9	Schlussfolgerung persönliche Schutzausrüstung.....	40
3.1 Gliederung des Projektes.....	18	5.3	Beurteilung des Risikos für andere Verkehrsteilnehmer (äußere Sicherheit)	41
3.2 Versuchsfahrzeuge.....	18	5.3.1	Generelle Betrachtungen	41
3.3 Verwendete Schutzausrüstung	18	5.3.2	Literatur zum Gefährdungspotenzial von Elektrokleinstfahrzeugen	41
4 Betrachtungen zur aktiven Sicherheit	20	5.3.3	Anforderungen an bestehende Fahrzeugkonzepte.....	42
4.1 Fahrdynamische Untersuchungen.....	21	5.3.4	Gefährdungspotenzial der Versuchsfahrzeuge.....	44
4.1.1 Fahrmanöver	21			
4.1.2 Messdatenerfassung	21			
4.1.3 Fahrdynamische Untersuchungen: Versuchsdurchführung, Erkenntnisse und Empfehlungen	21			
4.2 Technische Anforderungen.....	24			

5.3.5	Schlussfolgerung zum Risiko für andere Verkehrsteilnehmer	45	9.1	Selbstbalancierende Elektrokleinstfahrzeuge	83
6	Betrachtungen zum Nutzerverhalten und zur Risikobewertung	45	9.1.1	Selbstbalancierende Einräder	83
6.1	Ausgangslage und Fragestellung	45	9.1.2	Selbstbalancierende, im Stehen gefahrene Fahrzeuge ohne Griff oder einer Lenkstange, zweirädrige Balanceboards, sogenannte Hover Boards.....	84
6.2	Methode	46	9.1.3	Selbstbalancierende, im Stehen gefahrene Fahrzeuge mit Lenkeinrichtung.....	84
6.2.1	Stichprobe	46	9.2	Im Stehen gefahrene Fahrzeuge	85
6.2.2	Versuchsfahrzeuge	46	9.2.1	Elektrische Skateboards.....	85
6.2.3	Versuchsgelände und Fahrmanöver.....	46	9.2.2	Einspurige, im Stehen gefahrene Fahrzeuge: elektrifizierte Tretroller / Elektroroller beziehungsweise Elektro-Scooter.....	85
6.2.4	Versuchsmaterial	48	9.2.3	Zweispurige, im Stehen gefahrene Fahrzeuge.....	86
6.2.5	Schutzausrüstung	49	9.3	Weitere Beispiele für Elektrokleinstfahrzeuge (ohne Räder, nicht selbstbalancierende oder im Stehen gefahrene)	87
6.2.6	Versuchsdesign	49	10	Zusammenfassung.....	87
6.2.7	Versuchsdurchführung	49		Literaturverzeichnis.....	88
6.3	Ergebnisse	51		Anhang	90
6.3.1	Stichprobencharakteristika	51	A.1	Gesetzliche Regelung zu den technischen Anforderungen bestehender Fahrzeugkategorien.....	90
6.3.2	Allgemeine Auswertungen für alle Fahrzeuge.....	52	A.2	Kurzbewertung des Fahrzeugs kickTrike....	91
6.3.3	Segway i2	55	A.3	Dokumentationsbogen „Nutzerverhalten und Risikobewertung“ der Versuchsleiter ..	92
6.3.4	Robstep Robin M1.....	58	A.4	Fragebogen zur Studie „Nutzerverhalten und Risikobewertung“	93
6.3.5	MobilityCube	61	A.5	Fragebogen zur Studie „Betrachtungen zur Verkehrsfläche“	104
6.3.6	Trikke Electric eV6.1.....	64	Bilder	110	
6.3.7	Evoking 3.0 EEC-45	66	Tabellen.....	113	
6.3.8	EGRET ONE V3.....	69			
6.4	Schlussfolgerung zum Nutzerverhalten und Risikobewertung	72			
7	Betrachtungen zur Verkehrsfläche	73			
7.1	Einleitung	73			
7.2	Befahrene Verkehrsflächen/ Fahrtroute	73			
7.3	Durchführung und Auswertung der Versuchsfahrten.....	74			
7.4	Schlussfolgerung zur Verkehrsfläche.....	77			
8	Empfehlungen für Anforderungen und neue Kategorien	78			
9	Bewertung von Fahrzeugkonzepten hinsichtlich einer möglichen Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr	82			

Abkürzungen

AusIPflVG	Gesetz über die Haftpflichtversicherung für ausländische Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger	U	Teststatistik
		UDV	Unfallforschung der Versicherer
bbH	Bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit	UN-R	Regelung der United Nations
		VTs	Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge
ESFz	Einspurfahrzeuge		
Euro NCAP	European New Car Assessment Programme	VwV-StVO	Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung
FEM	Finite Element Modelle	WAD	Wrap Around Distance
FmH	Fahrrad mit Hilfsmotor	WÜ	Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968
FZV	Fahrzeug-Zulassungsverordnung		
GDV	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.	z	Teststatistik
GG	Grundgesetz		
HIC	Head Injury Criterion		
HPC	Head Protection Criterion		
HU	Hauptuntersuchung		
KFG	Kraftfahrgesetz		
M	Mittelwert		
MESFz	motorisierter Einspurfahrzeuge		
MobHV	Mobilitätshilfenverordnung		
rs	Spearman-Rangkorrelationskoeffizient		
SBS	Störbewertungsskala		
SE	Standardfehler		
StVG	Straßenverkehrsgesetz		
StVO	Straßenverkehrs-Ordnung		
StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung		
SUFEHM	Universität Straßburg		
t	Teststatistik		

1 Einleitung, Problem, Fragestellungen, Ziele

1.1 Hintergrund

Zur Erlangung einer Typgenehmigung unterlagen kleine und leichte Fahrzeuge bisher den harmonisierten europäischen Regelungen. Sie waren deshalb als Fahrzeug der Klasse L1e (falls zweirädrig), L2e (falls dreirädrig) oder L6e (falls vierrädrig) gemäß der Richtlinie 2002/24/EG für die Typgenehmigung von zwei- oder dreirädrigen Kraftfahrzeugen einzustufen, mit allen Konsequenzen, die dies z. B. für die Erteilung von Kennzeichen, die Haftpflichtversicherung und in Verbindung mit der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) für die Fahrbahnbenutzung hat.

Seit Januar 2016 gilt die neue Typgenehmigungsverordnung (EU) 168/2013, die stehend gefahrene und/oder selbstbalancierende Fahrzeuge explizit vom Anwendungsbereich ausschließt, so dass diese von den EU-Mitgliedstaaten jeweils national geregelt werden können.

Vor diesem Hintergrund wurde die BASt beauftragt, sich einen Marktüberblick über die in Betracht kommenden Elektrokraftfahrzeuge zu verschaffen und zu prüfen, ob diese Elektrokraftfahrzeuge kategorisiert werden können, so dass sie dann unter bestimmten technischen und verhaltensrechtlichen Voraussetzungen ggf. im öffentlichen Straßenverkehr bewegt werden können.

Diese Voraussetzungen sollten designneutral auf Basis zu gewährleistender Minimalanforderung an die Verkehrssicherheit und der zur Verfügung stehender Verkehrsinfrastruktur definiert werden.

1.2 Ziele

Im Rahmen des Projektes „Untersuchung zu Elektrokraftfahrzeugen“ sollen kleine, leichte stehend gefahrene und / oder selbstbalancierende Fahrzeu-

ge hinsichtlich der Straßenverkehrssicherheit bewertet werden. Dabei werden Aspekte zu technischen Anforderungen, zur Fahrdynamik, zur Schutzausrüstung und zu Konfliktpotenzialen im Straßenverkehr mit anderen Verkehrsteilnehmern genauso betrachtet wie die Bewertung und Akzeptanz durch Nutzer der Fahrzeuge sowie die Auswahl jeweils geeigneter Verkehrsflächen (Fahrbahn, Rad- oder Gehweg).

Mit Hilfe der Untersuchung exemplarischer Versuchsfahrzeuge sollen die Erkenntnisse auf jeweils ähnliche Fahrzeugarten übertragen werden. Es sollen Vorschläge, ob und falls ja unter welchen Voraussetzungen solche Fahrzeuge sicher im Straßenverkehr betrieben werden können, erarbeitet werden. Schließlich sollen Empfehlungen abgeleitet werden, die die Basis für mögliche Zulassungskriterien darstellen können.

2 Übersicht zum aktuellen Stand

2.1 Bereits bestehende Fahrzeugkategorien

Im Straßenverkehrsgesetz (StVG) wird eindeutig definiert, was unter den Begriff Kraftfahrzeuge fällt: Nach § 1 Abs (2) StVG heißt es: Als Kraftfahrzeuge im Sinne dieses Gesetzes gelten Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Bahngleise gebunden zu sein. Damit ist klar geregelt, dass Elektrokraftfahrzeuge unabhängig von ihrer Motorleistung oder der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit (bbH) als Kraftfahrzeuge anzusehen sind.

Nach derzeitiger Einstufung (s. Bild 1) erfüllen die meisten Elektrokraftfahrzeuge nicht die Anforderungen der bestehenden Fahrzeugklassen und können daher zurzeit keine Betriebserlaubnis erhalten.

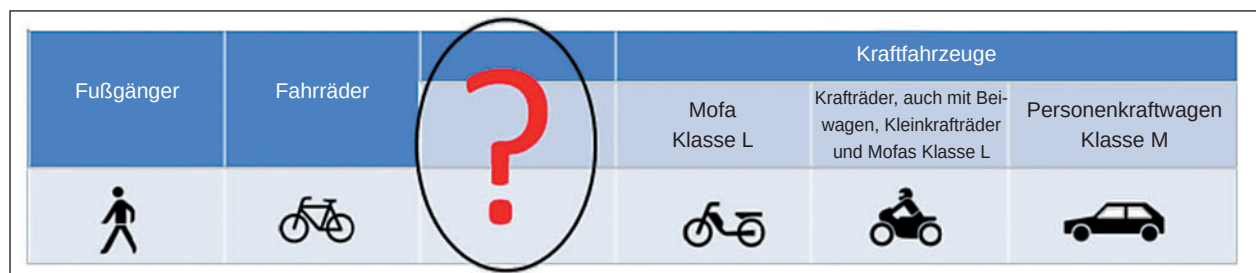


Bild 1: Lücke in der Einstufung verschiedener Fortbewegungsmittel

Zurzeit sind in Deutschland nur selbstbalancierende Elektrokleinstfahrzeuge geregelt, die unter die Mobilitätshilfenverordnung (MobHV) fallen, deren Anwendungsbereich in Kapitel 3.3 samt weiteren Informationen aufgeführt ist. Besonders die Fahrzeuge des Herstellers Segway prägten frühzeitig den durch die MobHV umschriebenen Markt, was dazu führte, dass dieser Markenname umgangssprachliche für diese Fahrzeugart verwendet wird.

Zur Abgrenzung von Elektrokleinstfahrzeugen gegenüber anderen Fahrzeugen werden im Folgenden die Begriffe Pedelec 25, Pedelec 45 und E-Bike erläutert:

Pedelec 25 werden nach § 1 Absatz 3 Straßenverkehrsgesetz als Fahrräder eingestuft: Keine Kraftfahrzeuge im Sinne dieses Gesetzes sind Landfahrzeuge, die durch Muskelkraft fortbewegt werden und mit einem elektromotorischen Hilfsantrieb mit einer Nenndauerleistung von höchstens 0,25 kW ausgestattet sind, dessen Unterstützung sich mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit progressiv verringert und

1. beim Erreichen einer Geschwindigkeit von 25 km/h oder früher,
2. wenn der Fahrer im Treten einhält,

unterbrochen wird. Satz 1 gilt auch dann, soweit die in Satz 1 bezeichneten Fahrzeuge zusätzlich über eine elektromotorische Anfahr- oder Schiebehilfe verfügen, die eine Beschleunigung des Fahrzeuges auf eine Geschwindigkeit von bis zu 6 km/h, auch ohne gleichzeitiges Treten des Fahrers, ermöglicht. Für Fahrzeuge im Sinne der Sätze 1 und 2 sind die Vorschriften über Fahrräder anzuwenden.

Unter Pedelec 45 bzw. Speed-Pedelec versteht man ein elektrisches Kleinkrafttrad, das bis 20 km/h rein elektrisch fahren kann und bis 45 km/h mit bis zu 0,5 kW Nenndauerleistung beim Tret unterstützen kann. Hier gelten entsprechende Vorschriften in Bezug auf Fahrerlaubnis, Versicherungspflicht, Helmpflicht Betriebserlaubnis etc.

E-Bikes im Sinne der neuen StVO Regelung sind einsitzige zweirädrige Kleinkraftträder mit elektrischem Antrieb, der sich bei einer Geschwindigkeit von mehr als 25 km/h selbsttätig abschaltet. Darunter fallen einspurige Fahrzeuge, die sich mit Hilfe des Elektroantriebs durch einen Drehgriff oder Schaltknopf mit einer Geschwindigkeit von bis zu 25 km/h fahren lassen, auch ohne dass der Fahrer

gleichzeitig in die Pedale tritt. Sie sind nicht zulassungs- aber versicherungspflichtig, benötigen daher ein Versicherungskennzeichen und eine Betriebserlaubnis. Fahrer müssen über eine Mofa-Prüfbescheinigung verfügen und einen geeigneten Schutzhelm tragen. Die Fahrzeuge ähneln den früher gebräuchlichen Mofas mit Verbrennungsmotor, die zunehmend vom Markt verschwinden (BMVI).

Hierzu heißt es weiter:

Zu diesen Fahrzeugen zählen auch Kleinkraftträder bis 45 km/h der Klasse L1e der EU VO 168/2013, wenn ihre Bauart Gewähr dafür bietet, dass die Höchstgeschwindigkeit auf ebener Strecke auf höchstens 25 km/h beschränkt ist.

2.2 Charakteristische Merkmale bestehender Fahrzeugkonzepte

Neben der analytischen Bewertung von Elektrokleinstfahrzeugen wurden bestehenden Fahrzeugkonzepte (von unmotorisierten Tretrollern bis hin zu Kleinkraftträdern) auf ihre Verwendung und rechtliche Einstufung untersucht. Dabei wurden Fragen beispielsweise hinsichtlich der Nutzung der Verkehrsfläche (siehe Kapitel 3.3), der Helmpflicht, der Maximalgeschwindigkeit aber auch der Versicherungspflicht erörtert. Allerdings sind die betrachteten Eigenschaften sehr vielseitig. Um einen Überblick darzustellen, wird in Tabelle 1 für die in Frage kommenden bestehenden Fahrzeugkonzepte eine Auswahl verschiedener Anforderungen an diese Fahrzeuge aufgeführt. Die gesetzlichen Regelungen zu den Anforderungen sind in Anhang aufgeführt.

Hierbei wurden die folgenden Fahrzeugkonzepte betrachtet:

- Fahrrad
- Pedelec (25 km/h)
- Pedelec (45 km/h)
- E-Bike (25 km/h)
- Leichtmofa
- Mofa (Kleinkrafttrad 25)
- Kleinkrafttrad 45
- Segway
- Tretroller/Skateboard (ohne Motor)
- Inlineskates und Rollschuhe nach § 31 StVO

	Fahrrad	Pedelec 25	Pedelec 45	Leichtmofa	Kleinkraft- rad 25 / E-Bike/ Mofa	Klein- kraft- rad 45	Segway	Tretroller/ Skate- board (ohne Motor)	Inline- skates und Roll- schuhe
Helmpflicht	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
bbH bzw. Höchst- geschwindigkeit mit Motorunter- stützung	Keine	25	45	20	25	45	20	Keine	Keine
Versicherungs- pflicht	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Kennzeichen	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Führer- scheinklasse	Ohne	Ohne	AM	Mofa-Prüf- scheinigung	Mofa-Prüf- scheinigung	AM	Mofa-Prüf- scheinigung	Ohne	Ohne
Mindestalter, (Jahre)	Nein	Nein	Ja, (16)	Ja, (15)	Ja, (15)	Ja, (16)	Ja, (15)	Nein	Nein
Fahrtrichtungs- anzeiger, wenn „Nein“, dann Handzeichen	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
lichttechnische Einrichtungen	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein
Rückspiegel, (Anzahl)	Nein	Nein	Ja, (1)	Ja, (1)	Ja, (1)	Ja, (1)	Nein	Nein	Nein

Tab 1: Anforderungen an bestehende Fahrzeugkonzepte.

2.3 Rechtliche Hinweise zur Benutzung von Verkehrsflächen

Laut StVO müssen Fahrzeuge die Fahrbahn benutzen. Für Radfahrer gilt dies nicht, wenn eine Benutzungspflicht von Radverkehrsanlagen mittels Zeichen 237, 240 oder 241 StVO (s. u.) angeordnet ist. Ohne ein solches Zeichen dürfen vorhandene Radverkehrsanlagen benutzt werden. Rechte Seitenstreifen dürfen benutzt werden, wenn dadurch Fußgänger nicht behindert werden. Mofas dürfen außerhalb geschlossener Ortschaften Radwege benutzen (§ 2 StVO). Außerdem können Gehwege mittels Zusatzzeichen (s. u.) für den Radverkehr freigegeben werden.

Es existieren folgende Formen der Radverkehrsführung:

- Auf der Fahrbahn
 - Mischverkehr mit Kraftfahrzeugen ohne Schutzstreifen
 - Schutzstreifen, welche mittels Z 340 StVO (Leitlinie) markiert werden, die nicht beparkt und durch den fließenden Kfz-Verkehr nur bei

Bedarf überfahren werden dürfen, ohne dabei den Radfahrer zu gefährden.

• Fahrbahnbegleitende Radwege

- Radfahrstreifen auf Fahrbahnniveau, die durch Z 295 StVO (Fahrbahnbegrenzung) markiert werden und durch Kfz nicht beparkt oder befahren werden dürfen.
- Radwege, die von der Fahrbahn bzw. Flächen des ruhenden Verkehrs durch einen Sicherheitstrennstreifen separiert werden und im Ausnahmefall auch im Zweirichtungsradverkehr geführt werden können.

Laut StVO sind Radfahrstreifen bzw. Sonderwege (u. a. Radwege sowie gemeinsame Geh- und Radwege) benutzungspflichtig, sofern für diese die Radwegebenutzungspflicht durch mit Z 237, 240 oder 241 StVO angeordnet ist.

Bei Sonderwegen ohne Anordnung durch Z 237, 240 oder 241 StVO besteht keine Verpflichtung für Radfahrer, diese zu benutzen. In der MobHV werden Radverkehrsanlagen jedoch nicht nach angeordneter Benutzungspflicht differenziert, weshalb davon ausgegangen werden kann, dass Fahrzeu-

ge, die in den Regelungsgehalt der MobHV fallen, vorhandene Radverkehrsanlagen stets benutzen müssen.

Nachfolgend wird für die aufgelisteten Führungsformen (abgesehen von der Führung im Mischverkehr mit Kraftfahrzeugen bzw. auf Schutzstreifen) der Sammelbegriff „Radweg“ verwendet. Dieser impliziert die Sonderwege Radweg (Z 237), gemeinsamer Geh- und Radweg (Z 240) sowie getrennter Geh- und Radweg (Z 241) nach StVO, ferner mit Z 237 beschilderte Radfahrstreifen nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Straßenverkehrs-Ordnung (VwV-StVO) bzw. MobHV. Sofern eine weitere Differenzierung erforderlich ist, kommen die Begriffe „gemeinsame Geh- und Radwege, Schutzstreifen, Radfahrstreifen, Radwege“ explizit zur Anwendung. Radwegefurten werden nicht separat benannt.

Für nicht motorbetriebene Fortbewegungsmittel gelten nach § 24 StVO die Vorschriften für den Fußgängerverkehr. Auch Roll- und Krankenfahrstühle sind von der Fahrbahnnutzung nach § 2 StVO ausgenommen:

§ 24 Besondere Fortbewegungsmittel

- (1) Schiebe- und Greifreifenrollstühle, Rodelschlitzen, Kinderwagen, Roller, Kinderfahrräder, Inline-Skates, Rollschuhe und ähnliche nicht motorbetriebene Fortbewegungsmittel sind nicht Fahrzeuge im Sinne dieser Verordnung. Für den Verkehr mit diesen Fortbewegungsmitteln gelten die Vorschriften für den Fußgängerverkehr entsprechend.
- (2) Mit Krankenfahrstühlen oder mit anderen als in Absatz 1 genannten Rollstühlen darf dort, wo Fußgängerverkehr zulässig ist, gefahren werden, jedoch nur mit Schrittgeschwindigkeit.

Als Schrittgeschwindigkeit gilt 4 km/h bis 11 km/h nach aktueller Rechtsprechung.

Sport und Spiel sind nach § 31 StVO auf Fahrbahnen, Seitenstreifen und Radwegen verboten. Ein Zusatzzeichen kann Inline-Skaten und Rollschuhfahren von diesem Verbot ausnehmen:

§ 31 Sport und Spiel

- (1) Sport und Spiel auf der Fahrbahn, den Seitenstreifen und auf den Radwegen sind nicht erlaubt. Satz 1 gilt nicht, soweit dies durch ein die zugelassene Sportart oder Spielart kennzeichnendes Zusatzzeichen angezeigt ist.

- (2) Durch das Zusatzzeichen 1020-13 (s. Bild 2) wird das Inline-Skaten und Rollschuhfahren zugelassen. Das Zusatzzeichen kann auch allein angeordnet sein. Wer sich dort mit Inline-Skates oder Rollschuhen fortbewegt, hat sich mit äußerster Vorsicht und unter besonderer Rücksichtnahme auf den übrigen Verkehr am rechten Rand in Fahrtrichtung zu bewegen und Fahrzeugen das Überholen zu ermöglichen.

Zusätzlich zur StVO regelt die MobHV in § 7 die Verkehrsflächennutzung von Kraftfahrzeugen mit Merkmalen nach § 1 MobHV:

§ 1 Anwendungsbereich, Grundsatz der Verwendung

- (1) Diese Verordnung gilt für Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 20 km/h, die folgende Merkmale aufweisen:
 1. zweispuriges Kraftfahrzeug mit zwei parallel angeordneten Rädern mit integrierter elektronischer Balance-, Antriebs-, Lenk- und Verzögerungstechnik,
 2. eine Gesamtbreite von nicht mehr als 0,7 m,
 3. eine Plattform als Standfläche für einen Fahrer,
 4. eine lenkerähnliche Haltestange, über die der Fahrer durch Schwerpunktverlagerung die Beschleunigung oder Abbremsung sowie die Lenkung beeinflusst,
 5. entspricht den Anforderungen der Richtlinie 72/245/EWG des Rates vom 20. Juni 1972 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über von Fahrzeugen verursachte Funkstörungen (elektromagnetische Verträglichkeit) (ABl. L 152 vom 6.7.1972, S. 15), die zuletzt

Verkehrszeichen nach StVO:		
237	240	241
Zusatzzeichen:		
1020-13	1022-10	

Bild 2: Verkehrszeichen nach StVO

durch die Richtlinie 2006/96/EG (ABl. L 363 vom 20.12.2006, S. 81) geändert worden ist, in der jeweils geltenden Fassung,

6. eine Anzeige für den Energievorrat.

- (2) Fahrzeuge im Sinne des Absatzes 1 (Mobilitätshilfen) sind Kraftfahrzeuge im Sinne der Straßenverkehrs-Ordnung. Sie dürfen nur nach Maßgabe der folgenden Vorschriften auf öffentlichen Straßen verwendet werden.

§ 7 Zulässige Verkehrsflächen, Anforderungen an die Teilnahme am Straßenverkehr

- (1) Wer elektronische Mobilitätshilfen im Verkehr führt, unterliegt den Vorschriften der Straßenverkehrs-Ordnung.
- (2) Innerhalb geschlossener Ortschaften dürfen abweichend von Absatz 1 nur Schutzstreifen, Radfahrstreifen, Radwegesurten und Radwege befahren werden. Wenn solche nicht vorhanden sind, darf auf Fahrbahnen gefahren werden.
- (3) Außerhalb geschlossener Ortschaften dürfen abweichend von Absatz 1 nur Schutzstreifen, Radfahrstreifen, Radwegesurten und Radwege befahren werden. Wenn solche nicht vorhanden sind, darf auf Fahrbahnen von Straßen, die nicht Bundes-, Landes- oder Kreisstraßen sind, und auf Wegen gefahren werden.
- (4) Abweichend von Absatz 1 darf mit elektronischen Mobilitätshilfen von dem Gebot, auf Fahr-

bahnen mit mehreren Fahrstreifen möglichst weit rechts zu fahren, nicht abgewichen werden. Wer elektronische Mobilitätshilfen führt, muss einzeln hintereinander fahren, darf sich nicht an Fahrzeuge anhängen und nicht freihändig fahren. In Fahrradstraßen darf auch nebeneinander gefahren werden. Ist ein Verbot für Fahrzeuge aller Art (Zeichen 250) angezeigt, dürfen elektronische Mobilitätshilfen geschoben werden. Soweit keine Fahrtrichtungsanzeiger vorhanden sind, sind Richtungsänderungen durch Handzeichen anzuzeigen.

- (5) Wer eine Mobilitätshilfe auf anderen Verkehrsflächen als Fahrbahnen führt, muss seine Geschwindigkeit anpassen. Fußgänger haben Vorrang, sie dürfen weder gefährdet noch behindert werden. Radfahrern ist das Überholen zu ermöglichen. Ist eine Richtung durch Zusatzzeichen vorgegeben, so gilt diese entsprechend für den Verkehr mit elektronischen Mobilitätshilfen.
- (6) Abweichend von den Absätzen 1 bis 3 können die Straßenverkehrsbehörden Ausnahmen für das Fahren mit elektronischen Mobilitätshilfen auf anderen Verkehrsflächen für bestimmte Einzelfälle oder allgemein für bestimmte Antragsteller zulassen.

Zur Übersicht ist in Tabelle 2 die erlaubte Nutzung der Verkehrsflächen aufgelistet.

	Innerorts						Außerorts			
	Gehweg		Radweg		Fahrbahn		Radweg		Fahrbahn	
Tretroller / Skateboard (o. Motor)	ja	1	nein	2	nein	2	nein	2	nein	2
Inlineskates und Rollschuhe	ja	1	nein	3	nein	3	nein	3	nein	3
Fahrrad	nein	4	ja	5	ja	6	ja	5	ja	6
Pedelec (Pedelec 25)	nein	4	ja	5	ja	6	ja	5	ja	6
Segway	nein	7	ja	7	ja	8	ja	7	ja	9
Leichtmofo	nein	5	nein	10	ja	5	ja	5	ja	5
Kleinkraftad 25 / E-Bike	nein	5	nein	11	ja	5	ja	5	ja	5
Kleinkraftad 25 / Mofa	nein	5	nein	10	ja	5	ja	5	ja	5
Speed-Pedelec (Pedelec 45)	nein	5	nein	5	ja	5	nein	5	ja	5
Kleinkraftad 45	nein	5	nein	5	ja	5	nein	5	ja	5

Legende:

1 nach § 24 StVO

2 nach § 31 StVO

3 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben, nach § 31 StVO(Nr. 1020-13)

4 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben (Nr. 1022-10); nach § 2 StVO

5 nach § 2 StVO

6 außer wenn eine benutzungspflichtige Radverkehrsanlage vorhanden ist und nicht verboten (z. B. durch Z 254); nach § 2 StVO

7 nach MobHV § 7

8 wenn keine Radverkehrsanlage vorhanden

9 wenn keine Radverkehrsanlage vorhanden, aber nicht auf B-, L-, K-Straßen; nach MobHV § 7

10 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben (Nr. 1022-11/-14/-15 jeweils gemäß Entwurf Bundesrats-Drucksache 85/17); nach § 2 StVO

11 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben (Nr. 1022-13/-15; 1026-63 jeweils gemäß Entwurf Bundesrats-Drucksache 85/17)

Tab. 2: Nutzung der Verkehrsfläche.

2.4 Vorhandene Bezeichnungen kleiner leichter Fahrzeuge

Kleine elektrifizierte Fahrzeuge sind für unterschiedlichste Zwecke, meist beschränkt auf die Nutzung auf Privatgeländen, bereits auf dem Markt erhältlich. So unterschiedlich wie die Nutzung (Individualverkehr, Gütertransport, Spaß- oder Spielgerät), so unterschiedlich sind auch die bestehenden Bezeichnungen, mit der Absicht solche Fahrzeuge in Fahrzeuggattungen einzuteilen. Folgende (inoffizielle) Fahrzeugklassen sollen daher kurz aufgeführt werden:

- Personal Transportation Vehicle (PTV) bezeichnet in Amerika Fahrzeuge, die häufig auf Golfplätzen eingesetzt werden und mehrere Personen befördern können (NGCMA, 2012).
- Light Electric Vehicle (LEV) umfasst generell elektrisch angetriebene oder unterstützende leichte Fahrzeuge zum Personen- und / oder Warentransport (LEVA, 2015), in ähnlicher Weise als Personal Light Electric Vehicle (PLEV) angegeben (prEN 17128).
- Mikromobilität, umschreibt allgemein Mobilitätsmittel mit kleinen Abmessungen (im Verhältnis zu anderen Verkehrsmitteln wie z. B. dem Pkw) (Ahrend, et al., 2010).

- Elektronische Mobilitätshilfe (eMo), beschreibt eine Klasse selbstbalancierender Fahrzeuge, die durch die MobHV definiert ist (s. Kapitel 3.3).

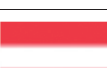
Die oben genannten Fahrzeugbezeichnungen umschreiben teilweise je nach Ausführung und Konstruktion die in diesem Projekt untersuchten Elektrokleinstfahrzeuge, die nicht der EU VO 168/2013 unterliegen, aber auch andere Fahrzeuggruppen.

2.5 Situation im Ausland

Wie bereits in Kapitel 2 beschrieben, gilt seit 2016 die neue Typpengenehmigungs-Verordnung (EU) 168/2013 für Krafträder. Somit müssen die stehend gefahrene und/oder selbstbalancierende Fahrzeuge von den EU-Mitgliedstaaten jeweils national geregelt werden. Tabelle 3 gibt eine Übersicht der Zulässigkeit von Elektrokleinstfahrzeugen im europäischen Ausland.

2.5.1 Schweiz

Laut der Schweizer „Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS)“ vom 1. Juni 2015 werden selbstbalancierende und im Stehen gefahrene Elektrokleinstfahrzeuge (dort bezeichnet als Elektro-Stehroller bzw. Elektrotrottinette/Elektroroller) als Schweizer „Motorfahrrad

	Land	selbstbalancierende Fahrzeuge	stehend gefahrene Fahrzeuge	Bemerkung
	Schweiz	erlaubt	erlaubt	
	Spanien	nicht erlaubt	nicht erlaubt	Teilweise lokale Ausnahmegenehmigungen
	Finnland	erlaubt	erlaubt	Auf Gehwegen erlaubt, wenn Schrittgeschwindigkeit
	Niederlande	erlaubt	erlaubt	
	Österreich	erlaubt	erlaubt	
	Frankreich	erlaubt		Auf Gehwegen erlaubt, wenn Schrittgeschwindigkeit
	Schweden	erlaubt	erlaubt	Auf Gehwegen erlaubt, wenn Schrittgeschwindigkeit

Tab. 3: Übersicht der Zulässigkeit von Elektrokleinstfahrzeugen im Ausland

(Mofa)“ eingestuft. Genauer gesagt gibt es zwei verschiedene Unterkategorien innerhalb der Motorfahrräder: Elektro-Stehroller umfassen ein- oder zweirädrige selbstbalancierende Fahrzeuge während Elektrotrottinette/Elektroroller in die Unterkategorie Leicht-Motorfahrräder fallen. Beim Benutzen von Motorfahrrädern sind die gleichen Verkehrsregeln wie beim Fahrradfahren zu beachten. Für den Betrieb sind ein entsprechender „Fahrausweis“ für unter 16-jährige (entsprechend der deutschen Mofa-Prüfbescheinigung), ein Fahrzeugausweis und ein gelbes Kontrollschild mit Versicherungsvignette (Versicherungskennzeichen) erforderlich. Das Mindestalter beträgt 14 Jahre. Durch eine Zulassungsprüfung werden die technischen Vorschriften nach der Schweizer VTS nachgewiesen. Darunter fallen z. B. die Beleuchtung wie bei einem Velo (Fahrrad), ein Gesamtgewicht von 200 kg, die Beschränkung, nur eine Person zu befördern, und eine Höchstgeschwindigkeit von 20 km/h.

Zu den oben beschriebenen Aspekten von Elektro-Stehrollern und Leicht-Motorfahrrädern in der Schweiz sind weiterhin folgende Punkte zu beachten: Mehr als eine Person darf nicht befördert werden, Rückspiegel sind nicht erforderlich und es besteht keine Helmpflicht.

Eine Ausnahme bei Leicht-Motorfahrrädern zur Beförderung von Kindern existiert, wenn maximal zwei geschützte Sitzplätze speziell vorhanden sind.

Die Antriebsleistung bei Elektro-Stehrollern ist auf 2 kW limitiert, wobei der Hauptanteil für das Selbstbalancieren aufgewendet werden muss; bei Elektrotrottinettes beträgt dieser 0,5 kW (Leicht-Motorfahrräder). Bei beiden Fahrzeugarten ist die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit auf 20 km/h begrenzt.

Bei Leicht-Motorfahrrädern ist eine Lenkstange vorgeschrieben, bei Elektro-Stehrollern nicht.

Auszug aus der VTS:

5. Abschnitt: Besondere Bestimmungen für Elektro-Stehroller

Art. 181 a Bremsen, Ausrüstung

1. Elektro-Stehroller müssen mit einer Betriebs- und einer Feststellbremse ausgerüstet sein. Eine Reibungsbremse ist nicht erforderlich.
2. Die Betriebsbremse kann bestehen aus:

- a. zwei voneinander unabhängigen Bremsen, die jeweils gleichmäßig auf die Räder einer Achse wirken und die bei gleichzeitiger Betätigung auf alle Räder wirken;
 - b. einer Bremse, die auf alle Räder wirkt, und einer abstufbaren Hilfsbremse.
3. Die Hilfsbremse nach Absatz 2 Buchstabe b darf als Feststellbremse benützt werden. Anstelle der Feststellbremse kann eine Abstellstütze dienen, wenn sie das vollbeladene Fahrzeug in einer Steigung und einem Gefälle bis 12 Prozent am Wegrollen hindern kann. Für einrädige Fahrzeuge ist eine andere geeignete Abstellmöglichkeit ausreichend, wenn dadurch die gleichen Bedingungen erfüllt werden.
 4. Anstelle einer Glocke ist eine Warnvorrichtung nach der Richtlinie 93/30/EWG, der Verordnung (EU) Nr. 3/2014 oder dem ECE-Reglement Nr. 28 zulässig.
 5. Eine Lenkstange ist nicht erforderlich.

2.5.2 Spanien

Mit dem spanischen Begriff für (Tret-)Roller mit Motor „Patinete con motor“ wird ein Fortbewegungsmittel beschrieben, das nach Spanischem Gesetz im engeren Sinn nicht als Kraftfahrzeug gilt, da es nicht homologiert werden kann. Diese Roller sind in Spanien weder Spielzeuge noch Kraftfahrzeuge. Sie dürfen nicht im öffentlichen Straßenverkehr gefahren werden. Für selbstbalancierende Fahrzeuge wie dem Segway werden in Spanien jeweils lokal vom jeweiligen Rathaus Regelungen getroffen und ggf. Ausnahmen erlassen.

2.5.3 Finnland

Laut der Finnish Transport Safety Agency (Trafi) plant das finnische Ministerium für Transport derzeit eine neue Einstufung, die hinsichtlich der Elektrokraftfahrzeuge Anwendung finden kann. Demnach werden Fahrzeuge je nach Höchstgeschwindigkeit (vermutlich bbH) und Leistung wie folgt neu eingruppiert:

- bis zu 15 km/h und 1 kW als Fußgänger,
- bis zu 25 km/h und 1 kW werden Fahrzeuge analog zu Fahrrädern behandelt,
- selbstbalancierende Fahrzeuge sind mit Schrittgeschwindigkeit auf dem Gehweg erlaubt.

2.5.4 Niederlande

In den Niederlanden können Elektrokleinstfahrzeuge durch den Minister als „besonderes Moped“ anerkannt werden. Erst dann sind sie auf der Straße zugelassen. Das Fahrzeug muss dabei eine Reihe von technischen Anforderungen erfüllen.

Die folgenden Regeln gelten für diese Fahrzeuge nach der Zulassung:

- Höchstgeschwindigkeit bis zu 25 km/h,
- Mindestalter 16 Jahre,
- Versicherungspflicht,
- Keine Kennzeichenpflicht,
- Keine Helmtragepflicht,
- Radwege und Fahrbahn dürfen befahren werden,
- Fahren auf dem Radweg, oder, wenn es keinen Radweg gibt, auf der Straße und
- Beleuchtungspflicht (am Fahrzeug oder am Fahrer).

2.5.5 Österreich

In Österreich werden selbstbalancierende Fahrzeuge wie das Segways und im Stehen gefahrene elektrisch angetriebene Fahrzeuge bis 25km/h vom Verkehrsministerium als (Elektro-)Fahrrad eingestuft und somit dürfen diese bis zu einer Breite von 80 cm auf Radwegen fahren. Falls sie breiter sind oder kein Radweg vorhanden ist, muss die Fahrbahn benutzt werden. Das Befahren des Gehwegs ist diesen Fahrzeugen nicht gestattet, außer zum Abstellen / Parken. (Pürstl, et al., 2010)

Analog zu Fahrrädern benötigen dies Fahrzeuge keine Zulassung und sind nicht Versicherungspflichtig. Es sind lichttechnische Einrichtungen und eine Klingel wie am Fahrrad zu verwenden. Das Tragen eines Helmes ist nicht vorgeschrieben.

Laut § 2 StVO Begriffsbestimmungen gilt in Österreich:

22. Fahrrad:

- a) ein Fahrzeug, das mit einer Vorrichtung zur Übertragung der menschlichen Kraft auf die Antriebsräder ausgestattet ist,

- b) ein Fahrzeug nach lit. a, das zusätzlich mit einem elektrischen Antrieb gemäß § 1 Abs. 2a KFG 1967 ausgestattet ist (Elektrofahrrad),

- c) ein zweirädriges Fahrzeug, das unmittelbar durch menschliche Kraft angetrieben wird (Roller), oder

- d) ein elektrisch angetriebenes Fahrzeug, dessen Antrieb dem eines Elektrofahrrads im Sinne des § 1 Abs. 2a KFG 1967 entspricht;

Im entsprechenden Kraftfahrzeuggesetz (KFG) heißt es:

§ 1 KFG Anwendungsbereich

(2a) Nicht als Kraftfahrzeuge, sondern als Fahrräder im Sinne der StVO 1960 gelten auch elektrisch angetriebene Fahrräder mit

1. einer höchsten zulässigen Leistung von nicht mehr als 600 Watt und
2. einer Bauartgeschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h.

2.5.6 Frankreich

Zurzeit werden in Frankreich sehr leichte Elektrokleinstfahrzeuge mit einer Geschwindigkeit bis 6 km/h als Fußgänger eingestuft. Dies bedeutet, dass diese nicht schneller als 6 km/h und dann auf dem Gehweg gefahren werden dürfen. Hierbei ist besondere Rücksicht auf Fußgänger zu nehmen.

Wegen der sich ständig weiterentwickelnden Technik (schnellere und schwere Fahrzeuge) werden in Frankreich neue Rechtsgrundlagen für Elektrokleinstfahrzeuge erlassen, um technische Ausrüstung und die zu verwendende Verkehrsfläche neu zu regeln.

2.5.7 Schweden

Es besteht in Schweden die Möglichkeit Elektrokleinstfahrzeuge als „Cykel utan tramp- eller vevanordning“ – (Fahrrad ohne Pedale oder Kurbeln) einzustufen. Damit unterliegen diese Fahrzeuge und deren Fahrer den gleichen Regeln und Vorschriften wie reguläre Fahrräder bzw. Fahrradfahrer. Um dieser Art Fahrzeuge (Fahrräder) zugeordnet zu werden, darf die durch einen Elektroantrieb bewirkte Geschwindigkeit höchstens 20 km/h betragen. Die (Nenndauer-) Leistung des Elektroantriebs sollte nicht größer als 250 W sein, es sei denn, einer der beiden folgenden Ausnahmen trafe zu: Sowohl für Krankenfahrräder und elektrische Roll-

stühle als auch bei selbstbalancierenden Fahrzeugen kann die elektrische Leistung die zuvor genannte Grenze von 250 W übersteigen.

Weiterhin gibt es für diese Fahrzeuge eine Größenbeschränkung auf 1,6 m Länge und 0,75 m Breite (bei Fahrzeugen für Mobilitätseingeschränkte dürfen Ausnahmen erteilt werden, wenn der Fahrer mehr Platz benötigt). Solche Fahrzeuge sind in Schweden nur für den Transport einer einzigen Person (Fahrer) zulässig.

Wenn diese Fahrzeuge mit Schrittgeschwindigkeit bewegt werden, dürfen diese in Schweden auf dem Gehweg fahren, was insbesondere für Krankenfahrräder und elektrische Rollstühle gedacht ist.

2.6 Grenzübertritt

Grundsatz ist nach nationalem Recht, dass zum Verkehr jedermann mit jedem Fahrzeug zugelassen ist. Das gilt jedoch nicht für den Verkehr mit Kraftfahrzeugen: § 1 StVG regelt den Grundsatz des Zulassungszwangs für Kraftfahrzeuge. Diese müssen somit behördlich zugelassen sein, wobei die Zulassung auf Antrag bei Vorliegen einer Genehmigung sowie einer Kraftfahrzeughaftpflichtversicherung erteilt wird durch Zuteilung eines Kennzeichens, Abstempelung der Kennzeichenschilder und Ausfertigung einer Zulassungsbescheinigung (vgl. § 3 Abs. 1 Fahrzeug-Zulassungsverordnung (FZV)). Es gibt Ausnahmen von der Zulassungspflicht (gemäß § 3 Abs. 2 FZV), diese müssen aber die nach § 4 Abs. 1 FZV geregelten Anforderungen (Erfordernis der Entsprechung mit einem genehmigten Typ oder Vorliegen einer Einzelgenehmigung nach Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO)) erfüllen. Weitere Voraussetzung für das Inbetriebsetzen dieser Kraftfahrzeuge ist das Führen eines Versicherungskennzeichens (oder bei Fehlen der Versicherungspflicht: Zuteilung eines Kennzeichens nach § 8 FZV). Gleiches findet sich in § 2 der MobHV geregelt. Weitere Einzelfälle der Ausnahmen von Zulassungspflicht ergeben sich im Fall von Prüfungsfahrten, Probefahrten, Kurzzeitkennzeichen etc. (vgl. §§ 16, 16a, 17, 19 und 47 Abs. 4 FZV und 2. Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften BGBl I 481).

Die Teilnahme ausländischer Fahrzeuge am Straßenverkehr in Deutschland findet sich in den §§ 20-22 FZV für die im Ausland zugelassenen Fahrzeuge geregelt. Nicht zugelassene Fahrzeuge – bspw.

vergleichbar mit § 3 Abs. 2 FZV von der Zulassung befreite ausländische Fahrzeuge – regelt die FZV nicht. Zugelassene Fahrzeuge, die weder in EU noch in EWR-Staaten, sondern einem weiteren Drittstaat zugelassen sind, wird die vorübergehende Teilnahme am Straßenverkehr unter Verweis auf das Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968 (WÜ) oder das Internationale Übereinkommen über Kraftfahrzeugverkehr von 1926 ermöglicht, solange im Inland kein regelmäßiger Standort für das Fahrzeug begründet wird.

Im Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr von 1968 geregelt wird gem. Art. 35 Abs. 1 lit. a WÜ grds. Zulassungspflicht von Kraftfahrzeugen mit den dort aufgeführten Angaben (u. A. Erstzulassung, Halteranschrift, Hersteller, Seriennummer, zulässige Gesamtmasse, etc.). Aus Art. 36 WÜ ergibt sich die Erfordernis eines Kennzeichens. Der vorliegend relevanten Fahrzeugkategorie neuartiger, möglicherweise zukünftig zulassungsfreier Fahrzeuge am nächsten kommen jedoch die Regelungen in Art. 44 WÜ, worin die Zulassung von Fahrrädern und Mopeds zum internationalen Verkehr geregelt wird: Daraus ergeben sich als Anforderungen an Fahrräder eine Bremse, eine Klingel sowie ein roter Rückstrahler sowie rotes Rücklicht nach hinten und entweder weißes oder gelbes Licht nach vorne. Für „Mopeds“ kann ein Signatarstaat die Wahl nach Art. 54 Abs. 2 WÜ ausüben und Mopeds wie Motorräder behandeln im Sinne von Art. 1 lit. n WÜ. Sofern dies nicht erfolgt, gelten die Anforderungen gemäß Art. 44 Abs. 2 WÜ, wonach das Moped über zwei unabhängige Bremsen, eine Klingel oder andere akustische Warneinrichtung, einen Schalldämpfer sowie einen roten Rückstrahler und ein rotes Rücklicht nach hinten und ein weißes oder gelbes Licht, nach vorne wirkend, verfügen muss.

Fahrzeuge der in vorliegendem Bericht vorgeschlagenen neuen Fahrzeugkategorien kennt das Wiener Übereinkommen nicht (allerdings auch nicht elektronische Mobilitätshilfen), sodass diese unregelt sind. Für die Möglichkeit zur Analogie würden Planwidrigkeit der Regelungslücke bei gleicher Interessenlage ggf. sprechen. Es kann sich allerdings ergeben, dass einzelne neuartige Fahrzeuge dieser Kategorien aufgrund ihrer Besonderheiten nicht erlauben, auf eine vergleichbare Interessenlage zu schließen.

Nach nationalem Recht geregelt wird indes über das „Gesetz über die Haftpflichtversicherung für

ausländische Kraftfahrzeuge und Anhänger (AusIPfIVG)“, dass diese gem. § 1 Abs. 1 AusIPfIVG „auf öffentlichen Straßen oder Plätzen nur gebraucht werden [dürfen], wenn für den Halter, den Eigentümer und den Führer zur Deckung der durch den Gebrauch verursachten Personen- und Sachschäden eine Haftpflichtversicherung nach den §§ 2 bis 6 AusIPfIVG besteht.“ Dieser Nachweis ist gem. § 1 Abs. 2 AusIPfIVG mitzuführen (sog. „Grüne Karte“ oder „Rosa Grenzversicherungsschein“ zum Erwerb für die kurzfristige Einreise in sonstigen Fällen und Entschädigung über den „Verein Deutsches Büro Grüne Karte e.V.“ als Garantiezusage). Ohne diesen Versicherungsschein kann an Grenz Zollstellen die Zurückweisung erfolgen (vgl. § 1 Abs. 4 AusIPfIVG). Dies gilt ausdrücklich auch für Fahrräder mit Hilfsmotor gem. § 1 Abs. 1 AusIPfIVG. Eine Übertragung dieser Vorschriften des AusIPfIVG erscheint aufgrund der gewählten Formulierung „Kraftfahrzeuge“ in § 1 Abs. 1 AusIPfIVG auch auf die neuartigen und ggf. zukünftig zulassungsfreien Fahrzeuge bereits nach geltendem Recht möglich.

3 Projektaufbau

3.1 Gliederung des Projektes

Da die Ziele des Gesamtprojekts „Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen“ sehr vielschichtig sind (s. Kapitel 1.2), wurden die speziellen Fragestellungen in vier einzelnen Teilprojekten, wie in Bild 3 dargestellt, bearbeitet.

3.2 Versuchsfahrzeuge

Als Testobjekte wurden verschiedene selbstbalancierende und / oder im Stehen gefahrene Versuchsfahrzeuge ausgewählt. Dabei wurden bei der Entscheidung unterschiedliche Kriterien beachtet, wie beispielsweise unterschiedliche Radgrößen, Anzahl der Räder, mit oder ohne Sitz. In Tabelle 4 sind die selbstbalancierenden Versuchsfahrzeuge dargestellt, während Tabelle 5 die im Stehen gefahrenen Versuchsfahrzeuge auflistet.

Durch die Mobilitätshilfe Verordnung kann der Segway bereits im öffentlichen Straßenverkehr legal betrieben werden. Als weiteres Referenzfahrzeug wurden ein Fahrrad und der Evoking mit untersucht, wobei letzterer mit dem montierten Sitz eine Typgenehmigung als L1e Fahrzeug erhalten hat. Dieser

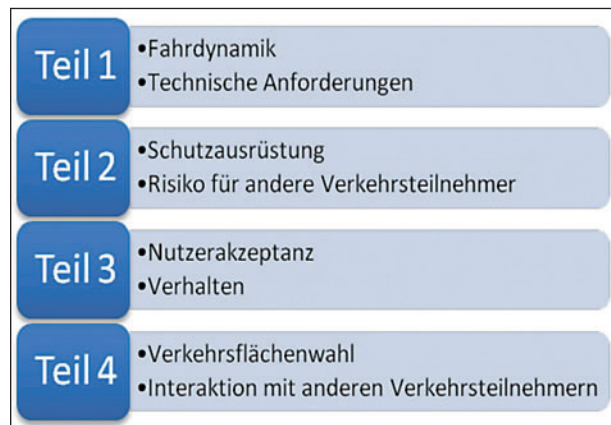


Bild 3: Projektaufbau

Sitz kann einfach mit einer Handschraube demontriert werden und somit entsteht ein Elektrokleinstfahrzeug ohne Sitz im Sinne dieser Untersuchung.

Sowohl der MobilityCube als auch das Trikke verfügen über eine Einzelgenehmigung nach § 21 StVZO. Da das Trikke ohne Sitz konstruiert ist, beinhaltet die Einzelgenehmigung eine Ausnahme genehmigung gemäß § 70 StVZO. Der MobilityCube ist als selbstbalancierendes „SO. KFZ Krankenfahrstuhl“ im Rahmen der Einzelgenehmigung klassifiziert.

3.3 Verwendete Schutzausrüstung

Um bei den Testfahrten, die z.T. bewusst im fahrdynamischen Grenzzustand absolviert wurden, die Fahrer möglichst gut vor Verletzungen zu schützen, wurden verschiedene Arten von Schutzausrüstungen bei den Studien verwendet.

Als Kopfschutz wurde ein Motorradschutzhelm, zertifiziert nach der derzeit aktuellen UN-R 22 verwendet. Dieser Helm kann sowohl als Integralhelm als auch als Jethelm benutzt werden. In den Studien wurden die Helme durchgängig als Jethelm-Variante getragen. Neben einem entsprechend hohen Schutzniveau musste beim Fahren auf den Testfahrzeugen Trikke und EVOKING ohnehin ein entsprechend geeigneter Helm verwendet werden, da diese Fahrzeuge in die Fahrzeugklassen L2e bzw. L1e (bbH > 20 km/h) eingestuft werden.

Des Weiteren wurden Rückenprotektoren, Ellbogen- und Knieschützer sowie Handschuhe bei allen Fahrten verwendet. Die Schutzausrüstung wird in Kapitel 6.2.5 dargestellt.

Name	SBU V3	Solowheel	Robin M1	i2	MobilityCube
Hersteller	sbusv3.de	Solowheel	Robstep	Segway	med-i-tec Service GmbH
					
Gewicht	13,2 kg	12 kg	18,5 kg	47,7 kg	70 kg
Reichweite	16 km	max. 16km	20 km	38 km	38 km
Akku	LiFePO4 53V	LiFePO4 53V 122Wh	Li-Ionen Akku 48V 8 Ah	Li-Ionen Akku	2X Li-Ionen Akku
Ladedauer	k. A.	1,5 Std.	2-4 Std.	8-10 Std.	8-10 Std.
Max. Geschwindigkeit	20 km/h	16 km/h	15 km/h	20 km/h	15 km/h
Elektrische Leistung	1000 W	1500 W	~ 400 W (2 x 200 W)	2 x 500 W	2 x 500 W
Fernbedienung	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
Maximales Gewicht	145 kg	113 kg	120 kg	120 kg	165 kg
Display	Nein	Nein	Nein	Ja	Ja
Reifendurchmesser	46 cm	40 cm	18 cm	46 cm	46 cm
Abmessungen (H x B x L)	90 x 40 x 46 cm	50 x 30 x 45 cm	134 x 46 x 43 cm	130 x 64 x 48	86 x 72 x 65

Tab. 4: Eingesetzte Versuchsfahrzeuge, selbstbalancierend.

Name	Bamboo Street & All-Terrain	EGRET ONE V3	Trikke Electric eV6.1	EVOKING 3.0
Hersteller	Evolve	Walberg Urban Electrics	Trikke Europe	FORCA
				
Gewicht	8,2 kg	15,0 kg	22 kg	49 kg
Reichweite	30 km	20 km	25-35 km	20 km
Akku	Li-Pol. 7Ah	LiFePo 8Ah	Li-Ion 11,25Ah	Blei Gel 12V
Ladedauer	2 Std.	6 Std.	7,5 Std.	4-6 Std.
Max. Geschwindigkeit	38 km/h	35 km/h	23 km/h	45 km/h
Elektrische Leistung	350 W	250 W	350 W	1000 W
Fernbedienung	Ja	Nein	Nein	Nein
Maximales Gewicht	108 kg	135 kg	157 kg	150 kg
Display	Nein	Ja	Ja	Ja
Reifendurchmesser	8 cm	16 cm	25 cm	32 cm
Abmessungen (H x B x L)	12 x 28 x 102 cm	110 x 61 x 97 cm	132 x 62 x 130 cm	112 x 63 x 125 cm

Tab. 5: Eingesetzte Versuchsfahrzeuge, stehend gefahren.

Name	Bild	Beschreibung	Fahraufgabe	Messgröße	Untersuchte Eigenschaft
Bremsstrecke		Asphaltfahrbahn (eben, $\mu > 0,9$)	1) Vollbremsung aus $v_{\max}$ 2) Zielbremsung auf eine Linie auf der Fahrbahn aus 15 km/h	Verzögerung a_x	Verzögerungsverhalten Dosierung der Verzögerung Zielgerichtetes Anhalten
Ausweichgasse		Torbreite 1 m Torversatz 2 m Torabstand 3 m	1) Durchfahren der Gasse mit 15 km/h ohne Verschieben von Pylonen 2) Durchfahren der Gasse mit max. möglicher Geschwindigkeit ohne Verschieben von Pylonen	Durchschnittsgeschwindigkeit Gierrate	Verhalten in Ausweichmanövern
Rampe		Pflastersteinbelag mit 10 % Steigung und 9,7 m Länge	Befahren der Rampe auf- und abwärts in verschiedenen Winkeln	Geschwindigkeit Gierrate	Fahrstabilität
Rüttelstrecke		Rüttelstrecke (6,70 m Länge, 2 m Breite mit 3 cm tiefen Einfürungen)	Überfahren der Rüttelstrecke in beide Längsrichtungen mit 15 km/h	Beschleunigung a_z	Fahrsicherheit / Störanfälligkeit / Stabilität
Bordstein		Abgesenkte Bordsteinkante (Höhe 4 cm)	Überfahren des Bordsteins in beide Richtungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten	Beschleunigung a_z Geschwindigkeit	Fahrsicherheit / Störanfälligkeit / Stabilität
Schlechtwegstrecke		Rasenpflastersteine	Überfahren des Pflastersteins in beide Richtungen mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten	Beschleunigung a_z Geschwindigkeit	Fahrsicherheit / Störanfälligkeit / Stabilität
Enger Raum		Wenden auf engem Raum (2,4 x 2,4 m; Radius = 1,7 m)	Kreisfahrt links- und rechtsrum innerhalb der Pylonen	-	Balance

Tab. 6: Parcours der Fahrdynamischen Untersuchungen

4 Betrachtungen zur aktiven Sicherheit

Grundlage der Betrachtung der aktiven Fahrzeugsicherheit von Elektrokraftfahrzeugen bilden zum einen fahrdynamische Untersuchungen. Zum andern erfolgt die Bewertung verschiedener sicherheitstechnischer Merkmale von Elektrokraftfahrzeugen in Bezug auf das Gesamtfahrzeug ebenso wie auf einzelne Bauteile der jeweiligen Fahrzeuge. Innerhalb der sicherheitstechnischen Gesichtspunkte werden

Aspekte der Unfallvermeidung, der funktionalen und der elektrischen Sicherheit betrachtet und daraus technische Anforderungen abgeleitet.

Die in dieser Studie verwendeten Versuchsfahrzeuge stehen repräsentativ für all jene Fahrzeuge, die von der EU Verordnung 168/2013 ausgenommen sind, da sie über keinen Sitzplatz verfügen oder selbstbalancierend sind.

4.1 Fahrdynamische Untersuchungen

Mit Untersuchungen zu Fahrdynamik werden Erkenntnisse zu dem Fahrverhalten und dem Handling eines Fahrzeugs gewonnen sowie die Beherrschbarkeit unter normalen Bedingungen wie auch im Grenzbereich getestet. Weiterhin sind die Fahrversuche dazu geeignet, Aussagen zum Fahrkomfort zu treffen.

Die grundlegenden Versuche zur Fahrdynamik wurden auf der Fahrzeugtechnischen Versuchsanlage (FTVA) der BASt durchgeführt. Tabelle 6 zeigt die untersuchten Fahrmanöver, die jeweils in einem eigenen Parcours getestet wurden. Das übergeordnete Ziel dieser Versuche war, Fahreigenschaften anhand von Messgrößen und die Handhabbarkeit der Elektrokleinstfahrzeuge in verschiedenen Situationen zu bewerten und zwar als Grundlage für spätere Kategorievorschläge und den jeweils dazu gehörigen technischen Anforderungen. Mit den einzelnen Teilen des Parcours wurden Erkenntnisse zu dem Bremsvermögen, dem Wendekreis, dem Lenkverhalten bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten, dem Fahren auf unwegsamem Gelände sowie der allgemeinen Handhabung ermittelt. Als Messgrößen wurden die Verzögerung, die Beschleunigung, die Geschwindigkeit und die Drehraten aufgezeichnet. Des Weiteren wurden aus den verwendeten Fahrmanövern bei der fahrdynamischen Untersuchung die jeweiligen Stationen der Probandenstudie (s. Kapitel 6.2.3) abgeleitet, die dann ohne Einsatz von Messtechnik rein auf subjektiven Bewertungen beruhen.

Aufgrund der eingeschränkten Manövrier- und Beherrschbarkeit des Elektroskatboards Evolve und des Einrades SBUV3 wurden diese beiden Fahrzeuge nicht in allen fahrdynamischen Untersuchungen getestet. Manöver wie abruptes Bremsen, Fahrten über unebenen Belag und enge Kurvenradien wurden (auch aus Sicherheitsaspekten) nur sehr begrenzt durchgeführt. Eine entsprechende Bewertung wird daher im Folgenden nicht vorgenommen.

4.1.1 Fahrmanöver

Sowohl die Versuche zur maximalen Verzögerung wie auch zur Zielbremsung geben Aufschluss über die Fähigkeit der Fahrzeuge, in Notsituationen zu bremsen oder im normalen Gebrauch sicher zum Stehen zu kommen. Mit Überfahrten verschiedenster Untergründe (wie Rasensteine, Gullydeckel oder im Asphalt eingefrästes Sägezahnmuster) sowie Manövern zur Querverführung (Spurwechsel, Lenk-

winkelsprung und Kreisfahrt) können Fahrzeugeigenschaften und Angaben zu der Beherrschbarkeit des Fahrzeuges abgeleitet werden.

Die fahrdynamische Bewertung wurde anhand verschiedener Testfahrten durch die immer gleichen beiden Fahrer subjektiv vorgenommen und parallel anhand physikalischer Messgrößen dokumentiert, um Fahrereinflüsse möglichst gering zu halten und objektive und nachvollziehbare Ergebnisse zu gewinnen.

4.1.2 Messdatenerfassung

Zur Erfassung der Kinematikdaten der Testfahrzeuge diente ein Mikro Datenlogger System der Firma 2D Data Recording, bestehend aus dem Fahrdynamiksensor, dem Datenlogger und Display sowie einem Akku. Der Fahrdynamiksensor beinhaltet ein GPS-Modul in Kombination mit einem dreiaxialen Drehratensensor und einem dreiaxialen Beschleunigungssensor, so dass sich aus den Messgrößen die Verzögerung, die (Durchschnitts-)Geschwindigkeit und der Anhalteweg ermitteln bzw. berechnen lassen.

4.1.3 Fahrdynamische Untersuchungen: Versuchsdurchführung, Erkenntnisse und Empfehlungen

Ausweichgasse - Agilität

Im Parcours „Ausweichgasse“ wurde die Agilität des Fahrzeugs in Bezug auf das Lenken getestet; es galt, das Fahrzeug in Abhängigkeit von verschiedenen Geschwindigkeiten einen zuvor durch Leitkegel definierten Kurs hindurch zu steuern. Jeweils zwei Leitkegel bildeten ein Durchfahrtstor mit einer Breite von 1 m. In Fahrtrichtung gesehen war das folgende Tor jeweils 3 m weiter nach hinten versetzt. Durch den seitlichen Versatz des zweiten und vierten Tores um 2 m nach links bzw. rechts wurde ein Manöver mit abrupten Spurwechsel simuliert (s. Bild in Tabelle 6). Für die Versuchsfahrten wurden zwei Geschwindigkeiten festgelegt: 15 km/h und die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit des jeweiligen Fahrzeuges, falls diese mehr als 15 km/h beträgt.

Alle Versuchsfahrzeuge und das zum Vergleich mit getestete Fahrrad waren in der Lage, die Ausweichgasse mit einer Anfangsgeschwindigkeit von 15 km/h anzufahren. Um die weiteren Tore zu durchfahren, wurde die Geschwindigkeit modellabhängig reduziert. Je mehr Probleme ein Fahrzeug bei Absolvierung der Ausweichgasse (wie in Tabelle 7 dar-

Fahrzeug	Durchschnitts- geschwindigkeit
Solowheel	6,9 km/h
Robin M1	8,6 km/h
Segway	11,3 km/h
Egret	13,3 km/h
Trikke	12,4 km/h
Evoking	12,5 km/h
Fahrrad	13,5 km/h

Tab. 7: Durchschnittsgeschwindigkeiten beim Passieren der Ausweichgasse mit Anfahrtsgeschwindigkeit 15 km/h

gestellt) hatte, desto niedriger war die Durchschnittsgeschwindigkeit für dieses Manöver.

Nach dem Durchlauf mit 15 km/h wurde versucht, den zweiten Durchlauf mit der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit, die sich bei den einzelnen Versuchsfahrzeugen stark unterscheidet, zu durchführen. Daher sind die entsprechenden Messfahrten nicht objektiv sondern nur rein subjektiv bewertet worden. Dabei stellte sich heraus, dass mit den meisten Fahrzeugen der Parcours nicht viel schneller als mit 15 km/h absolviert werden konnte.

Einachsige Elektrokleinstfahrzeuge können keinen größeren Wankwinkel aufbauen, der mit schneller werdenden Fahrgeschwindigkeiten ansteigen müsste, um enge Kurven zum Ausweichen fahren zu können, da der Schwerpunkt der Fahrer-Fahrzeug-Kombination zu hoch liegt. Deshalb fehlt bei einachsigen Elektrokleinstfahrzeugen auch die Fähigkeit, hohe Querschleunigungen aufzubauen.

Ausgehend von diesen Testergebnissen wird empfohlen, die Maximalgeschwindigkeit von selbstbalancierenden Elektrokleinstfahrzeugen auf 20 – 25 km/h zu beschränken.

Versuche zur maximalen Verzögerung und Zielbremsung

Ziel der Fahrmanöver „maximale Verzögerung“ und „Zielbremsung“ war die Bewertung der Bremsseigenschaften der Versuchsfahrzeuge. Für beide Testarten wurde mittig auf einer ca. 80 m langen Geraden eine Haltlinie auf dem Boden markiert, die zusätzlich durch Leitkegel hervorgehoben wurde (siehe Tabelle 6).

a) Maximale Verzögerung

Unter Verwendung der vorhandenen Betriebsbremsen der jeweiligen Testfahrzeuge wurde eine „Vollbremsung“ auf Höhe der Haltlinie durchgeführt. Dabei zeigte sich das sehr unterschiedliche Verze-

rungsvermögen der einzelnen Elektrokleinstfahrzeuge. Als Vergleich zu den hier verwendeten Versuchsfahrzeugen wurde auch die Verzögerung eines herkömmlichen Fahrrades bestimmt. Die aus 5 Versuchen gemittelten Durchschnittswerte der erreichten Verzögerungen sind in Bild 3 aufgeführt.

Bei den selbstbalancierenden Fahrzeugen fallen die niedrigen Verzögerungswerte beim Solowheel und beim MobilityCube auf. Da die Trittflächen des Solowheels die einzige Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Aufsasse ist, die Kontrolle über die Schwerpunktverlagerung funktioniert und es keine weitere Möglichkeit für den Fahrenden zum Abstützen und Krafteinleiten gibt, kann eine Vollverzögerung nur sehr moderat durchgeführt werden, um weiterhin auf dem Fahrzeug stehenbleiben zu können (Griff bzw. Lenker sind nicht vorhanden). Auch die Abbremsung mit dem MobilityCube ist schwierig, da im Sitzen eine Schwerpunktverlagerung nur mit dem Oberkörper eingeleitet werden kann. Versuche mit veränderter Sitzposition oder Schwerpunktverlagerung nach vorne durch Beladung haben eine effektive Abbremsung ganz ausgeschlossen.

Wenn bei sitzend gefahrenen selbstbalancierenden Elektrokleinstfahrzeugen die empfohlenen Mindestwerte für die Verzögerung durch eine Schwerpunktverlagerung (siehe strichpunktierte Linie in Bild 4 und Empfehlungen in Kapitel 4.2.1) nicht erreicht werden können, ist eine zusätzliche Betätigungseinrichtung für die mit dem Elektromotor realisierte Bremse vorzusehen.

Eine Besonderheit bei den Versuchen zur maximalen Verzögerung zeigte sich beim Elektroskateboard Evolve. Die Verzögerung durch den Elektromotor bei einer Vollbremsung verlangsamt das Elektroskateboard, doch die Trägheit des Fahrenden führt unweigerlich zu einem Schritt nach vorne vom Skateboard herunter, da kein fester Halt durch einen Lenker bzw. eine Lenkstange oder sonstige Ankopplung des Fahrenden an das Fahrzeug gegeben ist. Bei Verzögerungen bis zu $1,0 \text{ m/s}^2$ bleibt der Fahrende auf dem Brett. Mit dem Messsystem erfasste maximale Verzögerungen von $3,3 \text{ m/s}^2$ wurden ausschließlich mit abgeworfenem Fahrenden durch einen Schritt vom Brett herunter in den Stillstand erreicht.

Bei der Bewertung der Skateboardbremse wurde nur die Betriebsbremse des Fahrzeugs evaluiert und nicht evtl. mögliche hochdynamische Verzögerungsmanöver des Fahrers. Sliden bzw. Driften wä-

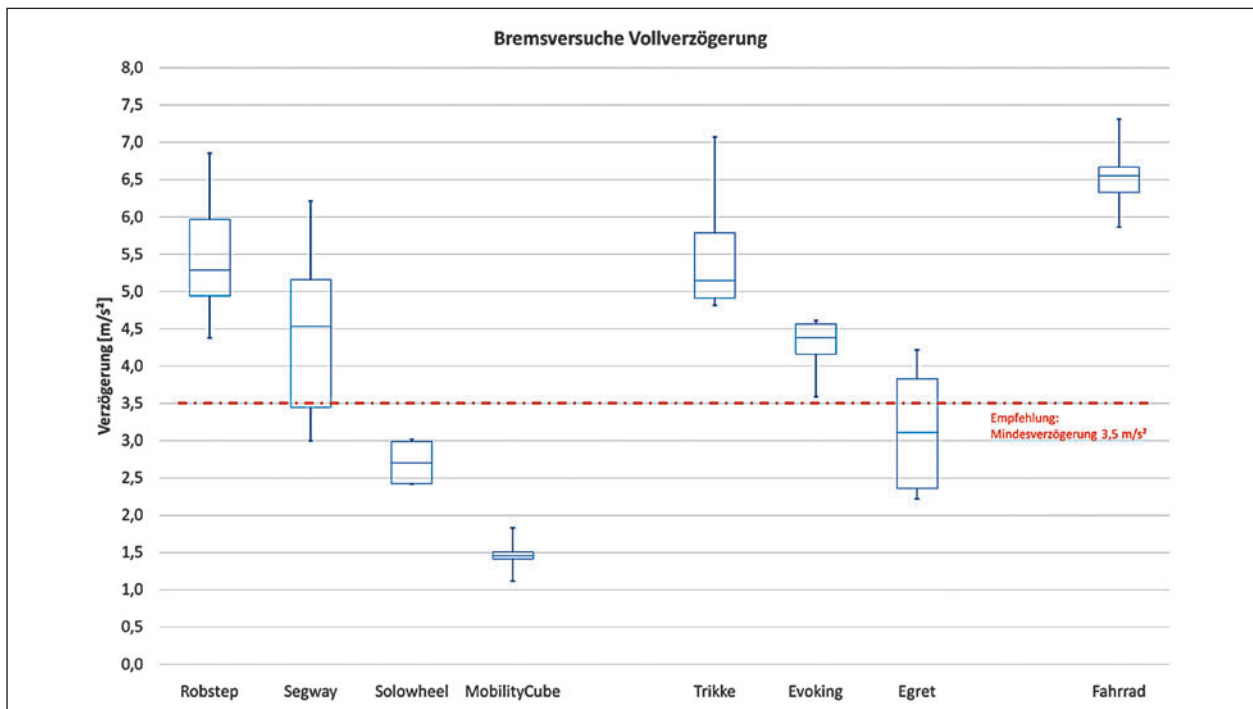


Bild 4: Verzögerungswerte bei Vollbremsung

ren auch keine sicheren Standardmanöver im Straßenverkehr.

Ein am Skateboard angebrachter Lenker bzw. eine Lenkstange würde das Abwerfen des Fahrenden bei einer Vollverzögerung durch die Bremsfunktion des Elektroantriebes verhindern helfen, da ein Abstützen möglich wäre und somit die Kontrolle über das Fahrzeug erhalten bliebe. Mit dem so modifizierten Testfahrzeug waren maximale Verzögerungen von 1,4 m/s² möglich, begrenzt durch das maximale Bremsmoment des Motors in Kombination mit einer einzigen gebremsten Rolle mit kleinem Durchmesser (8 cm).

b) Zielbremsung

Eine weitere Untersuchung zur Bewertung der Eigenschaften der Verzögerungseinrichtung war das Manöver „Zielbremsung“. Hierbei sollte aus etwa 15 km/h eine kontinuierliche Bremsung erfolgen, mit dem Ziel, möglichst genau auf der Haltlinie der Bremsstrecke (s. Tabelle 6) zum Stehen zu kommen und diese möglichst nicht zu überfahren. Mit dieser Methode wurde die Dosierbarkeit der Verzögerungseinrichtung evaluiert.

In den Versuchen haben nur die selbstbalancierenden Fahrzeuge anfänglich Schwierigkeiten gezeigt, an der Haltlinie zum Stillstand zu kommen. Mit zunehmendem Gewöhnungseffekt konnte der längere Bremsweg kompensiert und damit die Fähigkeit der Fahrenden zur Dosierung der Bremse erhöht wer-

den. Anfängliches Überschreiten der Haltlinie trat nach mehreren Wiederholungen nicht mehr auf. Es kam in keinem der Versuche vor, dass man aufgrund größerer als erwarteter Bremswirkung weit vor der Haltlinie zum Stehen kam.

Weitere abgeleitete Empfehlungen zur Bremse und der damit zu erzielenden Verzögerung sind im Kapitel 4.2.1 aufgeführt.

Eigenschwingungen

Bei Versuchen auf gerader Strecke und höherer Geschwindigkeit (ca. 30 km/h) auf dem Testgelände, auch außerhalb (s. Kapitel 7) und z. T. bergab zeigten sich beim dem Evoking, dem Egret und dem Evolve Tendenzen des Aufschwingens. Einspurfahrzeuge können bei höheren Geschwindigkeiten dazu neigen, in Schwingung zu geraten. Diese Drehanregungen im Lenksystem (Pendeln oder Flattern) können so stark werden, dass der Fahrer das Fahrzeug nicht mehr beherrschen kann. Begünstigt wird dieses ungewollte Stabilitätsproblem durch eine ungünstige Feder-Massen-Kombination. Dies kann entweder durch zu festes (krampfhaftes) Festhalten des Lenkers oder durch Spiel in der Lenkung bzw. durch zu große Nachgiebigkeiten im Fahrer-Fahrzeug-System hervorgerufen werden. Letzteres resultiert, falls der Lenker zu locker gefasst wird, oder der Fahrer selbst die sich aufbauenden Schwingungen zu wenig dämpfen kann, was durch das Fahren im Stehen begünstigt wird.

Die Kreiselkraft rotierender Räder wirkt den Schwingungen der gelenkten Achse entgegen. Dabei ist der Stabilisierungseffekt umso größer, je größer der Raddurchmesser und die Umdrehungsgeschwindigkeit sind. Erst ab einer höher werdenden Geschwindigkeit treten aerodynamische Effekte den Kreiselkräften entgegen und es kann zum Schwingungsaufbau kommen. Es gilt daher, zu kleine Räder an den Fahrzeugen zu vermeiden.

An einem Skateboard können ebenfalls Schwingungen im Lenksystem auftreten (beispielsweise so genannte „speed wobbels“). Solche Tendenzen zum Aufschwingen am Skateboard bei hohen Geschwindigkeiten können durch eine Lenkstange oder einen Lenker reduziert werden.

Um bei Elektrokleinstfahrzeugen Eigenschwingungen zu vermeiden, sollte die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit auf 25 km/h begrenzt sein.

Bodenunebenheiten

Bei Versuchen mit unterschiedlich profiliertem Untergrund zeigten die selbstbalancierenden Fahrzeuge z. T. Schwierigkeiten. Diese waren verschieden ausgeprägt und reichten von einer einfachen akustischen Warnung (ein sich wiederholendes Piep-Geräusch) ohne weitere Konsequenzen beim moderaten Überfahren einer einzelnen Schwelle mit dem Robin M1 bis hin zum Kontrollverlust bei starken Vibrationen, hervorgerufen durch Überfahren einer Rüttelstrecke mit Maximalgeschwindigkeit des Segways.

Die Ursache ist eine Beeinträchtigung des Orientierungssystems in den selbstbalancierenden Fahrzeugen. Sobald die Orientierung nicht mehr möglich ist, sprich das Fahrzeug nicht genau weiß, wie es im Bezug zur Lotrechten steht, kann es sich nicht mehr automatisch aufrichten und die Funktion des Balancierens ausführen. In einem kritischen Fall führte das zur Systemabschaltung aus voller Fahrt (beim Segway wie oben beschrieben).

Das einseitige Überfahren eines Bordsteins oder eines Schlaglochs mit dem Robin M1 kann bei der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von 15 km/h zur einer fahrzeuginduzierten Richtungsänderung (um die Hochachse) führen, was z.T. einen kompletten Kontrollverlust mit Notabstieg zur Folge hat.

Daher ist es angeraten, für selbstbalancierende Fahrzeuge einen fahrdynamischen Stabilitätstest zu fordern, bei dem Mindestanforderungen zu be-

stehen sind. Beispielsweise wäre das einseitige Überfahren unterschiedlicher Hindernisse (Schlagloch, Bordstein, Gullideckel) störungsfrei zu absolvieren und damit der Nachweis für die Unempfindlichkeit einer einseitigen Vertikalanregung zu führen. Des Weiteren sollten Überfahrten über Gleisübergänge, Bordsteinkanten usw. ohne Probleme möglich sein, wenn am öffentlichen Straßenverkehr teilgenommen werden soll.

Enger Raum

Um herauszufinden, wie Elektrokleinstfahrzeuge auf engem Raum zu handhaben sind, wurde das Fahren mit sehr kleinem Wendekreis (Radius 1,7 m) untersucht. Dabei sollten Vollkreise innerhalb eines mit Leitkegeln errichteten Quadrats (2,4 m Kantenlänge) sowohl im, als auch gegen den Uhrzeigersinn gefahren werden.

Mehrspurige Elektrokleinstfahrzeuge hatten bei diesem Manöver wenige Schwierigkeiten, unabhängig ob selbstbalancierend oder stehend gefahren. Hingegen forderte dieser Parcours bei allen einspurigen Testfahrzeugen ein hohes Balance-Vermögen, bedingt durch die sehr geringe Geschwindigkeit. Besonders schwierig waren die Kreisfahrten bei Fahrzeugen mit kleinem Raddurchmesser, da die Kreiselkräfte zur Stabilisierung noch nicht wirkten.

4.2 Technische Anforderungen

Da die Genehmigungsfähigkeit von Elektrokleinstfahrzeugen außerhalb der VO (EU) 168/2013 zurzeit teilweise nicht gegeben ist, ist auch noch nicht für alle Elektrokleinstfahrzeuge festgelegt, welche technischen Anforderungen diese erfüllen müssen. Im Rahmen dieser Studie werden daher Vorschläge für technische Anforderungen abgeleitet.

Unabhängig von der noch zu definierenden Einstufung zur Teilnahme am Straßenverkehr unterliegen die o.g. Fahrzeuge allerdings jetzt schon der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG.

Für nicht EU-typgenehmigungsfähige leichte Elektrofahrzeuge wird gerade ein technischer internationaler Standard im technischen Komitee 354 Arbeitsgruppe 4 des Europäischen Komitees für Normung (CEN) mit dem Titel: CEN/TC 354/WG 4 „Light electric vehicles and self-balancing vehicles“ entwickelt.

4.2.1 Sicherheitstechnische Betrachtung

Im Rahmen der sicherheitstechnischen Betrachtung werden Aspekte zur Unfallvermeidung sowie des sicheren Fahrens betrachtet. Hierbei gilt es, Risiken für den Fahrer aber auch für andere Verkehrsteilnehmer aufzuzeigen und Maßnahmen zu deren Vermeidung zu finden. Nicht nur die Vermeidung von Unfällen oder gefährlichen Situation sondern auch die sichere Handhabung im alltäglichen Gebrauch gehören zum Umfang dieser Analyse.

Lichttechnische Einrichtungen

Neben der Aufgabe der Ausleuchtung des Verkehrsweges dienen lichttechnische Einrichtungen auch dazu, das Fahrzeug für andere Verkehrsteilnehmer erkennbar zu machen. Dies geschieht sowohl durch aktive Beleuchtung als auch durch passive, also retroreflektierende Einrichtungen.

Primär sind diese Einrichtungen für das Fahren in der Dämmerung und in der Dunkelheit vorgesehen. Um von anderen Verkehrsteilnehmern besser wahrgenommen zu werden, ist jedoch das Fahren mit Licht am Tag bei Elektrokleinstfahrzeugen besonders zu empfehlen. Gerade da die Fahrer solcher Fahrzeuge zu den ungeschützten Verkehrsteilnehmern (engl. vulnerable road user (VRU)) zählen, ist darauf zu achten, dass der beabsichtigte Fahrweg und die Geschwindigkeit für Dritte zu erkennen sind, um eventuell drohende Kollisionen zu vermeiden.

Um das Unfallrisiko zu minimieren, sollten für Elektrokleinstfahrzeuge lichttechnische Einrichtungen mit mindestens dem Sicherheitsniveau wie bei Fahrrädern gemäß § 67 StVZO (Lichttechnische Einrichtungen an Fahrrädern) verwendet werden.

In § 67 werden folgende Aspekte beschrieben:

Die Fahrräder müssen vorne einen weißen Scheinwerfer und einen weißen Rückstrahler, hinten eine Schlussleuchte für rotes Licht, einen roten Rückstrahler und einen roten Großflächen-Rückstrahler sowie zu den Seiten wirkende Rückstrahler an den Rädern aufweisen. Neben den obligatorischen lichttechnischen Einrichtungen sind weitere als zulässig deklariert: Diese zusätzlichen Einrichtungen können z. B. auch eine im Stand wirkende Schlussleuchte für rotes Licht und zur Seite wirkende gelbe rückstrahlende Reflektoren sein.

Wenn Elektrokleinstfahrzeuge keine Pedale haben, sind auch entsprechend keine gelben nach vorne

und hinten wirkende Rückstrahler dort vorzuschreiben.

Entsprechend den zuvor genannten Aspekten wird empfohlen, an Elektrokleinstfahrzeugen mindestens ebenso weitreichende Anforderungen an lichttechnische Einrichtungen zu stellen, wie sie in § 67 StVZO enthalten sind, und ergänzend das zuvor beschriebene Fahren mit Licht am Tag zu fordern. Darüber hinaus sollten der Anbau und die Verwendung von Tagfahrleuchten analog wie bei Fahrrädern (Tagfahrlichtfunktion) erlaubt sein.

Fahrtrichtungsanzeiger

Die StVZO schreibt nach § 54 Abs. (1) vor: Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger müssen mit Fahrtrichtungsanzeigern ausgerüstet sein. Davon ausgenommen sind nach § 54 Abs. (5) Satz 4: Leichtkraftäder, Kleinkraftäder und Fahrräder mit Hilfsmotor.

Diese zuletzt genannten Fahrzeuge müssen alle über einen Sitz verfügen und werden in der Regel nicht im Stehen gefahren. Untersuchungen im Rahmen der Fahrtests speziell zum Abbiegen, bei denen der Richtungswechsel durch Handzeichen angezeigt wurde, haben gezeigt, dass das Geben von Handzeichen sehr viel kritischer anzusehen ist, wenn das Fahrzeug im Stehen und nicht im Sitzen gefahren wird. Die fehlende Ankopplung an das Fahrzeug mit der zweiten Hand und die dadurch verursachten Freiheitsgrade bewirken eine instabile Fahrweise, weil das Fahrzeug nur mit einer Hand an der Lenkeinrichtung gefahren wird, die zweite Hand die Richtungsänderung anzeigt und der zusätzliche Kontakt des Fahrers zum Fahrzeug über den Sitz fehlt.

Aus diesem Grund ist eine Verwendung von Fahrtrichtungsanzeigern für im Stehen gefahrene Fahrzeuge sehr zu empfehlen. Die technische Ausführung sollte sich dabei an den Anbauvorschriften für Kraftäder orientieren:

Nach § 54 Abs. (4) Satz 2 sind Fahrtrichtungsanzeiger an Kraftädern erforderlich:

Der untere Rand der Lichtaustrittsfläche von Blinkleuchten an Kraftädern muss mindestens 350 mm über der Fahrbahn sein.

Nach UN-R 53 Abs. 6.3 sind Fahrtrichtungsanzeiger an Kraftädern erforderlich: Zwei Fahrtrichtungsanzeiger vorn; zwei Fahrtrichtungsanzeiger hinten, jeweils auf der linken und rechten Seite. Die Fahrtrichtungsanzeiger vorne müssen einen Min-

destabstand zwischen ihren leuchtenden Flächen von 240 mm haben. Die Fahrtrichtungsanzeiger müssen sich außerhalb der senkrechten Längsebenen befinden, die die Außenkanten der leuchtenden Fläche des (der) Scheinwerfer(s) bildet und zwischen den leuchtenden Flächen der Fahrtrichtungsanzeiger und den am nächsten liegenden Scheinwerfern für Abblendlicht müssen je nach Kategorie der Fahrtrichtungsanzeiger weiterhin Mindestabstände eingehalten werden. Bei den Fahrtrichtungsanzeigern hinten muss der Abstand zwischen den Innenkanten der zwei leuchtenden Flächen mindestens 180 mm betragen. Der untere Rand der Lichtaustrittsfläche von Blinkleuchten an Krafträdern muss mindestens 350 mm und darf höchstens 1200 mm über der Fahrbahn sein.

Zusätzlich sollte noch eine weitere Form der Anbringung ermöglicht werden, um die technische Umsetzbarkeit für die verschiedenen Fahrzeugkonzepte der Elektrokraftfahrzeuge zu erleichtern: Falls eine Lenkeinrichtung mit waagrechtter Lenkstange vorhanden ist, könnten jeweils Fahrtrichtungsanzeiger, die gleichzeitig nach vorne und hinten gerichtet sind, an den äußereren Enden verbaut werden. Solche gleichzeitig nach vorne und hinten gerichtete Fahrtrichtungsanzeiger müssen dann eine Genehmigung als vordere und hintere Fahrtrichtungsanzeiger haben (UN-R 50 Kategorie 11 und 12) und der Aufbau dieser muss so gestaltet sein, dass die Sichtbarkeitswinkel nach UN-R 53 6.3.4 und der Mindestabstand von 240 mm erfüllt werden.

Die Verwendung von Fahrtrichtungsanzeigern ist für Elektrokraftfahrzeuge im Stehen angeraten. Bei selbstbalancierenden Fahrzeugen, die im Sitzen gefahren werden, scheint es unkritisch zu sein, beim Abbiegen Handzeichen zu geben. Daher sollte für diese Kategorie der Fahrtrichtungsanzeiger nicht verpflichtend aber möglich sein.

Hinweise zu Fahrtrichtungsanzeigern in Bezug auf die Praktikabilität sind auch im Kapitel 4.2.4 aufgeführt.

Klingel / Glocke

Mit § 55 StVZO „Einrichtungen für Schallzeichen“ wird vorgeschrieben, dass jedes Kraftfahrzeug ein Schallzeichen haben muss. Laut § 55 Abs. 6 müssen Mofas mindestens eine helltönende Glocke besitzen. § 64a StVZO besagt, Fahrräder (...) müssen mit mindestens einer helltönenden Glocke ausgerüstet sein. Es ist zu empfehlen, dass Elektrokraftfahrzeuge mit einer helltönenden Glocke bzw. Klin-

gel als situativen Signalgeber auszustatten sind. Hierbei ist als Anbauort das Fahrzeug selbst vorzusehen und nicht das Mitführen am Fahrenden.

Kapitel 4.2.4 enthält eine Abwägung bezüglich einer permanenten akustischen Warneinrichtung.

Bremse

Eine besonders wichtige Einrichtung der aktiven Sicherheit ist eine einwandfreie und gut zu dosierende Bremsanlage. Entsprechende technische Anforderungen an die Bremsenrichtung von Elektrokraftfahrzeugen sind für eine Genehmigung vorzuschreiben.

In Anlehnung an die Europäische Richtlinie 93/14/EWG über Bremsanlagen für zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge (s. nachfolgend) könnte die Anforderung auch für das Bremssystem der Elektrokraftfahrzeuge so lauten. Allerdings müsste die darin enthaltende Forderung nach einem Sitz ergänzt werden um den Stehplatz des Fahrenden, da ein Sitz bei Elektrokraftfahrzeugen nicht notwendigerweise vorhanden ist.

93/14/EWG: 2.1.2.1. Betriebsbremse

Die Betriebsbremse muß bei allen Geschwindigkeiten und Belastungszuständen und bei beliebiger Steigung und beliebigem Gefälle die Kontrolle der Fahrzeugbewegung sowie ein sicheres, schnelles und wirksames Anhalten des Fahrzeugs ermöglichen. Ihre Wirkung muß abstufbar sein. Der Fahrer muß die Bremswirkung von seinem Sitz aus erzielen können, ohne die Hände von der Lenkanlage zu nehmen.

Auch die StVZO enthält entsprechende Vorgaben, die direkt auf Elektrokraftfahrzeuge übertragbar sind:

StVZO § 41 Bremsen und Unterlegkeile

- (1) Kraftfahrzeuge müssen zwei voneinander unabhängige Bremsanlagen haben oder eine Bremsanlage mit zwei voneinander unabhängigen Bedienungseinrichtungen, von denen jede auch dann wirken kann, wenn die andere versagt.
- (4) Bei Kraftfahrzeugen – ausgenommen Krafträder – muss mit der einen Bremse (Betriebsbremse) eine mittlere Vollverzögerung von mindestens $5,0 \text{ m/s}^2$ erreicht werden; bei Kraftfahrzeugen mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht

mehr als 25 km/h genügt jedoch eine mittlere Vollverzögerung von 3,5 m/s².

- (4a) Bei Kraftfahrzeugen – ausgenommen Kraftfahrzeuge nach § 30a Absatz 3 – muss es bei Ausfall eines Teils der Bremsanlage möglich sein, mit dem verbleibenden funktionsfähigen Teil der Bremsanlage oder mit der anderen Bremsanlage des Kraftfahrzeugs nach Absatz 1 Satz 1 mindestens 44 Prozent der in Absatz 4 vorgeschriebenen Bremswirkung zu erreichen, ohne dass das Kraftfahrzeug seine Spur verlässt.

Übertragen auf Elektrokraftfahrzeuge wird empfohlen, folgende Anforderungen an das Bremssystem zu stellen:

Mindestens zwei unabhängig voneinander wirkende Bremsen sind für Elektrokraftfahrzeuge erforderlich. Des Weiteren ist aus sicherheitstechnischen Gesichtspunkten bei Elektrokraftfahrzeugen eine mittlere Vollverzögerung von 3,5 m/s² zu fordern, wie es auch von anderen Kraftfahrzeugen mit einer bauartbestimmten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h verlangt wird. Bei Ausfall einer Bremse muss mit der verbleibenden Bremse immer noch eine Mindestverzögerung von 44 % erreicht werden, gemäß § 41, Abs. 4a StVZO. Sämtliche Bremsen müssen eine gut dosierbare Betätigungseinrichtung aufweisen und bis zur Maximalgeschwindigkeit wirksam sein (in Anlehnung an UN-R 78 Anhang 3 Abschnitt 5: Hochgeschwindigkeitsprüfung).

Da ein als Antriebseinheit eingesetzter Elektromotor in der Regel auch zur Verzögerung benutzt werden kann, ist für Elektrokraftfahrzeuge zu empfehlen, dass auch der generatorische Betrieb des Elektromotors bei ausreichender Bremswirkung als eine Bremse verwendet werden kann.

Nur bei selbstbalancierenden Elektrokraftfahrzeugen darf die Verzögerung über Gewichtsverlagerung gesteuert werden, ansonsten ist eine Hand- oder Fußbetätigungseinrichtung zu realisieren.

Lenkstange / Griff

Bei Fahrversuchen mit den drei Versuchsfahrzeugen ohne Lenker gab es Situationen, in denen eine Lenkstange oder ein Griff notwendig gewesen wäre, um eine unkontrollierte Weiterfahrt ohne den zuvor abgestiegenen oder abgeworfenen Fahrer zu verhindern.

Bei Verwendung von Elektrokraftfahrzeugen ohne Haltevorrichtung ist eine Gefährdung des Fahren- den oder anderer Verkehrsteilnehmer nicht auszuschließen. Dies steht im Widerspruch zu § 30 StVZO:

§ 30 Beschaffenheit der Fahrzeuge

- (1) Fahrzeuge müssen so gebaut und ausgerüstet sein, dass ihr verkehrsüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet, behindert oder belästigt, (...)

Um Hindernissen, Fußgängern und anderen Verkehrsteilnehmern ausweichen zu können, muss ein Fahrzeug in jeder Situation agil steuerbar sein. Ein verkehrssicherer Betrieb von Elektrokraftfahrzeugen erfordert zur kontrollierten Steuerung der Querrichtung eine Vorrichtung zum Lenken, die von beiden Händen umfasst werden kann und soll. Sie dient gleichzeitig bei starken Verzögerungen zum Abstützen, um das nach vorne Werfen des Fahrers zu vermeiden bzw. um bei selbstbalancierenden Fahrzeugen ein starkes Bremsmanöver einzuleiten.

Mit einer Lenkstange oder einem Griff ist die Kontrolle über das Fahrzeug während der Fahrt, beim Abbiegen, Anhalten aber auch zum Festhalten bzw. Sichern im normalen, wie auch kritischen Fahrzustand möglich. Daher wird empfohlen, Fahrzeuge ohne Lenkstange bzw. Griff nicht zuzulassen.

Rückspiegel

Für die indirekte Sicht sind an Kraftfahrzeugen ein oder mehrere Rückspiegel erforderlich. Die Vorschriften für Rückspiegel an Kleinkraftfahrzeugen sind in der Richtlinie 97/24/EG festgehalten. Demnach benötigen Kleinkraftfahrzeuge einen entsprechend beschaffenen Rückspiegel. Allerdings wird in der Richtlinie auf einen Sitz hingewiesen: „Die Rückspiegel sind so anzubringen, daß der Fahrer von seinem Sitz aus in normaler Fahrhaltung die Fahrbahn hinter dem Fahrzeug übersehen kann.“

Gegenüber der zuvor genannten Forderung steht hinsichtlich mehrspuriger Fahrzeuge in der StVZO:

§ 56 „Spiegel und andere Einrichtungen für indirekte Sicht“

- (3) Nicht erforderlich sind Spiegel bei (...) mehrspurigen Kraftfahrzeugen mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit

von nicht mehr als 25 km/h und mit offenem Führerplatz (...).

In der derzeit geltenden MobHV sind für die darin beschriebenen Fahrzeuge keine Rückspiegel vorgeschrieben.

Bei Elektrokleinstfahrzeugen (egal ob ein oder mehrspurig und unabhängig von der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit) ist zu empfehlen, einen entsprechenden Rückspiegel entsprechend den Kleinkraftträdern vorzuschreiben, um eine indirekte Sicht nach hinten zu ermöglichen und damit das Beobachten des rückwärtigen Verkehrsgeschehens zu erleichtern.

4.2.2 Funktionale Sicherheit

Kontrollsystem zur Zustandserkennung

Elektrokleinstfahrzeuge haben unterschiedliche Konzepte, den Antrieb zu aktivieren. Diese können z. B. Handgas mit Drehgriff oder Zeigefingerbetätigung bei stehend gefahrenen Fahrzeugen sein, während man bei selbstbalancierenden Fahrzeugen durch Gewichtsverlagerung nach vorne die Fahrt in diese Richtung einleitet. Während der fahrdynamischen Untersuchung gab es Situationen, in denen die Elektrokleinstfahrzeuge (z. B. Solowheel und Evolve) auch ohne Fahrer unkontrolliert weiterfahren. Selbstbalancierende Fahrzeuge gleichen ein „Nachvornekippen“ durch kurzzeitige Beschleunigen in Fahrtrichtung aus, um das Fahrgestell mit dem Reifenaufstandpunkt / -punkten wieder unter den Schwerpunkt zu bringen. Falls der Fahrende bei der Kippbewegung das Fahrzeug nach vorne verlassen hat oder gestürzt ist, drängt das selbstbalancierende Fahrzeug ihm direkt hinterher.



Bild 5: Verstellereinrichtung des Handgriffs am Robin M1

Darüber hinaus wurde während der Versuchsfahrten deutlich, dass es bei motorisch angetriebenen Fahrzeugen eine Abschalteinrichtung geben sollte, die zur Deaktivierung des Antriebs bei Kontrollverlust führt, um das Risiko für den Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer zu verringern. Um das Verletzungspotenzial zu minimieren, wird empfohlen, dass eine entsprechende Vorrichtung erkennen muss, wenn der Fahrende sich nicht mehr auf dem Elektrokleinstfahrzeug befindet und unverzüglich den Antrieb stoppt, damit die Bewegungsenergie verringert wird. Sonst besteht Gefahr, den Fahrenden oder andere Verkehrsteilnehmer zu verletzen.

Sicherheitssteuerung des Motors

Um eine Fehlbedienung auszuschließen, sollte das Anlaufen des Antriebmotors unter bestimmten Bedingungen ausgeschlossen werden. Der Motor sollte kein Antriebsmoment aufbauen können, das höher als das Bremsmoment ist. Falls das Antriebsmoment während des Bremsens reduziert wird, sollte das Antriebsmoment nach Lösen der Bremse und ggf. betätigter Motorsteuerung (gezogener „Gasgriff“ oder ähnliches) nicht wieder impulsartig anstehen, sondern allmählich einleiten. Falls eine Rekuperationsfunktion des Motors vorgesehen ist, muss diese bei Betätigung der Bremseinrichtung simultan wirken können.

Elektrokleinstfahrzeuge, die zusammenklappbar sind, müssen in fahrunfähigem Zustand den Antriebsmotor deaktivieren, um ungewolltes Einschalten / Hochdrehen zu verhindern.

Fixierungen von Bauteilen

Alle Arretierungen von bewegbaren Bauteilen, die z. B. ein werkzeugloses Verstellen bzw. Anpassen der Geometrie auf unterschiedliche Fahrende ermöglichen, müssen so ausgeführt sein, dass eine ungewollte Positionsänderung im Fahrbetrieb ausgeschlossen ist. So hat beispielsweise der Robin M1 eine reine Klemmung zur Höhenverstellung bei der Lenkerstange, die nur reibschlüssig aber nicht formschlüssig agiert (s. Bild 5). Bei starker Belastung rutscht das obere Lenkerende nach unten und gibt dem Fahrenden keinen ausreichenden Halt. Derartige unabsichtliche Positionsänderungen müssen ausgeschlossen werden.

Des Weiteren müssen Bauteile, die zum Lenken und Steuern des Fahrzeuges dienen, so spielfrei sein, dass eine direkte Kontrolle möglich ist und das

Fahrzeug nicht anfängt zu flattern, s. Kapitel 4.1.3 (Eigenschwingungen).

4.2.3 Elektrische Sicherheit

Alle spannungsführenden Bauteile bei Elektrokleinstfahrzeugen müssen entsprechend berührungssicher und isoliert ausgeführt sein. Besonders das Spannungsniveau muss begrenzt werden, um nicht die Kriterien für Hochvolt (HV) zu erreichen. Diese sind im Kraftfahrzeugbereich mit folgenden Grenzen definiert:

> 60 V und $\leq$ 1500 V Gleichspannung (DC) oder

> 30 V und $\leq$ 1000 V Wechselspannung (AC)

Auch der Schutz vor Umwelteinflüssen wie Wärme, Kälte oder Wasser muss gewährleistet sein, insbesondere die Kapselung gegen Wasser, gemäß der Richtlinien 2006/42/EG (Maschinenrichtlinie) und 2014/35/EU (Niederspannungsrichtlinie).

4.2.4 Allgemeine Aspekte zu Elektrokleinstfahrzeugen

Wartung / Reifenwechsel

Wie andere Fahrzeugen auch unterliegen Elektrokleinstfahrzeuge dem Verschleiß. Neben der Abnutzung bestimmter Komponenten wie z. B. der Bremsbeläge (sofern vorhanden) oder der Reifen kann bei einer Panne der Austausch von Bauteilen erforderlich sein. Wichtig in diesem Fall ist ein einfacher Wechsel von Verschleißteilen. Auf jeden Fall müssen die Fahrzeuge so konstruiert sein, dass zumindest o. g. Komponenten durch den Fahrzeugbenutzer selbst ohne Spezialwerkzeug und ohne Garantieverlust getauscht werden können.

Periodisch Technische Überwachung

Im Zuge der Gleichbehandlung mit anderen leichten und kleinen motorisierten Kraftfahrzeugen wie z. B. Mofas oder Leichtmofas, kann bei Elektrokleinstfahrzeugen von einer Periodisch Technischen Überwachung (Hauptuntersuchung (HU)) abgesehen werden. Gleichwohl sei an dieser Stelle anzumerken, dass im Rahmen der HU grundsätzlich sicherheitsrelevante Mängel aufgedeckt und danach entsprechend behoben werden könnten.

Es ist jedoch anzunehmen, dass die für Krafträder bekannte Problematik von vor der HU zurückgerüsteten Manipulationen, der nur durch Unterwegskon-

trollen begegnet werden kann, für Elektrokleinstfahrzeuge ebenso gilt.

Fahrzeugständer / Stabilität

Mehrspurige Fahrzeuge mit mehr als einer Achse suggerieren dem Fahrzeugnutzer, auch wenn sie nur drei Räder besitzen, einen stabilen Stand. Durch ein pendelnd aufgehängtes Fahrwerk entstehen wie z. B. bei dem Trikke Freiheitsgrade in mehrere Richtungen, was ein Umkippen fördern kann. Da das Trikke über zwei feststellbare Betriebsbremsen verfügt, können in gewisser Weise einige Freiheitsgrade eingeschränkt werden, allerdings wird das seitliche Umfallen dadurch nicht gänzlich verhindert.

Es scheint bei Elektrokleinstfahrzeugen ohne entsprechend stabilen Stand sinnvoll, einen Ständer oder eine Abstellstellvorrichtung zu fordern.

Manipulation

Entsprechenden Erfahrungen bei Pedelecs ist der Aspekt der Manipulation bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen dieser Größe besonders zu beachten. Neben einer Veränderung der maximalen Geschwindigkeit ist auch davon auszugehen, dass Drehmoment-Charakteristika verändert werden.

Hierbei kann es zu einer Erhöhung des Unfallrisikos und der Unfallschwere kommen – damit sind sowohl der Fahrende als auch andere Verkehrsteilnehmer davon betroffen. Elektrokleinstfahrzeuge müssen also möglichst manipulationssicher konstruiert sein.

Anhängerbetrieb

Unter Berücksichtigung der bisherigen technischen Betrachtungen ist der Anhängerbetrieb für Elektrokleinstfahrzeuge auszuschließen. Bei diesen kompakten Bauformen ist eine Krafteinleitung, wie sie im Zug- und Schubbetrieb bei Verwendung eines Anhängers entstehen, wegen der dadurch in das Fahrzeug eingeleiteten Momente als kritisch einzustufen. Die Erhöhung der Gesamtmasse im Falle einer Fahrzeugkombination würde direkt zu einer Reduzierung der Verzögerungsleistung führen, die bei vielen Elektrokleinstfahrzeugen ohnehin schon gering ausfällt.

Personenbeförderung

Elektrokleinstfahrzeuge dienen in erster Linie dem Personen- und evtl. dem leichten Gütertransport. Für die neuen Kategorien wird angeraten, die Anzahl der zu befördernden Personen auf den Fahrenden alleine zu beschränken. Eine Mitnahme von weiteren Personen oder auch Kindern mit oder

ohne entsprechenden Kindersitz ist bei diesen leichten und kleinen Fahrzeugen nicht angedacht und angebracht, da die Massenerhöhung und Schwerpunktverlagerung das Fahrverhalten negativ beeinflussen würde. Bei selbstbalancierenden Fahrzeugen nimmt der Fahrende mit der Gewichtsverlagerung direkten Einfluss auf die Steuerung des Fahrzeuges, somit ist eine zweite sich bewegende Person kontraindiziert. Ebenso wenig angebracht wäre eine weitere Person auf im Stehen gefahrenen Fahrzeugen, da dies dem Grundgedanken der leichten, wendigen und kleinen Fortbewegungsmittel nicht entspricht und darüber hinaus, abgesehen von dafür notwendigen Halteinrichtungen, die Fahrstabilität negativ beeinflusst werden könnte. Insofern sollten Fahrzeuge für mehr als eine Person mindestens zur Klasse L1e gehören.

Fahrzeugaußengeräusch

Inwieweit der leise Antrieb von Elektrokleinstfahrzeugen zu Schwierigkeiten mit anderen Verkehrsteilnehmern wird, ist derzeit noch nicht abzuschätzen, da die Verbreitung noch zu gering ist. Diesen Aspekt muss man nach wie vor im Auge behalten.

Akustische Warneinrichtung

Auf Grundlage der EU Verordnung 540/2014 müssen ab dem 1. Juli 2019 neue typgenehmigte elektrisch angetriebene Kraftfahrzeuge zur Personenbeförderung (M1, M2 und M3) sowie zur Güterbeförderung (N1, N2 und N3) und ab 1. Juli 2021 alle entsprechenden Neufahrzeuge mit einer akustischen Warneinrichtung ausgerüstet sein. Im unteren Geschwindigkeitsbereich bis etwa 20 km/h und beim Rückwärtsfahren strahlt diese ein künstliches Fahrgeräusch aus. Betrachtet man analog zu den zuvor aufgezeigten leisen elektrisch angetriebenen Kraftfahrzeugen die ebenso leise fahrenden Elektrokleinstfahrzeuge, gilt es die Frage zu beantworten, ob jene auch über eine akustische Warneinrichtung mit permanent abstrahlender Funktion aufweisen sollten.

Zur Analyse des Risikopotenzial von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen sind insbesondere die Fahrzeugmasse und die Fahrtgeschwindigkeit auf-

zuführen. Bei angenommener gleicher Geschwindigkeit (z. B. 20 km/h, bei der das System das Geräusch wieder ausblendet) ist die kinetische Energie direkt proportional mit der Masse. Beträgt die Gesamtmasse von Elektrokleinstfahrzeug und fahrender Person z. B. 100 kg so hat ein typischer Pkw (1500 kg) im Vergleich dazu die 15-fache Masse respektive die 15-fache kinetische Energie. Für einen 7,5 t schweren Lkw ergibt sich Faktor 75, für einen 40 t schweren Lkw dann analog der Faktor 400.

Da auch andere elektrisch angetriebene Fahrzeuge wie z. B. Pedelecs, E-Bikes oder andere Kleinkraftfahräder (Elektro-Scooter) kein permanentes künstliches Fahrgeräusch abstrahlen müssen und in Anbetracht der zuvor beschriebenen Risikoabschätzung, erscheint es unangemessen, solch eine akustische Warneinrichtung für Elektrokleinstfahrzeuge zu fordern.

Wie in Kapitel 4.2.1 beschrieben, ist eine situationsabhängige akustische Signaleinrichtung in Form einer helltönenden Glocke bzw. Klingel als Anforderung zu empfehlen.

Thermische Gefährdung

Bei verbrennungsmotorisch angetriebenen Fahrzeugen besteht für den Nutzer bei direktem Kontakt mit bestimmten Bauteilen (z. B. Auspuff bzw. Motor) oder zu großem Wärmeeintrag eine thermische Gefährdung in Form einer Verbrennung. Auch bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen können heiße Bauteile auftreten. Bei den in der Studie zur Verfügung stehenden Elektrokleinstfahrzeugen wurde analysiert, ob eine entsprechende Gefährdung von heißen Komponenten ausgehen kann. Dazu wurden die Fahrzeuge nach etwa zehnmütigem Dauerbetrieb bei Maximalgeschwindigkeit mit einer Infrarotwärmebildkamera aufgenommen, wie in Bild 6 zu sehen.

Die hinsichtlich der thermischen Gefährdung bewerteten Fahrzeuge haben eine geringe Wärmeentwicklung bzw. eine gut funktionierende Schirmung gegen Hitzestrahlung. Es wurden maximal

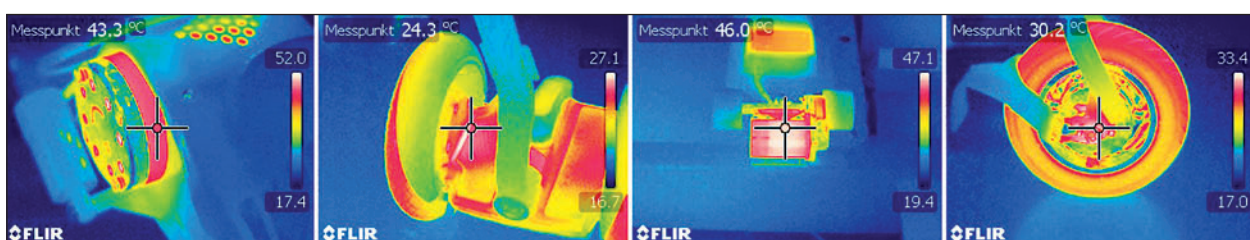


Bild 6: Wärmebildaufnahmen der Fahrzeuge Evoking, Segway, Evolve und Trikke

46 °C bestimmt. Folglich sind Verbrennungen an den getesteten Modellen auszuschließen.

Praktikabilität und technische Anforderungen

Elektrokleinstfahrzeuge bieten sich als Ergänzung beziehungsweise Ersatz zu konventionellen Verkehrsmitteln an. Aufgrund der kompakten Abmessungen sind sie oftmals mit wenig Platzbedarf verstaubar, benötigen wenig Parkfläche und können mitunter auch für das Überwinden der sogenannten letzten Meile verwendet werden. Dies bedeutet eine „kurze“ Fahrstrecke zwischen zum Beispiel einen Bahnhof, Flughafen oder Parkplatz bis zum endgültigen Zielort und ebenso natürlich für das tägliche Pendeln. Sollte ein Elektrokleinstfahrzeug nach dem Gebrauch verstaут oder als Gepäckstück transportiert werden, ist es wichtig, besonders kleine Packmaße realisieren zu können. Dieser Gesichtspunkt bezeichnet in diesem Sinne das Attribut Praktikabilität. Im Folgenden soll beleuchtet werden, ob und falls wie stark technische Anforderungen, die für die Sicherheit im Straßenverkehr an die Elektrokleinstfahrzeuge gestellt werden, dieser Praktikabilität entgegenstehen.

Bei den in Kapitel 4.2.1 durchgeführten Analysen zeigte sich die Schwierigkeit bei stehend gefahrenen Elektrokleinstfahrzeugen, dass einhändiges Abbiegen insbesondere beim Linksabbiegen mit Spurwechsel problematisch ist.

Infolgedessen leitete sich als Konsequenz die technische Anforderung in Form von Fahrtrichtungsanzeigern ab, damit beide Hände am Lenker verbleiben können und gleichzeitig der beabsichtigte Richtungswechsel angezeigt werden kann. Besonders bei Fahrzeugen, die durch eine Drehbewegung des Lenkers eine Richtungsänderung einleiten, ist es schwierig, mit nur einer Hand das Lenkmoment und gegebenenfalls durch Bodenunebenheiten hervorgerufene Kräfte oder Vibrationen unter Kontrolle zu halten. Dieser Effekt beziehungsweise diese Schwierigkeit tritt insbesondere bei Fahrzeugen mit kleinen, harten Reifen auf. Wenn der Lenkeinschlag bei einem mehrspurigen Fahrzeugkonzept durch Gleichgewichtsverlagerung erfolgt, kann es je nach Fahrzeug einfacher sein, eine Richtungsänderung mit nur einer Hand durchzuführen.

Im Falle einer mit der Hand betätigten Geschwindigkeitsregelung, ist es sinnvoller und sicherer diese Hand beim Abbiegen am Lenker/Griff zu behalten und entsprechend einen Fahrtrichtungsanzeiger zu verwenden.

Aus Sicht der Praktikabilität ist aufzuführen, dass Fahrtrichtungsanzeiger, um entsprechend wahrgenommen zu werden, räumlich voneinander getrennt angebracht werden müssen. Damit werden Mindestabstände definiert, die Auswirkungen auf die Fahrzeugbreite haben. Das heißt folglich, dass eine bestimmte Distanz realisiert werden muss, für die gegebenenfalls von der Fahrzeugstruktur herausragende Halterungen verwendet werden müssen. Unter anderem kann der benötigte Abstand durch Integration der Fahrtrichtungsanzeiger in die Lenkerenden realisiert werden. In diesem Fall ist auf einen entsprechend breiten Lenker zu achten. Derzeit noch zu klären ist der räumliche Abstrahlwinkel und insbesondere die Zulässigkeit dieser technischen Einrichtung: Fahrtrichtungsanzeiger in Lenkerenden zu integrieren, die nach vorne und hinten abstrahlen dürfen und gegebenenfalls ohne weitere Fahrtrichtungsanzeiger am Fahrzeugheck auskommen, sind sinnvoll. Abstehende Fahrtrichtungsanzeiger sollten so gestaltet sein, dass sie nachgiebig und ohne scharfe Kanten ausgebildet sind. Sie müssen den Anforderungen analog zu den bestehenden Fahrzeugkonzepten entsprechen, s. Kapitel 5.3.3.

Auch bei der Empfehlung von Rückspiegeln für Elektrokleinstfahrzeuge kann zwischen Praktikabilität und der Verkehrssicherheit abgewägt werden. Rückspiegel beeinflussen die Praktikabilität insofern es zusätzliche, abstehende Bauteile an der Struktur gibt. Zum einen kann dies die Fahrzeugbreite vergrößern und dadurch die Wahrscheinlichkeit der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern führen. Zum anderen besteht Gefahr, dass abstehende Rückspiegel aufgrund ihrer Exposition verstellt oder beschädigt werden.

Diesen Aspekten ist entgegenzusetzen, dass die bei Kleinkraftfädern vorgeschriebenen Rückspiegel genau die gleichen Probleme hätten. Der Sicherheitsgewinn besteht in einer verbesserten Orientierung, die es ermöglicht, den rückwärtigen Verkehr zu beobachten. Besonders das Überholen bzw. das Passieren von schnelleren Kraftfahrzeugen kann durch einen Rückspiegel vorzeitig erkannt werden. Dies ist für diese Fahrzeug relevant, die nicht auf dem Radweg / Schutzstreifen, sondern auf der Fahrbahn fahren.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: Es sollten Fahrtrichtungsanzeiger ermöglicht werden, die alleinig in den Lenkerenden von einspurigen Elektrokleinstfahrzeugen integriert werden und so-

wohl nach vorne als auch hinten abstrahlen dürfen. Bei Fahrzeugen ohne klassischen Lenker sind entsprechende Fahrtrichtungsanzeiger vorn und hinten am Fahrzeug anzubringen. In Bezug auf Rückspiegel sind diese vor allem für die Elektrokleinstfahrzeuge dringend angeraten, die auf der Fahrbahn fahren.

Fahrten bei Nässe

Nasse Fahrbahnen haben entsprechend niedrigere Reibwerte, wodurch die Haftreibung verringert wird. Prinzipiell ist es möglich, Elektrokleinstfahrzeuge auch bei solchen Bedingungen zu fahren. Allerdings gibt es Besonderheiten zu beachten. Bei selbstbalancierenden Elektrokleinstfahrzeugen sind hierbei die Funktionsweise und sich daraus ergebende Limitierungen entscheidend. Um die Kombination aus Fahrer und Fahrzeug zu stabilisieren, wird permanent durch ein Regelungssystem die Beschleunigung und daraus resultierend die Schwerpunkt-lage und der Neigungswinkel kontrolliert. Dieses Regelungssystem funktioniert nur, wenn die Räder nicht durchdrehen. Entsprechende Hinweise sind in die Betriebsanleitung aufzunehmen.

Bei stehend gefahrenen Elektrokleinstfahrzeugen können geringe Reibwerte aufgrund nasser Fahrbahn auch zu veränderten Fahrbedingungen führen. Anders als bei selbstbalancierenden Elektrokleinstfahrzeugen führt ein durchrutschendes Rad nicht zwangsläufig zum Kontrollverlust. Je nach Fahrmanöver verhalten sich ein- beziehungsweise mehrspurige stehend gefahrene Elektrokleinstfahrzeuge bei Nässe unterschiedlich. Mehrspurige stehend gefahrene Elektrokleinstfahrzeuge haben beim Bremsen auf nasser Fahrbahn weniger Probleme im Vergleich zu entsprechenden Einspurfahrzeugen. Letztgenannte verhalten sich analog zu sitzend gefahrenen Einspurfahrzeugen. Wird das Vorderrad zu stark verzögert, kann dieses wegrutschen, was besonders beim Kurvenfahren kritisch ist. Hohe Schräglagen beim Kurvenfahren können dazu führen, dass Seitenkräfte nicht übertragen werden, was zum schlagartigen Wegrutschen führen kann. Besonders Roller mit kleinen harten Rädern haben Schwierigkeiten, so zum Beispiel beim Überqueren nasser rutschiger Straßenbahnschienen oder Kanalabdeckungen.

Als weitere Eigenschaften ist bei Nässe zu beachten, dass die empfindliche Steuerung sensibel auf Feuchtigkeit reagiert. Viele Elektrokleinstfahrzeuge sind daher direkt vom Hersteller vom Betrieb bei Nässe ausgeschlossen.

4.3 Schlussfolgerung aus Sicht der aktiven Sicherheit

4.3.1 Vorschlag für neue Kategorien und deren Anforderungen

Die Untersuchungen zur aktiven Sicherheit legen es nahe, neue Kategorien für bestimmte Elektrokleinstfahrzeuge vorzuschlagen. Dabei werden die im Folgenden entwickelten Kategorien zunächst hinsichtlich einer möglichen Einteilung beschrieben, ohne dabei die generelle Teilnahme am Straßenverkehr im Vorhinein anzudenken. Auf Basis der Ergebnisse der Versuche können Kriterien zur Eingruppierung verschiedener Elektrokleinstfahrzeuge in diese Kategorien aufgestellt werden.

Anhand der folgenden Betrachtungen zur passiven Sicherheit, des Nutzerverhaltens und der Risikobewertung sowie der Verkehrsfläche werden diese Kategorien weiter ergänzt (siehe Kapitel 5, 6 und 7).

Die neuen Kategorien und die jeweils vorgeschlagenen Anforderungen leiten sich direkt aus den Versuchen zur Fahrdynamik, den verschiedenen betrachteten Sicherheitsaspekten sowie aus bestehenden Fahrzeugkategorien mit deren jeweiligen Merkmalen (s. Tabelle 1) ab.

Als wesentliches Unterscheidungsmerkmal der Kategorievorschläge ist die bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit (bbH) zu nennen. In Anlehnung an die Fortbewegung als Fußgänger wird die Kategorie K0 mit einer bbH von maximal 6 km/h gebildet. Die Kategorie K1 (bbH von 6-20 km/h) orientiert sich am Fahrrad und am Leichtmofa, während die Kategorie K2 (bbH von bis zu 25 km/h) Merkmale des Mofas aufweist.

Hinsichtlich der technischen Anforderungen werden diesen drei Kategorien neben der bbH auch geometrische Abmessungen und sicherheitstechnische Ausstattungen sowie Voraussetzungen für das Inbetriebsetzen zugeordnet. Letzteres umfasst die Versicherungspflicht, das Kennzeichen, die Fahrerlaubnis sowie das Mindestalter.

Die folgende Übersicht (Tabelle 8) enthält die vorgeschlagenen (technischen) Anforderungen für die neuen Kategorien aus Sicht der aktiven Sicherheit.

Im Folgenden werden Einzelheiten zu den Empfehlungen für die jeweiligen Anforderungen in Bezug auf die verschiedenen Kategorievorschläge erläutert.

	K0		K1		K2	
	Stehend gefahren ≤ 6 km/h"	Selbst-balancierend ≤ 6 km/h"	Stehend gefahren 6-20 km/h"	Selbst-balancierend 6-20 km/h"	Stehend gefahren ≤ 25 km/h"	Selbst-balancierend ≤ 25 km/h"
Maximalgeschwindigkeit bbH	6 km/h	6 km/h	20 km/h	20 km/h	25 km/h	25 km/h
Fahrtrichtungs-anzeiger	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja, wenn stehend gefahren	Ja	Ja, wenn stehend gefahren
Lichttechnische Einrichtung	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja, wie Fahrrad + Licht am Tag + Tagfahrleuchten erlauben	Ja, wie Fahrrad + Licht am Tag + Tagfahrleuchten erlauben	Ja, wie Fahrrad + Licht am Tag + Tagfahrleuchten erlauben	Ja, wie Fahrrad + Licht am Tag + Tagfahrleuchten erlauben
Klingel / Hupe	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja	Ja	Ja
Rückspiegel	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja	Ja	Ja
Bremse (Anzahl der unabhängigen)	Keine Aussage	Keine Aussage	3,5 m/s ² Anzahl: 2	3,5 m/s ² Anzahl: 2	3,5 m/s ² Anzahl: 2	3,5 m/s ² Anzahl: 2
Lenker / Griffstange	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja	Ja	Ja
Zustandserkennung/Not-Aus	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja	Ja	Ja
Fahrdynamik Mindestanforderung (z.B.) > Schlagloch/ Bordstein > Einseitige Vertikalanregung	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja	Ja	Ja
	Derzeit nicht im öffentlichen Straßenverkehr zulassen. Möglicherweise Konfliktpotenzial mit Fußgängerverkehr: Daher weiterer Forschungsbedarf – derzeit keine Aussagen zu den Anforderungen.					

Tab. 8: Technische Anforderungen aus Sicht der aktiven Sicherheit für Elektrokleinstfahrzeuge je nach Kategorie

Als direktes Unterscheidungsmerkmal der Kategorien wurde die bbH gewählt, wobei dadurch eine Verknüpfung und indirekte Abhängigkeit zu den anderen Anforderungen sowie der Empfehlung zur geeigneten Verkehrsfläche entsteht. K0 sollte ein bbH von 6 km/h in Analogie zur Geschwindigkeit von Fußgängern aufweisen, K1 eine bbH von 20 km/h, so wie es für Leichtmofas vorgeschrieben ist. Für die Kategorie K2 schließlich ist, wie bei Mofas, eine bbH von 25 km/h vorgesehen.

- Fahrzeuge, die in die Kategorie K0 fallen, sollen von der Verwendung im öffentlichen Straßenverkehr ausgeschlossen werden, da diese aufgrund der geringen Geschwindigkeit nicht für den Betrieb auf der Fahrbahn oder auf Radwegen geeignet sind und aufgrund des Konfliktpotenzials mit dem Fußgängerverkehr möglicherweise nicht für

den Betrieb auf dem Gehweg geeignet sind. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

- Es ist zu empfehlen, die maximale Höchstgeschwindigkeit bei Elektrokleinstfahrzeugen auf 25 km/h zu beschränken, da sowohl selbstbalancierende wie auch im Stehen gefahrene Fahrzeuge in ihren unterschiedlichsten Bauarten sonst nicht mehr sicher für den Straßenverkehr einzustufen sind.
- Für das Bremssystem von Elektrokleinstfahrzeugen sind mindestens zwei unabhängige gut dosierbare und bis zu Maximalgeschwindigkeit wirksame Bremsen zu fordern, um den in § 41 StVZO angegebenen Verzögerungswert von mindestens 3,5 m/s² zu erreichen. Bei Ausfall einer Bremseneinheit muss mit der zweiten mindestens 44 % der geforderten 3,5 m/s² Verzögerung geleistet werden können.

- Sollten selbstbalancierende Elektrokleinstfahrzeuge mit Sitz die Mindestverzögerung nicht durch Gleichgewichtsverlagerung erreichen, ist eine zusätzliche Betätigungseinrichtung für die Bremseinheit vorzusehen.
 - Eine Lenkstange oder ein Griff ermöglichen die Kontrolle über ein Elektrokleinstfahrzeug im normalen Fahrbetrieb, insbesondere auch in kritischen Situationen, zur Kontrolle des Fahrzeugs im besonderen Falle der Vollverzögerung sowie bei der Querführung. Es wird daher eine verbindliche Ausrüstung der Fahrzeuge mit Lenkstange oder Griffen empfohlen, die mit beiden Händen zu umgreifen sind.
 - Auch für den Fall, dass die Verzögerung von 3,5 m/s² eingehalten werden kann, aber der Fahrer vom Fahrzeug abgeworfen würde, ist ein Griff oder eine Lenkstange zur Stabilisierung unabdingbar.
 - Der Nachweis für stabiles und verkehrssicheres Fahren ist bei Elektrokleinstfahrzeugen durch Stabilitätstests zu erbringen, die z. B. Prüfbedingungen mit einseitiger Vertikalanregung und Bodenunebenheiten wie Schlagloch oder Bordsteinanten enthalten.
 - An Elektrokleinstfahrzeugen sind Fahrtrichtungsanzeiger anzubringen, deren Aufbau gemäß UN-R 53 zu realisieren ist. Auch ist als akustische Warn-einrichtung eine Klingel oder eine helltönende Glocke anzubringen.
 - Die lichttechnischen Einrichtungen an Elektrokleinstfahrzeugen sollen in Analogie zu § 67 StVZO ausgeführt werden. Zusätzlich ist das Fahren mit Licht am Tag verpflichtend vorzuschreiben und der Aufbau und die Verwendung von Tagfahrleuchten zu erlauben.
 - Um eine indirekte Sicht nach hinten zu ermöglichen, sind Rückspiegel an Elektrokleinstfahrzeugen anzubringen.
 - Mithilfe einer technischen Vorkehrung muss gewährleistet sein, dass das Antriebsmoment unverzüglich automatisch deaktiviert wird, wenn der Fahrer sich nicht mehr auf dem Fahrzeug befindet oder eine andere vom normalen Fahrzeugzustand abweichende Situation vorliegt, wie z. B. beim Umkippen des Fahrzeugs.
 - Eine Sicherheitssteuerung des Motors ist vorzusehen, um das Antriebsmoment in ungewollten Situationen, wie zum Beispiel in der Transportstellung, zu unterbinden.
 - Elektrokleinstfahrzeuge müssen manipulationssicher gestaltet sein.
 - Für Elektrokleinstfahrzeuge erscheint eine periodisch technische Überwachung nicht notwendig, allerdings sind Unterwegskontrollen als sinnvoll einzustufen, um Manipulationen aufzudecken.
 - Insbesondere müssen alle Bedienteile und Bauteile gegen unbeabsichtigtes Verstellen gesichert sein.
 - Alle spannungsführenden Bauteile bei Elektrokleinstfahrzeugen müssen entsprechend berührungssicher und isoliert ausgeführt sein.
 - Wartungen und ein Reifenwechsel sollten möglichst einfach durchzuführen sein. Insbesondere eine Reifenpanne muss ohne Spezialgeräte für den Fahrenden selbst und ohne Garantieverlust möglich sein.
 - Es wird empfohlen, bei Elektrokleinstfahrzeugen die Beförderung anderer Personen sowie den Anhängerbetrieb zu verbieten.
- Weiter noch zu untersuchen ist der Zusammenhang zwischen dem Konfliktpotenzial für andere Verkehrsteilnehmer aufgrund des geringeren Fahrzeugaußengeräuschs.
- Eine ausführliche Herleitung des Aspektes der Schutzausrüstung für den Fahrer bezogen auf die jeweilige Kategorie ist im Kapitel 5.2 beschrieben.
- Als miteinander verknüpft anzusehen sind die Voraussetzungen für das legale Inbetriebsetzen von Elektrokleinstfahrzeugen bestehend aus Versicherungspflicht, Kennzeichen, Fahrerlaubnis sowie Mindestalter.
- Nach dem Pflichtversicherungsgesetz sind Halter eines Kraftfahrzeugs in Deutschland verpflichtet, eine Haftpflichtversicherung für das entsprechende Kraftfahrzeug abzuschließen (§ 1 PflVG). Halter von Kraftfahrzeugen, deren durch die Bauart bestimmte Höchstgeschwindigkeit sechs Kilometer je Stunde nicht übersteigt (§ 2 PflVG), sind von dieser Pflicht ausgenommen. In Analogie zu Leichtmofas und Mofas, die nach § 26 FZV ein Versicherungskennzeichen benötigen, ist ein solches auch für Elektrokleinstfahrzeuge der Kategorie K1 und K2 notwendig. Eine Mofa-Prüfbescheinigung attestiert dem Fahrenden, dass er ausreichende Kenntnisse der für das Führen eines Kraftfahrzeugs maßgebenden gesetzlichen Vorschriften hat und mit den Gefahren des Straßenverkehrs

	K0		K1		K2	
	Stehend gefahren ≤ 6 km/h	Selbst- balancierend ≤ 6 km/h	Stehend gefahren 6-20 km/h	Selbst- balancierend 6-20 km/h	Stehend gefahren ≤ 25 km/h	Selbst- balancierend ≤ 25 km/h
Versicherungspflicht	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja	Ja	Ja
Kennzeichen	Keine Aussage	Keine Aussage	Ja	Ja	Ja	Ja
Führerscheinklasse	Keine Aussage	Keine Aussage	Prüfbescheinigung Mofa	Prüfbescheinigung Mofa	Prüfbescheinigung Mofa	Prüfbescheinigung Mofa
Mindestalter	Keine Aussage	Keine Aussage	15	15	15	15
	Derzeit nicht im öffentlichen Straßenverkehr zulassen. Möglicherweise Konfliktpotenzial mit Fußgängerverkehr: Daher weiterer Forschungsbedarf – derzeit keine Aussagen zu den Anforderungen.					

Tab. 9: Administrative Voraussetzung

und den zu ihrer Abwehr erforderlichen Verhaltensweisen vertraut ist (§ 5 Abs. 1 FeV). Eine entsprechende Prüfbescheinigung kann im Alter von 15 Jahren erlangt werden. Die zuvor genannten Aspekte sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Bezüglich der zulässigen Fahrzeugmasse bzw. Gesamtmasse besteht derzeit keine Vorgabe. Von einer unbeschränkten Freigabe (keine Massengrenze) ist auf jeden Fall abzuraten, da sonst bei zu hoher Masse die Sicherheit Dritter zu stark gefährdet wird. Vor diesem Hintergrund und dem Aspekt, dass Elektrokleinstfahrzeuge als klein und leicht einzustufen sein sollen, wäre ein erster Vorschlag für die maximale Fahrzeugmasse ohne Fahrer 50 kg. Dieser Aspekt bedürfte jedoch weiterer Untersuchungen, um eine Massengrenze auf Basis gesicherter Erkenntnisse festlegen zu können. Bei 50 kg könnte zumindest ein defektes Fahrzeug mit blockierten Rädern noch per Hand aus einer Gefahrenzone gezogen oder geschoben werden.

Für die Abmessungen von Elektrokleinstfahrzeugen wird als maximale Fahrzeugbreite 700 mm, Fahrzeughöhe 1400 mm und für die Fahrzeuglänge 2000 mm in Anlehnung an die Abmessungen von Fahrrädern und dem Segway empfohlen. Ein Radweg nach Kapitel 3.3 ist gemäß RAST 2006 mit einer Mindestbreite von 1,60 m (Breite zwischen Markierung und Bord) anzuordnen. Die nutzbare Mindestbreite (frei von Entwässerungsrinnen und Straßenabläufen) beträgt 1,00 m. Gemäß Regelwerk gestattet eine nutzbare breite von 1,60 das Überholen von Radfahrern untereinander (und damit auch von Elektrokleinstfahrzeugen).

Größere und schwere Fahrzeuge weisen Einschränkungen in der Handhabbarkeit (beim Transport, beim Rangieren oder beim Schieben, etc.) auf und passen nicht zum Grundgedanken der Elektrokleinstfahrzeuge. Diese sollten daher als Fahrzeug der Klasse L einzustufen sein.

4.3.2 Fahrzeuge, die nicht unter die Kategorievorschläge fallen

Nicht unter die neuen Kategorien fallen:

- Krankenfahrrhle
- Schub- oder Zugeinrichtungen, also z. B. ein motorisierter Anhänger oder eine Traktoreinheit, hinter der etwas oder jemand gezogen wird
- Fahrzeuge für Wettkämpfe
- Mobile für den Freizeitbereich (z. B. Fahrzeuge mit „Drift-Funktion“ oder Kombinationen mit anderen Sportgeräten wie Inlineskates) für den nicht öffentlichen Verkehr
- sonstige Fahrzeuge, die nicht die Anforderungen und Kriterien der neuen Kategorien erfüllen

5 Betrachtungen zur passiven Sicherheit

5.1 Einleitung

Zur passiven Sicherheit wurden zwei Aspekte betrachtet. Einerseits wurde der Schutz des Nutzers diskutiert, wobei insbesondere der Selbstschutz

und eine möglicherweise zu empfehlende Helmpflicht und weitere Schutzkleidung im Vordergrund standen. Andererseits wurde die äußere Sicherheit und somit das Risiko für andere Verkehrsteilnehmer beurteilt, das von einem Elektrokleinstfahrzeug ausgehen kann.

Für den Eigenschutz wurde die Wirkung von persönlicher Schutzausrüstung und hierbei insbesondere des Kopfschutzes diskutiert. Bestehende Helmtypen sowie zugehörige Normen- und Regelwerke wurden dargestellt, um den aktuellen Stand der Technik zu verdeutlichen. Darauf basierend wurden Empfehlungen zur passiven Sicherheit (Selbstschutz und Risiko für andere Verkehrsteilnehmer) gegeben.

Die Gefährdung für andere Verkehrsteilnehmer durch Elektrokleinstfahrzeuge wurde abgeschätzt und Vergleiche mit bestehenden Konzepten wurden erstellt. Bestehende Anforderungen zur äußeren Sicherheit von Einspurfahrzeugen wurden recherchiert (wie z. B. Radabdeckungen, Mindeststrahlen, Stoßprüfung) und Vorschläge für eine Übertragbarkeit auf Elektrokleinstfahrzeuge entwickelt.

5.2 Persönliche Schutzausrüstung (innere Sicherheit)

5.2.1 Grundlagen / Literaturrecherche

Nachfolgend sind ausgewählte Literaturstellen wiedergegeben, in denen Aussagen zum Schutzpotenzial von Fahrrad- und Motorradhelmen getroffen wurden. Dabei wurde auf wissenschaftliche Studien und Berichte sowie auf relevante Regelungen und Normen zurückgegriffen.

BASSt Studie zur Bewertung des Motorradhelms und der UN-R 22, 2015

Im Rahmen eines BASSt-Forschungsprojektes wurden Maßnahmen zur Verminderung des Motorradunfallgeschehens und dessen Verletzungsfolgen vorgeschlagen. Hierzu wurden Unfalldaten motorisierter Einspurfahrzeuge (MESFz) analysiert, eine Bewertung der UN-R 22 (Regelung der United Nations) vorgenommen sowie ergänzende Computersimulationen durchgeführt. Dieses Projekt ist erwähnenswert, weil hier Aussagen zum Einsatz von Motorradhelmen und zur Häufigkeit von Kopfverletzungen gemacht wurden.

In der Unfalldatenanalyse zeigte sich, dass das Unfallgeschehen von MESFz sehr vielfältig ist. Etwa die Hälfte der Aufsassen verteilt sich auf die neun häufigsten Unfalltypen. Kopfverletzungen wurden etwa bei der Hälfte der 199 untersuchten Unfälle festgestellt. In 18 % lagen die führenden Verletzungen am Kopf. Die Rangfolge der Verletzungshäufigkeit lag bei den unteren Extremitäten bei 73 %, beim Thorax bei 55 % und beim Kopf bei 49 %. 75 % der Aufsassen trugen einen Integralhelm, 14 % einen Jethelm und ca. 10 % waren ohne oder mit einem ungeeignetem Halbschalenhelm unterwegs.

Bei der Bewertung der eingesetzten Kopfverletzungskriterien wurde Kritik an den zurzeit verwendeten Kriterien in der UN-R 22 (z. B. HIC, Head Injury Criterion) geübt. Es wurden Alternativen für Kopfkriterien genannt, aber es konnte keine abschließende Empfehlung gegeben werden. In Bezug auf die UN-R 22 wurden insgesamt elf Punkte identifiziert, die auch zur Überarbeitung empfohlen wurden, darunter insbesondere auch Empfehlungen zu möglichen Genehmigungszeichen. Es wurde keine Abschätzung der Wirksamkeit der Vorschläge vorgenommen, da dies aufgrund der Unfalldaten nicht möglich war.

Die Ergebnisse des Projektes zeigten, dass der Motorradhelm Möglichkeiten zur Vermeidung von Kopfverletzungen hat. Es besteht aber ein deutliches Verbesserungspotenzial bei den aktuellen Prüfbedingungen für Motorradhelme (UN-Regelung 22).

BASSt Studie zur ergänzenden Bewertung der Sicherheit von Fahrradhelmen für Kinder, 2011

Das Schutzpotenzial von Fahrradhelmen wurde anhand verschiedener Versuchskonfigurationen untersucht. Hierbei wurden die resultierende Kopfbeschleunigung als Messwert sowie das Kopfverletzungskriterium HIC bei Versuchen ohne und mit Helm vergleichend gegenübergestellt. Tests mit dem Fußgängerschutz-Kinderkopfpaktork gegen eine Fahrzeugfront in Anlehnung an die EU-Verordnung Nr. 78/2009 und das Testprotokoll nach Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) belegen an verschiedenen Kopfanprallpunkten auf der Motorhaube die Schutzwirkung des Fahrradhelms beim Fahrzeug-Fahrradfahreranprall.

Seitliche Sturzversuche auf die Fahrbahn bzw. gegen einen Bordstein mit einem 6-jährigen Hybrid III-Dummy als Fahrradfahrer sowie Pendelschlagversuche gegen die Stirn des Dummys, welche einen Sturz über den Lenker simulieren, wurden

durchgeführt. Zudem wurden Anfahrversuche eines Pkw gegen einen 6-jährigen Hybrid III-Dummy als Fahrradfahrer durchgeführt, die zeigen, dass das Schutzz Potenzial von Fahrradhelmen im Fahrzeug-Fahrradfahreranprall von erheblicher Relevanz ist, sowohl in Bezug auf den Primäraufprall gegen die Fahrzeugfront, als auch auf den ebenfalls realunfallrelevanten Sekundäraufprall auf die Fahrbahn.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Fahrradhelm sein vorhandenes Potenzial bei zunehmender Härte des Anpralls zunehmend auszus schöpfen vermag. Beim Anprall gegen Fahrzeugfronten, die bereits auf einen Schutz äußerer Verkehrsteilnehmer hin optimiert sind, sei die vorhandene Schutzwirkung aufgrund des fahrzeugseitig häufig zur Verfügung stehenden Deformationsraums vergleichsweise geringer, aber dennoch vorhanden. Demgegenüber wurde das beachtliche Schutzz Potenzial des Fahrradhelmes beim Anprall auf der Straßenoberfläche, Bordstein oder weitere starre Hindernisse mit Belastungsreduktionen gegenüber dem ungeschützten Anprall von bis zu 90 % gezeigt.

Untersuchung zur Schutzwirkung von Fahrradhelmen, 2015

In einem Forschungsprojekt der UDV (Unfallforschung der Versicherer) im Auftrag der GDV (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.) wurden Unfallanalysen durchgeführt und biomechanische Betrachtungen mit dem Ziel angestellt, verbesserte Testverfahren für Fahrradhelme zu erarbeiten. Dazu wurden Fahrradunfälle mit tödlichem Ausgang sowie mit leicht bis schwerverletzten Fahrradfahrern aus dem Raum München und Münster analysiert.

Als typische Kollisionsarten wurden der Alleinunfall mit seitlichem Sturz und Sturz über den Lenker bei eher geringen Geschwindigkeiten identifiziert. Bei Kollisionen mit der Front des Pkw wurden Kollisionsgeschwindigkeiten zwischen 15 km/h und 40 km/h festgestellt. Ausgewählte Unfälle wurden rekonstruiert und mit FEM (Finite Element Modelle) simuliert. Unter Verwendung des Kopfmodells SU-FEHM (Universität Straßburg) wurden die Kopfverletzungsrisiken bestimmt und der Nutzen eines Fahrradhelms aufgezeigt.

Die Autoren kommen zum Schluss, dass die Anforderungen in der EN 1078 (Anforderungen an Helme für Fahrräder) Optimierungspotenzial haben. Insbe-

sondere der Überdeckungsbereich (Schläfen, untere Stirn) sollte ausgeweitet werden. Zudem wurden Empfehlungen gegeben, die im Test vorgegebenen Anprallgeschwindigkeiten zu überarbeiten.

In dieser Untersuchung wurde auch eine umfangreiche Literaturrecherche zum Unfallgeschehen mit Fahrrädern und Fahrradhelmen durchgeführt. Es wird hierbei zusammenfassend aufgeführt, dass ein hoher Anteil an Fahrradfahrern schwere oder tödliche Kopfverletzungen erleidet. Die Verletzungsmechanik sei hierbei häufig nicht vollständig klar. Studien zeigten, dass ein Fahrradhelm diese Verletzungen verhindern oder abschwächen kann. Die aktuellen Anforderungen und Testbedingungen böten eine gute Basis, es bestehe aber noch Optimierungspotenzial, um das Schutzz Potenzial zu verbessern.

Stellungnahme BMVI zur kleinen Anfrage der Grünen in Bezug auf Fahrradhelme, 2015

Auf eine kleine Anfrage von Bündnis 90/Die Grünen 18/05184 betreffend „Fahrradfreundliche Reform der Straßenverkehrs-Ordnung“ wurde vom BMVI auf die Frage 22 „Inwieweit genügt die ca. 20 Jahre alte Fahrradhelm-Norm EN 1078 nach Auffassung der Bundesregierung den heutigen Ansprüchen an die Schutzwirkung (v.a. für NutzerInnen von Pedelecs und E-Bikes)?“ wurde vom BMVI wie folgt geantwortet:

Für schnelle Elektrofahrräder, sogenannte „schnelle Pedelecs“ (S-Pedelecs mit elektrischer Unterstützung bis 45 km/h) und für E-Bikes sind die gegenwärtig in der EN 1078 beschriebenen Testverfahren überprüfenswert. Auch der Deutsche Verkehrsgerichtstag hat in seinen Empfehlungen aus dem Jahre 2012 gefordert, dass die Industrie für schnelle Pedelecs geeignete Helme entwickeln soll. Hier gilt es insbesondere, den Konflikt zwischen ausreichender Schutzwirkung und Komfort in Einklang zu bringen.

5.2.2 Anforderungen an die persönliche Schutzausrüstung

Prüfung von Fahrradhelmen nach der EN 1078

Die Norm EN 1078:2015-4 beschreibt Anforderungen an Helme für Fahrräder (siehe Bild 7a), Skateboards etc. Die Anforderungen dieser Norm beziehen sich auf Konstruktion, einschließlich Sichtfeld; stoßdämpfende Eigenschaften, Eigenschaften der Trageeinrichtung (einschließlich Kinnriemen und



Bild 7a: Exemplarische Darstellung eines Fahrradhelms



Bild 7b: Geschlossener Motorradhelm



Bild 7c: Klapp Helm



Bild 7d: Jet Helm

Befestigungsvorrichtungen), Kennzeichnung und Information.

Bei den stoßdämpfenden Eigenschaften wird mit einer Geschwindigkeit von 16,5 km/h (Fallhöhe 1,064 m) gegen eine Kante (Bordstein) und von 19,5 km/h (Fallhöhe 1,497 mm) gegen eine flache Platte (Sockel) in unterschiedlichen Anprallkonfigurationen getestet. Hierbei darf der Grenzwert bei höchstens 250 g liegen.

Anmerkung: In der UN-R 80 wird beim Frontalanprall im Pkw ein Höchstwert von 80 g über 3 ms gefordert.

Prüfung von Motorradhelmen nach der UN-R 22

Die Mindestanforderungen an Motorradschutzhelme sowohl der passiven als auch der aktiven Sicherheit sind in der UN-R 22 beschrieben. Gemäß UN-R 22 Revision 4 werden derzeit in Falltests verschiedene Anprallpunkte mit einer Geschwindigkeit von 27 km/h geprüft und, falls vorhanden, gegen den Kinnbügel mit einer Geschwindigkeit von 19,8 km/h. Zusätzlich wird nach UN-R 22 auch die Gestaltfestigkeit von Helmen mit einem quasi-statischen Versuch geprüft. Hierbei darf der Höchstwert bei der Beschleunigung des Prüfkopfes den Wert von 275 g und einen HIC Wert von 2.400 nicht übersteigen.

Nach den Vorgaben der UN-R 22 sind sowohl geschlossene Helme (mit Visier und Kinnschutz, Bild 7b), Klapphelme (Bild 7c) als auch offene Helme (sogenannte Jet-Helme, Bild 7d) möglich.

5.2.3 Generelle Betrachtungen zum Kopfanprall

Generell kann der Helm einen protektiven Charakter bei einem Kopfanprall haben. Dies wurde schon in verschiedenen Studien gezeigt. Helme werden nach unterschiedlichen Normen und Regelungen geprüft,

bei denen mit Geschwindigkeiten von 16,5 km/h bis 27 km/h in unterschiedlichen Anprallkonfigurationen getestet wird. Es ist davon auszugehen, dass die Helme in einer Anprallkonfiguration mit der vorgeannten Geschwindigkeitsdifferenz ihr optimales Schutzpotenzial entfalten, da Helme für diese Test-szenarien entwickelt werden. Darüber hinaus besteht jedoch Optimierungspotenzial hinsichtlich der Prüfbedingungen, wie Abdeckungsbereich des Helmes, Prüfgeschwindigkeit und Prüfkriterien.

Hier ist anzumerken, dass ein nicht abgestützter Aufprall aus einer Höhe von 1,80 m bereits zu einer Aufprallgeschwindigkeit von 21 km/h führen kann.

Gl. 1

$$v = \sqrt{2 \cdot x \cdot a} = \sqrt{2 \cdot 1,8m \cdot 9,81 \frac{m}{s^2}} = 5,94 \frac{m}{s} \cong 21,4 \frac{km}{h}$$

x : Höhe; a = g : Erdbeschleunigung; v : Anprallgeschwindigkeit

Demnach kann ein bloßes Umfallen einer Person in einer ungünstigen Variante zu schweren Schädelhirnverletzungen führen.

5.2.4 Helme für S-Pedelecs

Seit einiger Zeit werden Pedelecs – Fahrräder mit Unterstützung durch einen Elektromotor – immer populärer. Dabei unterscheidet man zwischen Pedelecs mit einer elektromotorischen Unterstützung bis 25 km/h, bei denen ein Fahrradhelm empfohlen wird, und einem Speed Pedelec, das bis 45 km/h elektromotorisch unterstützt und u. a. in Bezug auf den Helm als Kraftrad behandelt wird. Nach den Vorgaben der StVO muss bei der Benutzung von Krafträdern mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von über 20 km/h ein geeigneter Schutzhelm getragen werden. Von einem geeigneten Schutzhelm kann im Einzelfall dann ausgegangen werden, wenn dieser entsprechend der UN-Regelung 22 oder einer äquivalenten Regelung oder Prüfnorm geprüft wurde.



Bild 8: S-Pedelec Helm, Modell Vigor

Demnach muss bei der Nutzung eines Speed Pedelecs ein Helm gemäß der UN-R 22 (Motorradhelme) getragen werden.

Da bei der Benutzung von Speed Pedelecs weiterhin Muskelkraft für die Fortbewegung erforderlich ist und eine entsprechende körperliche Anstrengung erfolgt, ist für eine Klimatisierung insbesondere des Kopfbereiches zu sorgen. Hierbei stellt sich die Frage, ob am Markt erhältliche UN-R 22 geprüfte Motorradhelme (u. a. in Bezug auf Belüftung und Helmmasse) für die Benutzung von Speed Pedelecs geeignet sind.

Eine Empfehlung des Arbeitskreis VI des 50. Deutschen Verkehrsgerichtstages lautet:

Der Gesetzgeber wird aufgefordert zu regeln, dass schnelle Pedelecs mit einer Unterstützung der Radfahrenden bis zu einer Geschwindigkeit von 45 km/h insbesondere in Hinblick auf Fahrerlaubnisrecht, Helmtragepflicht und Zulassungsrecht als Kleinkraftfahrzeuge zu behandeln sind. Die Industrie wird aufgefordert, hierfür zeitnah geeignete Helme zu entwickeln.

Im Folgenden soll hier auf ein spezielles Helmmodell des Herstellers CRATONI hingewiesen werden, der einen Helm für S-Pedelecs vertreibt. Der Hersteller erläutert auf seiner Internetseite, dass dieses Modell (s. Bild 8) einen Fahrradhelm-Charakter habe, aber die Motorradhelm Vorschrift UN-R 22 erfülle.

5.2.5 Ausführungen zur Helmpflicht

In der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO, BGBl, Teil I (Nr.12 vom 01. 03. 2013)), § 21a Absatz 2 fordert der Gesetzgeber:

Wer Kraftfahrzeuge oder offene drei- oder mehrrädrige Kraftfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von über 20 km/h führt sowie auf oder in ihnen mitfährt, muss während der Fahrt einen geeigneten Schutzhelm tragen. Dies gilt nicht, wenn vorgeschriebene Sicherheitsgurte angelegt sind.

Demnach muss bei der Benutzung von sogenannten Speed-Pedelecs sowie für die Benutzung von Mofas ein geeigneter Helm getragen werden.

In der Verordnung über Ausnahmen von straßenverkehrsrechtlichen Vorschriften (Leichtmofa-Ausnahmeverordnung) wird angeführt, dass abweichend von § 21a Absatz 2 der Straßenverkehrs-Ordnung die Führer der Leichtmofas während der Fahrt keinen Schutzhelm zu tragen brauchen.

In Bezug auf die StVO § 21a stellt sich jedoch die Frage, ab wann ein Schutzhelm geeignet ist. Hierzu führt (Schueler, 2015) Folgendes aus: „In der Regel gilt ein Schutzhelm als geeignet, wenn dieser nach der UN-Regelung Nr. 22 typgeprüft wurde.

Von einem geeigneten Schutzhelm kann im Einzelfall dann ausgegangen werden, wenn dieser

- ausweislich einer fälschungssicheren Typprüfkennzeichnung entsprechend der UN-Regelung 22 oder einer äquivalenten Regelung oder Prüfnorm geprüft wurde oder
- den Mindestanforderungen der UN-R 22 oder einer äquivalenten Regelung oder Prüfnorm entspricht und
- ferner seine Geeignetheit nicht verloren hat durch unzutreffende Auswahl hinsichtlich der passenden Helmgröße oder vorausgegangene mechanische oder thermische Einwirkungen oder durch alterungsbedingte Veränderungen.“

Bei der Benutzung von Fahrrädern wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur ein nach EN 1078 geprüfter Fahrradhelm empfohlen. Bei einem Anprall des behelmten Kopfes gegen eine harte Struktur innerhalb des Schutzbereiches hat der Fahrradhelm sein Schutzz Potenzial.

Dagegen ist der gesamtheitliche Schutzeffekt bei einer Helmpflicht für Radfahrer durchaus umstritten. Dazu hat die BAST bereits 2011 wie folgt Stellung genommen:

Kritikpunkte einer etwaigen Radhelmpflicht betreffen die mögliche Gefahr des Rückgangs der Fahrradnutzung aufgrund eines Attraktivitätsverlustes und damit einhergehende gesundheitliche Folgen (Anstieg von kardiovaskulären Erkrankungen) sowie eine mögliche Risikokompensation der Radfahrer durch einen Zuwachs an Sicherheitsempfinden, wie nach der Risiko-Homöostase-Theorie



Bild 9: Schutzausrüstung für die Versuchsfahrten

erwartet werden kann. Weitere Diskussionspunkte sind der mögliche Fehlgebrauch des Fahrradhelms (z. B. spielende Kinder mit Fahrradhelm) sowie Qualitätsdefizite bei einzelnen Fahrradhelmen. Die grundsätzliche Schutzwirkung von Fahrradhelmen ist dagegen weitestgehend unstrittig.

5.2.6 Nachteilige Wirkungen von Schutzhelmen

Es können bestimmte nachteilige Wirkungen von Schutzhelmen nicht ausgeschlossen werden, da diese die Kopfmasse und den Kopfdurchmesser effektiv vergrößern.

Durch die Vergrößerung des Kopfdurchmessers besteht potenziell einerseits die Gefahr des Hängenbleibens mit dem Helm und andererseits durch die größere Angriffsfläche eine höhere Kollisionswahrscheinlichkeit mit Objekten.

Es kommt zu einer Erhöhung der Kopfmasse um ca. 800 g bis 2.300 g bei Motorradhelmen und um ca. 250 g bei Fahrradhelmen. Hierbei besteht die Gefahr der Erhöhung der trägen Masse des Kopfes und damit die Gefahr von Verletzungen im Bereich der Halswirbelsäule und der Schädelbasis, verursacht durch erhöhte trägheitsbedingte Zugkräfte.

5.2.7 Weitere persönliche Schutzausrüstung

Der Kopf gilt als der schützenswerteste Bereich, da Verletzungen am Schädel-Hirn-Bereich zu schwer-

wiegend und lebensbedrohlich sind. Bei einem Sturz von einem Elektrokleinstfahrzeug können auch Verletzungen im Bereich des Thorax und der Extremitäten auftreten, die aber häufig nicht direkt lebensbedrohlich sind. Für die Testfahrten wurde daher sorgfältig eine Schutzausrüstung für die Probanden ausgewählt, um auch kleinere Verletzungen nach Möglichkeit zu vermeiden. Hierbei stand insbesondere auch der Arbeitsschutz im Vordergrund. Bild 9 zeigt exemplarisch die Schutzausrüstung für die Versuchsfahrten.

Da für andere Fahrzeuge und Fahrzeugkategorien wie zum Beispiel das Motorrad jedoch keine weiteren protektiven Ausrüstungen vorgeschrieben sind, wie z. B. Motorradjacke, Stiefel, wurde innerhalb dieses Projektes in Bezug auf eine mögliche Pflichtausrüstung nicht weiter darauf eingegangen.

5.2.8 Auswertung der Befragung

Im Rahmen der Probandenstudie wurden zusätzlich Fragen zur Akzeptanz der persönlichen Schutzausrüstung gestellt. Demnach sollten sich die Probanden dazu äußern, ob sie bereit wären, einen Fahrradhelm, einen offenen Motorradhelm (Jet-Helm) oder einen geschlossenen Motorradhelm zu tragen. Ferner wurden Fragen zur Nutzung von Handschuhen, Stiefeln, Protektoren für die oberen Extremitäten (Ellbogen, Handgelenk), Protektoren für die unteren Extremitäten (Knie), sowie zur Motorradjacke und Motorradhose gestellt. Die Details zur Auswertung sind in 6.3 wiedergegeben.

5.2.9 Schlussfolgerung persönliche Schutzausrüstung

Generell ist davon auszugehen, dass ein Schutzhelm, wenn er nach der EN 1078 oder einer gleichwertigen Norm geprüft wurde, einen protektiven Charakter bei der Nutzung von Elektrokleinstfahrzeugen im Falle einer Kollision bietet. Das Optimum des Schutzzpotenzials eines solchen Fahrradhelms liegt in der von der EN 1078 geprüften Aufprallart (Kante, Sockel) und einer Kollisionsgeschwindigkeit von 16 bis 20 km/h. Die Untersuchungen zeigen aber auch, dass es beim Helmschutz noch deutliches Optimierungspotenzial gibt und eine Überarbeitung der Testprozeduren anzustreben ist.

Ein nach der UN-R 22 geprüfter Helm bietet ein größeres Schutzzpotenzial bei höheren Anprallgeschwindigkeiten und bezüglich des Abdeckungsgrades. Insbesondere der erweiterte Abdeckungs-

Kategorie	Kopfschutz
Fahrzeuge mit bbH bis 20 km/h	Empfehlung zur Nutzung eines Helmes, der nach EN 1078 geprüft wurde
Fahrzeuge mit bbH über 20 km/h	Pflicht zur Nutzung eines Helmes, der nach UN-R 22 geprüft wurde

Tab. 10: Empfehlungen in Bezug auf Kopfschutz.



Bild 10: US-Oldtimer

bereich für den Kopf und das Gesicht wurde in Studien als relevant dargestellt. Allerdings liegen selbst hier die Prüfgeschwindigkeiten (bis 27 km/h) unter der maximal zulässigen Geschwindigkeit von Speed-Pedelecs und Mopeds. Darüber hinaus können diese Helme in Bezug auf Belüftung nicht ideal konstruktiv ausgeführt sein, um die erforderliche Klimatisierung bei mit Muskelkraft betriebenen Fahrzeugen zu gewährleisten.

Wenn man den aktuellen Bestimmungen für den Kopfschutz folgt, dann können folgende Empfehlungen dafür abgeleitet werden, die in Tabelle 10 dargestellt sind.

5.3 Beurteilung des Risikos für andere Verkehrsteilnehmer (äußere Sicherheit)

5.3.1 Generelle Betrachtungen

Die Gefahr des Verletzungsrisikos bei einer Kollision von Verkehrsteilnehmern ist generell durch die Kraft des Aufpralls definiert, die sich einerseits aus Masse und Beschleunigung zusammensetzt ($F = m \cdot a$) und andererseits durch die direkte Penetration von scharfkantigen Teilen ($P = \frac{F}{A}$). Die Geometrie der Anprallfläche ist damit wesentlich für die Verletzungsgefahr. Hier kann auch bei geringer

Geschwindigkeit mit quasistatischer Einwirkung eine Verletzung erzeugt werden, solange die Anprallfläche nicht biomechanisch adaptiert ist. Als Beispiel können Fahrzeugfronten genannt werden, wie sie in der Vergangenheit hergestellt wurden, siehe Bild 10.

Um diesem Verletzungsrisiko entgegenzuwirken, sind zahlreiche Regelungen insbesondere für den Bereich von Pkw in den letzten Jahren erlassen worden. Hierbei wird mit unterschiedlichen Prüfkörpern getestet, inwiefern die Fahrzeugfront stoßabsorbierend ist.

Im Gegensatz zur direkten Anprallfläche ist jedoch die kinetische Energie der zweite große Faktor. Generell erhöht sich die kinetische Energie mit der Geschwindigkeit (im Quadrat) und mit der Masse (linear).

$$E_{kin} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad \text{Gl. 2}$$

Somit führt eine höhere Masse und insbesondere eine höhere Geschwindigkeit zu einer größeren Verletzungswahrscheinlichkeit bei einer Kollision. Bild 11 stellt diesen Zusammenhang dar.

Ein Fußgänger mit einer Gehgeschwindigkeit von 5 km/h und 80 kg Masse hat eine kinetische Energie von ca. 80 Joule. Der Nutzer eines Elektrokleinstfahrzeuges mit einer Geschwindigkeit von 15 km/h und 120 kg Gesamtmasse hat eine kinetische Energie von ca. 1.000 Joule, da die Geschwindigkeit im Quadrat eingeht. Ein Pkw hat bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h und einer Masse von 1.500 kg bereits eine Energie von fast 150.000 Joule. D. h. aufgrund der höheren Masse und der höheren Geschwindigkeit stellt ein Pkw ein weitaus höheres Risiko als ein Elektrokleinstfahrzeug dar.

5.3.2 Literatur zum Gefährdungspotenzial von Elektrokleinstfahrzeugen

In der Literatur gibt es nur wenige Informationen, die sich direkt mit dem Gefährdungspotenzial für andere Verkehrsteilnehmer durch Elektrokleinstfahrzeuge befassen. Im Jahr 2009 wurde eine Studie vom Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. durchgeführt mit dem Titel: „Segway - Eine Bewertung des neuartigen Transportmittels durch die Unfallforschung der Versicherer“. Innerhalb dieser Studie wurden verschiedene Aspekte des Segways analysiert. Wesentliche Erkenntnisse dieser Studie waren:

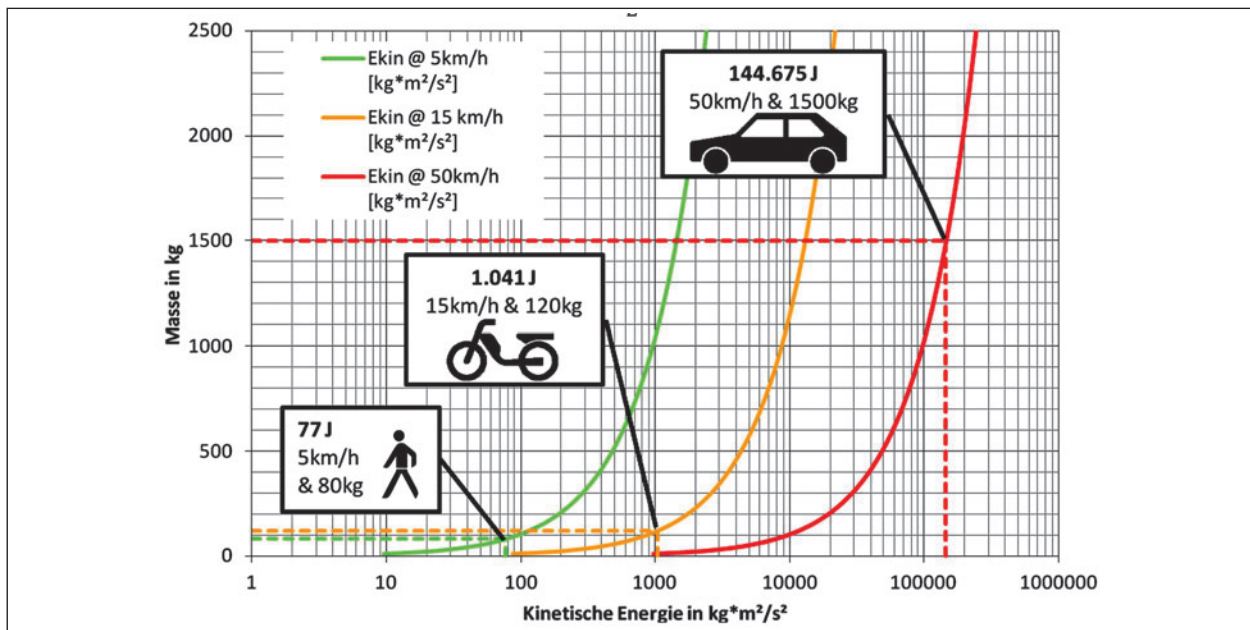


Bild 11: Zusammenhang der kinetischen Energie mit Geschwindigkeit und Masse, logarithmische Darstellung der Energieachse

- Ausweichen bei plötzlich auftretenden Hindernissen ist nicht befriedigend umsetzbar
- Anhalteweg bei Notbremsung aus 20 km/h für Mehrzahl der Probanden deutlich länger als für Fahrrad

Bei der Bewertung der Sicherheitseigenschaften von Segway-Fußgänger-Kollisionen wurden insgesamt vier kritische Ereignisse untersucht:

1. Gegenseitiger Kopfanprall:
Hierbei kam es zu hohen Beschleunigungen bei beiden Dummies und damit verbundenen schweren Kopfverletzungen
2. Anprall Segway gegen Fußgängerbein:
Es wurden hohe Belastungen des Unterschenkels und der Fußgelenke gemessen und somit schwere Beinverletzungen postuliert
3. Fußgängerkopf prallt auf den Boden:
Sehr hohe Messwerte im Bereich Kopf, Hals, Brust und Becken, schwerste Verletzungen in den o.g. Bereichen
4. Kopf des Segwayfahrers prallt auf den Boden:
Hohe Hals- und Brustbelastungen, sehr hohe Kopfbelastungen, schwerste Kopfverletzungen

5.3.3 Anforderungen an bestehende Fahrzeugkonzepte

Um Anforderungen an Elektrokleinstfahrzeuge zu definieren, die den Schutz von äußeren Verkehrs-

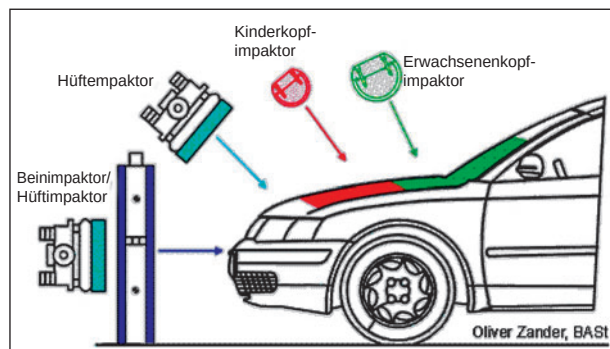


Bild 12: Beispielhafte Darstellung der Testkonfiguration zum Fußgängerschutz.

teilnehmern erhöhen, wurde eine Analyse der bestehen Anforderungen an derzeitige Fahrzeugkonzepte vorgenommen. Hierbei wurde auf die Verordnung (EG) Nr. 78/2009 und Verordnung (EG) Nr. 631/2009 für die Typgenehmigung von Pkw hinsichtlich des Schutzes von Fußgängern und anderen ungeschützten Verkehrsteilnehmern, die Richtlinie 97/24/EG für Ausführungen über bestimmte Bauteile und Merkmale von zweirädrigen oder dreirädrigen Kraftfahrzeugen sowie auf die Richtlinie 2001/95/EG für spezifische Sicherheitsanforderungen an Fahrräder eingegangen.

Verordnung (EG) Nr. 78/2009 und Verordnung (EG) Nr. 631/2009 für den Fußgängerschutz von Pkw

In der Verordnung (EG) Nr. 78/2009 und der Verordnung (EG) Nr. 631/2009 sind die gesetzlichen Anforderungen für den Fußgängerschutz von Pkw beschrieben. Diese gelten im letzten Schritt seit

Europäische Verordnungen 78/2009 und 631/2009, Phase 2										
EEVC Beinprüf- körper gegen Stoßfänger	Geschw.	Winkel	Beschleunigung	Biegung	Scherung					
	40 km/h	0°	170 g (250 g)	19°	6 mm					
Hüftprüfkörper gegen Stoßfänger	Geschw.	Winkel	Summenkraft	Biegung						
	40 km/h	0°	7,5 kN	510 Nm						
Erwachsenekopf- prüfkörper gegen Motorhaube	Geschw.	Winkel	WAD [mm]	Durchmesser	Masse	HPC				
	35 km/h	65°	1700 - 2100	165 mm	4,5 kg	1000 [2/3] ³⁾	1700 [1/3] ³⁾			
Kinderkopfprüf- körper gegen Motorhaube	Geschw.	Winkel	WAD [mm]	Durchmesser	Masse	HPC				
	35 km/h	50°	1000 - 1700	165 mm	3,5 kg	1000 [1/2] ⁴⁾	1700 [1/2] ⁴⁾	oder (wenn nur ⁴⁾)	1000 [2/3] ³⁾	1700 [1/3] ³⁾
WAD: Wrap Around Distance HPC: Head Protection Criterion 3) ganze Haube 4) Kinderkopfbereich										

Tab. 11: Ausgewählte Parameter der europäischen Verordnungen 78/2009 und 631/2009.

24. Februar 2015 für alle Fahrzeuge der Klasse M1 sowie für alle von der Klasse M1 abgeleiteten Fahrzeuge der Klasse N1.

Hierbei wird mit Bein-, Oberschenkel- und Kopfprüfkörpern die Fahrzeugfront mit einer Geschwindigkeit von bis zu 40 km/h beschossen, und es müssen ausgewählte Verletzungskriterien wie Kräfte, Momente und Beschleunigungen eingehalten werden (s. Bild 12).

In Tabelle 11 sind ausgewählte Parameter der europäischen Verordnungen dargestellt.

StVZO „Vorstehende Außenkanten, Frontschuttsysteme“

Im § 30c „Vorstehende Außenkanten, Frontschuttsysteme“ sind Anforderungen an Fahrzeuge in Bezug auf die Außenkontur genannt.

- (1) Am Umriss der Fahrzeuge dürfen keine Teile so hervorragen, dass sie den Verkehr mehr als unvermeidbar gefährden.
- (2) Vorstehende Außenkanten von Personenkraftwagen müssen den im Anhang zu dieser Vorschrift genannten Bestimmungen entsprechen.
- (3) Vorstehende Außenkanten von zweirädrigen oder dreirädrigen Kraftfahrzeugen nach § 30a Absatz 3 müssen den im Anhang zu dieser Vorschrift genannten Bestimmungen entsprechen.
- (4) An Personenkraftwagen, Lastkraftwagen, Zugmaschinen und Sattelzugmaschinen mit mindes-

tens vier Rädern, einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von mehr als 25 km/h und einer zulässigen Gesamtmasse von nicht mehr als 3,5 t angebrachte Frontschuttsysteme müssen den im Anhang zu dieser Vorschrift genannten Bestimmungen entsprechen.

Richtlinie 97/24/EG

In der Richtlinie 97/24/EG sind Ausführungen über bestimmte Bauteile und Merkmale von zweirädrigen oder dreirädrigen Kraftfahrzeugen dargelegt. In Kapitel 3 dieser Richtlinie wird auf die Prüfvorschriften und Prüfbedingungen für vorstehende Außenkanten eingegangen. Dabei ist u. a. eine Prüfvorrichtung (Bild 13) von vorne nach hinten an dem Fahrzeug vorbeizuführen. Nachfolgend ist eine Auswahl der wesentlichen Prüfbedingungen der RL 97/24/EG wiedergegeben:

3.1. Allgemeine Vorschriften

Unbeschadet der Vorschriften des Abschnitts 3.2 darf die Außenfläche aller Fahrzeugtypen keine nach außen gerichteten spitzen oder scharfen oder vorstehenden Teile aufweisen, deren Form, Abmessungen, Richtung oder Gestaltfestigkeit das Verletzungsrisiko oder die Schwere der Körperverletzungen von Personen vergrößern könnten, die im Falle eines Unfalls von dem Fahrzeug erfasst oder gestreift werden.

3.3.

Bei allen von diesem Anhang erfassten vorstehenden Außenkanten, die aus Gummi oder wei-

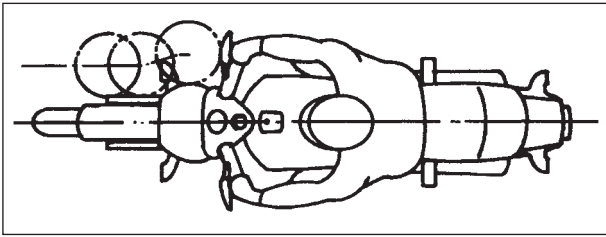


Bild 13: Prüfvorrichtung für vorstehende Außenkanten

chem Kunststoff mit einer Härte von höchstens 60 Shore A hergestellt oder damit überzogen sind, wird davon ausgegangen, dass sie den Vorschriften der Abschnitte 5 und 6 entsprechen.

3.5.

Bei mit Pedalen ausgerüsteten Kleinkraftträdern brauchen die Anforderungen dieser Richtlinie hinsichtlich der Pedale nicht eingehalten zu werden. Der Hersteller muss die Behörden, bei denen der Antrag auf Bauartgenehmigung in Bezug auf die vorstehenden Außenkanten eines Fahrzeugtyps eingereicht wird, in diesem Fall auf die nicht eingehaltenen Anforderungen hinweisen und angeben, welche Maßnahmen ergriffen werden, um die Sicherheit zu gewährleisten.

5. Prüfkriterien

5.2.1.1. Flächenförmige Teile:

- Die Ecken müssen einen Abrundungsradius von mindestens 3 mm aufweisen.
- Die Ränder müssen einen Abrundungsradius von mindestens 0,5 mm aufweisen.

5.2.1.2. Stiftförmige Teile:

- Der Durchmesser des Stiftes muss mindestens 10 mm betragen.
- Die Ränder am Ende des Stiftes müssen einen Abrundungsradius von mindestens 2 mm aufweisen.

6.1 Die obere Kante der Windschutzscheibe bzw. der Verkleidung muss einen Abrundungsradius von mindestens 2 mm aufweisen oder gemäß Abschnitt 3.3 mit einer Schutzschicht überzogen sein.

6.2 Die Enden und Außenkanten der von Hand zu betätigenden Kupplungs- und Bremshebel müssen annähernd rund sein und einen Abrundungsradius von mindestens 7 mm aufweisen.

6.3 Die vordere Kante des vorderen Schutzblechs muss einen Abrundungsradius von mindestens 2 mm aufweisen.

Richtlinie 2001/95/EG „Spezifische Sicherheitsanforderungen an Fahrräder“

In der Richtlinie 2001/95/EG sind im Anhang Teil I „Spezifische Sicherheitsanforderungen an Fahrräder“ genannt.

1. Allgemeine Vorschriften

„Kein bei normaler oder vorgesehener Verwendung für den Nutzer zugängliches Teil darf zu körperlichen Verletzungen führen.“

„Die Fahrräder müssen vorne, hinten und an den Seiten mit Leuchten und Reflektoren ausgestattet sein, damit das Fahrrad und sein Fahrer gut sichtbar sind. Diese Vorrichtungen müssen den Bestimmungen genügen, die in dem Land gelten, in dem das Produkt vermarktet wird.“

„Es muss dem Fahrer möglich sein, das Fahrrad ohne Schwierigkeiten einhändig (wie beim Geben von Handzeichen) und ohne sich zu gefährden zu fahren.“

„Ein Fahrrad muss mit mindestens zwei unabhängigen Bremssystemen ausgerüstet sein.“

Scharfe Kanten

„Exponierte Kanten, die beim normalen Fahren, beim normalen Umgang oder bei der Wartung mit dem Körper des Nutzers in Berührung kommen könnten, dürfen nicht scharf sein.“

Einklemmen

„Von Fahrrädern dürfen keine konstruktiv vermeidbaren Einklemmrissen ausgehen. Falls bei normaler Verwendung oder bei der Wartung ein Einklemmrisko besteht, muss dies in den Benutzungshinweisen/in den Warnhinweisen auf dem Fahrrad angegeben sein.“

Überstehende Teile

„Überstehende Teile müssen vermieden werden, wenn sie für den Nutzer eine Verletzungsgefahr darstellen.“

5.3.4 Gefährdungspotenzial der Versuchsfahrzeuge

Wie bereits erläutert, besteht das Gefährdungspotenzial bei einer Kollision wesentlich aus der Masse und der Geschwindigkeit. Die Massen der hier getesteten Fahrzeuge bewegen sich zwischen 8 kg und 60 kg, was schwerer als ein handelsübliches Fahrrad sein kann, aber auch deutlich leichter als aktuelle motorisierte Zweiräder oder gar Pkw. In Tabelle 12 sind die Massen der ausgewählten Versuchsfahrzeuge, deren Maximalmasse sowie die

Name	SBU V3	Solowheel	Robin M1	i2	MobilityCube	Bamboo Street & All-Terrain	EGRET ONE V3	Trikke Electric eV6.1	EVO-KING 3.0
Hersteller	sbuv3.de	Solo-wheel	Robstep	Segway	med-i-tec Service GmbH	Evolve	Walberg Urban Electrics	Trikke Europe	FORCA
Gewicht	13,2 kg	12 kg	18,5 kg	47,7 kg	70 kg	8,2 kg	15,0 kg	22 kg	49 kg
Max. Geschw.	20 km/h	16 km/h	15 km/h	20 km/h	15 km/h	38 km/h	35 km/h	23 km/h	45 km/h
Max. Gewicht	145 kg	113 kg	120 kg	120 kg	165 kg	108 kg	135 kg	157 kg	150 kg

Tab. 12: Masse, Maximalmasse und Höchstgeschwindigkeit der jeweiligen Versuchsfahrzeuge.

angegebenen Höchstgeschwindigkeiten dargestellt.

Die maximalen Geschwindigkeiten der Versuchsfahrzeuge liegen in einem Bereich zwischen 15 km/h und 45 km/h. Hier zeigen sich bereits deutliche Unterschiede zwischen den verschiedenen Modellen. Im Vergleich dazu liegt die maximale Geschwindigkeit eines Motorrollers bei 45 km/h, des Mofas bei 25 km/h, des Leichtmofas bei 20 km/h und des nach der Mobilitätshilfeverordnung für Radwege zugelassenen Segways ebenfalls bei 20 km/h. Elektrische Zweiräder können nach Pedelec 25 und 45 unterteilt werden. Hierbei darf das Pedelec 25 (elektromotorische Unterstützung bis 25 km/h) auf dem Radweg genutzt werden. Das Pedelec 45 (Antrieb mit Elektromotor bis 45 km/h) wird dagegen wie ein Motorroller eingestuft und darf nur auf der Fahrbahn bewegt werden.

5.3.5 Schlussfolgerung zum Risiko für andere Verkehrsteilnehmer

Aus Sicht des Gefährdungspotenzials für andere Verkehrsteilnehmer sollten entsprechende maximale Höchstgeschwindigkeiten insbesondere vor dem Hintergrund der jeweiligen Infrastruktur den Kategorien zugeordnet werden.

- Kategorie K0: bis 6 km/h → sollte im öffentlichen Straßenverkehr derzeit nicht zugelassen sein, da weiterer Forschungsbedarf notwendig ist.
- Kategorie K1: 6 - 20 km/h → Radweg / Fahrbahn
- Kategorie K2: ≤ 25 km/h → Fahrbahn

Inwieweit Anforderungen an die Masse zu formulieren sind, kann an dieser Stelle nicht abschließend beurteilt werden. Hierfür wären weitere wissenschaftliche Untersuchungen nötig. Es ist auf jeden Fall davon abzuraten, keine Massenobergrenze festzulegen. Ein erster Vorschlag für eine solche Grenze könnte 50 kg sein.

In Bezug auf die Formaggressivität wird empfohlen, hier die einschlägigen Vorschriften der Richtlinie 2001/95/EG „Sicherheitsanforderungen an Fahrräder“ sowie die Anforderungen aus der Richtlinie 97/24/EG „Vorstehende Außenkanten von zweirädrigen KFZ“ zu berücksichtigen.

Hier wurden bereits allgemeine und spezielle Anforderungen und Prüfvorschriften erarbeitet. Sie sollten auf Elektrokleinstfahrzeuge angewendet werden, um unnötige Gefährdungen durch scharfe Kanten, Einklemmen oder überstehende Teile zu vermeiden.

Es erscheint nicht sinnvoll, die Anforderungen für den Fußgängerschutz von Pkw zu übernehmen, da hier mit einer für Elektrokleinstfahrzeuge vergleichsweise sehr hohen Geschwindigkeit (40 km/h) getestet wird. Vermutlich würde aufgrund von Abgleiten der Prüfkörper und der eher geringen Masse von Elektrokleinstfahrzeugen auch die Wiederholbarkeit von solchen Versuchen nicht gegeben sein.

6 Betrachtungen zum Nutzerverhalten und zur Risikobewertung

6.1 Ausgangslage und Fragestellung

Im Rahmen einer Probandenstudie wurde das Ziel verfolgt, das Nutzerverhalten beim Betrieb von Elektrokleinstfahrzeugen zu analysieren. Dabei lag der Schwerpunkt auf der subjektiven Beherrschbarkeit von Elektrokleinstfahrzeugen in verschiedenen, mitunter kritischen, Nutzungssituationen, die entsprechende Verkehrssituationen abbilden sollten. Dazu sollte eine Risikobewertung von Fahrten mit Elektrokleinstfahrzeugen in einem definierten Parcours erfolgen. Besonderes Interesse galt dem subjektiv eingeschätzten Verletzungsrisiko im Vergleich

zu anderen Verkehrsteilnehmern sowie der subjektiven Verkehrssicherheit und Erlernbarkeit der Fahrzeuge. Die Vorerfahrung mit den Fahrzeugen wurde dabei kontrolliert, die Auswirkung von fahrpraktischer Erfahrung auf die subjektiven Aussagen analysiert. Ebenfalls sollten Einschätzungen zu den von Nutzern präferierten Verkehrsräumen erfolgen, inklusive der maximal akzeptierten Fahrgeschwindigkeit mit dem jeweiligen Elektrokleinstfahrzeug. Indem die Akzeptanz diverser Schutzausrüstungen abgefragt wurde, konnte zudem auf das subjektive Schutzbedürfnis der Probanden beim Betrieb dieser Fahrzeuge geschlossen werden.

Anhand der Ergebnisse zum Nutzerverhalten und zur Risikobewertung sollen keine unmittelbaren zulassungsrelevanten Empfehlungen für den Betrieb von Elektrokleinstfahrzeugen im öffentlichen Straßenverkehr abgeleitet werden. Vielmehr dienen die Ergebnisse dazu, einen Gesamtüberblick über subjektive Einschätzungen von Nutzern zu geben, die eine Auswahl von Elektrokleinstfahrzeugen aus ihrer eigenen Perspektive hinsichtlich der zuvor genannten Faktoren bewerten.

6.2 Methode

6.2.1 Stichprobe

An dem Versuch nahmen insgesamt 30 Probanden teil, von denen 12 weiblich und 18 männlich waren und deren Alter zwischen 18 und 59 Jahren variierte. Dabei betrug das Durchschnittsalter 41 Jahre ($SE = 2$). Alle Probanden waren Mitarbeiter der BAST und hatten größtenteils keine Vorerfahrung bei der Nutzung und Bedienung der Versuchsfahrzeuge.

Die Versuchsteilnehmer hatten sich zuvor auf eine schriftliche Anfrage freiwillig zur Teilnahme an dem Versuch bereit erklärt. Voraussetzungen für die Teilnahme waren dabei das Mindestalter von 18 Jahren und die Bereitschaft jedes der sechs zu testenden Fahrzeuge auf dem Versuchsgelände zu fahren.

6.2.2 Versuchsfahrzeuge

Als Versuchsfahrzeuge dienten sechs der Elektrokleinstfahrzeuge, welche in Kapitel 3.2 detailliert beschrieben sind. Diese sechs Fahrzeuge waren: Segway i2, Robstep Robin M1, MobilityCube, Trikke Electric eV6.1, Evoking 3.0 EEC-45, der hier nur mit angebrachtem Sattel gefahren wurde, und EGRET



Bild 14: Aufstellung der Elektrokleinstfahrzeuge in nummerierter Reihenfolge.



Bild 15: Überblick über den Parcours auf der Freifläche der Fahrzeugtechnischen Versuchsanlage.

ONE V3. Die Auswahl basierte auf der dahingehenden Beurteilung im Rahmen von Vorversuchen (vgl. Kapitel 5), dass die genannten Elektrokleinstfahrzeuge für einen fahrpraktischen Versuch geeignet und schnell erlernbar sind. Das Segway i2 und der Evoking 3.0 EEC-45 (mit Sitz) wurden als im öffentlichen Straßenverkehr zulässige Elektrokleinstfahrzeuge betrachtet, um den Probanden auch solche Fahrzeuge hinsichtlich ihrer Erlebbarkeit zugänglich zu machen und diesbezüglich Anhaltspunkte für Probendenaussagen zu erhalten. Die sechs Fahrzeuge wurden vor Versuchsbeginn in nummerierter Reihenfolge (1 bis 6) platziert (s. Bild 14).

6.2.3 Versuchsgelände und Fahrmanöver

Der theoretische Teil des Versuchs, also die Vorabinformation der Probanden und das Ausfüllen vorangehender Fragebögen, erfolgte im Ergonomie-Labor der BAST, wohingegen der praktische Teil des Versuchs, also die Ausführung der einzelnen Fahrmanöver, auf der Freifläche der Fahrzeugtechnischen Versuchsanlage der BAST stattfand. Auf dieser in Bild 15 dargestellten Fläche war ein Parcours aufgebaut, der verschiedene zu absolvie-



Bild 16: Rundkurs von 150 m Länge.



Bild 17: Ausweichgasse mit Verkehrsleitkegeln mit jeweils 1 m Abstand.

rende Fahrmanöver umfasste und so Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr abbilden sollte. Die einzelnen Fahrmanöver werden im Folgenden näher beschrieben.

Beim Fahrmanöver „Rundkurs“ bestand die Aufgabe des Probanden darin, einen Rundbogen (150 m Länge) um eine Kreisfläche mit einer maximalen Geschwindigkeit von 20 km/h zu befahren. Dabei sollte er darauf achten, während der Fahrt zwischen den beiden Begrenzungslinien (0,90 m Abstand innen; 1,10 m außen) zu bleiben (s. Bild 16).

Die Aufgabe des Probanden beim Manöver „Ausweichgasse“ war, jeweils alternierend (links-rechts-links) durch zwei Verkehrsleitkegel (1 m Abstand) und anschließend wieder zurückzufahren. Die auf dem Boden markierten Pfeile zeigten den Wegverlauf an (s. Bild 17). Das An- oder Umfahren eines Kegels wurde als Fehler festgehalten.

Die Aufgabe des Probanden bestand beim „engen Raum“ darin, einen im quadratisch begrenzten Raum (2,40 m x 2,40 m) mittig aufgestellten Verkehrsleitkegel zu umfahren und darauf zu achten, innerhalb dieses Raumes zu bleiben (s. Bild 18). Als



Bild 18: Enger Raum mit Begrenzungsquadrat (2,40 m x 2,40 m) und zu umfahrendem Verkehrsleitkegel in der Mitte.



Bild 19: Zielbremsung mit 45 m langer Strecke und 3,30 m breiter Haltlinie.

Fahrfehler wurde definiert, wenn einer der Kegel an- oder umgefahren wurde.

Bei dem Fahrmanöver „Zielbremsung“ bestand die Aufgabe der Probanden darin, mit einer maximalen Geschwindigkeit von 20 km/h auf einer geraden Strecke (45 m Länge) zu fahren und vor einer Haltlinie (3,30 m Breite), die zwischen zwei Verkehrsleitkegeln auf dem Asphalt aufgezeichnet war, zum Stehen zu kommen (s. Bild 19). Das Überfahren dieser Linie wurde als Fehler festgehalten.

Bei der Station „Rampe“ wurde der Proband aufgefordert, mindestens in Schrittgeschwindigkeit aber maximal mit 10 km/h eine Rampe (9,70 m Länge, 10 % Steigung) zunächst hinunter, dann wieder hinaufzufahren (s. Bild 20).



Bild 20: Rampe mit 10 % Steigung und 9,70 m Länge.



Bild 21: Rüttelstrecke von 6,70 m Länge und 2 m Breite mit 3 cm tiefen Einfräsungen.

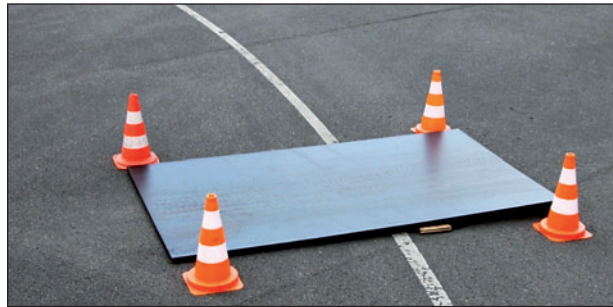


Bild 22: Wackelbrett (2,50 m × 1,50 m × 0,03 m) mit Begrenzungsleitkegeln.



Bild 23: Liegende Acht mit Verkehrsleitkegeln in jeweils 1,50 m Abstand und mit Richtungspfeilen.

Auf der „Rüttelstrecke“ sollten die Probanden mindestens in Schrittgeschwindigkeit aber maximal mit 10 km/h über einen rotweiß markierten Fahrbahnabschnitt (6,70 m Länge, 2 m Breite) mit Einfräsungen in der Asphaltoberfläche (3 cm Tiefe) fahren (s. Bild 21).

Bei dem Fahrmanöver „Wackelbrett“ hatte der Proband die Aufgabe, mit einer maximalen Geschwindigkeit von 10 km/h über ein Brett (2,50 m × 1,50 m × 0,03 m) zu fahren, das auf einer 3 cm starken Latte auflag. Das Brett wippte somit bei der Überfahrt in Längsrichtung (s. Bild 22).

Zur Bewältigung der Aufgabe „Acht Fahren“ musste der Proband gemäß der Pfeilrichtung zwischen den Verkehrsleitkegeln hindurch (1,50 m Abstand) vom Start bis zum Ziel fahren. Eine Durchfahrt ergab die Form einer Acht (s. Bild 23). Als Fehler wurde das An- oder Umfahren eines Kegels definiert.

6.2.4 Versuchsmaterial

Zum einen wurde eine Vereinbarung mit dem Probanden geschlossen, um seine Teilnahmebereitschaft festzuhalten, zum anderen kam ein vierteiliges Set an Fragebogen zum Einsatz, das im Original dem Anhang zu entnehmen ist.

Mithilfe von Fragebogen Teil 1 wurden zunächst demografische Eigenschaften der Versuchsteilnehmer sowie die Ausprägungen der „Big Five Persönlichkeitsmerkmale“ über das um ein Item erweiterte 10-Item Big Five Inventory (RAMMSTEDT, 2007) erfasst. Dabei sollte jedes der fünf Merkmale über zwei oder drei Items mit derselben Antwortskala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 5 (trifft voll und ganz zu) eingestuft werden. In Teil 2 sollte weiterhin eine Einordnung der individuellen Risikobereitschaft geschehen, indem die Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals „Sensation Seeking“ mithilfe von

nicht kontrollierbar	10
gefährlich	9
	8
	7
unangenehm	6
	5
	4
harmlos	3
	2
	1
nichts bemerkt	0

Bild 24: Störbewertungsskala (SBS) nach NEUKUM et al. (2008).



Bild 25: Schutzausrüstung der Versuchsteilnehmer und -leiter während der praktischen Versuchsdurchführung, bestehend aus einem Jethelm, Handschuhen sowie Protektoren für Rücken, Ellbogen und Knie.

18 Items auf einer Skala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 4 (trifft voll und ganz zu) identifiziert wurde (GNIECH, et al., 1993).

In Teil 3 der Fragebogen wurden die Probanden aufgefordert, die Elektrokleinstfahrzeuge nach der visuellen Betrachtung und damit vor der Durchführung der Fahrmanöver hinsichtlich Nutzungsinteresse, Verletzungsrisiko und akzeptierter Schutzausrüstung einzuschätzen. Mit Fragebogen Teil 4 sollten sie dann diese Bewertungen nach der praktischen Versuchsdurchführung erneut vornehmen, wobei zusätzlich nach globalen Urteilen über das Fahrverhalten sowie nach Verwendungsmöglichkeiten gefragt wurde. Die globalen Urteile erfolgten für die gefühlte Sicherheit auf einer Skala von 1 (sehr unsicher) bis 9 (sehr sicher), für die Kontrollierbarkeit des Fahrzeugs insgesamt von 1 (sehr schwer kontrollierbar) bis 9 (sehr leicht kontrollierbar), für die Erlernbarkeit der Bedienung von 1 (sehr

schwer erlernbar) bis 9 (sehr leicht erlernbar) und für den empfundenen Fahrspaß von 1 (sehr wenig) bis 9 (sehr viel).

Während der praktischen Versuchsdurchführung diente weiterhin ein Bild der Störbewertungsskala (SBS) zur subjektiven Beurteilung der Kritikalität der Fahrmanöver (NEUKUM, et al., 2008; NEUKUM, et al., 2003). Es wurde eine modifizierte Version von NEUKUM et al. (2008) eingesetzt, in der die Abstufungen nichts bemerkt (0), harmlos (1-3), unangenehm (4-6), gefährlich (7-9) und nicht kontrollierbar (10) als Kriterien dienten (s. Bild 24).

Zuletzt diente eine Checkliste den Versuchsleitern zur Ergebnisdokumentation während der praktischen Versuchsdurchführung. So konnten Witterungsverhältnisse, die Absolvierungsreihenfolge der Fahrmanöver mit den entsprechenden Fahrzeugen, die Anzahl an Fahrfehlern, die jeweils angegebenen SBS-Werte sowie weitere Kommentare festgehalten werden. Eine Darstellung dieses Dokumentationsbogens ist dem Anhang zu entnehmen.

6.2.5 Schutzausrüstung

Für die Durchführung der Fahrmanöver war es erforderlich, dass jeder Proband eine von der BAST gestellte Schutzausrüstung trug. Diese bestand aus einem Jethelm sowie Protektoren für Rücken, Ellbogen und Knie (s. Bild 25). Ebenso mussten während der Fahrt Handschuhe getragen werden. Die gleiche Regelung galt für die Versuchsleiter, die auf dem Versuchsgelände ein Fahrzeug bedienten.

6.2.6 Versuchsdesign

Für den Versuch wurde ein Ein-Gruppen-Versuchsplan (within-subject-design) mit 30 Probanden gewählt. Der Versuchsplan sah vor, dass jeder Proband in der Regel an zwei Versuchstagen mit den sechs Elektrokleinstfahrzeugen und dabei jeweils drei Fahrzeuge an einem Tag fuhr (s. Bild 26). Die Auswahl der Fahrzeuge erfolgte für jeden Probanden randomisiert.

6.2.7 Versuchsdurchführung

Insgesamt dauerte der Versuch für jeden Probanden etwa fünf Stunden – am ersten Versuchstag inklusive Vorabinformationen und -befragungen etwa drei Stunden, am zweiten Versuchstag etwa zwei

Versuchs- person	Tag 1			Tag 2		
	1. Fahrzeug	2. Fahrzeug	3. Fahrzeug	4. Fahrzeug	5. Fahrzeug	6. Fahrzeug
1						
2						
3						
...						

Bild 26: Ein-Gruppen-Versuchsplan (within-subject-design).

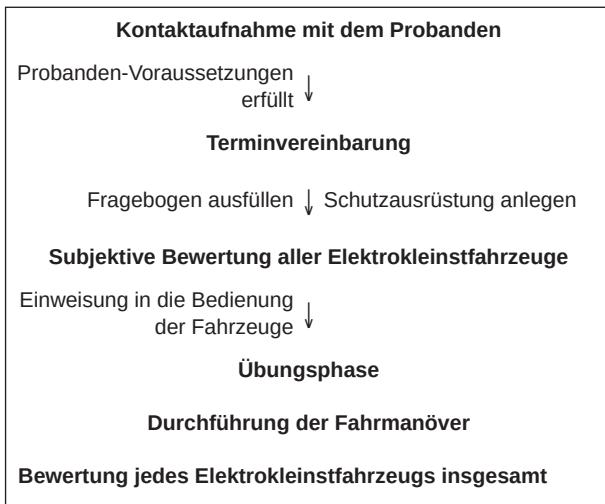


Bild 27: Ablaufschema für die Versuchsdurchführung.



Bild 28: Durchführung der Fahrmanöver in Begleitung eines Versuchsleiters.

Stunden. Der Versuchsablauf wird für die sechs Elektrokleinstfahrzeuge in Bild 27 schematisch dargestellt.

Den Versuchsteilnehmern wurde zunächst mitgeteilt, dass das Nutzerverhalten von selbstbalancierenden und/oder stehend gefahrenen Elektrokleinstfahrzeugen in vorgegebenen Fahrmanövern untersucht werden soll. Die daraus zu ermittelnden Informationen über die Bedien- und Beherrschbarkeit der Fahrzeuge seien relevant, um eine Abschätzung der Nutzungsmöglichkeiten der Fahrzeuge im öffentlichen Verkehrsraum zu erhalten.

Während der Versuchsdurchführung wurde jedem Probanden ein Versuchsleiter zugeordnet, der ihn in die entsprechende Aufgabendurchführung einwies, die Risiken und Gefahren im Umgang mit den Fahrzeugen erläuterte und die Versuchsfahrten begleiten sollte. Die Probanden wurden zunächst dahingehend instruiert, als erstes die Fragebogen Teil 1 und Teil 2 auszufüllen. Anschließend versicherten die Probanden mit ihrer Unterschrift, dass sie die schriftlich definierten Regelungen über die Nutzung der Fahrzeuge und das Tragen der Schutzausrüstung als Voraussetzung zur sicheren Teilnahme an dem Versuch verstanden hatten und einhielten.

Jeder Proband erhielt anschließend eine passende Schutzausrüstung, bestehend aus Jethelm, Rückenprotector, Ellbogen- und Knieschonern sowie einem Paar Handschuhe. Der Versuchsleiter überprüfte dabei, ob die Größe der Schutzausrüstung für jeden Probanden angemessen war und die Ausrüstung richtig angelegt wurde.

Die erste Bewertung der einzelnen Elektrokleinstfahrzeuge durch die Probanden erfolgte vor der Halle der Fahrzeugtechnischen Versuchsanlage der BAST. Die Teilnehmer wurden instruiert, jedes Fahrzeug hinsichtlich des Nutzungs- und Verletzungsrisikos anhand des Fragebogens Teil 3 einzuschätzen. Um andere anwesende Probanden nicht zu beeinflussen, sollten Meinungen und eventuelle Erfahrungen zu diesen Fahrzeugen nicht laut geäußert werden. Die Bewertung erfolgte rein visuell,



Bild 29: Abfrage und Dokumentation.

das Anfassen der Fahrzeuge, wie z. B. am Brems- oder Gaszug, war also nicht gestattet.

Bevor der praktische Teil des Experiments begann, erhielt jeder Proband eine sorgfältige Einweisung in die korrekte Bedienung des jeweiligen Elektrokleinstfahrzeugs sowie Hinweise über dessen mögliche Gefahrenpotenziale. Die Reihenfolge der Fahrzeuge für die Absolvierung der Fahrmanöver erfolgte randomisiert. Gleichzeitig wurde aber darauf geachtet, dass bei jedem Elektrokleinstfahrzeug mit einem weniger schwierigen Fahrmanöver begonnen wurde, weil die Probanden in der Regel über keine Vorerfahrungen mit dem jeweiligen Fahrzeug verfügten. Anschließend erfolgte die Auswahl der Fahrmanöver per Zufall, wobei jedes Manöver durchschnittlich dreimal durchfahren wurde.

Jeder Proband wurde während der Fahrt auf der Freifläche von einem Versuchsleiter begleitet, der ihm die Aufgaben für jedes Fahrmanöver erläuterte und Auffälligkeiten, Kommentare, Fahrfehler sowie die Einschätzungen der Probanden zu den einzelnen Fahrten dokumentierte (s. Bild 28). Um das Verletzungsrisiko möglichst gering zu halten, wurden die Probanden vor der Absolvierung des Wackelbretts, der Rüttelstrecke und der Rampe aufgefordert, diese mindestens mit Schrittgeschwindigkeit, aber nicht schneller als mit 10 km/h zu überfahren. Aufgrund der Erkenntnisse aus dem Vorversuch (vgl. Kapitel 4) wurde bei der Verwendung des Robstep gänzlich darauf verzichtet, über große Unebenheiten – hier dem Wackelbrett – zu fahren.

Nach jeder Fahraufgabe wurden die Probanden gefragt, wie sie das vollzogene Fahrmanöver hinsichtlich der Kritikalität im öffentlichen Straßenverkehr anhand der SBS einschätzen würden (s. Bild 29). Dazu wurden sie aufgefordert, einen entsprechenden Wert zwischen 0 und 10 anzugeben, wobei sie

sich an den fünf genannten Abstufungen orientieren konnten (s. Kapitel 6.2.4).

Zuletzt wurden die Probanden jeweils nach der Absolvierung aller Fahrmanöver mit einem Fahrzeug aufgefordert, Fragebogen Teil 4 auszufüllen. Dabei sollten einerseits erneut Einschätzungen des Nutzungs- und Verletzungsrisikos größtenteils auf denselben Skalen wie zuvor und andererseits zusätzlich globalere Bewertungen des Fahrverhaltens vorgenommen werden: auf Basis der fahrpraktischen Erfahrung sollten die Probanden Angaben zur Kontrollierbarkeit, Sicherheit, Erlernbarkeit und zum Fahrspaß bei der Bedienung des Fahrzeugs machen.

6.3 Ergebnisse

In den nachfolgenden Ergebnissen wird Bezug auf die in Tabelle 13 beschriebenen statistischen Verfahren genommen und die in Tabelle 14 dargestellten Abkürzungen bzw. Symbole verwendet.

Für die inferenzstatistischen Tests wurde in der folgenden Präsentation der Ergebnisse – falls nicht anders angegeben – ein Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ verwendet.

6.3.1 Stichprobencharakteristika

Die Probanden lagen hinsichtlich körperlicher und sportlicher Merkmale im durchschnittlichen Bereich. Dazu gehörten die Händigkeit (28 rechtshändig, zwei linkshändig), der Body-Mass-Index ($M = 24,02$, $SE = 0,66$), die subjektive Sportlichkeit, eingeschätzt als Anteil an Menschen, die sportlicher sind als der Proband selbst ($M = 41,87\%$, $SE = 4,05\%$), und die Erfahrung mit dem Fahren von Fahrrad, Pedelec und/oder E-Bike, angegeben als Anzahl gefahrene Tage im Monat ($M = 8,93$, $SE = 1,64$). Außerdem fanden sich regelmäßig betriebene Sportarten, bei denen Gleichgewicht eine besondere Bedeutung aufweist, wie zum Beispiel bei Yoga, nur bei vier Personen.

Die erfassten Big Five Persönlichkeitsmerkmale wurden mithilfe von jeweils zwei oder drei Items auf einer Skala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 5 (trifft voll und ganz zu) erfasst und die Ausprägungen analog zu REMMSTEDT (2007) über diese Items gemittelt. Wie Bild 30 zu entnehmen ist, befanden sich die Ausprägungen von Extraversion, Verträglichkeit und Offenheit für neue Erfahrungen

Bonferroni-Korrektur	Verfahren der mathematischen Statistik
Friedman-Test	parameterfreier statistischer Test bei mehr als 2 abhängigen Stichproben
Mann-Whitney-Test	parameterfreier statistischer Test bei 2 unabhängigen Stichproben
Post-hoc-Test	Signifikanztest (paarweiser Mittelwertvergleich)
Wilcoxon-Rangsummentest	parameterfreier statistischer Test bei 2 abhängigen Stichproben
Within-subject-design	Versuchsdesign mit Messwiederholung innerhalb einer Probandengruppe

Tab. 13: Verwendete statistische Verfahren.

$\alpha = .05$	zugrunde gelegtes inferenzstatistisches Signifikanzniveau zur Ablehnung der Nullhypothese mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von (hier) 5 %
χ^2	Prüfgröße eines Chi-Quadrat-Tests
F	Teststatistik unter Annahme der Nullhypothese aus einer F-Verteilung (Fisher-Verteilung)
η^2_p	Partielles Eta-Quadrat, Effektstärkemaß
M	Mittelwert (Maß der zentralen Tendenz)
p	Signifikanzwert (Kennzahl)
r_s	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman
SBS	Störbewertungsskala (siehe Bild 24)
SE	Standardfehler (Streuungsmaß)
t	Teststatistik (parametrischer statistischer Test)
U	Teststatistik (parameterfreier statistischer Test)
z	Teststatistik (hier für parameterfreien statistischen Test)

Tab. 14: Verwendete Abkürzungen und Symbole.

im mittleren Bereich, während Gewissenhaftigkeit eher hoch und Neurotizismus eher gering ausgeprägt waren. Die Ausprägung der individuellen Risikobereitschaft lag gemittelt über 18 Items auf einer Skala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 4 (trifft voll und ganz zu) ebenfalls im mittleren Bereich.

6.3.2 Allgemeine Auswertungen für alle Fahrzeuge

Damit sich die Aussagekraft der Ergebnisse dieses Versuchs nicht auf bestimmte Wetterverhältnisse beschränkt, wurden auch Fahrmanöver bei Nässe zugelassen. Außerdem erfassten die Versuchsleiter, welche gefühlte Temperatur und welche Witterungsbedingungen während der Fahrt mit dem Fahrzeug vorherrschten. Dabei ergab sich, dass 67,46 % der Fahrten auf trockener und 32,54 % auf nasser Fahrbahn absolviert wurden, wobei im Mittel eine gefühlte Temperatur von 20,67 °C ($SE = 0,30$)

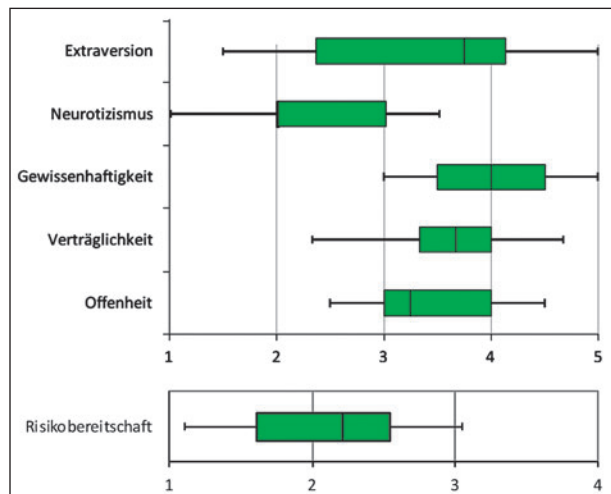


Bild 30: Ausprägungen der erfassten Persönlichkeitsmerkmale auf einer Skala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 4 beziehungsweise 5 (trifft voll und ganz zu). Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

herrschte. Wie in Kapitel 6.2.7 erläutert, bewerteten die Probanden jedes Fahrmanöver für jedes Elektrokleinstfahrzeug hinsichtlich der Kritikalität mit Hilfe der Störbewertungsskala (SBS; vgl. Kapitel 6.2.4). Eine Konfundierung dieser Angaben durch unterschiedliche Witterungsverhältnisse konnte ausgeschlossen werden, weil sich die mittlere Temperatur nach einer einfaktoriellen messwiederholten Varianzanalyse nicht zwischen den Fahrzeugen unterschied, $F(5,95) = 1.04$, $p = .396$, und sich keine Unterschiede in den SBS-Werten zwischen Fahrten auf trockenem und nassem Untergrund zeigten, wie Mann-Whitney-Tests für alle sechs Fahrzeuge ergaben, kleinstes $U = 46.5$, alle $p > .05$. Dennoch muss eingeräumt werden, dass die bewusste Vorgabe von Maximalgeschwindigkeiten für bestimmte Fahrmanöver die Werte auf der SBS dahingehend verzerrt haben könnte, dass bei den Fahrten mit den Fahrzeugen generell weniger Kritikalität empfunden wurde, als es unter anderen Bedingungen im öffentlichen Straßenverkehr der Fall sein könnte.

Die Betrachtung persönlichkeitspezifischer Variablen war notwendig, um den Aussagegehalt der Kritikalitätsbewertungen der zugrunde gelegten Stichprobe abschätzen zu können. Falls interindividuelle Persönlichkeitsmerkmale ursächlich für die jeweilige Bewertung waren und nicht die Erfahrung mit dem Elektrokleinstfahrzeug per se, müssen die Ergebnisse entsprechend differenziert Beachtung finden. Folglich dienten die Persönlichkeitsmerkmale nicht als direktes Bewertungskriterium für die hier

Individuelle Risikobereitschaft							
Fahrmanöver		Fahrzeug					
		Segway	Robstep	Mobility-Cube	Trikke	Evoking	Egret
Rundkurs	r_s	-.43*	-.16	.22	-.32	-.03	-.28
	p	.018	.423	.257	.085	.868	.142
Ausweichgasse	r_s	-.62**	-.44*	-.03	-.52**	-.21	-.65**
	p	< .001	.016	.869	.004	.268	< .001
Enger Raum	r_s	-.30	-.54**	-.07	-.38*	-.14	-.49**
	p	.108	.003	.711	.041	.471	.006
Zielbremsung	r_s	-.43*	-.39*	.14	-.39*	-.03	-.40*
	p	.019	.035	.466	.035	.899	.027
Rampe	r_s	-.38*	-.30	.14	-.46*	-.04	-.14
	p	.041	.126	.464	.010	.847	.471
Rüttelstrecke	r_s	-.43*	-.37*	-.20	-.14	-.19	-.27
	p	.018	.048	.293	.446	.321	.149
Wackelbrett	r_s	-.25		-.20	-.24	-.29	-.27
	p	.186		.306	.197	.124	.151
Acht Fahren	r_s	-.46*	-.60**	-.04	-.44*	-.25	-.44*
	p	.011	.001	.825	.014	.189	.014

Tab. 15: Spearman-Korrelationskoeffizienten r_s für lineare Korrelationen zwischen dem jeweiligen angegebenen Wert auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver und dem Ausprägungsgrad der individuellen Risikobereitschaft sowie die dazugehörigen p -Werte. Mit * markierte Koeffizienten sind auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant, mit ** markierte auf $\alpha = .01$.

untersuchten Elektrokleinstfahrzeuge, sondern lediglich als Validitätsindikator für die eigentliche Kritikalitätsbewertung des entsprechenden Fahrzeugs beim jeweiligen Fahrmanöver. In Bezug auf die Kritikalitätsbewertung anhand der SBS in den einzelnen Fahrmanövern sei außerdem vorweggenommen, dass sich nur wenige, inhaltlich nicht nachvollziehbare – und hinsichtlich der Gesamtanzahl an getesteten Korrelationen allein durch den Zufall erwartete – signifikante lineare Korrelationen mit den Big Five Persönlichkeitsmerkmalen äußerten. Allein für den Egret sind positive Korrelationen zwischen der Ausprägung von Neurotizismus und dem SBS-Wert bei der Ausweichgasse ($r_s = .37$, $p = .043$), beim engen Raum ($r_s = .40$, $p = .031$) und bei der Zielbremsung ($r_s = .37$, $p = .042$) nennenswert. Demnach haben Probanden mit einer hohen Neurotizismus-Ausprägung signifikant höhere Kritikalitätsbewertungen bei Erprobung dieser Elektrokleinstfahrzeuge in den jeweiligen Parcoursstationen angegeben. Ein anderes Bild zeigte sich für die individuelle Risikobereitschaft der Versuchsteilnehmer: Bei dem Segway, dem Robstep, dem Trikke und dem Egret zeigten sich negative Korrelationen mit dem SBS-Wert für mindestens vier der acht Fahrmanöver. Folglich haben hier Probanden mit

einer geringeren Risikobereitschaft höhere Kritikalitätsbewertungen bei der Erprobung dieser Elektrokleinstfahrzeuge angegeben. Die genauen Korrelationskoeffizienten sind Tabelle 15 zu entnehmen. Dieser erste Befund erlaubt die Vermutung, dass die subjektive Kritikalitätsbewertung durchaus von Persönlichkeitsmerkmalen abhängig ist und dass ein solcher Zusammenhang nur für den MobilityCube und den Evoking ausgeschlossen werden kann.

Der Teil des Fragebogens, der von den Probanden jeweils erst nach der Fahrt mit den Fahrzeugen ausgefüllt wurde, unterscheidet sich gegenüber dem vor der Fahrt auszufüllenden Teil unter anderem durch vier zusätzliche Skalen für die während der Fahrpraxis empfundene Sicherheit, die Kontrollierbarkeit, die Erlernbarkeit und den Fahrspaß. Auch hier diente die Erfassung dieser Variablen zur Absicherung der Validität von Kontrollierbarkeitsbewertungen. Sowohl für die subjektive Sicherheit als auch die Kontrollierbarkeit erlangten negative lineare Korrelationen mit dem SBS-Wert bei jeweils mindestens drei der acht Fahrmanöver statistische Signifikanz. Die entsprechenden Korrelationskoeffizienten sind für die Sicherheit in Tabelle 16 und für die Kontrollierbarkeit in Tabelle 17 dargestellt. Au-

Empfundene Sicherheit							
Fahrmanöver		Fahrzeug					
		Segway	Robstep	Mobility-Cube	Trikke	Evoking	Egret
Rundkurs	r_s	-.36	-.41*	-.33	-.31	-.37	-.54**
	p	.051	.028	.078	.102	.052	.002
Ausweichgasse	r_s	-.52*	-.30	-.25	-.57**	-.38*	-.77**
	p	.003	.116	.200	.001	.042	< .001
Enger Raum	r_s	-.37*	-.23	-.14	-.60**	-.36	-.62**
	p	.047	.237	.479	< .001	.052	< .001
Zielbremsung	r_s	-.69**	-.57**	-.54**	-.41*	-.32	-.73**
	p	< .001	.001	.002	.023	.087	< .001
Rampe	r_s	-.58**	-.41*	-.52**	-.65**	-.42*	-.31
	p	.001	.035	.004	< .001	.028	.096
Rüttelstrecke	r_s	-.57**	-.46*	-.26	-.34	-.50**	-.37*
	p	.001	.011	.172	.065	.006	.043
Wackelbrett	r_s	-.39*		-.37*	-.59**	-.48**	-.34
	p	.035		.048	.001	.008	.065
Acht Fahren	r_s	-.41*	-.46*	-.37	-.53**	-.37	-.52**
	p	.026	.012	.052	.003	.051	.004

Tab. 16: Spearman-Korrelationskoeffizienten r_s für lineare Korrelationen zwischen dem jeweiligen angegebenen Wert auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver und der empfundenen Sicherheit des jeweiligen Fahrzeugs insgesamt sowie die dazugehörigen pWerte. Mit * markierte Koeffizienten sind auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant, mit ** markierte auf $\alpha = .01$.

Bewertete Kontrollierbarkeit							
Fahrmanöver		Fahrzeug					
		Segway	Robstep	Mobility-Cube	Trikke	Evoking	Egret
Rundkurs	r_s	-.46*	-.35	-.31	-.21	-.07	-.50**
	p	.010	.065	.105	.258	.715	.005
Ausweichgasse	r_s	-.38*	-.31	-.37	-.29	-.33	-.75**
	p	.040	.108	.051	.114	.085	< .001
Enger Raum	r_s	-.21	-.30	-.17	-.44*	-.36	-.60**
	p	.263	.120	.369	.014	.055	< .001
Zielbremsung	r_s	-.66**	-.55**	-.61**	-.22	-.01	-.60**
	p	< .001	.002	< .001	.245	.962	< .001
Rampe	r_s	-.56**	-.36	-.47**	-.54**	-.15	-.41*
	p	.001	.063	.010	.002	.451	.026
Rüttelstrecke	r_s	-.51**	-.48**	-.38*	-.29	-.40*	-.19
	p	.004	.009	.043	.115	.033	.314
Wackelbrett	r_s	-.33		-.32	-.53**	-.42*	-.22
	p	.078		.087	.003	.023	.248
Acht Fahren	r_s	-.45*	-.55**	-.38*	-.36	-.37*	-.47**
	p	.012	.002	.044	.050	.047	.009

Tab. 17: Spearman-Korrelationskoeffizienten r_s für lineare Korrelationen zwischen dem jeweiligen angegebenen Wert auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver und der bewerteten Kontrollierbarkeit des jeweiligen Fahrzeugs insgesamt sowie die dazugehörigen pWerte. Mit * markierte Koeffizienten sind auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant, mit ** markierte auf $\alpha = .01$.

ßerdem zeigte sich für alle Fahrzeuge eine signifikante positive lineare Korrelation zwischen den beiden Skalen Sicherheit und Kontrollierbarkeit selbst, kleinstes $r_s = .746$, alle $p < .001$. Diese Befunde deuten darauf hin, dass die Konstrukte subjektives Sicherheitsgefühl, Kontrollierbarkeit und Kritikalitätsbewertung eng miteinander verknüpft sind.

Wie bereits oben beschrieben wurden manche Fahrten auf trockener, manche auf nasser Fahrbahn durchgeführt. Um eine Verzerrung der Sicherheits- und Kontrollierbarkeitsurteile durch diese Tatsache auszuschließen, konnten Mann-Whitney-Tests für alle sechs Fahrzeuge zeigen, dass es keine Unterschiede in der Verteilung der beiden Skalenwerte zwischen Fahrten auf trockener und nasser Fahrbahn gab, kleinstes $U = 42.5$, alle $p > .05$.

Außerdem gilt es noch zu beachten, dass die Erlernbarkeit der Bedienung für alle Fahrzeuge gleichermaßen sehr hoch eingestuft wurde (alle Mediane = 8,0). Dies spricht für eine erfolgreiche Auswahl der für einen Probandenversuch geeigneten Fahrzeuge.

6.3.3 Segway i2

Nach rein visueller Beurteilung des Segway gab eine Mehrheit von 83,33 % der Versuchsteilnehmer an, dass sie dieses Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen würden. Es konnte kein signifikanter Unterschied hinsichtlich dieses Anteils der Teilnehmer gegenüber dem Urteil nach den Fahrmanövern aufgezeigt werden, $\chi^2(1, 30) = 3.84$, $p = .050$. Dennoch äußerte sich im deskriptiv angestiegenen Anteil von 96,67 % nach der Fahrpraxis eine deutliche Tendenz dahingehend, dass mehr Personen den Segway nutzen wollen würden, nachdem sie Fahrerfahrung gesammelt hatten. Letzteres schien also die Bereitschaft zur Nutzung im öffentlichen Straßenverkehr gesteigert zu haben.

Der Segway wurde im Vergleich mit den anderen Fahrzeugen über alle Fahrmanöver hinsichtlich der empfundenen Kritikalität auf der SBS am positivsten eingestuft. Wie in Bild 31 zu erkennen ist, er-

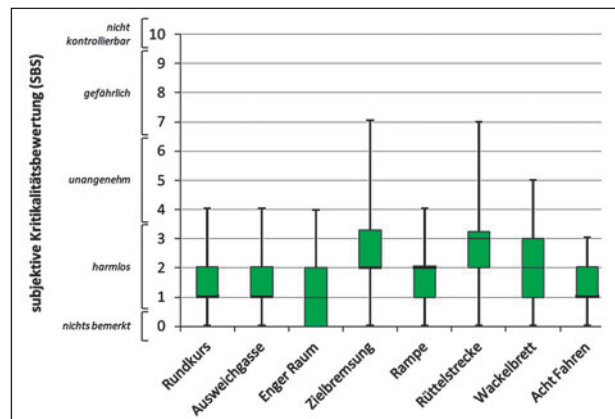


Bild 31: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Segway. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

reichte er nämlich nur auf der Rüttelstrecke einen Median über 3,0, die eingeschätzte Kritikalität fiel bei den restlichen Fahrmanövern also sehr gering aus. Diese positive Bewertung deckte sich mit der geringen Anzahl an Fehlern in der Ausweichgasse ($M = 0,27$, $SE = 0,11$), im engen Raum ($M = 0,03$, $SE = 0,03$) und beim Fahren der Acht ($M = 0,07$, $SE = 0,05$). Der einzige Kritikpunkt, den mehrere Probanden während der Fahrt angeführt haben, war die schwierig zu dosierende Bremswirkung des Segway. Dieser Aspekt äußerte sich ebenfalls in der deskriptiv geringfügig höheren Fehlerzahl bei der Zielbremsung ($M = 0,63$, $SE = 0,13$).

Wie in Kapitel 6.3.2 bereits angedeutet und in Tabelle 8 dargestellt, konnte für jedes Fahrmanöver – ausgenommen dem engen Raum und dem Wackelbrett – eine signifikante negative Korrelation zwischen dem Urteil auf der SBS und der Ausprägung des Persönlichkeitsmerkmals Risikobereitschaft identifiziert werden. Dadurch lässt sich annehmen, dass das Ausmaß, mit dem bestimmte Fahrsituationen auf dem Segway als kritisch empfunden werden, durch die individuelle Risikobereitschaft des Fahrers bedingt wird.

Für das genauere Verständnis der Vorstellungen der Probanden, wie sie den Segway im öffentlichen

	Verkehrsbereich					
	Innerorts			Außerorts (ohne Autobahn)		
	Gehweg	Radweg	Fahrbahn	Gehweg	Radweg	Fahrbahn
Vor der Fahrpraxis	53,33 %	86,67 %	30,00 %	50,00 %	70,00 %	20,00 %
Nach der Fahrpraxis	86,67 %	93,33 %	36,67 %	76,67 %	76,67 %	20,00 %

Tab. 18: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Segway im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.

Straßenverkehr nutzen wollen würden, war eine Betrachtung der entsprechenden Verkehrsbereiche, in denen sie fahren würden, sowie der angestrebten Geschwindigkeiten hilfreich. So gab es für jeden der drei vorgeschlagenen Verkehrsbereiche, also Gehweg, Radweg und Fahrbahn, sowohl für innerorts als auch für außerorts einen gewissen Anteil an Versuchsteilnehmern, der den Segway in diesem Bereich fahren würde. Am meisten Zustimmung erfuhr dabei der Radweg innerorts und zwar sowohl vor der Fahrt als auch nach der Fahrt mit dem Fahrzeug. Außerdem gaben für fast alle Verkehrsbereiche rein deskriptiv mehr Personen nach der Fahrerfahrung an, den Segway in diesem Bereich fahren zu wollen. Die genauen relativen Häufigkeiten der Zustimmungen zu jedem Verkehrsbereich und im Vergleich vor und nach der Fahrpraxis sind in Tabelle 18 dargestellt.

Betrachtete man die angegebene maximale Geschwindigkeit, mit der sich die Probanden auf dem Segway in den genannten Verkehrsbereichen bewegen wollen würden, zeigte sich ein deutliches Muster. Für die Analyse der Geschwindigkeiten wurde eine $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktorielle Varianzanalyse mit den Zwischensubjektfaktoren Befragungszeitpunkt (vor der Fahrpraxis, nach der Fahrpraxis), Verkehrsraum (innerorts, außerorts) und Verkehrsbereich (Gehweg, Radweg, Fahrbahn) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse sind in Tabelle 19 dargestellt. Wie auch in Bild 32 zu erkennen ist, gaben die Versuchsteilnehmer für den Verkehrsraum außerorts höhere Maximalgeschwindigkeiten an als für innerorts und differenzierten gleichzeitig auch zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Wie in den Ergebnissen der Bonferroni-korrigierten Post-hoc-Tests ebenfalls in Tabelle 20 zu sehen ist, nannten sie dabei für den Radweg höhere Geschwindigkeiten als für den Gehweg und für die Fahrbahn wiederum höhere als für den Radweg. Demgegenüber äußerten sich zwar keine Unterschiede vor und nach der Fahrerfahrung, jedoch interagierte der Befragungszeitpunkt mit dem Verkehrsbereich, $F(2, 190) = 3.52$, $p < .05$, $\eta_p^2 = .65$. Wie Bonferroni-korrigierte Post-hoc-Tests auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .008$ ergaben, existierte der Unterschied zwischen dem Radweg und der Fahrbahn nämlich nach der fahrpraktischen Erfahrung nicht mehr, $t(66) = 1.73$, $p = .089$. In den Werten, die vor der Fahrt abgegeben worden waren, hatten sich hingegen alle Unterschiede zwischen den Verkehrsbereichen gezeigt, kleinstes $t(63) = 3.34$, alle $p < .008$. Man kann also festhalten,

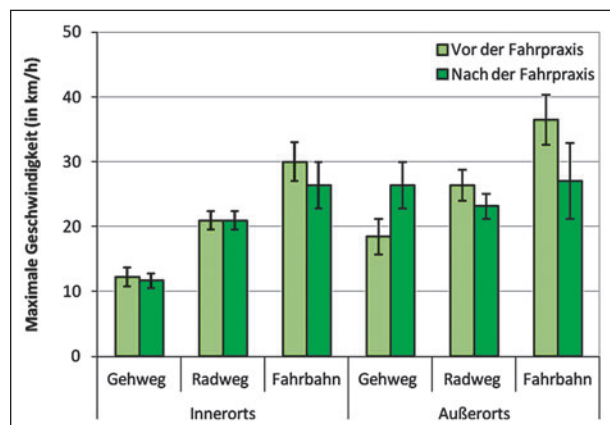


Bild 32: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Segway fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Faktor	Haupteffekt
Befragungszeitpunkt (zweistufig)	$F(1, 190) = 1.02$ $p = 0.313$ $\eta_p^2 = .17$
Verkehrsraum (zweistufig)	$F(1, 190) = 16.16$ $p < .001$ $\eta_p^2 = .98$
Verkehrsbereich (dreistufig)	$F(2, 190) = 20.87$ $p < .001$ $\eta_p^2 = 1.00$

Tab. 19: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Segway im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.

Paarweiser Vergleich	Post-hoc-Test
Gehweg - Radweg	$t(167) = -4.75$ $p < .001$
Radweg - Fahrbahn	$t(131) = -3.64$ $p < .001$
Gehweg - Fahrbahn	$t(100) = -6.46$ $p < .001$

Tab. 20: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.

dass der Segway dem Urteil der Probanden zu Folge auf der Fahrbahn und auf dem Radweg mit deutlich höherer Geschwindigkeit bewegt werden sollte als auf dem Gehweg. Außerdem schienen die Probanden einen Einsatz des Segway außerorts auch mit höheren Geschwindigkeiten für denkbar zu halten, wobei jedoch das Erlangen von fahrpraktischer

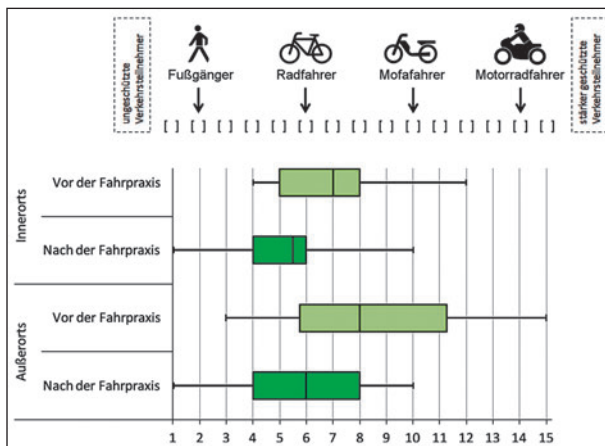


Bild 33: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Segway für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

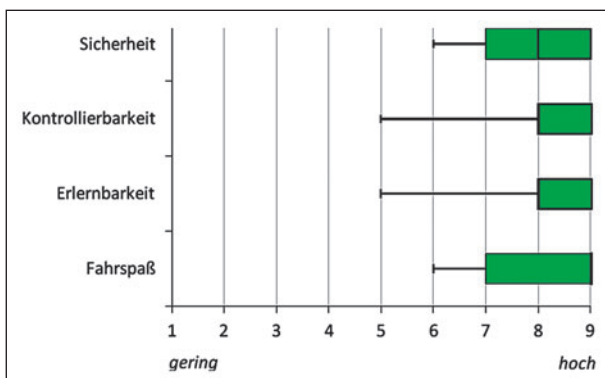


Bild 34: Bewertung des Segway hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Erfahrung einen Einfluss auf das Urteil hatte. Generell ist zu beachten, dass Unterschiede in der angegebenen Maximalgeschwindigkeit vor und nach der Fahrpraxis teilweise dadurch entstanden sein könnten, dass die Probanden während der Fahrmanöver die technisch mögliche Geschwindigkeit des Fahrzeugs erfahren hatten. So könnte die angestrebte Maximalgeschwindigkeit womöglich durch die tatsächlich erreichbare Geschwindigkeit des Elektrokleinstfahrzeugs beeinflusst worden sein.

Für das eingeschätzte Verletzungsrisiko des Segway ergab ein Friedman-Test Unterschiede hinsichtlich des Verkehrsraumes und/oder des Befragungszeitpunktes, $\chi^2(3, 28) = 20.28$, $p < .001$. Zur genaueren Betrachtung dieser Unterschiede konnten Wilcoxon-Rangsummentests auf einem Bonfer-

roni-korrigierten Signifikanzniveau von $\alpha = .012$ zeigen, dass es einen signifikanten Effekt des Befragungszeitpunktes gab, weil sowohl für den Verkehrsraum innerorts ein Unterschied zwischen den Schätzungen vor und nach der Fahrt vorlag, $z = 3.47$, $p < .01$, als auch für außerorts, $z = 3.17$, $p < .01$. Wie in Bild 33 dargestellt ist, lag in beiden Verkehrsräumen die Einschätzung vor der Fahrpraxis näher am Verletzungsrisiko eines Mofas und nach der Fahrpraxis ziemlich genau bei dem eines Fahrrads. Demgegenüber zeigte sich kein signifikanter Effekt des Verkehrsraumes, weil sich die Einschätzungen weder vor der Fahrt bezüglich innerorts und außerorts unterschieden, $z = -2.33$, $p = .020$, noch nach der Fahrt, $z = -2.38$, $p = .017$. Der Segway ist somit auf subjektiver Basis hinsichtlich des eingeschätzten Kräfteverhältnisses zu anderen Verkehrsteilnehmern in unmittelbarer Nähe zum Fahrrad einzuordnen. Diese Einordnung war gerade nach der fahrpraktischen Erfahrung besonders eindeutig, weil sich auch die Streuung der Angaben augenscheinlich verringert hatte.

Der Segway wurde von den Probanden hinsichtlich globaler Urteile über Sicherheit und Kontrollierbarkeit hoch bewertet, die während der Fahrt mit dem Fahrzeug insgesamt empfunden wurden. Wie in Bild 34 zu erkennen ist, erhielt der Segway auf der bereits beschriebenen Skala ausschließlich Bewertungen im höheren Bereich der beiden subjektiven Maße. Das gleiche Bild zeigte sich auch für die hoch eingestufte Erlernbarkeit und das große Ausmaß an empfundenem Fahrspaß. Diese positive Bewertung des Fahrverhaltens deckte sich mit dem bereits erläuterten großen Interesse, den Segway im öffentlichen Straßenverkehr zu bewegen, das besonders nach der Fahrerfahrung zum Ausdruck gebracht wurde.

Trotz des hoch eingestuften subjektiven Sicherheitsgefühls bei der Verwendung des Segway, gab die Mehrheit der Probanden an, dass sie einen Fahrradhelm oder einen offenen Motorradhelm (Jethelm) als Schutzausrüstung akzeptieren würden. Dabei verringerte sich dieser Anteil für fast alle Schutzmaßnahmen, die zur Auswahl standen, nach der Fahrerfahrung tendenziell, wie in Bild 35 zu erkennen ist. Auch wenn sich bezüglich des Tragens von Handschuhen sogar eine signifikante Reduktion im Anteil der Zustimmungen zeigte, $\chi^2(1, 30) = 4.24$, $p < .05$, so akzeptierte trotzdem immer noch die Mehrheit auch Handschuhe als geeignete Schutzausrüstung. Protektoren für Ellbogen, Handgelenk und Knie wurden zumindest von

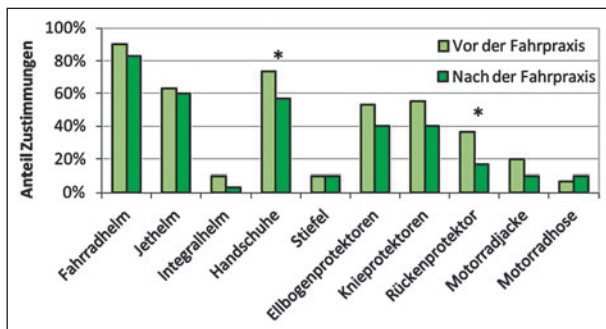


Bild 35: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Segway akzeptieren würden. Mit einem * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.

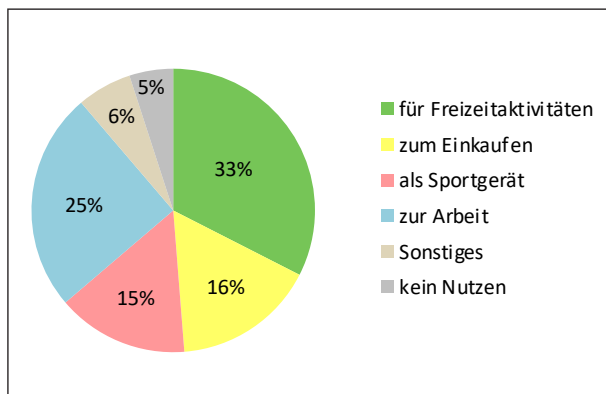


Bild 36: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

knapp der Hälfte der Teilnehmer als akzeptabel eingestuft.

Ebenso im Einklang mit der weitestgehend positiven Bewertung des Segway stand der von den Probanden angestrebte Verwendungszweck. Wie in Bild 36 erkennbar ist, bestand der Großteil an angegebenen Nutzungsmöglichkeiten aus dem Einsatz für Freizeitaktivitäten und der Verwendung als Fortbewegungsmittel, um zur Arbeit zu gelangen. Auffällig ist auch der geringe Anteil an Antworten dahingehend, dass kein persönlicher Alltagsnutzen des Fahrzeugs erkannt wurde. Ein beispielhafter mehrfach vorgeschlagener sonstiger Verwendungszweck des Segway war die Fortbewegung in großen Lagerhallen, auf Messen oder Flughäfen.

6.3.4 Robstep Robin M1

Nach der ersten Betrachtung des Robstep gaben 73,33 % der Versuchsteilnehmer an, dass sie dieses Fahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen würden. Genauso gab auch nach der Fahrpraxis mit diesem Elektrokraftfahrzeug eine

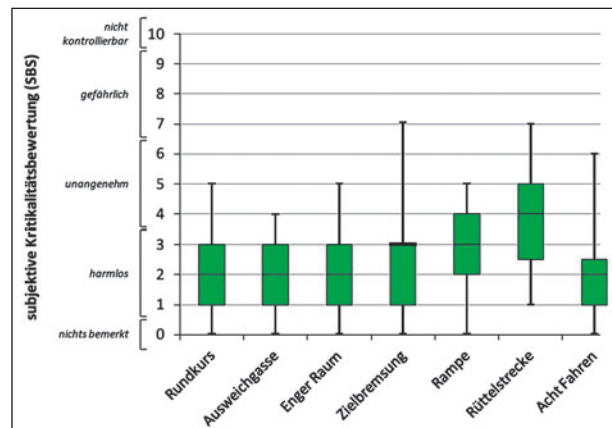


Bild 37: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Robstep. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Mehrheit von 72,41 % die gleiche Antwort, was einem Chi-Quadrat-Test zu Folge keinen signifikanten Unterschied darstellte, $\chi^2(1, 29) = 0.01, p = .911$. Das erwartete Fahrverhalten verhielt sich also womöglich deckungsgleich mit dem erlebten. Die Probanden, die die Nutzung des Fahrzeugs auch nach der Fahrt ablehnten, begründeten dies vor allem mit einer schwierigen Steuerung und zu geringer Geschwindigkeit.

Der Robstep wurde im Vergleich zum Segway hinsichtlich der Kritikalität auf der SBS über alle Fahrmanöver deskriptiv als kritischer eingestuft. Wie in Bild 37 zu erkennen ist, erreichte die subjektive Bewertung nämlich zumindest auf der Rüttelstrecke tendenzielle höhere Werte auf der SBS und lag damit bereits im unangenehmen Bereich der Skala. Generell brachten die Probanden aber auch beim Robstep eher wenig Kritikalität zum Ausdruck, denn die anderen Fahrmanöver nahmen im Median keine Wert über 3,0 an. Auch die Anzahl an Fahrfehlern in der Ausweichgasse ($M = 0,07, SE = 0,05$), im engen Raum ($M = 0,03, SE = 0,03$), bei der Zielbremsung ($M = 0,41, SE = 0,15$) und beim Fahren der Acht ($M = 0,00, SE = 0,00$) tendierten gegen Null. Demgegenüber führten mehrere Probanden an, dass sich ein instabiles Fahrgefühl andeutete, wenn der Robstep bei hohen Geschwindigkeiten oder auf unebenem Grund gefahren wurde. Dies deckte sich mit dem Umstand, dass die Fahrt über das Wackelbrett aus Sicherheitsgründen für dieses Fahrzeug von Anfang an ausgeschlossen wurde.

Ähnlich wie bereits beim Segway und wie auch in Tabelle 8 dargestellt, konnte für den SBS-Wert jedes Fahrmanövers – ausgenommen dem Rundkurs

	Verkehrsbereich					
	Innerorts			Außerorts (ohne Autobahn)		
	Gehweg	Radweg	Fahrbahn	Gehweg	Radweg	Fahrbahn
Vor der Fahrpraxis	63,33 %	76,67 %	20,00 %	53,33 %	56,67 %	6,67 %
Nach der Fahrpraxis	75,86 %	65,52 %	10,35 %	48,28 %	44,83 %	3,45 %

Tab. 21: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Robstep im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.

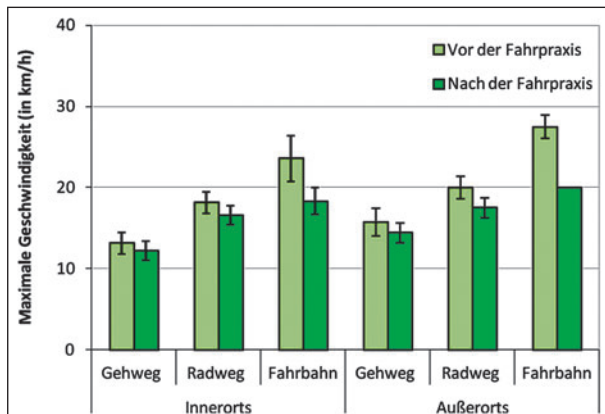


Bild 38: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Robstep fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Faktor	Haupteffekt
Befragungszeitpunkt (zweistufig)	$F(1, 149) = 5.11$ $p < .05$ $\eta^2_p = .61$
Verkehrsraum (zweistufig)	$F(1, 149) = 2.44$ $p = .121$ $\eta^2_p = .34$
Verkehrsbereich (dreistufig)	$F(2, 149) = 14.90$ $p < .001$ $\eta^2_p = 1.00$

Tab. 22: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Robstep im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.

Paarweiser Vergleich	Post-hoc-Test
Gehweg - Radweg	$t(144) = -4.58$ $p < .001$
Radweg - Fahrbahn	$t(86) = -3.25$ $p < .01$
Gehweg - Fahrbahn	$t(86) = -5.80$ $p < .001$

Tab. 23: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.

und der Rampe – eine signifikante Korrelation mit der Ausprägung der individuellen Risikobereitschaft festgestellt werden. Die Tendenz, Fahrsituationen auf dem Robstep als unkritisch einzustufen, stand also im Zusammenhang mit einer hohen Risikobereitschaft.

Hinsichtlich des Verkehrsbereiches, in dem die Probanden den Robstep bewegen würden, stimmte vor der Fahrt die Mehrheit dem Radweg innerorts und auch dem Gehweg innerorts als geeigneten Verkehrsbereich zu. Wie in Tabelle 21 zu erkennen ist, fiel besonders auf, dass nach der Fahrerfahrung die Mehrheit nun eher zum Gehweg als zum Radweg tendierte. Außerdem schien sich die Fahrbereitschaft für alle restlichen Verkehrsbereiche nach der Fahrt tendenziell verringert zu haben, wobei das Fahren auf der Fahrbahn ohnehin kaum akzeptiert wurde.

Ein klares Muster zeigte sich, wenn man weiterhin die angegebene maximale Geschwindigkeit betrachtete, mit der sich die Probanden auf dem Robstep in den genannten Verkehrsbereichen bewegen wollen würden und die in Bild 38 veranschaulicht wird. Für die Analyse der Geschwindigkeiten wurde eine $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktorielle Varianzanalyse mit den Zwischensubjektfaktoren Befragungszeitpunkt (vor der Fahrpraxis, nach der Fahrpraxis), Verkehrsraum (innerorts, außerorts) und Verkehrsbereich (Gehweg, Radweg, Fahrbahn) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Analyse sind in Tabelle 22 dargestellt. Demnach unterschieden die Probanden zwar nicht zwischen den beiden Verkehrsräumen, strebten aber für den Radweg höhere Geschwindigkeiten an als für den Gehweg und für die Fahrbahn wiederum höhere als für den Radweg, wie Post-hoc-Tests zeigen konnten, deren Ergebnisse in Tabelle 23 abgebildet sind. Bemerkenswert war dabei, dass die Probanden nach der Fahrerfahrung mit dem Robstep geringere Geschwindigkeiten anführten als zuvor. Da zuletzt im Mittel keine Geschwindigkeiten über 20 km/h angegeben wurden, konnte vermutet werden, dass die Fahrt mit dem Robstep subjektiv weniger hohe Geschwindigkeiten zuließ, als der erste Eindruck vermittelt hatte. An dieser

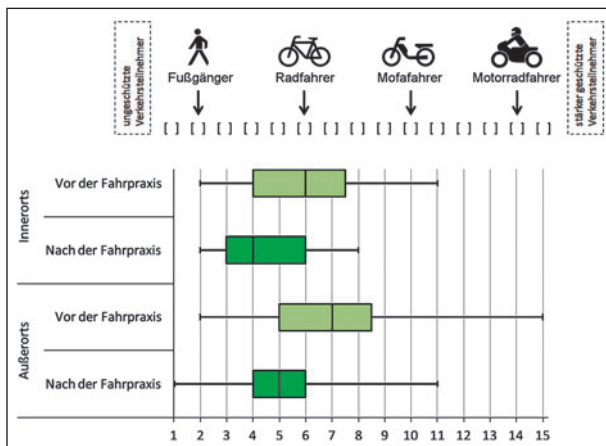


Bild 39: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Robstep für die Verkehrsräume Innerorts und Außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

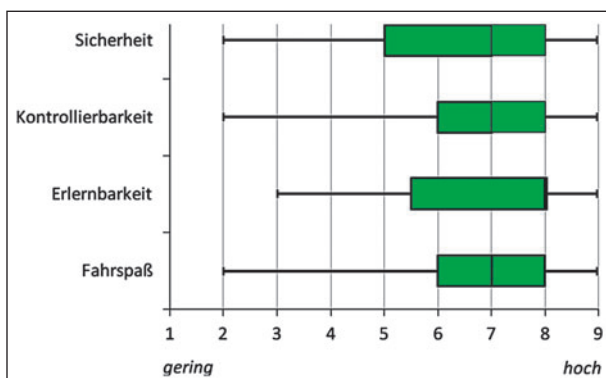


Bild 40: Bewertung des Robstep hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Stelle muss aber erneut eingeräumt werden, dass die Probanden bei ihrem zweiten Urteil bereits Erfahrungen mit der technisch möglichen Maximalgeschwindigkeit dieses Elektrokleinstfahrzeugs gemacht hatten und ihre Angaben dadurch beeinflusst worden sein könnten.

Für das eingeschätzte Verletzungsrisiko des Robstep ergab ein Friedman-Test Unterschiede hinsichtlich des Verkehrsraumes und/oder des Befragungszeitpunktes, $\chi^2(3, 28) = 31.16, p < .001$. Zur genaueren Betrachtung dieser Unterschiede konnten Wilcoxon-Rangsummentests auf einem Bonferroni-korrigierten Signifikanzniveau von $\alpha = .012$ zeigen, dass es einen signifikanten Effekt des Befragungszeitpunktes gab, weil sowohl für den Verkehrsraum innerorts ein Unterschied zwischen den Schätzungen vor und nach der Fahrt vorlag,

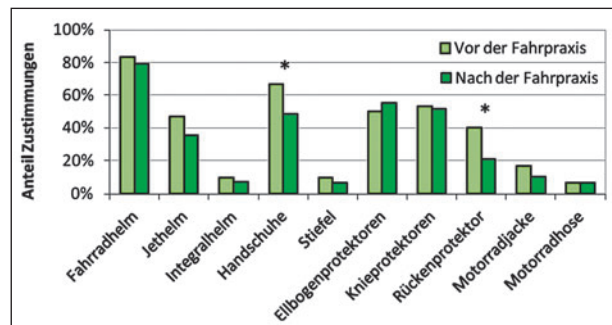


Bild 41: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Robstep akzeptieren würden. Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.

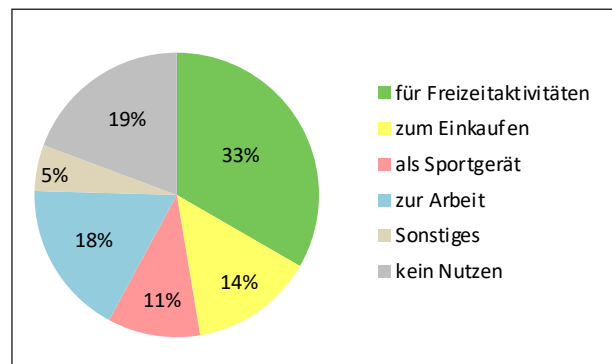


Bild 42: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

$z = 2.92, p < .01$, als auch für außerorts, $z = 3.13, p < .01$. Wie in Bild 39 dargestellt ist, lag in beiden Verkehrsräumen die Einschätzung vor der Fahrpraxis bei dem Verletzungsrisiko eines Fahrrads und nachher näher an dem eines Fußgängers. Demgegenüber erlangte der Effekt des Verkehrsraumes nur vor der Fahrerfahrung statistische Signifikanz, $z = -2.97, p < .01$, nicht aber danach, $z = -1.68, p = .094$. Der Robstep kann somit auf subjektiver Basis hinsichtlich des eingeschätzten Kräfteverhältnisses zu anderen Verkehrsteilnehmern zwischen einem Fahrradfahrer und einem Fußgänger eingeordnet werden.

Der Robstep erreichte zwar im Vergleich zum Segway nicht ausschließlich positive Bewertungen in Bezug auf empfundene Sicherheit und Kontrollierbarkeit, weil die Werte in beiden Maßen bis zum Minimum von 2.0 streuten. Doch wie in Bild 40 zu erkennen ist, befand sich der Großteil der Urteile durchaus im oberen Bereich. Ein ähnliches Bild zeigte sich auch für den empfundenen Fahrspaß, während die Erlernbarkeit tendenziell sogar noch höher eingestuft wurde. Wie sich bereits in der schon erläuterten Korrelation zwischen den Werten auf der SBS und der

empfundenen Sicherheit und Kontrollierbarkeit äußerte, spiegelte sich das relativ positive subjektive Sicherheitsgefühl bei der Fahrt mit dem Robstep also sowohl in globalen Urteilen wider als auch in den Bewertungen für die einzelnen Fahrmanöver. Dabei muss eingeräumt werden, dass die Hinzunahme der Fahrt über das Wackelbrett durchaus ein anderes Bild hätte hervorbringen können.

Passend zum relativ hoch eingestuften subjektiven Sicherheitsgefühl gab nur für den Fahrradhelm eine deutliche Mehrheit der Probanden an, dass sie diese Schutzausrüstung bei der Verwendung des Robstep akzeptieren würden. Auch Handschuhe wurden von einigen Probanden vor der Fahrerfahrung zunächst als akzeptierte Schutzmaßnahme angegeben, der Anteil an Zustimmungen dieser Ausrüstung gegenüber reduzierte sich hingegen signifikant auf etwa die Hälfte aller Probanden, $\chi^2(1, 29) = 4.43, p < .05$. Ebenfalls etwa die Hälfte akzeptierte auch Protektoren für Ellbogen und Handgelenk sowie für die Knie als geeignete Schutzausrüstung. Die restlichen Angaben sind in Bild 41 dargestellt. Es zeigte sich somit ein ähnliches Muster wie bereits beim Segway, wobei jedoch beachtet werden muss, dass der Segway hinsichtlich der technischen Maximalgeschwindigkeit mit 20 km/h deutlich über dem Robstep mit 15 km/h liegt. Der Bedarf an Schutzausrüstung muss an diesem technischen Umstand relativiert werden.

Als angestrebten Verwendungszweck, zu dem die Angaben der Probanden in Bild 42 dargestellt sind, äußerten die meisten Personen den Einsatz für Freizeitaktivitäten. Die Verwendung als Fortbewegungsmittel, um zur Arbeit zu fahren, wurde etwa genauso häufig angeführt wie die Aussage, dass kein persönlicher Alltagsnutzen erkannt würde. Das Interesse an der Verwendung des Robstep im Alltag fiel also sehr unterschiedlich aus.

6.3.5 MobilityCube

Nach rein visueller Beurteilung gaben nur 44,83 % der Versuchsteilnehmer an, dass sie den MobilityCube im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen würden. Auch wenn sich dieser Anteil zwar deskriptiv auf 58,62 % erhöhte, nachdem die Probanden die Fahrmanöver mit dem Fahrzeug durchgeführt hatten, erlangte der Unterschied aber keine statistische Signifikanz, $\chi^2(1, 29) = 2.23, p = .135$. So deutete sich gegenüber dem MobilityCube ein weniger hohes Fahrinteresse an als gegenüber dem Robstep oder dem Segway. Dies könnte teilweise der Tatsache geschuldet sein, dass das Fahr-

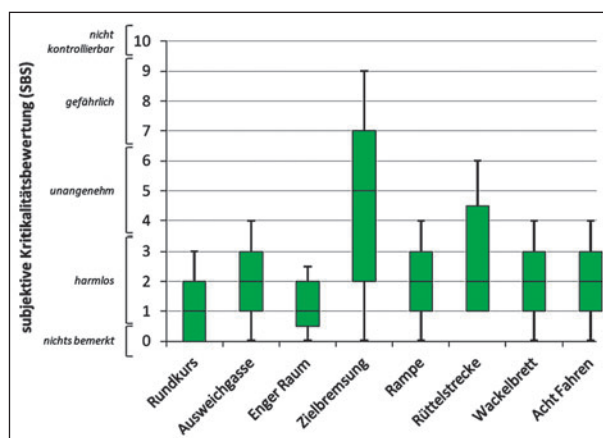


Bild 43: Einschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem MobilityCube. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

zeug für Menschen mit einer Behinderung vorgesehen ist und sehr an einen Krankenfahrstuhl erinnert, sodass sich gesunde Probanden deswegen womöglich nicht vorstellen konnten, den MobilityCube zu benutzen.

Wie in Bild 43 zu erkennen ist, erreichte die auf der SBS eingestufte Kritikalität des MobilityCube in den meisten Fahrmanövern nur geringe Werte. Demgegenüber fiel sie aber bei der Zielbremsung im Median in den unangenehmen und erreichte teilweise sogar Werte im gefährlichen Bereich. Auch auf der Rüttelstrecke deutete sich in den höchsten Werten mangelnde Kontrollierbarkeit an. Dieses Bild spiegelte sich auch in der Fehleranzahl bei der Zielbremsung wider ($M = 1,00, SE = 0,17$), die gegenüber der Anzahl an Fehlern im engen Raum ($M = 0,14, SE = 0,08$), beim Fahren der Acht ($M = 0,14, SE = 0,11$) und in der Ausweichgasse ($M = 0,72, SE = 0,16$) deskriptiv erhöht war. So berichteten auch sieben Probanden in den freien Kommentaren große Schwierigkeiten beim Bremsen und fünf Personen, dass sie beim Fahren über das Wackelbrett oder die Rüttelstrecke unangenehme Stöße auf den Rücken erfuhren. Dieser Befund stellt die Nutzung des MobilityCube auf unebenem Grund oder zur Überwindung kleiner Hindernisse wie Bordsteinkanten infrage. Auch bei der erneuten Befragung nach der Absolvierung aller Fahrmanöver begründeten 41,18 % der Probanden, die das Fahrzeug nicht im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen würden, ihre Antwort mit Schwierigkeiten bei der Bremsung.

Wie in Kapitel 6.3.2 bereits erwähnt wurde, konnte für keines der Fahrmanöver eine signifikante Korre-

	Verkehrsbereich					
	Innerorts			Außerorts (ohne Autobahn)		
	Gehweg	Radweg	Fahrbahn	Gehweg	Radweg	Fahrbahn
Vor der Fahrpraxis	53,33 %	40,00 %	6,67 %	33,33 %	30,00 %	0,00 %
Nach der Fahrpraxis	79,31 %	65,52 %	10,35 %	62,07 %	51,72 %	3,45 %

Tab. 24: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den MobilityCube im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.

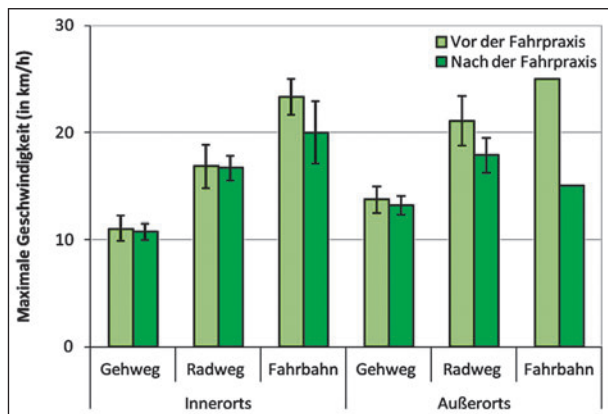


Bild 44: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den MobilityCube fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Faktor	Haupteffekt
Befragungszeitpunkt (zweistufig)	$F(1, 113) = 3.81$ $p = .053$ $\eta^2_p = .49$
Verkehrsraum (zweistufig)	$F(1, 113) = 0.64$ $p = .426$ $\eta^2_p = .13$
Verkehrsbereich (dreistufig)	$F(2, 113) = 23.25$ $p < .001$ $\eta^2_p = 1.00$

Tab. 25: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den MobilityCube im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.

lation zwischen der Bewertung auf der SBS und der

Paarweiser Vergleich	Post-hoc-Test
Gehweg - Radweg	$t(86.54) = -5.99$ $p < .001$
Radweg - Fahrbahn	$t(59) = -1.54$ $p = .129$
Gehweg - Fahrbahn	$t(70) = -6.14$ $p < .001$

Tab. 26: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.

Ausprägung von Persönlichkeitsmerkmalen nachgewiesen werden. Daraus kann man schließen, dass die jeweiligen Persönlichkeitsvariablen keinen Einfluss auf die Kritikalitätsbewertung der Fahrsituationen hatten.

Betrachtet man die Fahrbereitschaft der Versuchsteilnehmer für einzelne Verkehrsbereiche, so zeigt sich, dass die Anzahl an Personen, die den MobilityCube auf der Fahrbahn fahren würden, gegen Null tendiert. Wie in Tabelle 24 ebenfalls gut zu erkennen ist, präferierten die meisten außerorts wie innerorts eher den Gehweg gegenüber dem Radweg. Auffällig ist dabei aber, dass sich die Fahrbereitschaft für jeden Verkehrsbereich deskriptiv erhöht hat, nachdem fahrpraktische Erfahrung erlangt worden war. Dies steht im Einklang mit dem ebenfalls nach der Fahrt erhöhten, generellen Interesse an der Benutzung des MobilityCube und deutete an, dass das tatsächliche Fahrverhalten von dem beim ersten Eindruck angenommenen womöglich abwich.

Bei der Analyse der angegebenen Geschwindigkeit, mit der sich die Probanden auf dem MobilityCube in den genannten Verkehrsbereichen maximal bewegen wollen würden, zeigte eine $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktorielle Varianzanalyse ein deutliches Muster auf. Diese beinhaltete die Zwischensubjektfaktoren Befragungszeitpunkt (vor der Fahrpraxis, nach der Fahrpraxis), Verkehrsraum (innerorts, außerorts) und Verkehrsbereich (Gehweg, Radweg, Fahrbahn). Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse sind in Tabelle 25 und die konkreten mittleren Geschwindigkeiten in Bild 44 dargestellt. Es zeigte sich, dass die Probanden sowohl vor der fahrpraktischen Versuchsdurchführung als auch danach gleichermaßen zwischen den Verkehrsbereichen unterschieden und dabei aber nicht zwischen innerorts und außerorts differenzierten. Wie Post-hoc-Tests, deren Ergebnisse in Tabelle 26 dargestellt sind, weiterhin eröffneten, wurden für den Gehweg geringere Maximalgeschwindigkeiten angestrebt als für den Radweg und die Fahrbahn, zwischen denen jedoch nicht weiter unterschieden wurde. Der MobilityCube

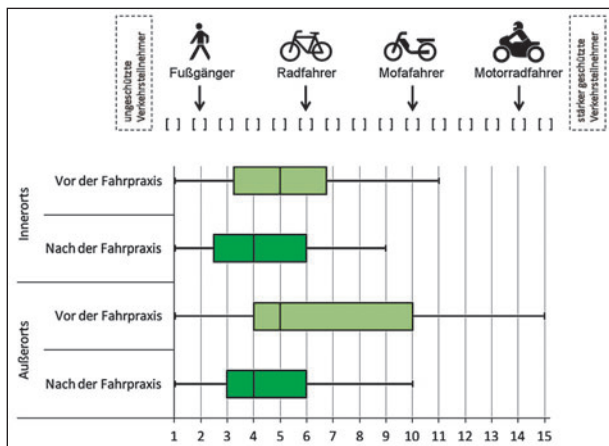


Bild 45: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des MobilityCube für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

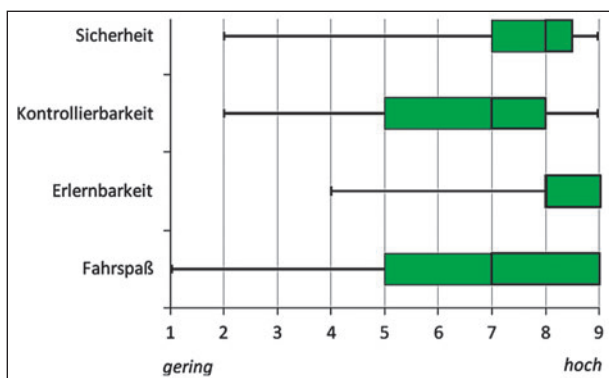


Bild 46: Bewertung des MobilityCube hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

erschien den Probanden also durchaus dazu geeignet, auf dem Radweg und auf der Fahrbahn zumindest innerorts auch mit entsprechend höheren Geschwindigkeiten gefahren zu werden als allein auf dem Gehweg.

Für das eingeschätzte Verletzungsrisiko beziehungsweise Kräfteverhältnis zu anderen Verkehrsteilnehmern ergab ein Friedman-Test Unterschiede hinsichtlich des Verkehrsraumes und/oder des Befragungszeitpunktes, $\chi^2(3, 26) = 10.02, p < .05$. Bei der genaueren Betrachtung dieser Unterschiede erlangte in paarweisen Wilcoxon-Rangsummentests weder der Effekt des Verkehrsraumes noch der des Zeitpunktes auf einem Bonferroni-korrigierten Signifikanzniveau von $\alpha = .012$ statistische Signifikanz, größtes $z = 2.34$, alle $p > .012$. Somit musste der MobilityCube hinsichtlich des Kräfteverhältnisses

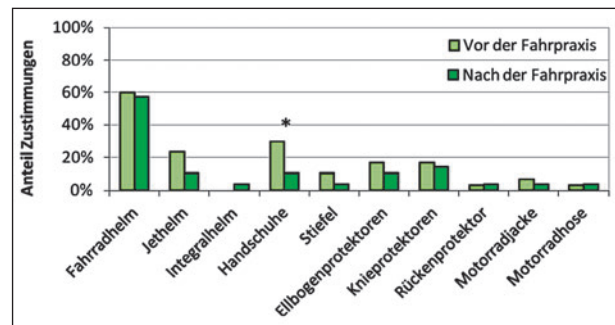


Bild 47: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des MobilityCube akzeptieren würden. Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.

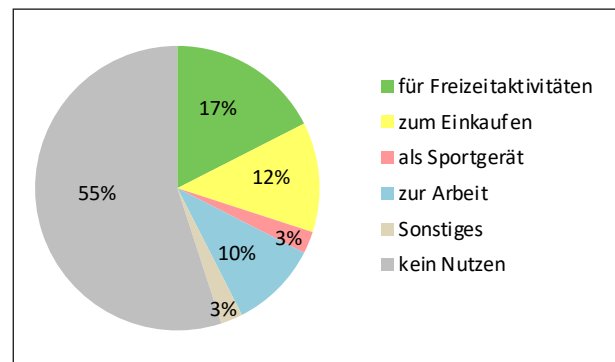


Bild 48: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

zu anderen Verkehrsteilnehmern zwischen dem eines Fahrrads und dem eines Fußgängers eingeordnet werden, wobei die Probanden ohne Fahrerfahrung mit dem Fahrzeug deskriptiv deutlicher zu dem eines Fahrrads tendierten. Dies wird in Bild 45 veranschaulicht.

In den generellen Urteilen zum subjektiven Sicherheitsgefühl, die in Bild 46 veranschaulicht werden, konnte der MobilityCube ebenso überzeugen wie bereits Segway und Robstep. Weniger deutlich fiel die empfundene Kontrollierbarkeit insgesamt aus, weil mehr Urteile in den eher niedrigen Bereich fielen, obwohl der Median doch relativ hoch war. Neben der wie bei allen Fahrzeugen als hoch eingestuften Erlernbarkeit zeigten sich hinsichtlich des Fahrspaßes große interindividuelle Unterschiede zwischen den Probanden, weil die Einschätzungen zwischen den beiden Polen der Skala streuten. Womöglich könnten auch hier Mängel in der Beherrschbarkeit, die sich insbesondere bei der Bremsung bereits in den Kommentaren äußerten, als Erklärung herangezogen werden, weil sie sich zum Teil negativ auf Kontrollierbarkeits- und Fahrspaßurteile ausgewirkt haben könnten.

Wie Bild 47 deutlich macht, wurde von allen Fahrzeugen für die Benutzung des MobilityCube im öffentlichen Straßenverkehr mit Abstand von den wenigsten Probanden entsprechende Schutzausrüstung akzeptiert. Einzig der Fahrradhelm wurde zumindest von einer knappen Mehrheit der Probanden als akzeptable Schutzmaßnahme angeführt. In Hinblick darauf, dass die Fahrt mit dem MobilityCube kein eindeutig höheres subjektives Sicherheitsgefühl hervorbrachte als die anderen Fahrzeuge, muss die starke Ablehnung von Schutzausrüstung anderweitig erklärt werden. So könnten alternativ die sitzende Haltung des Fahrers und die deutliche Ähnlichkeit zu einem Krankenfahrstuhl Ursachen dafür sein, dass während der Fahrt keine Schutzausrüstung als notwendig angesehen wurde.

Die Tatsache, dass der MobilityCube für die Benutzung durch Menschen mit einer Behinderung konzipiert ist, spiegelte sich wahrscheinlich auch im angegebenen Verwendungszweck wider. Wie in Bild 48 erkennbar ist, vermittelten über die Hälfte aller Antworten, dass die Probanden keinen persönlichen Alltagsnutzen im MobilityCube sahen. Für die vorgeschlagenen Benutzungsmöglichkeiten zeigte sich keine eindeutige Präferenz. Dies deckte sich mit der Tatsache, dass bereits vor den Fahrmanövern mit dem MobilityCube mehrere Probanden von einem unpraktischen Eindruck sprachen.

6.3.6 Trikke Electric eV6.1

Bereits nach der visuellen Beurteilung gab eine deutliche Mehrheit von 83,33 % der Versuchsteilnehmer an, dass sie das Trikke im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen würden. Genauso bekundeten auch nach den Fahrmanövern 80,00 % der Probanden Interesse an der Benutzung dieses Elektrokleinstfahrzeugs, was keinen signifikanten Unterschied darstellte, $\chi^2(1, 30) = 0.24, p = .625$.

Wie in Bild 49 zu erkennen ist, wurde die Kritikalität des Trikke auf der SBS in den meisten Fahrmanövern mit niedrigen Werten eingestuft. Tendenziell kritischer wurden die Manöver bewertet, in denen Lenkbewegungen durchgeführt werden mussten, denn sowohl beim engen Raum als auch bei der Ausweichgasse und beim Fahren der Acht lag ein deutlicher Teil der Angaben im unangenehmen Bereich der SBS. Auch wenn sich hier eine Eigenart des Trikke andeutete, spiegelten sich tatsächliche Probleme beim Lenken weder in der Fehlerzahl bei der Ausweichgasse ($M = 0,27, SE = 0,12$), beim engen Raum ($M = 0,20, SE = 0,08$), beim Fahren der

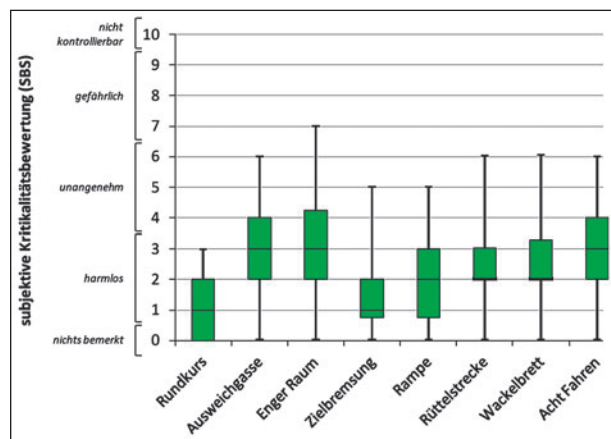


Bild 49: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Trikke. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Acht ($M = 0,13, SE = 0,08$) wider noch in den freien Kommentaren der Probanden.

Da sich die in Kapitel 6.3.2 bereits genannten negativen Korrelationen zwischen dem SBS-Wert in fünf der acht Fahrmanöver und der Ausprägung der Risikobereitschaft zeigten, kann auch für die subjektive Kritikalität bestimmter Fahrsituationen auf dem Trikke ein gewisser Einfluss von Persönlichkeitsvariablen angenommen werden. Dabei schien besonders für die empfundene Kritikalität derjenigen Fahrmanöver, deren Schwerpunkt in der Querführung lag, die individuelle Risikobereitschaft ein entscheidender Faktor zu sein.

Anhand der Urteile aus Tabelle 27, in welchem der angeführten Straßenverkehrsbereiche die Probanden das Trikke bewegen wollen würden, zeigte sich, dass der Radweg eindeutig der präferierte Ort war. Zwar gaben auch einige Probanden an, dass der Gehweg innerorts und außerorts sowie die Fahrbahn innerorts als geeigneter Verkehrsbereich angesehen würde, jedoch wurde die Fahrbahn außerorts weitestgehend abgelehnt.

Für die Analyse der angegebenen maximalen Geschwindigkeiten wurde eine $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktorielle Varianzanalyse mit den Zwischensubjektfaktoren Befragungszeitpunkt (vor der Fahrpraxis, nach der Fahrpraxis), Verkehrsraum (innerorts, außerorts) und Verkehrsbereich (Gehweg, Radweg, Fahrbahn) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse sind in Tabelle 28 dargestellt. Daraus ergab sich, dass die Probanden für das Trikke außerorts deutlich höhere Geschwindigkeiten anstrebten als innerorts, wie auch gut in Bild 50 zu erkennen ist.

	Verkehrsbereich					
	Innerorts			Außerorts (ohne Autobahn)		
	Gehweg	Radweg	Fahrbahn	Gehweg	Radweg	Fahrbahn
Vor der Fahrpraxis	30.00 %	76.67 %	43.33 %	36.67 %	60.00 %	20.00 %
Nach der Fahrpraxis	36.67 %	76.67 %	33.33 %	40.00 %	70.00 %	16.67 %

Tab. 27: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden das Trikke im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.

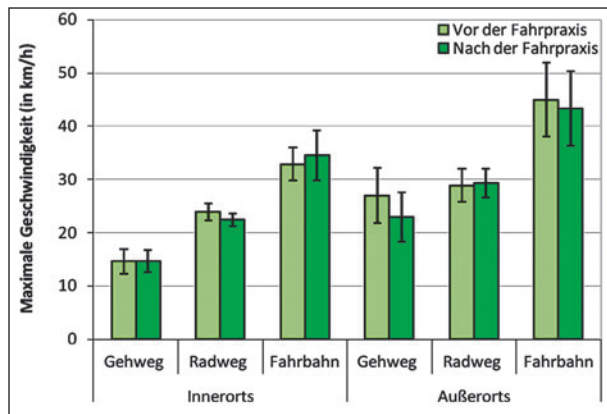


Bild 50: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich das Trikke fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Faktor	Haupteffekt
Befragungszeitpunkt (zweistufig)	$F(1, 152) = 0.18$ $p = .672$ $\eta^2_p = .07$
Verkehrsraum (zweistufig)	$F(1, 152) = 19.37$ $p < .001$ $\eta^2_p = .99$
Verkehrsbereich (dreistufig)	$F(2, 152) = 24.26$ $p < .001$ $\eta^2_p = 1.00$

Tab. 28: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden das Trikke im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.

Paarweiser Vergleich	Post-hoc-Test
Gehweg - Radweg	$t(127) = -2.94$ $p < .01$
Radweg - Fahrbahn	$t(48.58) = -4.09$ $p < .001$
Gehweg - Fahrbahn	$t(77) = -5.50$ $p < .001$

Tab. 29: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.

Weiterhin ergaben Post-hoc-Tests, deren Ergebnisse in Tabelle 29 abgebildet sind, dass sie für den Radweg auch höhere Geschwindigkeiten angaben als für den Gehweg und für die Fahrbahn wiederum höhere als für den Radweg. Das Trikke schien also dem Urteil der Probanden zufolge flexibel einsetzbar zu sein und in verschiedenen Verkehrsbereichen auch mit entsprechend angepassten Geschwindigkeiten zu fahren. Dies galt auch, nachdem sie bereits Erfahrungen mit der technisch möglichen Geschwindigkeit gemacht hatten.

Ein Friedman-Test ergab für das eingeschätzte Verletzungsrisiko des Trikke Unterschiede hinsichtlich des Verkehrsraumes und/oder des Befragungszeitpunkts, $\chi^2(3, 28) = 40.20$, $p < .001$. Dabei konnten Wilcoxon-Rangsummentests auf einem Bonferroni-korrigierten Signifikanzniveau von $\alpha = .012$ zeigen, dass es einen signifikanten Effekt des Befragungszeitpunktes gab, weil sowohl für den Verkehrsraum innerorts ein Unterschied zwischen den Schätzungen vor und nach der Fahrt vorlag, $z = 3.83$, $p < .001$, als auch außerorts, $z = 4.13$, $p < .001$. Demgegenüber erlangte der Effekt des Verkehrsraumes nur vor der Fahrt statistische Signifikanz, $z = -2.64$, $p < .01$, nicht aber nach der Fahrt, $z = -1.76$, $p = .078$. So lag in beiden Verkehrsräumen die Einschätzung vor der Fahrt in der Nähe eines Mofafahrers und streute sogar bis in den Bereich eines Motorradfahrers. Nach der Fahrpraxis ergab sich ein eindeutigeres Bild, unter anderem weil die Angaben deutlich weniger streuten. So wurde das Kräfteverhältnis des Trikke zu anderen Verkehrsteilnehmern nun mit dem eines Radfahrers gleichgesetzt, wie auch in Bild 51 dargestellt ist. Dies weicht in gewissem Maße von dem Umstand ab, dass das Trikke bereits durch eine Ausnahme genehmigung als dreirädriges Kleinkraftrad zugelassen werden kann.

Die Einschätzungen hinsichtlich subjektiver Sicherheit und Kontrollierbarkeit, die in Bild 52 veranschaulicht werden, fielen genau wie die Urteile zur Erlernbarkeit und zum Fahrspaß allesamt sehr hoch aus. Auch wenn teilweise niedrige Werte abgege-

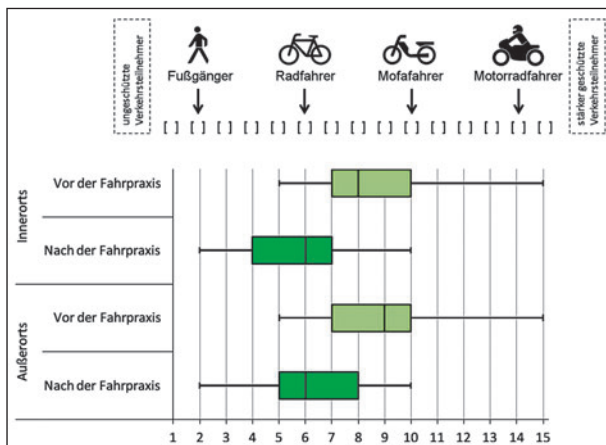


Bild 51: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Trikke für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz

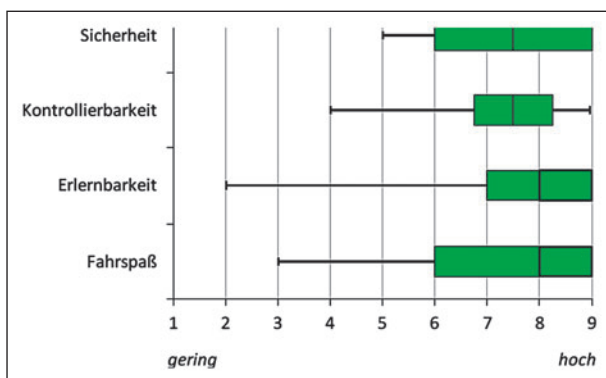


Bild 52: Bewertung des Trikke hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

ben wurden, so konzentrierte sich der Großteil trotzdem im oberen Bereich der Skalen. Das Trikke gehörte also im Vergleich mit den anderen Fahrzeugen zu den als am sichersten und kontrollierbarsten eingestuften Elektrokraftfahrzeugen, erreichte jedoch trotzdem nicht die positiven Urteile, die das Elektrokraftfahrzeug Segway erreichte.

Wie in Bild 53 zu erkennen ist, wurde für das Trikke Schutzausrüstung im Allgemeinen durchaus akzeptiert. Der offene Motorradhelm beziehungsweise Jethelm, Handschuhe, Protektoren für Handgelenk, Ellbogen und Knie sowie ganz besonders der Fahrradhelm erfuhren große Akzeptanz für die Fahrt mit dem Trikke. Dies steht im Einklang mit der Zulassung als dreirädriges Kleinkraftfahrzeug, die zum Tragen eines geeigneten Schutzhelms verpflichtet. Gleichzeitig scheint es aber auch so, als wäre die Notwen-

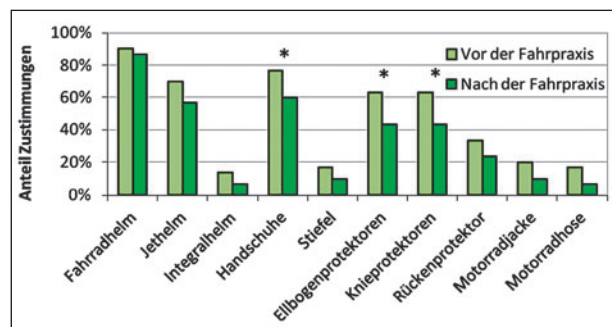


Bild 53: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Trikke akzeptieren würden. Mit einem * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.

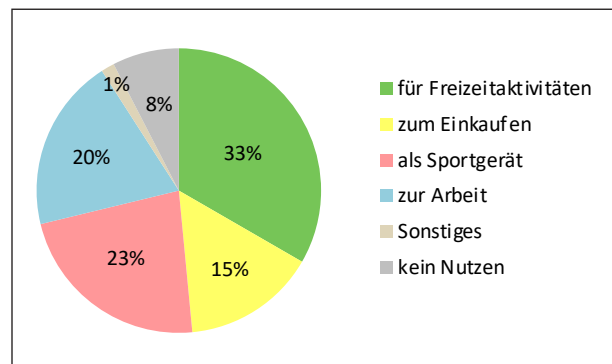


Bild 54: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

digkeit von Schutzausrüstung bei der rein visuellen Beurteilung überschätzt worden, weil sich zumindest gegenüber Handschuhen, Ellbogen- und Knieprotektoren in Chi-Quadrat-Tests signifikant weniger Zustimmungen nach der Fahrpraxis zeigten als vorher, kleinstes $\chi^2(1, 30) = 4.68$, alle $p < .05$.

Die angestrebten Verwendungsmöglichkeiten des Trikke erschienen sehr vielfältig, weil zwar der Großteil der Antworten die Nutzung für Freizeitaktivitäten zum Ausdruck brachte, doch – wie in Bild 54 erkennbar ist – verteilten sich die Angaben zu fast gleichen Teilen auf die Verwendung als Sportgerät, für den Arbeitsweg und zum Einkaufen. Wie beim Segway fiel der Anteil der dahingehenden Antworten gering aus, dass kein persönlicher Alltagsnutzen erkannt worden ist.

6.3.7 Evoking 3.0 EEC-45

Bevor die einzelnen Fahrmanöver durchgeführt wurden, gaben bereits 86,21 % der Versuchsteilnehmer an, dass sie den Evoking mit angebrachtem Sitz (entspricht einem L1-Fahrzeug) im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen würden.

Auch nach der Fahrerfahrung – ebenfalls mit angebrachtem Sitz – gab eine ähnliche Mehrheit von 82,76 % die gleiche Antwort, die sich nicht signifikant vom ersten Anteil unterschied, $\chi^2(1, 29) = 0.29$, $p = .590$. Ein generelles Interesse an der Verwendung des Evoking war also – fast in dem Ausmaß, wie es in Bezug auf den Segway geäußert wurde – stark vorhanden.

Wie in Bild 55 zu erkennen ist, zeigte sich bei der Einschätzung der Kritikalität auf der SBS ein ähnliches Muster wie beim Trikke. Während die meisten Werte gering ausfielen, stachen die Angaben in Bezug auf Fahraufgaben mit Querführung kritischer hervor. So erreichten die SBS-Angaben beim Fahren der Acht tendenziell höhere Werte, aber besonders bei der Ausweichgasse und beim engen Raum fielen sie sogar in den unangenehmen Bereich. Dabei streuten die Bewertungen zum Fahren im engen Raum auch über die gesamte Variationsbreite der SBS und gelangten so zum Teil bis in den höchsten Bereich (nicht kontrollierbar). Auch in der Anzahl an Fahrfehlern deutete sich zumindest im engen Raum eine tendenzielle Problematik an ($M = 0,69$, $SE = 0,24$). Obwohl in jenen lenkbetonten drei Fahr-

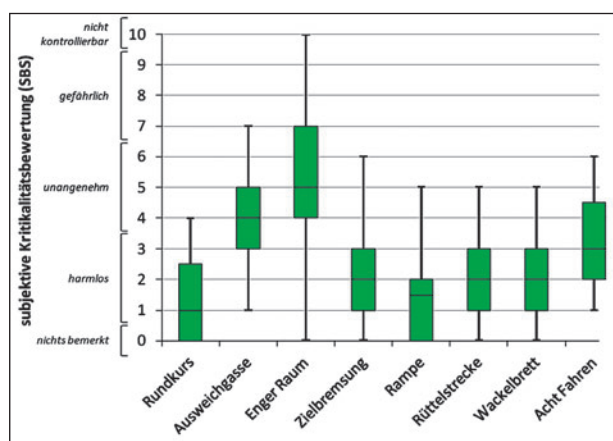


Bild 55: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Evoking. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

manövern häufig beobachtet und ausdrücklich erlaubt wurde, dass die Probanden in den engen Kurven einen Fuß auf den Boden setzten, brachten mehrere Probanden explizit zum Ausdruck, dass der Evoking in engen Kurven schwierig zu lenken und gleichzeitig das Gas bei niedrigen Geschwindigkeiten schwierig zu dosieren sei.

Wie in Kapitel 6.3.2 bereits erwähnt wurde, konnte für keines der Fahrmanöver eine signifikante Korrelation zwischen dem subjektiven Wert auf der SBS und der Ausprägung von Persönlichkeitsmerkmalen nachgewiesen werden. Genauso wie beim MobilityCube konnte also ein entscheidender Einfluss von Persönlichkeitsvariablen auf die empfundene Kritikalität des Evoking ausgeschlossen werden.

Für den Evoking zeigte sich als einziges Fahrzeug, dass sich die Mehrheit der Probanden nicht nur eine Verwendung auf dem Radweg, sondern zumindest auch innerorts auf der Fahrbahn vorstellen könnte (entspricht der Verwendung eines L1-Fahrzeugs). Wie in Tabelle 30 zu erkennen ist, gaben für jeden der Verkehrsbereiche mindestens 20 % der Probanden vor und nach den Fahrmanövern an, dass sie den Evoking in diesem Bereich fahren wollen würden. Die Versuchsteilnehmer scheinen also den Eindruck gehabt zu haben, dass dieses Elektrokleinstfahrzeug vielseitig einsetzbar und nicht an einen einzigen Straßenverkehrsbereich gebunden ist.

Bei der Betrachtung der angegebenen Geschwindigkeit, mit der sich die Probanden auf dem Evoking in den genannten Verkehrsbereichen maximal bewegen wollen würden, ergab eine $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktorielle Varianzanalyse ein deutliches Muster. Dabei wurden die Effekte der Zwischensubjektfaktoren Befragungszeitpunkt (vor der Fahrpraxis, nach der Fahrpraxis), Verkehrsraum (innerorts, außerorts) und Verkehrsbereich (Gehweg, Radweg, Fahrbahn) untersucht. Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse sind in Tabelle 31 dargestellt und wer-

	Verkehrsbereich					
	Innerorts			Außerorts (ohne Autobahn)		
	Gehweg	Radweg	Fahrbahn	Gehweg	Radweg	Fahrbahn
Vor der Fahrpraxis	31,03 %	79,31 %	62,07 %	31,03 %	55,17 %	37,93 %
Nach der Fahrpraxis	20,69 %	65,52 %	75,86 %	27,59 %	62,07 %	48,28 %

Tab.30: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Evoking im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.

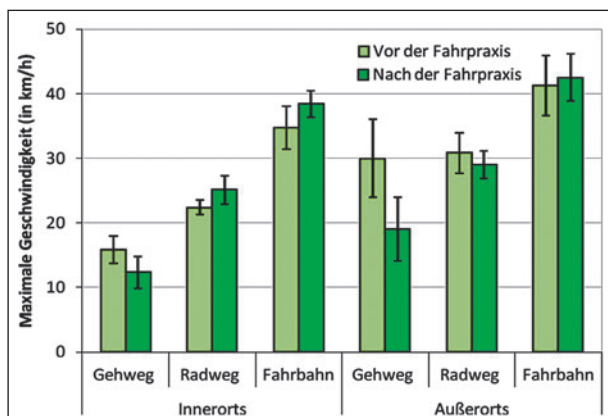


Bild 56: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Evoking fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Faktor	Haupteffekt
Befragungszeitpunkt (zweistufig)	$F(1, 162) = 0.58$ $p = .448$ $\eta^2_p = .12$
Verkehrsraum (zweistufig)	$F(1, 162) = 14.79$ $p < .001$ $\eta^2_p = .97$
Verkehrsbereich (dreistufig)	$F(2, 162) = 36.20$ $p < .001$ $\eta^2_p = 1.00$

Tab. 31: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Evoking im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.

Paarweiser Vergleich	Post-hoc-Test
Gehweg - Radweg	$t(107) = -2.86$ $p < .01$
Radweg - Fahrbahn	$t(117.81) = -6.15^*$ $p < .001$
Gehweg - Fahrbahn	$t(95) = -6.59$ $p < .001$

Tab. 32: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.

den anhand der konkreten mittleren Geschwindigkeiten in Bild 56 veranschaulicht. Es zeigte sich ein ähnliches Bild wie bereits beim Trikke, weil die Probanden vor und nach der praktischen Versuchsdurchführung vergleichbare Angaben machten. So avisierten sie außerorts höhere Maximalgeschwindigkeiten als innerorts und – wie den Ergebnissen der Post-hoc-Tests aus Tabelle 32 zu entnehmen ist – sowohl für den Radweg gegenüber dem Gehweg höhere als auch für die Fahrbahn gegenüber dem Radweg. Bemerkenswert ist, dass im Vergleich zu

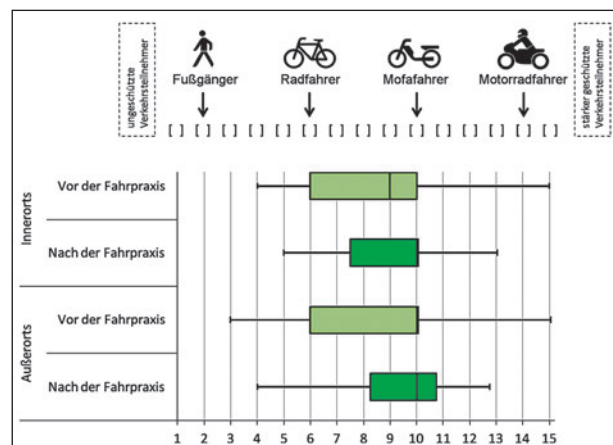


Bild 57: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Evoking für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

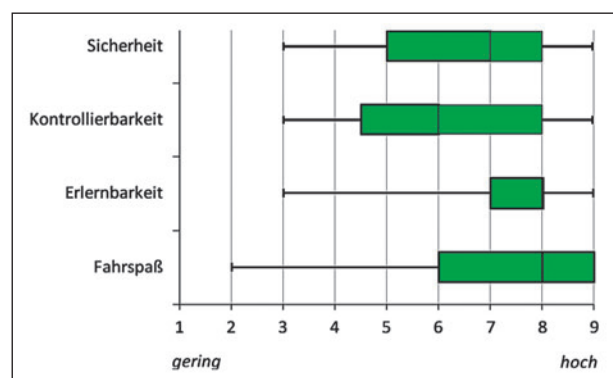


Bild 58: Bewertung des Evoking hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

den anderen Elektrokraftfahrzeugen für den Evoking die höchsten Maximalgeschwindigkeiten angeführt wurden, was aber durchaus mit der hohen technisch möglichen Geschwindigkeit von 45 km/h zu erklären sein könnte.

Über das eingeschätzte Verletzungsrisiko beziehungsweise Kräfteverhältnis zu anderen Verkehrsteilnehmern ergab ein Friedman-Test Unterschiede hinsichtlich des Verkehrsraumes und/oder des Befragungszeitpunkts, $\chi^2(3, 25) = 9.06$, $p < .05$. Im Gegensatz zu diesem Ergebnis eines globalen Tests erlangte jedoch anschließend kein Unterschied in paarweisen Wilcoxon-Rangsummentests mit $\alpha = .012$ statistische Signifikanz, größtes $z = 1.73$, alle $p > .012$. Es kann also für beide Verkehrsräume sowie für vor und nach der Fahrerfahrung festgehalten werden, dass das Kräfteverhältnis, das der

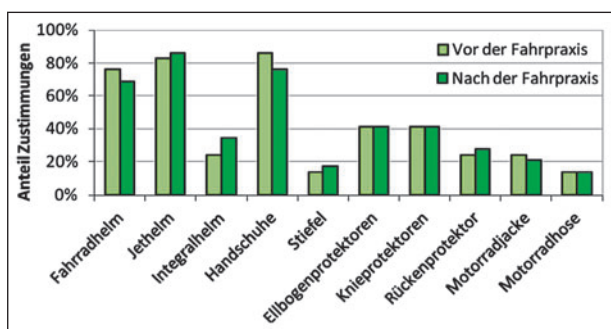


Bild 59: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Evoking akzeptieren würden.

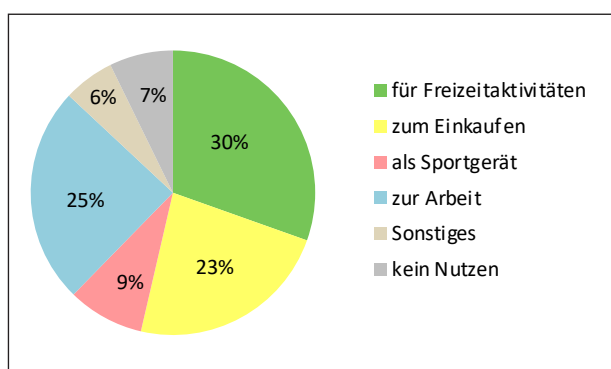


Bild 60: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

Evoking gegenüber anderen Straßenverkehrsteilnehmern einnimmt, in etwa dem eines Mofas gleichgesetzt wurde. Dies ist in Bild 57 gut zu erkennen und steht im Einklang mit der Tatsache, dass der Evoking mit angebrachtem Sitz bereits als motorisiertes Kleinkraftfahrzeug zugelassen ist.

Wie Bild 58 zeigt, variierten die Bewertungen der subjektiven Sicherheit und Kontrollierbarkeit deutlich zwischen den Skalenpolen. Zwar lag das Sicherheitsgefühl noch knapp im höheren Bereich, doch konnte zumindest die Kontrollierbarkeit nur als mäßig eingeordnet werden. Der Evoking schnitt hinsichtlich der Kontrollierbarkeit somit deutlich schlechter ab als Segway und Trikke. Als Grund dafür sind die bereits erwähnten Schwierigkeiten bei starken Lenkbewegungen anzunehmen. Im Gegensatz dazu äußerten sich in den Urteilen über die Erlernbarkeit und den Fahrspaß erneut die gewohnt hohen Werte.

Wie in Bild 59 erkennbar, gab der Großteil der Probanden hinsichtlich der Schutzkleidung an, dass sie einen Fahrradhelm, einen offenen Motorradhelm beziehungsweise Jethelm und Handschuhe als

Schutzausrüstung bei der Benutzung des Evoking tragen würden. Erneut steht dies im Einklang mit der Zulassung dieses Fahrzeugs als Kleinkraftfahrzeug, weil diese zum Tragen eines geeigneten Schutzhelms verpflichtet. Immerhin 40 % der Probanden nannten auch das Tragen von Knie- sowie Handgelenks- und Ellbogenprotektoren als akzeptable Schutzmaßnahme. Auffällig war dabei, dass sich vor und nach den Fahrmanövern nahezu identische Antworthäufigkeiten ergaben; die Akzeptanz gegenüber entsprechender Schutzausrüstung war also augenscheinlich schon auf visueller Basis vorhanden, ohne fahrpraktische Erfahrung erlangt zu haben.

Bild 60 verdeutlicht zuletzt, dass dem Evoking auch mehrere mögliche Funktionen zugeschrieben wurden. So bestanden große Teile der Angaben in Bezug auf den Verwendungszweck aus der Nutzung für Freizeitaktivitäten, für die Fahrt zur Arbeit und zum Einkaufen. Nur ein geringer Anteil sah gar keinen Alltagsnutzen oder die Möglichkeit, den Evoking als Sportgerät einzusetzen.

6.3.8 EGRET ONE V3

Nach rein visueller Beurteilung gaben 93,33 % der Versuchsteilnehmer an, dass sie den Egret im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen würden. Nach der Fahrt waren es mit 73,33 % signifikant weniger, $\chi^2(1, 30) = 19.27, p < .001$. Das Fahrverhalten dieses E-Rollers scheint also die Bereitschaft zur Verwendung reduziert zu haben, die nach optischer Beurteilung noch in hohem Maße vorhanden war.

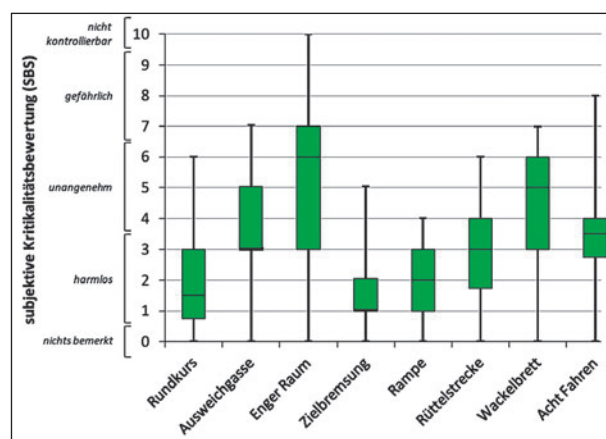


Bild 61: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Egret. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

	Verkehrsbereich					
	Innerorts			Außerorts (ohne Autobahn)		
	Gehweg	Radweg	Fahrbahn	Gehweg	Radweg	Fahrbahn
Vor der Fahrpraxis	93,33 %	96,67 %	24,14 %	48,28 %	65,52 %	13,79 %
Nach der Fahrpraxis	60,00 %	73,33 %	20,00 %	56,67 %	63,33 %	6,67 %

Tab. 33: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Egret im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.

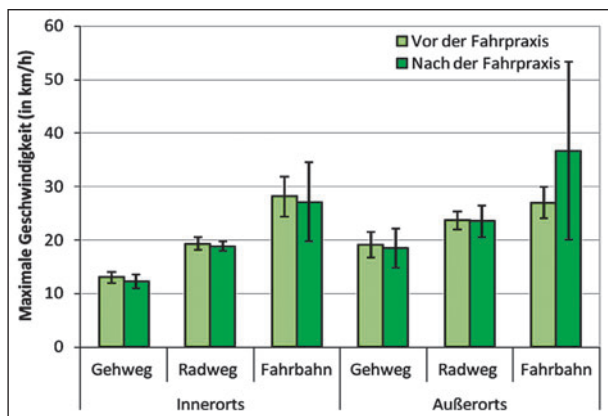


Bild 62: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Egret fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Faktor	Haupteffekt
Befragungszeitpunkt (zweistufig)	$F(1, 174) = 0.43$ $p = .515$ $\eta^2_p = .10$
Verkehrsraum (zweistufig)	$F(1, 174) = 8.30$ $p < .01$ $\eta^2_p = .82$
Verkehrsbereich (dreistufig)	$F(2, 174) = 19.03$ $p < .001$ $\eta^2_p = 1.00$

Tab. 34: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Egret im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.

Paarweiser Vergleich	Post-hoc-Test
Gehweg - Radweg	$t(161) = -4.42$ $p < .001$
Radweg - Fahrbahn	$t(25.13) = -2.34$ $p = .028$
Gehweg - Fahrbahn	$t(26.75) = -4.04$ $p < .001$

Tab. 35: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.

Wie in Bild 61 zu erkennen ist, fiel die Kritikalitätsbewertung des Egret auf der SBS in den einzelnen Fahrmanövern sehr verschieden aus. Einerseits ähnelten die Ergebnisse in denjenigen Manövern, deren Schwerpunkt in Lenkbewegungen lag, der Bewertung des Evoking, denn beim engen Raum erreichten die SBS-Werte im Median die obere Grenze des unangenehmen Bereichs und streuten sogar bis zum Maximum der Skala. Beim Fahren der Acht waren sie teilweise auch erhöht und bei der Ausweichgasse unterschritten sie nur selten einen Wert von 3,0. Auch wenn die mittlere Anzahl an Fehlern in den drei Fahrmanövern deskriptiv nicht höher war als bei den anderen Fahrzeugen (größtes $M = 0,40$, $SE = 0,14$), scheint es eine Eigenschaft der E-Roller insgesamt zu sein, dass enge Kurven sehr schwierig zu fahren sind, obwohl die Probanden häufig einen Fuß auf den Boden gesetzt haben. Auch in den freien Kommentaren kritisierten 16,67 % der Versuchsteilnehmer noch einmal explizit einen zu großen Wendekreis des Egret. Andererseits äußerten sich im tendenziell höheren Median bei der Rüttelstrecke und besonders beim Wackelbrett weitere spezifische Mängel der Kontrollierbarkeit. Erklärbar sind diese mithilfe der Kommentare der Probanden, in denen mehrfach von einem unangenehmen Stoß beim Überfahren des Wackelbretts berichtet wurde, was wahrscheinlich auf die in Relation zu den anderen Elektrokleinstfahrzeugen kleinen Räder des Egret zurückzuführen ist.

Da sich die in Kapitel 6.3.2 bereits genannten negativen Korrelationen zwischen der Bewertung auf der SBS und der individuellen Risikobereitschaft vor allem in den Fahraufgaben mit Querführung zeigten, ist anzunehmen, dass problematische Fahrmanöver in besonderem Maße von Menschen mit geringer Risikobereitschaft als kritisch und unkontrollierbar empfunden werden.

Wie Tabelle 33 zeigt, konzentrierten sich die Angaben der Probanden darauf, dass die meisten den Gehweg und tendenziell noch eher den Radweg für die Verwendung des Egret bevorzugen würden. Die

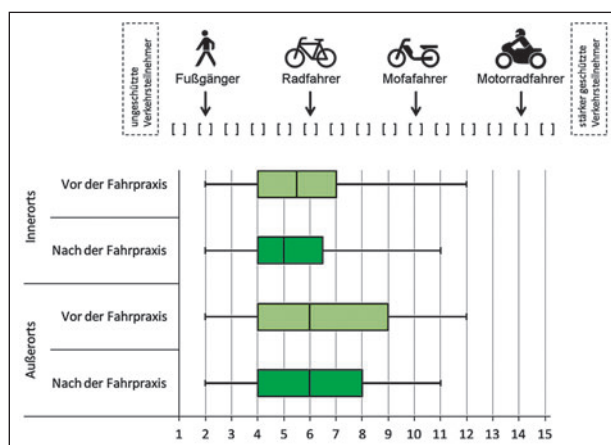


Bild 63: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Egret für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

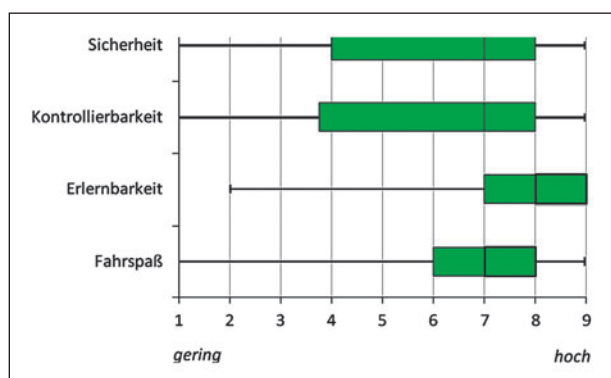


Bild 64: Bewertung des Egret hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Fahrt auf der Fahrbahn wurde hingegen nur selten angestrebt. Auffällig ist auch, dass zumindest innerorts die Fahrbereitschaft für die drei Verkehrsbereiche nach dem Sammeln fahrpraktischer Erfahrung gesunken ist. Dies steht im Einklang mit der signifikant gesunkenen generellen Bereitschaft, den Egret im öffentlichen Straßenverkehr zu bewegen.

Für die Analyse der maximalen Geschwindigkeiten wurde eine $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktorielle Varianzanalyse mit den Zwischensubjektfaktoren Befragungszeitpunkt (vor der Fahrpraxis, nach der Fahrpraxis), Verkehrsraum (innerorts, außerorts) und Verkehrsbereich (Gehweg, Radweg, Fahrbahn) durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Varianzanalyse sind in Tabelle 34 abgebildet. Für den Egret zeigten sich an dieser Stelle erneut die gleichen Angaben vor und nach den Fahrmanövern, wie Bild 62 veranschau-

licht. So wurden außerorts höhere Geschwindigkeiten angestrebt als innerorts. Wie den Ergebnissen von anschließenden Post-hoc-Tests aus Tabelle 35 zu entnehmen ist, wurden für den Gehweg die geringsten Geschwindigkeiten angestrebt, aber für Radweg und Fahrbahn jeweils gleich hohe. Hier zeigte sich nur deskriptiv eine Tendenz hin zu höheren Geschwindigkeiten auf der Fahrbahn, was damit zu erklären ist, dass generell nur wenige Probanden überhaupt eine Benutzung des Egret auf der Fahrbahn in Erwägung gezogen haben.

Für das subjektive Kräfteverhältnis des Egret gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern konnte ein Friedman-Test keine Unterschiede hinsichtlich des Verkehrsraumes oder des Befragungszeitpunkts zeigen, $\chi^2(3, 28) = 7.13$, $p = .068$. Wie Bild 63 zu entnehmen ist, ordneten die Probanden das Verletzungsrisiko durchgängig in der Nähe von dem eines Radfahrers ein. Wie sich bereits in der großen Zustimmung den Egret auf dem Radweg zu fahren äußerte, scheint dieser E-Roller also auf subjektiver Ebene des Fahrers deutliche Parallelen zur Rolle des Fahrrads im Straßenverkehr aufzuweisen.

Die Einstufungen der Benutzung des Egret im Allgemeinen hinsichtlich empfundener Sicherheit und Kontrollierbarkeit sind in Bild 64 dargestellt. Die Mediane der beiden Maße fielen zwar relativ hoch aus, jedoch lag ein großer Teil der Angaben deutlich im Bereich unter 7,0 und streute sogar bis zum minimalen Wert. Dies implizierte, dass der Egret kein eindeutig positives Bild in Bezug auf das subjektive Sicherheitsgefühl hinterlassen hat und dieses durchaus von individuellen Faktoren des Fahrers abhing. Demgegenüber zeigte sich für die Erlernbarkeit und den Fahrspaß das gleiche Muster wie bei den meisten anderen Elektrokleinstfahrzeugen auch: die Werte variierten zwar ebenfalls stark über fast die gesamte Skala, konzentrierten sich aber zum Großteil im oberen Bereich.

Wie Bild 65 veranschaulicht, wurde für den Egret fast von allen Probanden ein Fahrradhelm als Schutzausrüstung akzeptiert. Auch Handschuhe und Protektoren für Handgelenke, Ellbogen und Knie erfuhren von etwa der Hälfte der Teilnehmer Akzeptanz. Bemerkenswert ist dabei, dass für die letzteren nach der Fahrerfahrung teilweise tendenziell und für die Knieprotektoren sogar signifikant mehr Personen angaben, dass sie diese Schutzausrüstung akzeptieren würden, $\chi^2(1, 30) = 5.15$, $p < .05$. Die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen für die Extremitäten schien sich also zumindest teil-

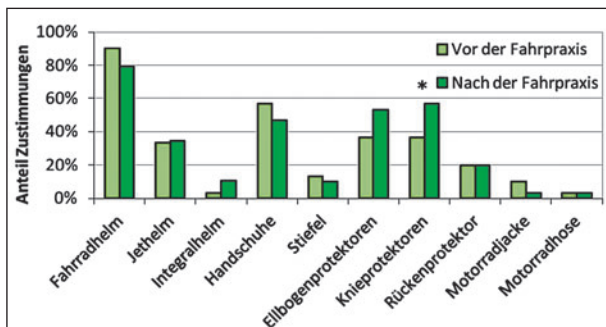


Bild 65: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Egret akzeptieren würden. Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.

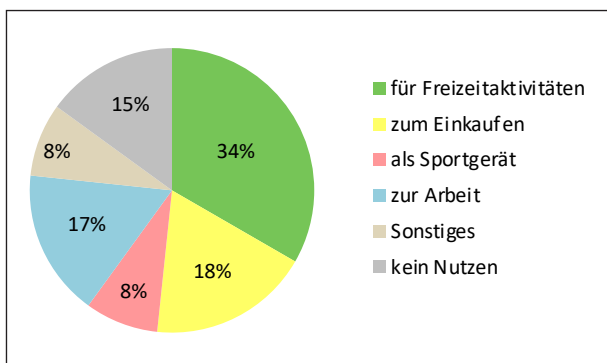


Bild 66: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

weise erst aus der fahrpraktischen Erfahrung mit dem Egret ergeben zu haben.

Der angegebene Alltagsnutzen des Egret bestand hauptsächlich aus der Verwendung für Freizeitaktivitäten, wie in Bild 66 gut zu erkennen ist. Die übrigen Kategorien teilten sich die Antworten zu ähnlichen Anteilen auf, wobei auch ein relativ großer Teil keinen persönlichen Nutzen erkannte. Festzuhalten ist an dieser Stelle noch, dass im Vergleich mit den anderen Fahrzeugen auch mehr Probanden den sonstigen Zweck angaben, dass man den Egret gut benutzen könnte, um die „letzte Meile“ zu Haltepunkten des öffentlichen Personennahverkehrs zurückzulegen.

6.4 Schlussfolgerung zum Nutzerverhalten und Risikobewertung

Zunächst ist anzumerken, dass sich alle im Rahmen dieser Probandenstudie gewonnenen Erkenntnisse ausschließlich auf eine hierbei untersuchte Teilmenge von Elektrokleinstfahrzeugen bezieht.

Dabei ist festzuhalten, dass auf Basis des subjektiven Fahrverhaltens ein ausreichendes Maß an Erlernbarkeit bei der Bedienung der im Rahmen der Probandenversuche getesteten Elektrokleinstfahrzeuge zu beobachten war, wenngleich teils anspruchsvolle Fahrsituationen nachgebildet wurden. Obwohl alle in der Probandenstudie erprobten Fahrzeuge größtenteils nach weniger als 15 Minuten Übung sicher durch den Parcours manövriert werden konnten, zeigten sich Einschränkungen der Beherrschbarkeit in konkreten Fahrsituationen, wie bspw. beim Durchfahren enger Kurvenradien mit spezifischen stehend gefahrenen Elektrokleinstfahrzeugen oder bei Bremsungen (zu geringe Bremsleistungen) und groben Fahrbahnunebenheiten für spezifische selbstbalancierende Elektrokleinstfahrzeuge. Subjektive Beurteilungen, die als „unangenehm“ oder „gefährlich“ benannt wurden, umfassten ein Viertel der nachgebildeten Fahrsituationen (bei den betreffenden Fahrzeugen im Durchschnitt meist 2 von 8 Fahrsituationen; vgl. Kapitel 6.3.3 bis 6.3.8). Da die Ergebnisse häufig durch zunehmende fahrpraktische Erfahrung moderiert wurden, sollte ein möglicher Mehrwert von Kontrollierbarkeit und des Sicherheitsbewusstseins durch Übung und Erfahrung mit Elektrokleinstfahrzeugen beachtet werden. Wichtige Aspekte des Nutzerverhaltens äußerten sich im weitreichenden Interesse an der Benutzung der Elektrokleinstfahrzeuge im öffentlichen Straßenverkehr sowie in der Vielfalt an angeführten Verwendungszwecken. Konkret stellte sich der Radweg von den Probanden als meist präferierter Verkehrsbereich heraus. Für die selbstbalancierenden Fahrzeuge wurde auch der Gehweg als mögliche Alternative angeführt; bei einigen Fahrzeugen wurde zumindest innerorts auch die Verwendung auf der Fahrbahn angestrebt.

Das Tragen bestimmter Schutzausrüstung erfuhr durchaus Akzeptanz, wobei besonders der Fahrradhelm und Handschuhe, größtenteils aber auch der Jethelm sowie Protektoren für Handgelenke, Ellbogen und Knie als akzeptabel eingestuft wurden. Außerdem zeigte sich die Tendenz, dass nach dem Erlangen fahrpraktischer Erfahrung weniger Schutzausrüstung akzeptiert wurde als vor der Fahrpraxis. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Integralhelm und andere Bestandteile von Motorradschutzbekleidung hingegen weitestgehend abgelehnt wurden.

Weiterhin äußerten die Probanden unterschiedliche subjektive Einordnungen für die Fahrzeuge hinsichtlich des Verletzungsrisikos im Vergleich zu an-

deren Verkehrsteilnehmern. Demnach ist zu berücksichtigen, dass die stehend gefahrenen Elektrokleinstfahrzeuge zwar hauptsächlich im Bereich eines Radfahrers eingeordnet wurden, bei einzelnen Fahrzeugen hiervon jedoch abgewichen wurde und diese eher in der Nähe eines Fußgängers oder sogar eines Mofafahrers eingeordnet wurden.

Die maximal akzeptierte Fahrgeschwindigkeit variierte deutlich zwischen den untersuchten Elektrokleinstfahrzeugen. Dabei muss vor allem hinsichtlich Empfehlungen zur Maximalgeschwindigkeit berücksichtigt werden, dass diese von der – teils konstruktionsbedingten – subjektiven Sicherheits- und Kontrollierbarkeitseinschätzung bestimmt worden sein könnte und meist im Zusammenhang mit den technisch möglichen und bei der Fahrpraxis erfahrenen Geschwindigkeiten der Fahrzeuge stand.

Generell lässt sich also festhalten, dass die subjektive Probandenbewertung eine schnelle Erlernbarkeit der in diesem Studienabschnitt untersuchten Teilmenge der im vorliegenden Bericht gegenständlichen Elektrokleinstfahrzeuge ergab. Hinsichtlich der Kontrollierbarkeitsbewertungen waren mögliche Einschränkungen für bestimmte Fahrzeuge in spezifischen nachgebildeten Fahrsituationen zu beobachten (vgl. hierzu Kapitel 6.3.3 bis 6.3.8).

7 Betrachtungen zur Verkehrsfläche

7.1 Einleitung

In der MobHV vom 16.07.2009 ist die Verkehrsflächennutzung für Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von maximal 20 km/h geregelt (s. Kapitel 2.3). Die MobHV ist jedoch auf Fahrzeuge mit folgenden Merkmalen beschränkt:

- Zweispurige Fahrzeuge mit zwei Rädern
- Gesamte Fahrzeugbreite maximal 0,7 m
- Vorhandensein einer Standfläche für den Fahrzeugführer
- Vorhandensein technischer Vorrichtungen zur Selbstbalance
- Vorhandensein einer lenkerähnlichen Haltestange, über die der Fahrer durch Schwerpunktverlagerung die Geschwindigkeit und Lenkung regelt

Somit fallen die meisten der in Tabelle 4 und Tabelle 5 dargestellten Elektrokleinstfahrzeuge nicht in den Gültigkeitsbereich der MobHV. Daher sollte im Rahmen von Versuchsfahrten im öffentlichen Verkehrsraum unter Nutzung verschiedener Verkehrsflächen die Handhabbarkeit der dargestellten Fahrzeuge unter besonderer Berücksichtigung der Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern untersucht werden.

7.2 Befahrene Verkehrsflächen/ Fahrtroute

Die Verkehrsflächennutzung beschränkte sich im Rahmen der Studie auf den innerörtlichen Bereich. Im für diesen Bereich anerkannten Entwurfsregelwerk „Richtlinien für die Anlage von Stadtstraßen“ (RASt 06) wird je nach Charakterisierung, Randbedingungen, Anforderungen und Nutzungsansprüchen eine Gliederung in typische Entwurfssituationen mit zugehörigen Querschnitten dargestellt. Die Festlegung der Route für die Versuchsfahrten erfolgte unter der Maßgabe, möglichst viele dieser Situationen aufzunehmen, solange dies unter Berücksichtigung der örtlichen (Lage im Netz) und fahrzeugtechnischen (begrenzte Reichweite nach einem Akku-Ladevorgang) Randbedingungen möglich war. Grob lässt sich aus der in Bild 67 dargestellten Route die Befahrung folgender Situationen nach den RAST 06 ableiten:

- Wohnstraße
- Sammelstraße
- Örtliche Einfahrtsstraße
- Örtliche Geschäftsstraße
- Hauptgeschäftsstraße
- Verbindungsstraße

Ferner stellten unterschiedliche Arten von Radverkehrsanlagen einen wesentlichen Aspekt der Versuchsfahrten dar.

In der vorliegenden Studie wurden aufgrund der örtlichen Gegebenheiten vorwiegend Radverkehrsanlagen ohne angeordnete Benutzungspflicht in die Route der Versuchsfahrten eingebunden. Außerdem wurde auch ein Abschnitt einer für den Radverkehr freigegebenen Fußgängerzone befahren.

Als zusätzlicher Aspekt wurden sowohl „kompakte“ Knotenpunkte als auch komplexe Knotenpunkte mit

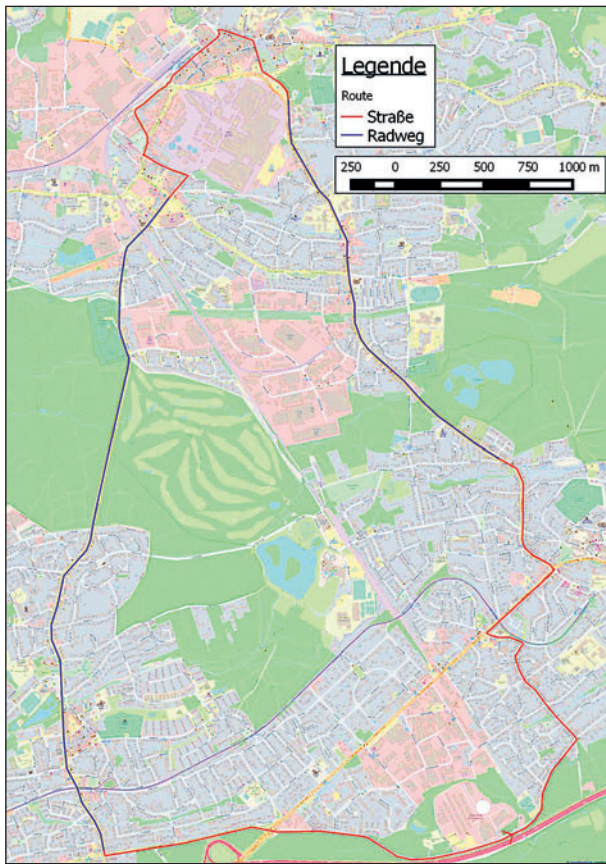


Bild 67: Fahrtroute für die Versuchsfahrten (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)

entsprechenden Fahraufgaben (z. B. Einordnen auf Linksabbiegestreifen vom Radweg am rechten Fahrbahnrand aus) einbezogen.

Unter Berücksichtigung der genannten Aspekte wurde im Bereich Bergisch Gladbach eine 15 km lange Route ausgearbeitet. Diese Streckenlänge bedeutete im Zusammenhang mit der bewegten Topographie entlang der Route bei mehreren Testfahrzeugen das vollständige Ausreizen der Reichweite nach einem Ladevorgang. Auf Bild 67 ist der Verlauf der Route dargestellt.

7.3 Durchführung und Auswertung der Versuchsfahrten

Die Versuchsfahrten wurden auf Basis einer Sondergenehmigung des zuständigen Regierungspräsidiums für die Nutzung der dargestellten Verkehrsflächen mit einer Auswahl von Fahrzeugen nach Tabelle 4 und Tabelle 5 durchgeführt. Die Fahrzeuge wurden dabei von Probanden gesteuert, die bereits an den Versuchsfahrten zur Studie „Nutzerverhalten und Risikobewertung“ (s. Kapitel 6) teilgenommen



Bild 68: Proband bei Versuchsfahrt

men hatten. Die in 6.2.5 erläuterte Schutzausrüstung wurde auch bei diesen Versuchsfahrten verwendet, siehe Bild 68.

Jedem Probanden wurde je Fahrt ein zweiteiliger Fragebogen in Anlehnung an das in 6.2.4 erläuterte Material vorgelegt. Der erste Teil des Bogens war dabei vor Beginn der Versuchsfahrt, der zweite Teil nach Fahrtende auszufüllen. Die Fragebogen sind im Anhang dargestellt.

Für die Auswertung wurden die Felder Fragen 4.1 bis 4.7 mit den Ziffern 1 (sehr sicher) bis 9 (sehr unsicher) verknüpft, um ein subjektives Sicherheitsniveau der Probanden quantifizieren zu können. In den nachfolgend dargestellten Grafiken (Bild 69 bis Bild 72) bedeutet daher ein zunehmendes Niveau eine zunehmende subjektive Unsicherheit.

Nach ursprünglicher Planung sollten mit jedem Fahrzeug sieben Fahrten auf der dargestellten Route durchgeführt werden. Diese Obergrenze war aufgrund verschiedener Randbedingungen (Anzahl zur Verfügung stehender Probanden, Reichweite, Ladezyklen der Fahrzeuge, Gesamt-Zeitplan der Studie) gegeben. Daher besitzen die nachfolgenden quantitativen Darstellungen keinesfalls statistische Sicherheit, sondern sind zur Ableitung von Tendenzen zu verwenden.

Hinsichtlich des Robstep hat sich zu Beginn der Studie im öffentlichen Verkehrsraum gezeigt, dass aus Sicherheitsgründen weitere Versuchsfahrten

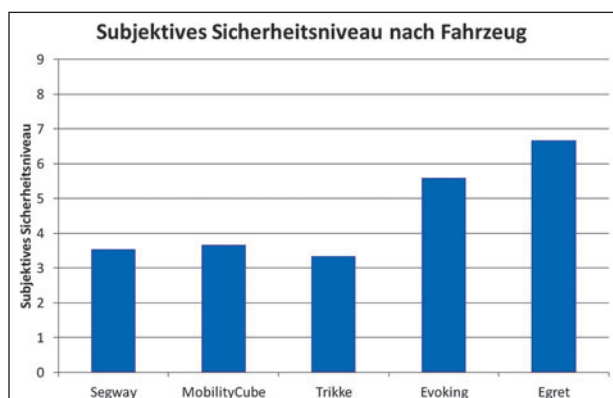


Bild 69: Durchschnittliches subjektives Sicherheitsniveau je Fahrzeug

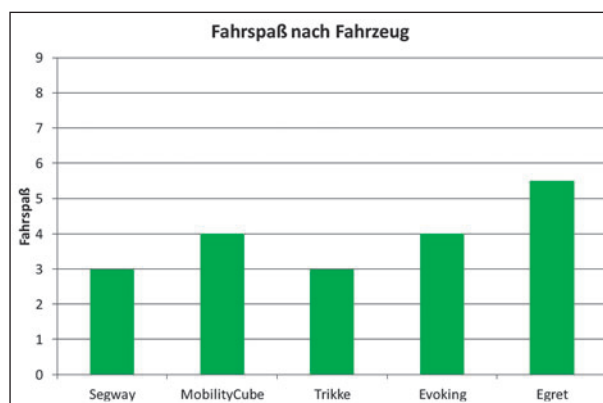


Bild 72: Durchschnittlicher Fahrspaß

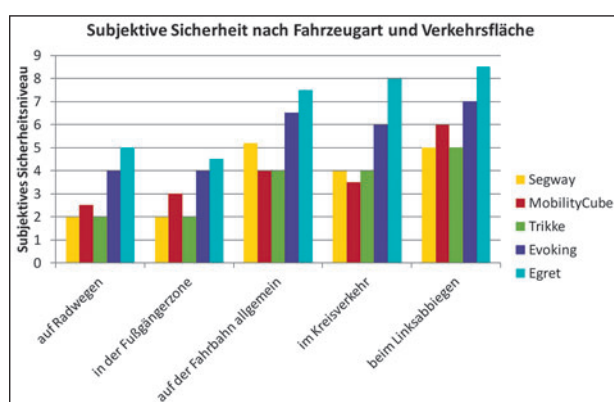


Bild 70: Durchschnittliches subjektives Sicherheitsniveau je Fahrzeug und Verkehrsfläche

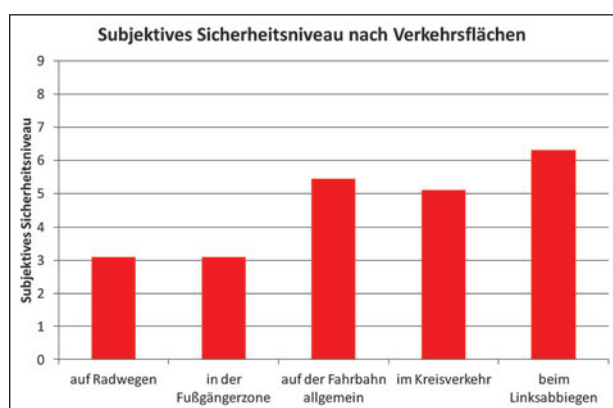


Bild 71: Durchschnittliches subjektives Sicherheitsniveau je Verkehrsfläche

mit diesem Fahrzeug auf öffentlichen Flächen nicht vertretbar sind. Als Konsequenz wird als Anforderung der Nachweis bei einem Stabilitätstest gefordert (s. Kapitel 4.1.3 Thema „Bodenunebenheiten“). Der Egret erlitt im Verlauf der ersten beiden Fahrten eine Beschädigung des Hinterrades, sodass die Versuchsfahrten mit diesem Fahrzeug ebenfalls abgebrochen werden mussten. Die Aussagen zum Egret in den weiteren Darstellungen basieren daher auf lediglich zwei Versuchsfahrten und können al-

lenfalls tendenziell gewertet werden. Mit den übrigen Fahrzeugen wurden jeweils sieben Fahrten durchgeführt.

Die Betrachtung des durchschnittlichen subjektiven Sicherheitsniveaus je Fahrzeug, das in Bild 69 veranschaulicht ist, stellt sich wie folgt dar: Es wird deutlich, dass die selbstbalancierenden sowie das dreirädrige, mehrspurige Fahrzeug von den Probanden im Vergleich zu den einspurigen, nicht selbstbalancierenden Fahrzeugen subjektiv im Mittel deutlich sicherer bewertet wurden.

Eine zusätzliche Verknüpfung mit den befahrenen Verkehrsflächen zeigt Bild 70: Es wird deutlich, dass die Reihenfolge der quantifizierten subjektiven Sicherheit der Fahrzeuge je Verkehrsfläche annähernd identisch ist. Deutliche Abweichungen sind lediglich in der Fußgängerzone und beim Linksabbiegen festzustellen, wo der MobilityCube unsicherer als der Segway und das Trikke bewertet wurden.

Für die Verkehrsflächen ergaben sich im Mittel die in Bild 71 dargestellte Werte. Daraus wird deutlich, dass von den Probanden grundsätzlich mit dem Kraftfahrzeugverkehr geteilte Verkehrsflächen im Vergleich mit Fußgängern und Radfahrern vorbehaltenen Flächen unsicherer eingeschätzt werden. Als besonders kritisch wurde das Linksabbiegen zusammen mit dem vorangehenden Vorgang des Einordnens bewertet.

Der Fahrspaß wurde von den Probanden wie in Bild 72 dargestellt bewertet (0 = kein Fahrspaß bis 9 = sehr viel Fahrspaß):

In Bild 73 und Bild 74 ist die Einschätzung des eigenen Verletzungsrisikos durch die Probanden vor und nach der Versuchsfahrt (jeweils getrennt nach den Ortslagen innerorts und außerorts) dargestellt.

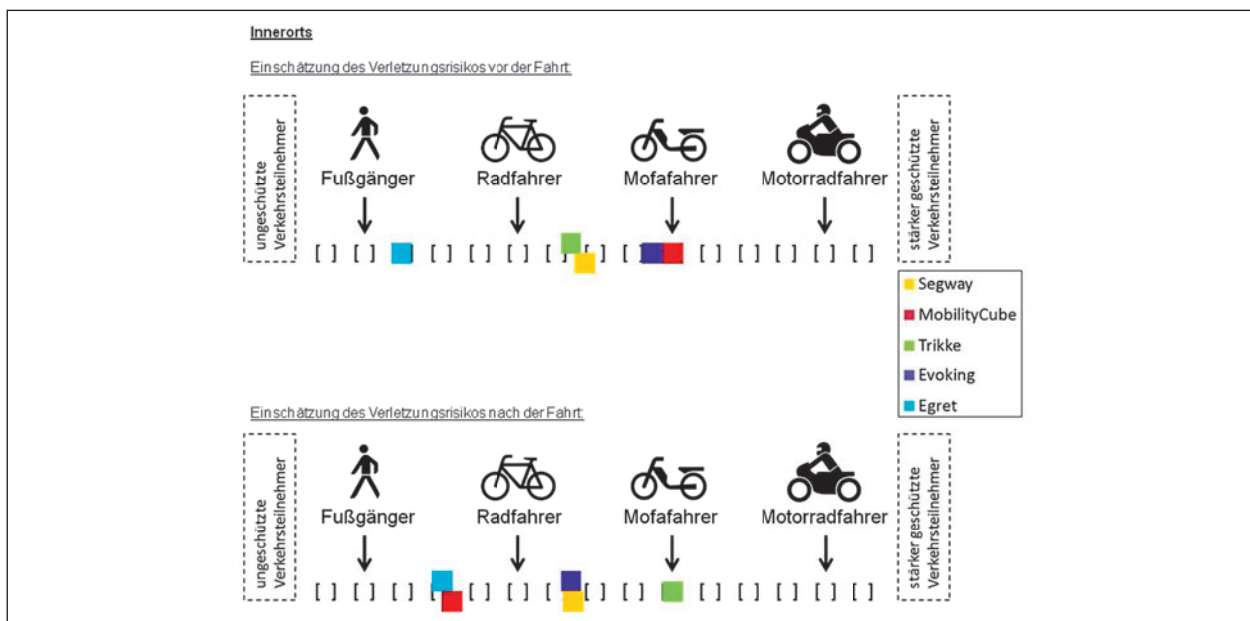


Bild 73: Einschätztes Verletzungsrisiko innerorts vor und nach der Fahrt

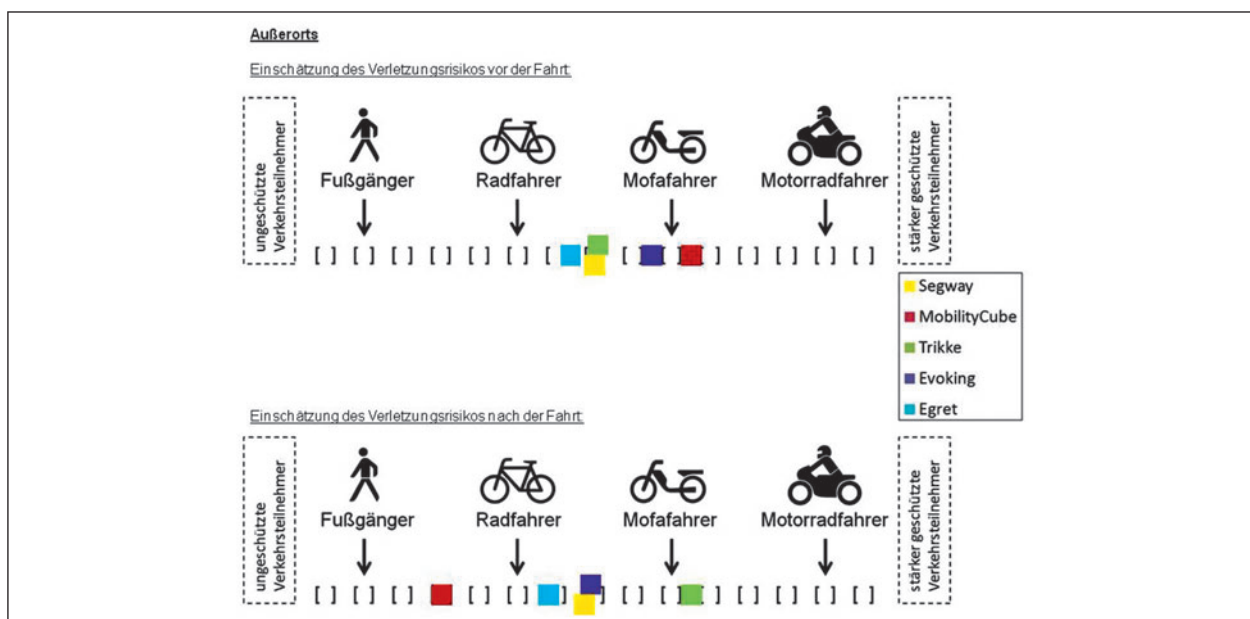


Bild 74: Einschätztes Verletzungsrisiko außerorts vor und nach der Fahrt

Es zeigt sich, dass insbesondere die Verletzungsrisiken des MobilityCube und des Trikke vor bzw. nach der Fahrt stark unterschiedlich eingeschätzt wurden. Während das eingeschätzte Verletzungsrisiko einer Fahrt mit dem MobilityCube vor der Fahrt deutlich an das Verletzungsrisiko stärker geschützter Verkehrsteilnehmer heranreicht, liegt nach der Fahrt das Gegenteil vor. Das Trikke wurde umgekehrt bewertet, jedoch mit schwächerer Ausprägung der Bewertungsdifferenzen. Auffällig ist weiterhin, dass lediglich das Verletzungsrisiko für Fahrten mit dem Egret außerorts bedeutend höher als innerorts eingeschätzt wurde. Dies kann jedoch in

der geringen Anzahl von Versuchsfahrten mit diesem Fahrzeug begründet sein.

In Bild 75 sind die Anteile der Probandenzustimmung zu verschiedenen Schutzausrüstungsgegenständen vor und nach Absolvieren der Versuchsfahrt dargestellt; dabei erfolgt eine Unterscheidung nach Fahrzeug. Es zeigt sich, dass in zwei Fällen (Handschuhe – Evoking und offener Motorradhelm – Trikke) der Zustimmungsanteil für einen Ausrüstungsgegenstand nach der Fahrt ansteigt. Ansonsten sind die Zustimmungsanteile vor und nach der Fahrt identisch bzw. nach der Fahrt etwas geringer.

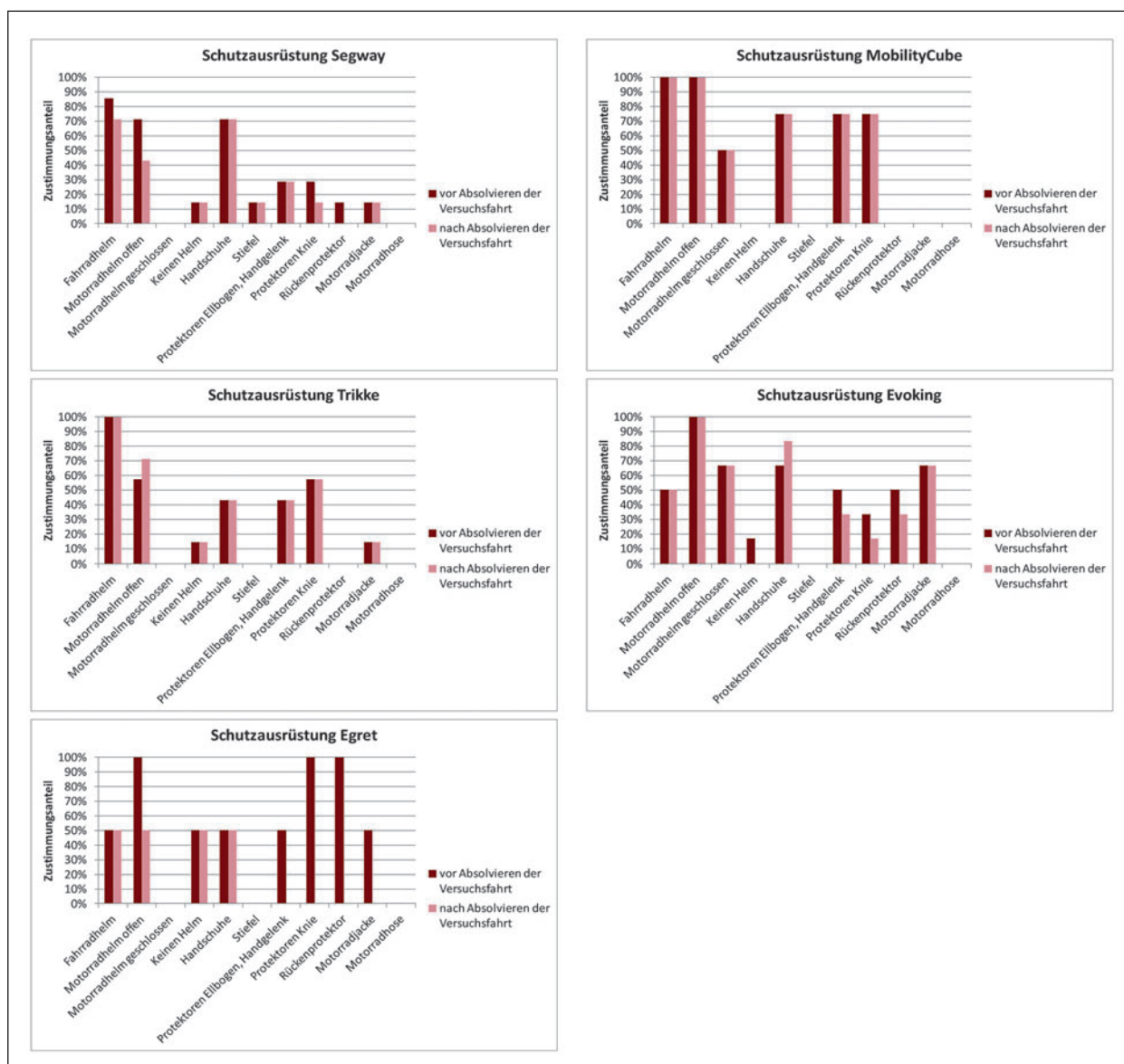


Bild 77: Anteil der Probandenzustimmungen zu bestimmten Schutzausrüstungsgegenständen

Es zeigt sich, dass in zwei Fällen (Handschuhe – Evoking und offener Motorradhelm – Trikke) der Zustimmunganteil für einen Ausrüstungsgegenstand nach der Fahrt ansteigt. Ansonsten sind die Zustimmungssanteile vor und nach der Fahrt identisch bzw. nach der Fahrt etwas geringer.

7.4 Schlussfolgerung zur Verkehrsfläche

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass durch die Probanden der Radweg als Verkehrsfläche die größte Akzeptanz erfährt. Die subjektive Sicherheit wird auf der Fahrbahn als deutlich geringer empfunden; dabei tritt der Vorgang des Linksabbiegens besonders hervor. Es wird daher, wie auch in Kapitel

5.3.5 bereits angedeutet, empfohlen, für Elektrokleinstfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 20 km/h vorhandene Radwege analog zur MobHV grundsätzlich freizugeben. Für Elektrokleinstfahrzeuge mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 25 km/h sollte die grundsätzliche Freigabe außerorts erfolgen, innerorts, in Anlehnung an die Handhabung von Mofas, nur durch Anordnung eines entsprechenden Zusatzzeichens. Ferner wird die verbindliche Ausrüstung mit Fahrtrichtungsanzeigern nahegelegt, da die subjektive Sicherheit während des Linksabbiegens durch die Notwendigkeit einhändigen Fahrens als stark eingeschränkt bewertet wurde.

Da bei der Kategorie K0 Unverträglichkeit bezüglich der Geschwindigkeit auf dem Radweg sowie der

Fahrbahn besteht und es bei Kraftfahrzeugen auf dem Gehweg zu Konflikten mit dem Fußgängerverkehr kommen kann, die in Verletzungsgefahr für die Fußgänger münden, wird empfohlen, derzeit kein Fahrzeug nach K0 im öffentlichen Straßenverkehr zuzulassen, da weiterer Forschungsbedarf besteht.

Die Wahrnehmbarkeit von Fahrzeugen der Kategorie K1 wird analog zu Leichtmofas bzw. Fahrrädern, die von K2 analog zu Mofas, eingestuft, da Geschwindigkeitsprofile und technische Parameter (z. B. Beleuchtungseinrichtung, Abmessungen etc.) jeweils weitgehend übereinstimmen.

Unterschiede im Beschleunigungsverhalten zwischen Fahrrädern und Elektrokraftfahrzeugen sind vergleichbar mit den Unterschieden zwischen Fahrrädern und Pedelec 25 bzw. E-Bikes. Da Elektrokraftfahrzeuge bisher noch keine weitgehende Markverbreitung aufweisen, konnten in der Studie darüber hinaus gehende Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern nicht analysiert werden, sondern es wird hier auf o. g. Vergleich verwiesen. Weitergehende Verhaltens- und Interaktionsanalysen im Verkehrsraum sind erst bei Auftreten entsprechender Stückzahlen möglich.

Damit ergeben sich die in Tabelle 36 dargestellten Empfehlungen für die Verkehrsflächennutzung durch Elektrokraftfahrzeuge.

Die Benutzung der Fahrbahn von Außerortsstraßen für den Fall nicht vorhandener Radwege ist Fahrrädern

in der Regel gestattet. Zur Abgrenzung der Frage, wann außerorts bei nicht vorhandenen Radwegen die Fahrbahn von Elektrokraftfahrzeugen benutzt werden kann, ist anzuführen, dass Bundesstraßen außerorts, wenn verkehrlich notwendig, häufig baulich getrennte Radwege aufweisen. Somit stellt sich die Frage der Nutzung der Fahrbahn außerorts durch Elektrokraftfahrzeuge nur im Bereich der Kreis- und Landesstraßen. Diese unterscheiden sich jedoch in vielfältiger Weise. Einen spezifischen Typus „Land- oder Kreisstraße“ gibt es nicht. Allerdings besteht üblicherweise nicht unbedingt die Notwendigkeit, auf Außerortsstraßen verhaltensrechtlich zwischen Radverkehr und Elektrokraftfahrzeugen (bis 20 km/h oder bis 25 km/h) zu differenzieren.

Die Einordnungen für die Fahrzeuge hinsichtlich des Kräfteverhältnisses zu anderen Verkehrsteilnehmern ähnelten stark den Einordnungen nach 6.3 (Ergebnisse Nutzerverhalten und Risikobewertung). Ähnliches gilt für die Akzeptanz verschiedener Elemente der Schutzausrüstung.

8 Empfehlungen für Anforderungen und neue Kategorien

In den zuvor beschriebenen Teilstudien wurden Elektrokraftfahrzeuge analysiert und zwar mit dem Ziel, Empfehlungen für Anforderungen auszusprechen und Vorschläge für neue Fahrzeugkate-

	K0		K1		K2	
	Stehend gefahren ≤ 6 km/h	Selbst- balancierend ≤ 6 km/h	Stehend gefahren 6-20 km/h	Selbst- balancierend 6-20 km/h	Stehend gefahren ≤ 25 km/h	Selbstbalancie- rend ≤ 25 km/h
Gehweg	Nein		Nein		Nein	
Radweg Schutz- streifen	Nein		Ja		Innerorts: Nein, außer wenn dies durch Zusatzzeichen freigegeben ist. Außerorts: Ja	
Fahrbahn	Nein		Innerorts: Ja, außer wenn ein fahrbahnbeglei- tender Radweg bzw. Schutzstreifen vorhanden ist. Außerorts: Ja, wenn kein Radweg vorhanden ist		Innerorts: Ja Außerorts: Ja, wenn kein Radweg vorhanden ist.	
	Derzeit nicht im öffentlichen Straßenverkehr zulassen. Möglicherweise Konfliktpotenzial mit Fußgängerverkehr: daher weiterer Forschungsbedarf.					

Tab. 36: Empfohlene Verkehrsflächen für Elektrokraftfahrzeuge

goren aufzuzeigen, um einen sicheren Betrieb im Straßenverkehr zu ermöglichen.

In Tabelle 37 sind die empfohlenen neuen Kategorien und deren zugehörige, zu nutzende, Verkehrsflächen bzw. Anforderungen aufgelistet.

Betrachtungen zur aktiven Sicherheit

Die Untersuchungen zur aktiven Sicherheit wurden sowohl in Form fahrdynamischer Tests als auch in Form der Betrachtung einzelner technischer Merkmale durchgeführt. Daraus wurden Vorschläge, Elektrokleinstfahrzeuge neuen nationalen Fahrzeugkategorien in Abhängigkeit von der bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit (K0: bis 6 km/h, K1: 6 bis 20 km/h und K2: 20 bis 25 km/h) zuzuordnen, entwickelt. Darüber hinaus wurden für jede Kategorie technische Anforderungen abgeleitet, die die Ergebnisse der Versuche widerspiegeln.

Da bei der Kategorie K0 Unverträglichkeit bezüglich der Geschwindigkeit auf dem Radweg sowie der Fahrbahn besteht und es bei Kraftfahrzeugen auf dem Gehweg zu Konflikten mit dem Fußgängerverkehr kommen kann, die in Verletzungsgefahr für die Fußgänger münden, wird empfohlen, derzeit kein Fahrzeug nach K0 im öffentlichen Straßenverkehr zuzulassen, da weiterer Forschungsbedarf besteht.

Als Empfehlung für die Anforderungen an Elektrokleinstfahrzeuge wurden verschiedene sicherheitstechnische Ausstattungsmerkmale definiert, die sich in der Kategorie K1 am Leichtmofa und Fahrrad beziehungsweise in der Kategorie K2 am Mofa anlehnen. Dabei stellten sich die folgenden technischen Merkmale als relevant für die Vermeidung von Unfällen dar:

- Allgemein sollte die Höchstgeschwindigkeit für selbstbalancierende Elektrokleinstfahrzeuge 20 – 25 km/h betragen. Bei höheren Geschwindigkeiten sind enge Kurven und plötzliche Ausweichmanöver aufgrund der hohen Querbeschleunigungen nicht möglich. Des Weiteren können oberhalb von 25 km/h Eigenschwingungen auftreten, die zu Stabilitätsverlust führen können.
- Lichttechnische Einrichtungen sind nach dem Sicherheitsniveau der Fahrradbeleuchtung (aktiv + retroreflektierend) gemäß § 67 StVZO anzubringen mit der zusätzlichen Verpflichtung, auch am Tag mit Licht zu fahren. Des Weiteren sollte es erlaubt sein, Tagfahrleuchten an Elektrokleinstfahrzeugen anzubringen und am Tag einzuschalten. Weiterhin werden Fahrtrichtungsanzeiger, eine

helltönende Glocke bzw. Klingel und ein Rückspiegel als notwendig erachtet.

- Für ein Mindestmaß an Verkehrssicherheit sollten zwei unabhängig voneinander wirkende Bremsen vorgeschrieben sein, mit denen eine Mindestverzögerung von 3,5 m/s² erreicht werden kann. Eine sichere Kontrolle der Elektrokleinstfahrzeuge im normalen Betrieb und im kritischen Fahrzustand erfordert eine Lenkstange bzw. einen Griff. Für selbstbalancierende Fahrzeuge wird zusätzlich ein fahrdynamischer Stabilitätstest empfohlen. Dieser soll das unkritische Befahren von Kopfsteinpflaster und anderer Bodenunebenheiten genauso wie das Überfahren eines Bordsteins (einseitig und frontal) nachweisen.
- Im Bereich der funktionalen Sicherheit sind Anforderungen zu stellen, die das Betätigen des Antriebs ausschließen, wenn sich das Fahrzeug nicht im Betriebszustand (z. B. im zusammengefalteten Zustand) befindet. Ebenso muss der Antrieb deaktiviert sein, wenn sich Fahrzeugführende nicht auf dem Elektrokleinstfahrzeug befinden oder sich das Elektrokleinstfahrzeug außerhalb der Betriebsgrenzen (z. B. wegen Umkippen) befindet. Dies entspricht einer Abschalteinrichtung, die zur Deaktivierung des Antriebs bei Kontrollverlust führt, um das Risiko für den Fahrer oder andere Verkehrsteilnehmer zu verringern. Ungewollte Veränderungen der Fahrzeuggeometrie (z. B. Höhenverstellungen) während des Fahrbetriebs müssen ausgeschlossen werden.
- In Zusammenhang mit der elektrischen Sicherheit müssen bei Elektrokleinstfahrzeugen alle spannungsführenden Bauteile berührungssicher gebaut bzw. isoliert sein. Das Spannungsniveau muss unterhalb der im Kraftfahrzeugbereich geltenden Spannungsgrenzen für Hochvolt liegen. Um einen elektrischen Schlag zu vermeiden, sind die elektrischen Komponenten gegen Umwelteinflüsse, besonders Feuchtigkeit und Wassereindringen zu schützen.
- Verboten soll der Anhängerbetrieb mit Elektrokleinstfahrzeugen sein, sowie weitere Personen neben dem Fahrer zu befördern.
- Als Voraussetzung, Fahrzeuge der Kategorie K1 und K2 im öffentlichen Straßenverkehr benutzen zu dürfen, sollten diese mit einem gültigen Versicherungskennzeichen versehen sein und der Fahrer eine Mofa-Prüfbescheinigung oder eine andere diese Bescheinigung enthaltende Fahrerlaubnis besitzen. Damit wird indirekt das Mindest-

alter für das Führen von K1- und K2-Fahrzeugen auf 15 Jahre festgesetzt.

- Nicht in die neu vorgeschlagenen Kategorien fallen Krankenfahrstühle und Fahrzeuge, die die entsprechenden Anforderungen nicht erfüllen, oder kein eigenständiges Fahrzeug darstellen (z. B. Zug- und Schubvorrichtungen) oder die als Sport und Freizeitgerät ausgelegt sind.

Betrachtungen zur passiven Sicherheit

In Bezug auf die passive Sicherheit von Elektrokleinstfahrzeugen können folgende Empfehlungen

gegeben werden; hiermit wäre ein Sicherheitsniveau gewährleistet, das ähnlich zu heutigen bestehenden Fahrzeugen ist. Für persönliche Schutzausrüstung ist die Nutzung eines Helmes, der nach EN 1078 geprüft wurde, bei Fahrzeugen mit bbH bis 20 km/h zu empfehlen, analog der Helmempfehlung für Fahrradfahrer. Bei Fahrzeugen mit bbH über 20 km/h ist eine Pflicht zur Nutzung eines Helmes, der nach UN-R 22 geprüft wurde, vorzuschreiben.

In Bezug auf die Beurteilung des Risikos für andere Verkehrsteilnehmer wurden unter Berücksichtigung der Massen der Versuchsfahrzeuge Empfehlungen

Verkehrsfläche				
	K1		K2	
	Stehend gefahren 6-20 km/h	Selbstbalancierend 6-20 km/h	Stehend gefahren ≤ 25 km/h	Selbstbalancierend ≤ 25 km/h
Gehweg	Nein		Nein	
Radweg	Ja		Innerorts: Nein, außer wenn dies durch Zusatzzeichen freigegeben ist.	
Schutzstreifen			Außerorts: Ja	
Fahrbahn	Innerorts: Ja, außer wenn ein fahrbahnbegleitender Radweg bzw. Schutzstreifen vorhanden ist.		Innerorts: Ja	
	Außerorts: Ja, wenn kein Radweg vorhanden ist.		Außerorts: Ja, wenn kein Radweg vorhanden ist.	
Anforderungen				
	K1		K2	
	Stehend gefahren 6-20 km/h	Selbstbalancierend 6-20 km/h	Stehend gefahren ≤ 25 km/h	Selbstbalancierend ≤ 25 km/h
Maximalgeschwindigkeit bbH	20 km/h		Länge 2000 25 km/h	
Lichttechnische Einrichtung	Ja, wie Fahrrad + Licht am Tag		Ja, wie Fahrrad + Licht am Tag	
Fahrtrichtungsanzeiger	Ja	Ja, wenn stehend gefahren	Ja	Ja, wenn stehend gefahren
Klingel / Hupe	Ja		Ja	
Rückspiegel	Ja		Ja	
Bremse (Anzahl der unabhängigen)	3,5 m/s ² Anzahl: 2		3,5 m/s ² Anzahl: 2	
Lenker / Griffstange	Ja		Ja	
Zustandserkennung / Not-Aus	Ja		Ja	
Fahrdynamik	Ja		Ja	
Mindestanforderung (z. B.) > Schlagloch/Bordstein > Einseitige Vertikalanregung				
Helmpflicht	Nein, aber Empfehlung (Fahrradhelm)		Ja, geeigneter Helm	
Versicherungspflicht	Ja		Ja	
Kennzeichen	Ja		Ja	
Führerscheinklasse	Prüfbescheinigung Mofa		Prüfbescheinigung Mofa	
Mindestalter	15		15	
Anhänger zulässig	Nein		Nein	
Max. Anzahl z. Personenbeförderung	1		1	
Maximale Breite	700 mm		700 mm	
Maximale Höhe	1400 mm		1400 mm	
Maximale Länge	2000 mm		2000 mm	

Tab. 37: Empfehlung hinsichtlich Verkehrsfläche und Anforderungen

für maximale Höchstgeschwindigkeiten gegeben, die insbesondere im Zusammenhang mit dem jeweiligen Verkehrsweg stehen:

- Kategorie K1: 6 - 20 km/h → Radweg / Fahrbahn
- Kategorie K2: ≤ 25 km/h → Fahrbahn

In Bezug auf die Formaggressivität wird empfohlen, die einschlägigen Vorschriften der Richtlinie 2001/95/EG „Sicherheitsanforderungen an Fahrräder“ sowie die Anforderungen aus der Richtlinie 97/24/EG „Vorstehende Außenkanten von zweirädrigen Kfz“ zu berücksichtigen.

Bezüglich der zulässigen Fahrzeugmasse bzw. Gesamtmasse besteht derzeit keine Vorgabe aus existierenden Fahrzeugkategorien. Von einer unbeschränkten Freigabe (keine Massenobergrenze) für Elektrokleinstfahrzeuge ist auf jeden Fall abzuraten, da sonst bei zu hoher Masse die Sicherheit Dritter zu stark gefährdet wird. Vor diesem Hintergrund und dem Aspekt, dass Elektrokleinstfahrzeuge als klein und leicht einzustufen sein sollen, wäre ein erster Vorschlag für die maximale Fahrzeugmasse ohne Fahrer 50 kg. Bei 50 kg könnte zumindest ein defektes Fahrzeug mit blockierten Rädern noch per Hand aus einer Gefahrenzone gezogen oder geschoben werden.

Betrachtungen zur Verkehrsfläche

Die Untersuchungen zur Benutzung der Verkehrsfläche führten zur Empfehlung, Elektrokleinstfahrzeuge mit einer Höchstgeschwindigkeit bis 20 km/h (Kategorie K1) auf Radwegen zu fahren. Innerorts und außerorts sollen die Verkehrsteilnehmer nur die Fahrbahn benutzen, wenn kein fahrbahnbegleitender Radweg vorhanden ist.

Für Elektrokleinstfahrzeuge der Kategorie K2 mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit bis 25 km/h wird empfohlen, die Radwege innerorts nur freizugeben, wenn ein entsprechendes Zusatzzeichen (wie beim Mofa) vorhanden ist, und außerorts die Radwege grundsätzlich freizugeben.

Wegen zu hoher Differenzgeschwindigkeiten auf Radwegen und auf der Fahrbahn sowie aufgrund des möglichen Konfliktpotenzials mit dem Fußgängerverkehr auf dem Gehweg sollen Elektrokleinstfahrzeuge im Sinne dieser Untersuchung mit einer bbH bis 6 km/h (K0) derzeit keine Betriebserlaubnis für den Straßenverkehr erhalten. In Bezug auf das Verbot von Kraftfahrzeugen auf dem Gehweg ist anzuführen, dass es sich bei Krankenfahrstühlen gemäß § 2 Ziffer 13 Fahrzeug-Zulassungsverordnung um „einsitzige, nach der Bauart zum Gebrauch durch körperlich behinderte Personen bestimmte

	Innerorts						Außerorts			
	Gehweg		Radweg		Fahrbahn		Radweg		Fahrbahn	
Tretroller / Skateboard (o. Motor)	Ja	1	nein	2	nein	2	nein	2	nein	2
Inlineskates und Rollschuhe	Ja	1	nein	3	nein	3	nein	3	nein	3
Fahrrad	nein	4	Ja	5	Ja	6	Ja	5	Ja	6
Pedelec (Pedelec 25)	nein	0	Ja	5	Ja	6	Ja	5	Ja	6
K1	nein		Ja		Ja	12	Ja		Ja	13
Segway	nein	7	Ja	7	Ja	8	Ja	7	Ja	9
Leichtmofa	nein	5	nein	10	Ja	5	Ja	5	Ja	5
K2	nein		nein	14	Ja		Ja		Ja	15
Kleinkraftrad 25 / E-Bike	nein	5	nein	11	Ja	5	Ja	5	Ja	5
Kleinkraftrad 25 / Mofa	nein	5	nein	10	Ja	5	Ja	5	Ja	5
Speed-Pedelec (Pedelec 45)	nein	5	nein	5	Ja	5	nein	5	Ja	5
Kleinkraftrad 45	nein	5	nein	5	Ja	5	nein	5	Ja	5

1 nach § 24 StVO	10 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben (Nr. 1022-11/-14/-15 jeweils gemäß Entwurf Bundesrats-Drucksache 85/17); nach § 2 StVO
2 nach § 31 StVO	11 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben (Nr. 1022-13/-15; 1026-63 jeweils gemäß Entwurf Bundesrats-Drucksache 85/17)
3 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben, nach § 31 StVO (Nr. 1020-13)	12 außer wenn ein fahrbahnbegleitender Radweg bzw. ein Schutzstreifen vorhanden ist.
4 außer wenn durch Zusatzzeichen freigegeben (Nr. 1022-10); nach § 2 StVO	13 wenn kein Radweg vorhanden ist.
5 nach § 2 StVO	14 außer wenn dies durch Zusatzzeichen freigegeben ist.
6 außer wenn eine benutzungspflichtige Radverkehrsanlage vorhanden ist und nicht verboten (z. B. durch Z 254); nach § 2 StVO	15 wenn kein Radweg vorhanden ist.
7 nach MobHV § 7	
8 wenn keine Radverkehrsanlage vorhanden;	
9 wenn keine Radverkehrsanlage vorhanden, aber nicht auf B-, L-, K-Straßen; nach MobHV § 7	

Tab. 38: Übersicht hinsichtlich der Verkehrsfläche

	Tretroller/ Skate- board (ohne Motor)	Inline- skates und Roll- schuhe	Fahrrad	Pedelec 25	K1	Segway	Leicht- mofa	K2	Klein- kraftrad 25 / Mofa / E-Bike“	Pedelec 45	Klein- kraftrad 45
bbH bzw. Höchst- geschwin. mit Motor- unterstütz.	nein	nein	nein	25	20	20	20	25	25	45	45
Versiche- rungspflicht	nein	nein	nein	nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Kennzeichen	nein	nein	nein	nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Führerschein- klasse	nein	nein	nein	nein	Mofa	Mofa	Mofa	Mofa	Mofa	AM	AM
Mindestalter	nein	nein	nein	nein	15	15	15	15	15	16	16
Fahrtrich- tungsanzeiger, wenn „Nein“, dann Hand- zeichen	nein	nein	nein	nein	Ja, wenn stehend gefahren	nein	nein	Ja, wenn stehend gefahren	nein	nein	nein
Lichttechni- sche Einrich- tungen	nein	nein	Ja	Ja	Ja, wie Fahrrad + Tagfahr- leuchten erlauben + Licht am Tag	Ja	Ja	Ja, wie Fahrrad + Tagfahr- leuchten erlauben + Licht am Tag	Ja	Ja	Ja
Rückspiegel, (Anzahl)	nein	nein	nein	nein	a(1)	nein	Ja(1)	Ja(1)	Ja(1)	Ja(1)	Ja(1)
Helmpflicht	nein	nein	nein	nein	nein Empfeh- lung Fahr- radhelm	nein	nein	Ja geeigneter Helm	Ja	Ja	Ja

Tab. 39: Übersicht hinsichtlich der Anforderungen

Kraftfahrzeuge [...]“ handelt. Eine Vergleichbarkeit mit Elektrokleinstfahrzeugen der Kategorie K0 im Sinne dieser Untersuchung ist somit nicht grundsätzlich gegeben, weshalb eine Anwendung von § 24 Absatz 2 StVO entfällt. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

Des Weiteren wird der Fahrtrichtungsanzeiger als notwendiger Ausrüstungsgegenstand angesehen, da die subjektive Sicherheit während des Linksabbiegens durch die Notwendigkeit einhändigen Fahrens als stark eingeschränkt bewertet wurde.

Während der Fahrten im öffentlichen Verkehr wurde die begrenzte Nutzungsmöglichkeit einiger Testfahrzeuge wegen Sicherheitseinschränkungen deutlich, was zu entsprechender Ableitung von Empfehlungen für technische Anforderungen geführt hat.

Tabelle 38 gibt einen Überblick hinsichtlich der Verkehrsfläche für verschiedene, existierende Fahrzeugarten und die Elektrokleinstfahrzeuge der Kategorie K1 und K2. Analog listet die Tabelle 39 verschiedene Anforderungen auf.

9 Bewertung von Fahrzeugkonzepten hinsichtlich einer möglichen Teilnahme am öffentlichen Straßenverkehr

Basierend aus den zuvor abgeleiteten technischen Anforderungen und den neu vorgeschlagenen Fahrzeugkategorien werden in diesem Kapitel derzeit auf dem Markt existierende Fahrzeugkonzepte gruppiert und entsprechend bewertet. Dabei wird die Verkehrssicherheit dieser Konzepte in Bezug auf eine mögliche Teilnahme im Straßenverkehr beurteilt. Es sollen weiterhin Hinweise gegeben werden, unter welchen Voraussetzungen diese Fahrzeugarten für den Gebrauch im Straßenverkehr nutzbar sind oder welche jeweiligen in den vorherigen Kapiteln erarbeiteten, sicherheitsrelevanten Ausstattungen / Merkmale fehlen und / oder Anforderungen nicht erfüllt werden und daher eine Nutzung im Straßenverkehr ausgeschlossen wird bzw. ein erhöhtes Verkehrssicherheitsrisiko gegeben ist.

Die im Folgenden aufgeführten „abgeleiteten Anforderungen“ sind dem unteren Teil der Tabelle 37 entnommen. Für jedes Fahrzeugkonzept wird dann eine entsprechende Einschätzung abgegeben, die zeigt, ob die sicherheitsrelevanten Anforderungen gegeben sind.

Vorab noch ein genereller Hinweis: Unabhängig von der Gestaltung eines Fahrzeugs gilt ein allgemeines Verbot von unzulässigen lichttechnischen Einrichtungen (darunter fällt unter anderem das Ausstrahlen von Licht in den Farben Grün und Blau sowie Blinklicht ohne Sondergenehmigung). Auch die Verwendung von Schalleinrichtungen zur Musikkwiedergabe außerhalb von geschlossenen Fahrzeugen ist kritisch zu sehen. Einige Elektrokleinstfahrzeuge sind bereits mit Vorrichtungen ausgestattet, die zur Wiedergabe von Musik vorgesehen sind. Laut StVZO § 30 müssen Fahrzeuge so gebaut und ausgerüstet sein, dass „... ihr verkehrsüblicher Betrieb niemanden schädigt oder mehr als unvermeidbar gefährdet, behindert oder belästigt“.

Die Beschreibung der Fahrzeugarten wird untergliedert in zwei Bereiche der wesentlichen Eigenschaften: selbstbalancierende sowie im Stehen gefahrene Fahrzeuge.

9.1 Selbstbalancierende Elektrokleinstfahrzeuge

9.1.1 Selbstbalancierende Einräder

Bei einspurigen beziehungsweise unter Verwendung von Zwillingsdoppelreifen quasieinspurigen, selbstbalancierenden Einrädern wird durch die Gleichgewichtsverlagerung der fahrenden Person sowohl das Kurvenfahren als auch das Beschleunigen und Verzögern eingeleitet.

Bei dieser Fahrzeuggruppe differenziert man zwischen den beiden Merkmalen mit und ohne Sitz, bzw. mit und ohne Lenker / Haltegriff. Somit ergibt sich die Untergruppe der rein im Stehen gefahrenen, bei denen der Kontakt zum Fahrzeug nur durch Aufstandsflächen für die Füße und gegebenenfalls noch durch Berührungspunkte am Unterschenkel realisiert wird. Des Weiteren gibt es Fahrzeuge, bei denen zusätzlich zu den Fußrasten ein Sitz (ähnlich wie ein Fahrradsitz) verwendet wird. Einige Modelle dieser Untergruppe (mit Sitz), derzeit aber wenige, verfügen zusätzlich auch über einen Griff zum Lenken beziehungsweise eine Lenkstange. Bisher sind noch keine stehend gefahrenen, elektrischen Einräder ohne Sitz auf dem Markt, die eine Lenkstange oder einen Lenker haben.

			
	Einrad stehend gefahren (ohne Sitz und ohne Lenkstange / Lenker)	Einrad sitzend gefahren	Einrad mit Lenkgriff & Sitz
Abgeleitete Anforderungen	Einschätzung der Machbarkeit nach derzeitigem Stand d. Technik		
Fahrtrichtungsanzeiger	Nein	Nein	Ja
Lichttechnische Einrichtung (wie Fahrrad)	Eventuell	Eventuell	Ja
Klingel / Hupe	Nein	Nein	Ja
Rückspiegel	Nein	Nein	Ja
Bremse (Anzahl der unabhängigen: 2; Minimale Verzögerung 3,5 m/s²)	Eventuell	Eventuell	Eventuell
Lenker/Griffstange	Nein	Nein	Ja
Zustandserkennung / Not-Aus	Eventuell	Eventuell	Eventuell
Fahrdynamik Mindestanforderung (z. B.) > Schlagloch / Bordstein > Einseitige Vertikalanregung	Eventuell	Eventuell	Eventuell

Tab. 40: Einräder

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die meisten selbstbalancierenden, im Stehen gefahrenen Einräder keinen Griff haben. Es ist dringend zu empfehlen, dass der Mindestwert für die Verzögerung ebenso wie ein Stabilitätsnachweis erbracht werden müssen und zwei voneinander unabhängige Bremsen vorhanden sind. Diese Sicherheitsmerkmale sind derzeit noch nicht realisiert. Eine Mindestanbauhöhe der Beleuchtung sowie deren exakte Ausrichtung trotz Kippen des Fahrzeugs scheint oftmals nicht möglich. Eine Kontrolle, ob der Fahrer sich auf dem Fahrzeug befindet (Lageerkennung zur Vermeidung kritischer Fahrsituationen, bei denen sich der Fahrer nicht mehr auf dem Fahrzeug befindet) wird gefordert. Eins der getesteten Einräder ist auch ohne Fahrer weite Strecken alleine weitergefahren.

9.1.2 Selbstbalancierende, im Stehen gefahrene Fahrzeuge ohne Griff oder einer Lenkstange, zweirädrige Balanceboards, sogenannte Hover Boards

Bei diesen Fahrzeugen, die links und rechts von der Aufstandsfläche je ein Rad, meist zwischen 8 und 10 Zoll, aufweisen und keinerlei Aufbau, also weder

Lenkgriff oder noch Lenkstange haben, wird die Longitudinalbewegung durch nach Vor- und Zurücklehnen eingeleitet. Dabei stehen die Trittflächen des Balanceboards quer zur Fahrtrichtung, da sich die Räder an den Schmalseiten befinden. Durch das Verschränken der Aufstandsflächen beider Füße werden Kurvenfahrten oder Kreisbewegungen erzeugt.

Bei Balanceboards mit kleinen Reifen können Bodenunebenheiten schnell zu kritischen Fahrsituationen führen. Auch sind eine Stabilitätskontrolle sowie eine Fahrerzustandserkennung erforderlich, um eine sichere Teilnahme am Straßenverkehr zu ermöglichen. Aufgrund der insgesamt niedrigen Fahrzeughöhe von meist unter 30 cm ist eine wirkungsvolle Anbauhöhe der Beleuchtung nicht möglich. Durch die Kipp- und Verdrehbewegung dieser Fahrzeuge ist die exakte Ausrichtung von aktiven lichttechnischen Einrichtungen nicht möglich. Wegen des fehlenden Griffs bzw. der fehlenden Lenkstange sind starke Verzögerungen und Ausweichmanöver schwer zu realisieren.

9.1.3 Selbstbalancierende, im Stehen gefahrene Fahrzeuge mit Lenkeinrichtung

Im Gegensatz zu den im Absatz zuvor beschriebenen Balanceboards oder Hoverboards verfügen diese Fahrzeuge über eine Lenkeinrichtung, mit der Kurvenfahrten eingeleitet werden. Als Umbausatz oder manchmal auch schon in der Erstkonfiguration sind statt der handbetätigten Griffe oder Lenkstangen auch Fuß- beziehungsweise Kniesteuerungen erhältlich. Die Longitudinalsteuerung erfolgt wieder durch Vor- oder Zurücklehnen beziehungsweise Schwerpunktverlagerung. Typischerweise befindet sich die Aufstandsfläche entweder über oder zwischen den Rädern.

Je nach Konstruktion und Beschaffenheit fallen diese Fahrzeuge bereits unter die Mobilitätshilfenverordnung.

Selbstbalancierende im Stehen gefahrene Fahrzeuge können z. T. nach der Mobilitätshilfenverordnung bereits im Straßenverkehr verwendet werden, wenn alle dort aufgeführten Anforderungen erfüllt sind. Problematisch ist die Ausrichtung der aktiven Beleuchtungseinrichtung wegen des Kippens. Unzulässig sollten Fuß- beziehungsweise Kniesteuerungen sein, da der Fahrer sich nicht abstützen kann, um in einer Notsituation das Gleichgewicht zu halten. Problematisch sind bei dieser Fahrzeugart

	
Abgeleitete Anforderungen	Einschätzung der Machbarkeit nach derzeitigem Stand d. Technik
Fahrtrichtungsanzeiger	Nein
Lichttechnische Einrichtung (wie Fahrrad)	Nein
Klingel / Hupe	Nein
Rückspiegel	Nein
Bremse (Anzahl der unabhängigen: 2; Minimale Verzögerung 3,5 m/s ²)	Eventuell
Lenker / Griffstange	Nein
Zustandserkennung / Not-Aus	Eventuell
Fahrdynamik Mindestanforderung (z. B.) > Schlagloch / Bordstein > Einseitige Vertikalanregung	Eventuell

Tab 41: Zweirädrige Balanceboards

		
	Lenkung über Handgriff	Knielenkung
Abgeleitete Anforderungen	Einschätzung der Machbarkeit nach derzeitigem Stand d. Technik	
Fahrtrichtungsanzeiger	Ja	Eventuell
Lichttechnische Einrichtung (wie Fahrrad)	Ja	Ja
Klingel / Hupe	Ja	Nein
Rückspiegel	Ja	Nein
Bremse (Anzahl der unabhängigen: 2; Minimale Verzögerung 3,5 m/s ²)	Ja	Eventuell
Lenker / Griffstange	Ja	Nein
Zustandserkennung / Not-Aus	Eventuell	Eventuell
Fahrdynamik Mindestanforderung (z. B.) > Schlagloch / Bordstein > Einseitige Vertikalanregung	Eventuell	Eventuell

Tab. 42: Selbstbalancierende im Stehen gefahrene Fahrzeuge mit Lenkeinrichtung

häufig die Stabilitätskontrollen sowie die Fahrererkennung bzw. Lageerkennung. Das Überfahren von Hindernissen wie Bürgersteigen oder Straßenbahnschienen kann zu Kontrollverlust führen.

9.2 Im Stehen gefahrene Fahrzeuge

9.2.1 Elektrische Skateboards

An das Konstruktionsprinzip herkömmlicher Skateboards angelehnt besitzen elektrische Skateboards auch ein Deck, unter dem vorne und hinten jeweils eine sich zum Lenken verschränkende Achse befindet. Durch die Elektrifizierung können entweder ein, zwei oder sogar alle vier Räder angetrieben respektive verzögert werden. Die Ansteuerung erfolgt entweder per Kabel, oder – meist – per Funk über einen Handsender oder ein Smartphone.

Derzeit auf dem Markt befindliche, elektrische Skateboards weisen keine empfohlene verkehrssicherheitsrelevante Ausstattung auf. Es fehlen zulässige lichttechnische Einrichtungen sowie ein Griff oder eine Lenkstange zum Abstützen bei starker Verzögerung. Redundante Bremsanlagen sind meist nicht vorhanden.

9.2.2 Einspurige, im Stehen gefahrene Fahrzeuge: elektrifizierte Tretroller / Elektroroller beziehungsweise Elektro-Scooter

Wie klassische Tretroller besitzen Elektroroller beziehungsweise Elektro-Scooter ein Trittbett zwi-

	
Abgeleitete Anforderungen	Einschätzung der Machbarkeit nach derzeitigem Stand d. Technik
Fahrtrichtungsanzeiger	Nein
Lichttechnische Einrichtung (wie Fahrrad)	Nein
Klingel / Hupe	Nein
Rückspiegel	Nein
Bremse (Anzahl der unabhängigen: 2; Minimale Verzögerung 3,5 m/s ²)	Eventuell, starke Verzögerung nicht möglich
Lenker / Griffstange	Nein
Zustandserkennung / Not-Aus	Eventuell
Fahrdynamik Mindestanforderung (z. B.) > Schlagloch / Bordstein > Einseitige Vertikalanregung	Eventuell

Tab. 43: Elektrische Skateboards

schen zwei hintereinander befindlichen Rädern. Je nach Ausführung können diese Roller kleine Vollgummiräder oder größere luftgefüllte Reifen besitzen (siehe Bild 76). Meist wird über einen Lenker das Vorderrad angesteuert und das Hinterrad mit einem Elektromotor angetrieben. Allerdings sind auch andere Kombinationen mit einer Lenkung



Bild 76: Beispiele für einspurige im Stehen gefahrene Fahrzeuge. Quelle: FUN Wheels (links)

Abgeleitete Anforderungen	Einschätzung der Machbarkeit nach derzeitigem Stand d. Technik
Fahrtrichtungsanzeiger	Ja
Lichttechnische Einrichtung (wie Fahrrad)	Ja
Klingel / Hupe	Ja
Rückspiegel	Ja
Bremse (Anzahl der unabhängigen: 2; Minimale Verzögerung 3,5 m/s²)	Ja
Lenker / Griffstange	Ja
Zustandserkennung/Not-Aus	Eventuell
Fahrdynamik Mindestanforderung (z. B.) > Schlagloch / Bordstein > Einseitige Vertikalanregung	Eventuell

Tab. 44: Einspurige im Stehen gefahrene Fahrzeuge

durch Gewichtsverlagerung sowie Verwendung von Zwillingssreifen vorne oder hinten bereits erhältlich.

Wichtig bei Elektrorollern / Elektro-Scootern ist die Überfahrbarkeit von Bodenunebenheiten, die mit der Reifengeometrie korreliert. Zwei unabhängig voneinander wirkende Bremsen sowie die zulässigen Lichttechnische Einrichtungen und Schallzeichen sind ebenso notwendig.

9.2.3 Zweispurige, im Stehen gefahrene Fahrzeuge

Ähnlich den zuvor beschriebenen Elektrorollern gibt es viele Varianten elektrisch angetriebener Fahrzeuge ohne Sitz mit drei oder mehr Rädern. Elektri-



Bild 77: Beispiele für mehrspurige Elektrokraftfahrzeuge. Quelle: Segway SE-3, Segway Europe BV, Amsterdam (links)

Abgeleitete Anforderungen	Einschätzung der Machbarkeit nach derzeitigem Stand d. Technik
Fahrtrichtungsanzeiger	Ja
Lichttechnische Einrichtung (wie Fahrrad)	Ja
Klingel / Hupe	Ja
Rückspiegel	Ja
Bremse (Anzahl der unabhängigen: 2; Minimale Verzögerung 3,5 m/s²)	Ja
Lenker / Griffstange	Ja
Zustandserkennung/Not-Aus	Eventuell
Fahrdynamik Mindestanforderung (z. B.) > Schlagloch/Bordstein > Einseitige Vertikalanregung	Eventuell

Tab. 45: Mehrspurige Elektrokraftfahrzeuge

sche Dreiräder ohne Sitz sind sowohl in der Konfiguration mit einem Einzelrad vorne und zwei Rädern hinten erhältlich, aber auch spiegelsymmetrische Anordnungen, also mit einem einzelnen hinteren Rad und vorne zwei Rädern, sind möglich.

Diese Fahrzeuge sind häufig schwerer (zu beachten: Masse bei einer Kollision) und nicht mehr so klein faltbar. Allerdings weisen sie schon sehr häufig wichtige Merkmale auf: wie zum Beispiel stark verzögernde Bremsen sowie lichttechnische Einrichtungen und eine Lenkstange.



Bild 78: Schubvorrichtung für Inlineskater.
Quelle: Firma Shelley Rank, Bechhofen



Bild 79: Gokart-Aufsatz für Hoverboards



Bild 80: Beispiel für selbstbalancierende Kugel / Ball.
Quelle: airQuest, Essen

9.3 Weitere Beispiele für Elektrokleinstfahrzeuge (ohne Räder, nicht selbstbalancierende oder im Stehen gefahrene)

Neben den bereits aufgeführten Fahrzeugkonzepten sind viele weitere verschiedenartige Varianten bzw. Konstruktionen von Elektrokleinstfahrzeugen erhältlich. Anbei ein paar Beispiele, die zum Teil

über einen Sitz verfügen und / oder zunächst als Spielgerät gedacht sind (Bild 78 bis Bild 79).

Aus Sicht der Verkehrssicherheit sind solche Fahrzeuge nicht für den Straßenverkehr zulässig, sondern als Sport- / Spielgerät einzustufen.

In Bild 78 handelt es sich um eine Kombination von Inlineskates und einem Antriebsaggregat (Motor, Energiespeicher, Sitz, Griff, etc.)

Mit einem entsprechenden Anbaugerät können Hoverboards ergänzt werden (s. Bild 79). Somit verfügen diese zumindest über einen Sitz sowie eine Griffsteuerung.

Das selbstbalancierende Fahrzeugkonzept (als Beispiel der eBall360, Bild 80) hat statt eines Rades einen Ball, der in alle Richtungen über drei Elektromotoren angetrieben und durch ein Steuerungssystem kontrolliert wird.

10 Zusammenfassung

In diesem Projekt wurden Elektrokleinstfahrzeuge, die von der VO (EU) 168/2013 ausgenommen sind, hinsichtlich der Verkehrssicherheit, der technischen Anforderungen und des möglichen Konfliktpotenzials mit anderen Verkehrsteilnehmern untersucht. Anhand der Ergebnisse der Studien zur aktiven Sicherheit, der passiven Sicherheit sowie zur Betrachtung der Verkehrsfläche wurden neue Fahrzeugkategorien abgeleitet und Anforderungen an die Fahrzeuge erarbeitet.

Die Ergebnisse zeigen, dass Elektrokleinstfahrzeuge ausschließlich unter Beachtung verschiedener (technischer) Anforderungen sicher betrieben werden können. Im öffentlichen Verkehr zeigte sich zudem, dass bestimmte weitere Randbedingungen und Einschränkungen bestehen, die in die technischen Anforderungen an die Fahrzeuge eingeflossen sind (keines der getesteten Fahrzeuge würde bisher alle diese Anforderungen erfüllen). Die nachfolgend formulierten Anforderungen tragen dieser Erkenntnis Rechnung.

Die Empfehlung der neuen Fahrzeugkategorien unterscheidet zwischen selbstbalancierenden bzw. stehend gefahrenen Elektrokleinstfahrzeugen mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von 6 bis 20 km/h (Kategorie K1) und bis 25 km/h (Kategorie K2).

Für die Kategorie K1 ist es ratsam, eine Fahrradhelmbenutzung als Schutzausrüstung zu empfehlen (analog wie bei der Fahrradbenutzung) und als Verkehrsfläche grundsätzlich den Radweg vorzusehen. Weitergehend sollen die Verkehrsteilnehmer innerorts und außerorts nur die Fahrbahn nutzen, wenn kein Radweg vorhanden ist.

Für Fahrer der Kategorie K2 ist das Tragen eines geeigneten Schutzhelms, geprüft nach UN-R 22, vorzuschreiben. Mit einem Fahrzeug der Kategorie K2 soll man grundsätzlich innerorts die Fahrbahn nutzen und nur auf einem Radweg fahren dürfen, wenn dieser durch ein entsprechendes Zusatzzeichen freigegeben ist. Außerorts soll die Fahrbahn benutzt werden. Ist außerorts ein Radweg vorhanden, dann soll dieser befahren werden.

Selbstbalancierende bzw. stehend gefahrene Elektrokleinstfahrzeuge, die eine bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit unter 6 km/h aufweisen (Kategorie K0), sollten derzeit nicht im öffentlichen Straßenverkehr betrieben werden dürfen, da aufgrund der geringen Geschwindigkeit Konfliktpotenzial mit anderen Verkehrsteilnehmern auf dem Radweg sowie der Fahrbahn vorliegt und mögliches Konfliktpotenzial mit dem Fußgängerverkehr auf dem Gehweg besteht.

Die Untersuchungen haben des Weiteren aufgezeigt, welche technischen Anforderungen an Fahrzeuge der neuen Kategorien zu stellen sind, um ein entsprechend hohes Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Demnach sind z. B. lichttechnische Einrichtungen und eine Klingel wie am Fahrrad vorzusehen. Durch die Forderung nach einem Rückspiegel, Fahrtrichtungsanzeigern sowie einem Haltegriff bzw. Lenker sowie besonderer Ausgestaltung des Bremssystems soll ein Mindestniveau für die Sicherheit hergestellt werden. Eine Erkennung der Betriebsgrenzen soll dafür sorgen, dass der Antrieb des Fahrzeugs abgeschaltet wird, wenn der Fahrer sich nicht mehr auf dem Fahrzeug befindet oder das Fahrzeug umgekippt ist. Das Erfüllen von fahrdynamischen Anforderungen (z. B. Befahren von Unebenheiten und einseitige Vertikalanregungen) soll durch einen Sicherheitsnachweis (Fahrversuch) belegt werden.

Schließlich sind sämtliche Ergebnisse der technischen Untersuchungen, der Probandentest und der Versuchsfahrten zur Bewertung der Verkehrsfläche in die Empfehlungen für Anforderungen und die neuen Kategorievorschläge eingeflossen. Hierbei

gibt es große Übereinstimmungen bei der Kategorie K1 mit Leichtmofas und die Kategorie K2 ist angelehnt an das Mofa. Ähnliche Regelungen gibt es bereits in der Schweiz und den Niederlanden.

Literaturverzeichnis

AHREND, C., et al. 2010. E-Mobility 2025: Szenarien für die Region Berlin. Berlin : Technische Universität Berlin, Fakultät Verkehrs- und Maschinensysteme, 2010.

ALPINA SPORTS GmbH. www.alpina-sports.com. [Online] [Zitat vom: 06. Oktober 2015.] <http://www.alpina-sports.com/de-de/>.

BMVI. Neueste Änderungen der Straßenverkehrs-Ordnung. [Online] [Zitat vom: 09. März 2017.] <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LA/neueste-aenderungen-der-strassenverkehrs-ordnung.html>.

BOUSKA, W. U. LEUE, A. 2013. StVO Straßenverkehrs-Ordnung. Heidelberg : C.F. Müller, 2013.

CRATONI helmets GmbH. www.cratoni.com. [Online] [Zitat vom: 06.. Oktober 2015.] <http://www.cratoni.com/de>.

GNIECH, G., OETTING, T. U. BROHL, M. 1993. Untersuchungen zur Messung von „Sensation Seeking“. Bremer Beiträge zur Psychologie. 1993, 110.

LEVA. 2015. www.levassociation.com. [Online] 2015. [Zitat vom: 26. August 2015.] <http://www.levassociation.com/>.

NEUKUM, A. U. KRÜGER, H.-P. 2003. Fahrerreaktionen bei Lenksystemstörungen - Untersuchungsmethodik und Bewertungskriterien. VDI-Berichte. 2003, 1791.

NEUKUM, A., et al. 2008. ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen. [Buchverf.] Uni-DAS. Workshop Fahrerassistenzsysteme. Walting : Uni-DAS, 2008.

NGCMA. 2012. Personal Transport Vehicles - Safety and Performance Specifications. [Standard] NGCMA Z135-2012 : National Golf Car Manufacturers Association (ANSI/ILTV Z135-2012), 2012.

- prEN 17128. Personal light electric vehicles (PLEV); European Committee for Standardization. CEN/TC 354. Draft 2017 . [Online]. https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:110:0:::FSP_PROJECT,FSP_LANG_ID:40453,25&cs=1EF77EDA73A11BECC88426701616D7A5F. Zugriff am 31.07.2018)
- PÜRSTL, G. U. NEDBAL-BURES, B. 2010. Kleinfahrzeuge und die StVO. Zeitschrift für Verkehrsrecht. 2010, 12a.
- RAMMSTEDT, B. 2007. The 10-Item Big Five Inventory: Norm values and investigation of sociodemographic effects based on a German population representative sample. European Journal of Psychological Assessment. 2007, 23.
- Schuberth Holding GmbH. www.schuberth.com. [Online] [Zitat vom: 06.. Oktober 2015.] <http://www.schuberth.com/de/>.
- Schueler. 2015. Identifizierung des Verbesserungspotentials von Motorradschutzhelmen unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens . Freiburg : Abschlussbericht zu Projekt FE 82.0550/2012 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2015.

Anhang

A.1 Gesetzliche Regelung zu den technischen Anforderungen bestehender Fahrzeugkategorien

	Fahrrad	Pedelec 25	Pedelec 45	Leicht-mofa	Kleinkraft-rad 25 Mofa	Kleinkraft-rad 45	Segway	Tretroller/Skateboard (ohne Motor)	Inline-skates und Rollschuhe
Helmpflicht	Nein	§ 1 Abs. 3 StVG	§ 21a Abs. 2 S. 1 StVO	§ 2 StVO-LeichtmofaAusnV	§ 21a Abs. 2 S. 1 StVO	§ 21a Abs. 2 S. 1 StVO	in MobHV nicht genannt	Nein	Nein
bbH bzw. Höchstgeschwindigkeit mit Motorunterstützung	Ohne	§ 1 Abs. 3 StVG	45	20	FEV § 4 25	45	§ 1 Abs.1 MobHV	Ohne	Ohne
Versicherungspflicht	Nein	§ 1 Abs. 3 StVG	§ 3 Abs. 1 S. 2 FZV	§ 3 Abs. 1 FZV	§ 3 Abs. 1 FZV	§ 3 Abs. 1 FZV	§ 3 Abs. 1 FZV	§ 24 StVO: Umkehrschluss zu § 3 Abs. 1 S. 2 FZV	§ 24 StVO: Umkehrschluss zu § 3 Abs. 1 S. 2 FZV
Kennzeichen	Nein	Nein	§ 1 Abs. 3 StVG	§ 4 Abs. 2 S. 2 Nr. 2 FZV	§ 4 Abs. 2 S. 2 Nr. 2 FZV	§ 4 Abs. 2 S. 2 Nr. 2 FZV	§ 2 MobHV, §§ 26, 27 FZV	Nein	Nein
Führerscheinklasse	Ohne	Ohne	AM § 6 Abs. 1 FeV	Mofa-Prüfbescheinigung § 4 Abs. 1 S. 2 Nr. 1 FeV	Mofa-Prüfbescheinigung § 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 1b FeV	AM § 6 Abs. 1 FeV	§ 3 MobHV	Ohne	Ohne
Mindestalter	Nein	Nein	16	15	15	16	15	Nein	Nein
Fahrtrichtungsanzeiger, wenn „Nein“, dann Handzeichen	Nein	Nein	§ 54 Abs 5 S 4 StVZO	§ 54 Abs 5 S 4 StVZO	§ 54 Abs 5 S 4 StVZO	§ 54 Abs 5 S 4 StVZO	MobHV	Nein	Nein
Lichttechnische Einrichtungen	§ 67 StVZO	§ 67 StVZO	97/24/EG	§ 1 LMVO	97/24/EG	97/24/EG	§ 5 MobHV	Nein	Nein
Rückspiegel	Nein	Nein	97/24/EG	97/24/EG	97/24/EG	97/24/EG	MobHV	Nein	Nein

A.2 Kurzbewertung des Fahrzeugs kickTrike

Für eine Kurzbewertung wurde das Fahrzeug kickTrike (siehe Bild 81) der Firma Constin der BAST zur Verfügung gestellt. Da es zum Zeitpunkt des Tests ein Prototyp und nicht im Handel erhältlich war, und nicht alle Tests während der Leihgabe durchgeführt werden konnten, erfolgt die Beschreibung im Anhang.

Mit dem optional montierbaren Sitz ist für den Prototyp eine Einzelabnahme durch den Technischen Dienst nach der EG Richtlinie möglich. Ohne den Sitz würde es in die empfohlenen Kategorievorschlüsse eingegliedert werden können.

Im Folgenden sind Untersuchungsergebnisse der Kurzbewertung dokumentiert.

a) Fahrzeugbeschreibung

Grundsätzlich als Dreirad konzipiert, verfügt das kickTrike über zwei vorn angebrachte, nicht angetriebene Räder, die über eine Pendelfunktion am Trittbrett angeschlagen sind. An dessen Ende befindet sich das dritte angetriebene Rad. Bei einem Lenkvorgang wird über das Pendelgelenk das Trittbrett gekippt, wobei der Aufbau des Fahrzeugs weiterhin aufrecht stehen bleibt. Lediglich der hintere Teil wird verschränkt, wodurch der Fahrer etwas in die Kurve geneigt wird. Ein Großteil der Bewegung wird vom Fahrer jedoch ausgeglichen, da der Oberkörper möglichst aufrecht bleibt. Auf dem Trittbrett kann ein Sitz aufgesteckt werden, der eine Einzelabnahme nach EU Richtlinie durch einen technischen Dienst ermöglicht. Zwei über Griffhebel betätigte Bremssysteme, eins auf das Hinterrad und eins parallel auf beide Vorderräder wirkend, sind mit Scheibenbremsen realisiert.

b) Bewertung der aktiven Sicherheit

Bewertungen der Fahrdynamik haben sowohl mit als auch ohne Sitz stattgefunden.

Durch die hohe Standstabilität ist das Auf- und Absteigen sehr einfach. Ein Ständer wird nicht benötigt, da die Spurweite der Vorderachse 60 cm Zentimeter beträgt und somit in Verbindung mit dem Hinterrad einen stabilen Stand ermöglicht (Standdreieck). Geradeausfahrten mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und auf unterschiedlichem Untergrund sind sehr einfach zu realisieren, da die Stabilität und die Fahrwerksgeometrie des Fahrzeugs einen guten Geradeauslauf ermöglicht. Bei den



Bild 81: kickTrike (in Fahrposition und zusammengeklappt)

Verzögerungstests wurden Verzögerungswerte von 4-5 m/s² erreicht. Die Bremswirkung und der Eindruck bei diesen Tests haben eine sehr griffige und gut dosierbare Abbremsung gezeigt.

Das Konzept bei diesem Fahrzeug stellt eine Besonderheit da, denn der hohe Schwerpunkt in Verbindung mit dem starren (sich nicht neigendem) Aufbau können beim Einleiten einer Kurve zum Aufbäumen des Fahrzeugs und Weiterfahren auf zwei Rädern führen. Bei hohen Geschwindigkeiten sind keine engen Kurven möglich, da das Fahrzeug mit dem Fahrer tendenziell sofort kippt und geradeaus auf zwei Rädern weiter fährt, somit ist das Kurvenfahren „störrisch“ zu bezeichnen. Aufgrund der gyroskopischen Kreiselkräfte und der Möglichkeit, den Gesamtschwerpunkt über der Verbindungsachse des vorderen und hinteren Aufstandspunkt – wie bei einem zweirädrigen Einspurfahrzeug – zu balancieren, kommt es zu einem stabilen Fahrzustand auf zwei Rädern, sodass Geradeausfahrten und weite Kurven über lange Distanzen praktiziert werden können. Die Tendenz, auf zwei Rädern zu fahren, ist mit montiertem Sitz noch größer als im Stehen, da man im Stehen den Oberkörper weiter in die Kurve legen kann, um das Aufbäumen zu vermeiden.

Im Parcours der „liegende Acht“ (s. Bild 25) zeigt sich bei schnellem Kurvenwechsel, dass hoher Kraftaufwand benötigt wird, um das Fahrzeug von einer Kurve in die andere zu lenken. Unbewusst ist ein stärkeres Festhalten am Griff nötig, was in einem Fall zur Betätigung des Gasdrehgriffs und damit zu erhöhten Beschleunigung geführt hat, womit diese Situation als kritisch einzustufen war.

Zum Fahrzeug ist anzumerken, dass es sinnvoll ist, die Lenkung von der Aufstandskraft auf dem Trittbrett zu entkoppeln.

A.3 Dokumentationsbogen „Nutzerverhalten und Risikobewertung“ der Versuchsleiter

In der Studie „Nutzerverhalten und Risikobewertung“ wurde die Begrifflichkeit Kleinstelektrofahrzeuge (KEF) verwendet.

Checkliste KEF Parcours

VL:

VP-Nr.:

KEF:

Tag:

Fahrt am Tag:

<u>Datum:</u>	trocken	nass	Temperatur
Witterung auf der Freifläche:			

Station	Abfolge	Fehler	SBS	Kommentare
1	Rundkurs			
2	Slalom			
3	enger Raum			
4	Zielbremsung			
5	Rampe (vor Tor)			
6	Rüttelstrecke (rot/weiß)			
7	Wackelbrett			
8	Acht fahren			

Hinweise zur Instruktion (generell nach Möglichkeit vormachen):

- 1 3 Runden fahren, max. 20 km/h, zwischen Markierungen bleiben
- 2 3 mal durch den Pylonenwechsel fahren und zurück, keine km/h Vorgabe
- 3 3 Runden im Kreis um die mittlere Pylone fahren, möglichst im Quadrat bleiben
Roller: hier darf ein Fuß den Boden berühren.
- 4 auf max. 20 km/h beschleunigen, genau zwischen Pylonen stehen bleiben
- 5 erst runter, dann wieder rauf fahren, 3 mal, Schrittgeschwindigkeit, VL steht unten
- 6 über Rüttelstrecke fahren und zurück, insg. 3 mal, max. 10 km/h
- 7 3 mal über Wackelbrett fahren, max. 10 km/h, OHNE ROBSTEP!
- 8 Acht fahren, 3 mal, keine km/h Vorgabe

A.4 Fragebogen zur Studie „Nutzerverhalten und Risikobewertung“

In der Studie „Nutzerverhalten und Risikobewertung“ wurde die Begrifflichkeit Kleinstelektrofahrzeuge (KEF) verwendet.



Fahrerfragebogen KEF Teil 1

Wir möchten Sie bitten, zunächst die folgenden Fragen zu Ihrer Person zu beantworten bzw. anzukreuzen. Die Angaben sind selbstverständlich freiwillig, der Datenschutz wird gewährleistet, die Auswertung erfolgt vollständig anonymisiert.

Alter in Jahren: _____

Größe in Metern: _____

Gewicht in kg: _____

Geschlecht: ☐ weiblich ☐ männlich

Händigkeit: ☐ links ☐ rechts

1.1 An wie vielen Tagen im Monat fahren Sie Fahrrad / Pedelec / E-Bike?

Antwort (Tage im Monat): _____

1.2 Welche Sportart(en) betreiben Sie regelmäßig (d.h. mindestens 1x pro Woche, Fahrradfahren ausgeschlossen)?

Antwort: _____

1.3 Bitte schätzen Sie: Wie viele von 100 Menschen Ihres Alters und Geschlechts sind sportlicher als Sie?

Antwort (Anzahl): _____

1.4 Inwieweit treffen die folgenden Aussagen auf Sie zu?

Bitte kreuzen Sie eine Option an und lassen Sie keine Aussage aus.

Ich...	Trifft über- haupt nicht zu	Trifft eher nicht zu	Weder noch	Trifft eher zu	Trifft voll und ganz zu
1. ...bin eher zurückhaltend, reserviert.					
2. ...schenke anderen leicht Vertrauen, glaube an das Gute im Menschen.					
3. ...erledige Aufgaben gründlich.					
4. ...bin entspannt, lasse mich durch Stress nicht aus der Ruhe bringen.					
5. ...habe eine aktive Vorstellungskraft, bin phantasievoll.					
6. ...gehe aus mir heraus, bin gesellig.					
7. ...kann mich kalt und distanziert verhalten.					
8. ...bin bequem, neige zur Faulheit.					
9. ...werde leicht nervös und unsicher.					
10. ...habe nur wenig künstlerisches Interesse.					
11. ...bin rücksichtsvoll zu anderen, einfühlsam.					



Fahrerfragebogen KEF Teil 2

Im Folgenden sehen Sie einige Aussagen, mit denen man sich selbst beschreiben kann. Bitte lesen Sie jede Aussage durch und kreuzen Sie möglichst ehrlich und spontan an, inwieweit diese auf Sie **im Allgemeinen** zutrifft. Hierfür steht eine Antwortskala mit vier Stufen von „trifft überhaupt nicht zu“ bis „trifft voll und ganz zu“ zur Verfügung. Lassen Sie bitte keine Frage aus. Es gibt keine richtigen oder falschen Antworten.

	trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft voll und ganz zu
Ich habe großen Spaß an risikoreichen Sportarten.	☐	☐	☐	☐
Ab und zu muss ich mich so richtig ausleben können.	☐	☐	☐	☐
Um aufzufallen, trage ich gerne außergewöhnliche Kleidung.	☐	☐	☐	☐
Ich suche häufig Situationen auf, in denen ich mich voll verausgaben kann.	☐	☐	☐	☐
Gefährliche Situationen üben einen besonderen Reiz auf mich aus.	☐	☐	☐	☐
Mir liegt es, zu schauspielern und in eine zweite Haut zu schlüpfen.	☐	☐	☐	☐
Ich gehe häufig an die Grenzen meiner physischen und psychischen Belastbarkeit.	☐	☐	☐	☐
Es treibt mich oft an Orte, wo ordentlich was los ist.	☐	☐	☐	☐
Bungee-Springen fasziniert mich und ich würde es selbst gerne ausprobieren.	☐	☐	☐	☐

	trifft überhaupt nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft voll und ganz zu
Ich liebe es, mit Achterbahnen oder anderen rasanten Loopings zu fahren.	☐	☐	☐	☐
Ich versuche so oft es geht, aus dem Alltag auszubrechen, um neue, ungewöhnliche Dinge zu erleben.	☐	☐	☐	☐
Ich suche aktiv und manchmal aggressiv die Konfrontation mit anderen Menschen.	☐	☐	☐	☐
Ich erfülle mir eine Vielzahl von Genüssen, auch wenn die Gefahr eines gesundheitlichen Risikos besteht.	☐	☐	☐	☐
Ich lasse mich gerne von unvorhergesehenen Ereignissen überraschen.	☐	☐	☐	☐
Wenn ich die Möglichkeit hätte, würde ich bestimmt Fallschirmspringen oder Drachenfliegen.	☐	☐	☐	☐
Ich lasse mich gerne von Musik in voller Lautstärke anheizen.	☐	☐	☐	☐
In Helden spannender Filme oder von Abenteuerromanen kann ich mich voll hineinversetzen.	☐	☐	☐	☐
Veranstaltungen mit einer großen Menschenmenge üben einen großen Reiz auf mich aus.	☐	☐	☐	☐



Fahrerfragebogen KEF Teil 3

Wir möchten Sie nun bitten, die folgenden Fragen zu dem Kleinstelektrofahrzeug (KEF) mit der Nummer _____ zu beantworten. Bitte lassen Sie keine Frage aus.

3.1 Wie viele Fahrten haben Sie bereits mit einem KEF dieser Art absolviert?

Antwort (Anzahl): _____

3.2 Würden Sie dieses KEF im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen?

Antwort: ☐ ja ☐ nein, weil:

→ bei „nein“ bitte bei Frage 3.5 fortfahren.

3.3 In welchen Bereichen des Straßenverkehrs würden Sie sich mit dem KEF bewegen wollen? Bitte kreuzen Sie das jeweilige Feld an. Mehrfachnennungen sind möglich.

	Innerorts	Außerorts (ohne Autobahn)
Gehweg		
Radweg		
Straße		

3.4 Mit welcher Geschwindigkeit würden Sie sich **maximal** mit dem KEF in dem zuvor von Ihnen angegebenen Verkehrsbereich bewegen wollen? Bitte tragen Sie die jeweiligen Geschwindigkeiten in km/h in die Felder ein.

	Innerorts	Außerorts (ohne Autobahn)
Gehweg		
Radweg		
Straße		



Fahrerfragebogen KEF Teil 4

Nach Ihren Erfahrungen mit dem Kleinstelektrofahrzeug (KEF) (Nummer _____) möchten wir Sie nun bitten, die folgenden Fragen zu dem Fahrzeug zu beantworten. Bitte lassen Sie keine Frage aus.

4.1 Wie würden Sie die Erlempbarkeit der Bedienung dieses KEFs bewerten?

Sehr leicht ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr schwer
erlernbar

4.2 Wie würden Sie die Kontrollierbarkeit des KEFs insgesamt bewerten?

Sehr leicht ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr schwer
kontrollierbar

4.3 Wie sicher haben Sie sich mit dem KEF gefühlt?

Sehr sicher ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr unsicher

4.4 Wie viel Fahrspaß haben Sie mit diesem KEF empfunden?

Sehr viel ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr wenig
Fahrspaß

4.5 Würden Sie dieses KEF im öffentlichen Straßenverkehr bewegen wollen?

Antwort: ☐ ja ☐ nein, weil:

Bei „nein“ bitte bei Frage 4.8 fortfahren.

4.11 Für welche Aktivität(en) würden Sie dieses KEF im Alltag nutzen wollen? Mehrfachnennungen sind möglich.

☐ für Freizeitaktivitäten (Ausflüge, Besuche, etc.)

☐ zum Einkaufen

☐ als Sportgerät

☐ um zur Arbeit zu fahren

☐ Sonstiges: _____

☐ Ich sehe keinen Alltagsnutzen für mich.

VIELEN DANK FÜR IHRE UNTERSTÜTZUNG!!!

A.5 Fragebogen zur Studie „Betrachtungen zur Verkehrsfläche“

In der Studie „Betrachtungen zur Verkehrsfläche“ wurde die Begrifflichkeit Kleinstelektrofahrzeuge (KEF) verwendet.

Fahrerfragebogen KEF (Straßenverkehr) Teil 1

Wir möchten Sie bitten, die folgenden Fragen zu dem Kleinstelektrofahrzeug (KEF) mit der Nummer _____ zu beantworten. Bitte lassen Sie keine Frage aus.

3.1 Haben Sie bereits Versuchsfahrten mit einem KEF absolviert?

Ja ___ Nein ___

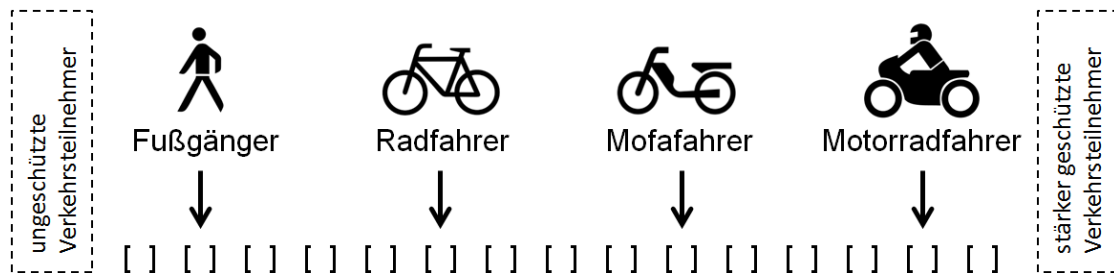
Wenn ja: Mit welchem KEF? _____

3.2 Mit welcher Geschwindigkeit würden Sie sich **maximal** mit dem KEF in nachfolgend angegebenen Verkehrsbereichen bewegen wollen? Bitte tragen Sie die jeweiligen Geschwindigkeiten in km/h in die Felder ein.

	Innerorts	Außerorts (ohne Autobahn)
Gehweg		
Radweg		
Straße		

3.3 Wie würden Sie das Verletzungsrisiko einordnen, das von diesem KEF **für Sie** im öffentlichen Straßenverkehr (**Innerorts**) ausgeht? Die folgende Skala erlaubt eine Einordnung im Vergleich zum Verletzungsrisiko eines Fußgängers, eines Radfahrers, eines Mofafahrers und eines Motorradfahrers.

Erstes Beispiel: Wenn Sie der Meinung sind, dass das Verletzungsrisiko mit diesem KEF Innerorts exakt so groß ist wie für einen Motorradfahrer, kreuzen Sie bitte wie folgt an:



3.5 Welche persönliche Schutzausrüstung würden Sie für dieses KEF akzeptieren?

Bitte kreuzen Sie die entsprechende Schutzausrüstung an. Mehrfachnennungen sind möglich.

	Ja	Nein
Fahrradhelm		
Motorradhelm offen (Jethelm)		
Motorradhelm geschlossen (Integralhelm)		
Keinen Helm		

	Ja	Nein
Handschuhe		
Stiefel		
Protektoren für die <u>oberen</u> Extremitäten: Ellbogen, Handgelenk		
Protektoren für die <u>unteren</u> Extremitäten: Knie		
Rückenprotektor		
Motorradjacke		
Motorradhose		

Fahrerfragebogen KEF (Straßenverkehr) Teil 2

Nach Ihren Erfahrungen mit dem Kleinstelektrofahrzeug (KEF) (Nummer _____) möchten wir Sie nun bitten, die folgenden Fragen zu dem Fahrzeug zu beantworten. Bitte lassen Sie keine Frage aus.

4.1 Wie sicher haben Sie sich mit dem KEF insgesamt gefühlt?

Sehr sicher [] [] [] [] [] [] [] [] [] sehr
unsicher

4.2 Wie viel Fahrspaß haben Sie mit diesem KEF empfunden?

Sehr viel [] [] [] [] [] [] [] [] [] sehr wenig
Fahrspaß Fahrspaß

4.3 Wie sicher haben Sie sich mit dem KEF auf Radwegen gefühlt?

Sehr sicher [] [] [] [] [] [] [] [] [] sehr
unsicher

4.4 Wie sicher haben Sie sich mit dem KEF in der Fußgängerzone gefühlt?

Sehr sicher [] [] [] [] [] [] [] [] [] sehr
unsicher

4.5 Wie sicher haben Sie sich mit dem KEF auf der Straße allgemein gefühlt?

Sehr sicher [] [] [] [] [] [] [] [] [] sehr
unsicher

4.6 Wie sicher haben Sie sich mit dem KEF im Kreisverkehr gefühlt?

Sehr sicher [] [] [] [] [] [] [] [] [] sehr
unsicher

4.7 Wie sicher haben Sie sich mit dem KEF beim Einordnen vor dem Linksabbiegen gefühlt?

Sehr sicher ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ sehr
unsicher

4.8 Wie würden Sie das Verletzungsrisiko einordnen, das von diesem KEF **für Sie** im öffentlichen Straßenverkehr (**Innerorts**) ausgeht? Die folgende Skala erlaubt eine Einordnung im Vergleich zum Verletzungsrisiko eines Fußgängers, eines Radfahrers, eines Mofafahrers und eines Motorradfahrers.

Bitte kreuzen Sie **ein Kästchen** an!

ungeschützte Verkehrsteilnehmer					stärker geschützte Verkehrsteilnehmer
	Fußgänger	Radfahrer	Mofafahrer	Motorradfahrer	
	↓	↓	↓	↓	
	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐				

4.9 Wie würden Sie das Verletzungsrisiko einordnen, das von diesem KEF **für Sie** im öffentlichen Straßenverkehr (**Außerorts, ohne Autobahn**) ausgeht? Auch hier erlaubt die folgende Skala eine Einordnung im Vergleich zum Verletzungsrisiko eines Fußgängers, eines Radfahrers, eines Mofafahrers und eines Motorradfahrers.

Bitte kreuzen Sie **ein Kästchen** an!

ungeschützte Verkehrsteilnehmer					stärker geschützte Verkehrsteilnehmer
	Fußgänger	Radfahrer	Mofafahrer	Motorradfahrer	
	↓	↓	↓	↓	
	☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐ ☐				

4.10 Welche persönliche Schutzausrüstung würden Sie für dieses KEF im Straßenverkehr akzeptieren? Bitte kreuzen Sie die entsprechende Schutzausrüstung an. Mehrfachnennungen sind möglich.

	Ja	Nein
Fahrradhelm		
Motorradhelm offen (Jethelm)		
Motorradhelm geschlossen (Integralhelm)		
Keinen Helm		

	Ja	Nein
Handschuhe		
Stiefel		
Protektoren für die <u>oberen</u> Extremitäten: Ellbogen, Handgelenk		
Protektoren für die <u>unteren</u> Extremitäten: Knie		
Rückenprotektor		
Motorradjacke		
Motorradhose		

Bemerkungen:

VIELEN DANK FÜR IHRE UNTERSTÜTZUNG!!!

Bilder

Bild 1:	Lücke in der Einstufung verschiedener Fortbewegungsmittel	Bild 23:	Liegende Acht mit Verkehrsleitkegeln in jeweils 1,50 m Abstand und mit Richtungspfeilen
Bild 2:	Verkehrszeichen nach StVO	Bild 24:	Störbewertungsskala (SBS) nach NEUKUM et al. (2008)
Bild 3:	Projektaufbau	Bild 25:	Schutzausrüstung der Versuchsteilnehmer und -leiter während der praktischen Versuchsdurchführung, bestehend aus einem Jethelm, Handschuhen sowie Protektoren für Rücken, Ellbogen und Knie
Bild 4:	Verzögerungswerte bei Vollbremsung	Bild 26:	Ein-Gruppen-Versuchsplan (within-subject-design).
Bild 5:	Verstelleinrichtung des Handgriffs am Robin M1	Bild 27:	Ablaufschema für die Versuchsdurchführung
Bild 6:	Wärmebildaufnahmen der Fahrzeuge Evoking, Segway, Evolve und Trikke	Bild 28:	Durchführung der Fahrmanöver in Begleitung eines Versuchsleiters
Bild 7a:	Exemplarische Darstellung eines Fahrradhelms	Bild 29:	Abfrage und Dokumentation
Bild 7b:	Geschlossener Motorradhelm	Bild 30:	Ausprägungen der erfassten Persönlichkeitsmerkmale auf einer Skala von 1 (trifft überhaupt nicht zu) bis 4 beziehungsweise 5 (trifft voll und ganz zu). Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
Bild 7c:	Klapphelm	Bild 31:	Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Segway. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
Bild 7d:	Jethelm	Bild 32:	Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Segway fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.
Bild 8:	S-Pedelec Helm, Modell Vigor	Bild 33:	Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Segway für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
Bild 9:	Schutzausrüstung für die Versuchsfahrten	Bild 34:	Bewertung des Segway hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes.
Bild 10:	US-Oldtimer		
Bild 11:	Zusammenhang der kinetischen Energie mit Geschwindigkeit und Masse, logarithmische Darstellung der Energieachse		
Bild 12:	Beispielhafte Darstellung der Testkonfiguration zum Fußgängerschutz		
Bild 13:	Prüfvorrichtung für vorstehende Außenkanten		
Bild 14:	Aufstellung der Elektrokleinstfahrzeuge in nummerierter Reihenfolge		
Bild 15:	Überblick über den Parcours auf der Freifläche der Fahrzeugtechnischen Versuchsanlage		
Bild 16:	Rundkurs von 150 m Länge		
Bild 17:	Ausweichgasse mit Verkehrsleitkegeln mit jeweils 1 m Abstand		
Bild 18:	Enger Raum mit Begrenzungsquadrat (2,40 m × 2,40 m) und zu umfahrendem Verkehrsleitkegel in der Mitte		
Bild 19:	Zielbremsung mit 45 m langer Strecke und 3,30 m breiter Haltlinie		
Bild 20:	Rampe mit 10% Steigung und 9,70 m Länge		
Bild 21:	Rüttelstrecke von 6,70 m Länge und 2 m Breite mit 3 cm tiefen Einfräsungen		
Bild 22:	Wackelbrett (2,50 m × 1,50 m × 0,03 m) mit Begrenzungsleitkegeln		

- Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 35: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Segway akzeptieren würden. Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.
- Bild 36: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.
- Bild 37: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Robstep. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 38: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Robstep fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.
- Bild 39: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Robstep für die Verkehrsräume Innerorts und Außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 40: Bewertung des Robstep hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 41: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Robstep akzeptieren würden.
- Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.
- Bild 42: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.
- Bild 43: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem MobilityCube. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 44: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den MobilityCube fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.
- Bild 45: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des MobilityCube für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 46: Bewertung des MobilityCube hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 47: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des MobilityCube akzeptieren würden. Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.
- Bild 48: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.
- Bild 49: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrma-

növer mit dem Trikke. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Bild 50: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich das Trikke fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Bild 51: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Trikke für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Bild 52: Bewertung des Trikke hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Bild 53: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Trikke akzeptieren würden. Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.

Bild 54: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

Bild 55: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Evoking. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Bild 56: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Evoking fahren

würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Bild 57: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Evoking für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Bild 58: Bewertung des Evoking hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Bild 59: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Evoking akzeptieren würden.

Bild 60: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.

Bild 61: Eingeschätzte Kritikalität auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver mit dem Egret. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

Bild 62: Mittlere vor und nach der Fahrpraxis angegebene maximale Geschwindigkeit (in km/h), mit der die Probanden im jeweiligen Verkehrsbereich den Egret fahren würden. Die Fehlerbalken repräsentieren die Standardfehler.

Bild 63: Vor und nach der Fahrt in Relation mit einem Fußgänger, Radfahrer, Mofafahrer und Motorradfahrer eingeschätztes Verletzungsrisiko des Egret für die Verkehrsräume innerorts und außerorts. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.

- Bild 64: Bewertung des Egret hinsichtlich der empfundenen Sicherheit, Kontrollierbarkeit, Erlernbarkeit und des Fahrspaßes. Die Box repräsentiert das erste und dritte Quartil, die Antennen das Minimum und das Maximum. Innerhalb der Box dient der Median als Maß der zentralen Tendenz.
- Bild 65: Relative Häufigkeit der Zustimmungen auf die Frage, ob die Probanden die jeweilige Schutzausrüstung für die Benutzung des Egret akzeptieren würden. Mit * markierte Säulenpaare unterscheiden sich auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant.
- Bild 66: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen zum jeweiligen Verwendungszweck relativiert an der Gesamtanzahl an Zustimmungen.
- Bild 67: Fahrtroute für die Versuchsfahrten (Quelle: © OpenStreetMap und Mitwirkende, CC-BY-SA)
- Bild 68: Proband bei Versuchsfahrt
- Bild 69: Durchschnittliches subjektives Sicherheitsniveau je Fahrzeug
- Bild 70: Durchschnittliches subjektives Sicherheitsniveau je Fahrzeug und Verkehrsfläche
- Bild 71: Durchschnittliches subjektives Sicherheitsniveau je Verkehrsfläche
- Bild 72: Durchschnittlicher Fahrspaß
- Bild 73: Eingeschätztes Verletzungsrisiko innerorts vor und nach der Fahrt
- Bild 74: Eingeschätztes Verletzungsrisiko außerorts vor und nach der Fahrt
- Bild 75: Anteil der Probandenzustimmungen zu bestimmten Schutzausrüstungsgegenständen
- Bild 76: Beispiele für einspurige im Stehen gefahrene Fahrzeuge. Quelle: FUN Wheels (links)
- Bild 77: Beispiele für mehrspurige Elektrokleinstfahrzeuge. Quelle: Segway SE-3, Segway Europe BV, Amsterdam (links)
- Bild 78: Schubvorrichtung für Inlineskater. Quelle: Firma Shelley Rank, Bechhofen
- Bild 79: Gokart-Aufsatz für Hoverboards
- Bild 80: Beispiel für selbstbalancierende Kugel / Ball..Quelle: airQuest, Essen
- Bild 81: kickTrike (in Fahrpositon und zusammengeklappt)

Tabellen

- Tab. 1: Anforderungen an bestehende Fahrzeugkonzepte
- Tab. 2: Nutzung der Verkehrsfläche
- Tab. 3: Übersicht der Zulässigkeit von Elektrokleinstfahrzeugen im Ausland
- Tab. 4: Eingesetzte Versuchsfahrzeuge, selbstbalancierend
- Tab. 5: Eingesetzte Versuchsfahrzeuge, stehend gefahren
- Tab. 6: Parcours der Fahrdynamischen Untersuchungen
- Tab. 7: Durchschnittsgeschwindigkeiten beim passieren der Ausweichgasse mit Anfahrtschwindigkeit 15 km/h
- Tab. 8: Technische Anforderungen aus Sicht der aktiven Sicherheit für Elektrokleinstfahrzeuge je nach Kategorie
- Tab. 9: Administrative Voraussetzung
- Tab. 10: Empfehlungen in Bezug auf Kopfschutz
- Tab. 11: Ausgewählte Parameter der europäischen Verordnungen 78/2009 und 631/2009
- Tab. 12: Masse, Maximalmasse und Höchstgeschwindigkeit der jeweiligen Versuchsfahrzeuge
- Tab. 13: Verwendete statistische Verfahren
- Tab. 14: Verwendete Abkürzungen und Symboliken
- Tab. 15: Spearman-Korrelationskoeffizienten r_s für lineare Korrelationen zwischen dem jeweiligen angegebenen Wert auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver und dem Ausprägungsgrad der individuellen Risikobereitschaft sowie die dazugehörigen p Werte. Mit * markierte Koeffizienten sind auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant, mit ** markierte auf $\alpha = .01$.
- Tab. 16: Spearman-Korrelationskoeffizienten r_s für lineare Korrelationen zwischen dem jeweiligen angegebenen Wert auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver und der empfundenen Si-

cherheit des jeweiligen Fahrzeugs insgesamt sowie die dazugehörigen p Werte. Mit * markierte Koeffizienten sind auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant, mit ** markierte auf $\alpha = .01$.

- Tab. 17: Spearman-Korrelationskoeffizienten r_s für lineare Korrelationen zwischen dem jeweiligen angegebenen Wert auf der Störbewertungsskala (SBS) für jedes Fahrmanöver und der bewerteten Kontrollierbarkeit des jeweiligen Fahrzeugs insgesamt sowie die dazugehörigen p Werte. Mit * markierte Koeffizienten sind auf einem Signifikanzniveau von $\alpha = .05$ signifikant, mit ** markierte auf $\alpha = .01$.
- Tab. 18: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Segway im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.
- Tab. 19: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Segway im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.
- Tab. 20: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.
- Tab. 21: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Robstep im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.
- Tab. 22: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Robstep im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.
- Tab. 23: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.
- Tab. 24: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den MobilityCube im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.
- Tab. 25: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den MobilityCube im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.
- Tab. 26: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.
- Tab. 27: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden das Trikke im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.
- Tab. 28: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden das Trikke im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.
- Tab. 29: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.
- Tab. 30: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Evoking im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.
- Tab. 31: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Evoking im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.
- Tab. 32: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.
- Tab. 33: Relative Häufigkeiten der Zustimmungen (in %) auf die Frage, ob die Probanden den Egret im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen wollen würden.
- Tab. 34: Haupteffekte einer $2 \times 2 \times 3$ mehrfaktoriellen Varianzanalyse zur angegebenen maximalen Geschwindigkeit, mit der die Probanden den Egret im jeweiligen Verkehrsbereich bewegen würden.
- Tab. 35: Post-hoc-Tests durch paarweise t-Tests auf Unterschiede in der angegebenen maximalen Geschwindigkeit zwischen

den einzelnen Verkehrsbereichen. Es wurde ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von $\alpha = .016$ verwendet.

- Tab. 36: Empfohlene Verkehrsflächen für Elektrokleinstfahrzeuge
- Tab. 37: Empfehlung hinsichtlich Verkehrsfläche und Anforderungen
- Tab. 38: Übersicht hinsichtlich der Verkehrsfläche
- Tab. 39: Übersicht hinsichtlich der Anforderungen
- Tab. 40: Einräder
- Tab. 41: Zweirädrige Balanceboards
- Tab. 42: Selbstbalancierende im Stehen gefahrene Fahrzeuge mit Lenkeinrichtung
- Tab. 43: Elektrische Skateboards
- Tab. 44: Einspurige im Stehen gefahrene Fahrzeuge
- Tab. 45: Mehrspurige Elektrokleinstfahrzeuge

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

2011

- F 81: Potential aktiver Fahrwerke für die Fahrsicherheit von Motorrädern
Wunram, Eckstein, Rettweiler € 15,50
- F 82: Qualität von on-trip Verkehrsinformationen im Straßenverkehr – Quality of on-trip road traffic information – BAST-Kolloquium 23. & 24.03.2011
Lotz, Luks € 17,50
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann kostenpflichtig unter www.nw-verlag.de heruntergeladen werden.

2012

- F 83: Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung – Gemeinsamer Schlussbericht der Projektgruppe
Gasser, Arzt, Ayoubi, Bartels, Bürkle, Eier, Flemisch, Häcker, Hesse, Huber, Lotz, Maurer, Ruth-Schumacher, Schwarz, Vogt € 19,50
- F 84: Sicherheitswirkungen von Verkehrsinformationen – Entwicklung und Evaluation verschiedener Warnkonzepte für Stauendwarnungen
Bogenberger, Dinkel, Totzke, Naujoks, Mühlbacher € 17,00
- F 85: Cooperative Systems Stakeholder Analysis
Schindhelm, Calderaro, Udin, Larsson, Kernstock, Jandrisits, Ricci, Geißler, Herb, Vierkötter € 15,50

2013

- F 86: Experimentelle Untersuchung zur Unterstützung der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen für ältere Kraftfahrer
Hoffmann, Wipking, Blanke, Falkenstein € 16,50
- F 87: 5th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 88: Comparative tests with laminated safety glass panes and polycarbonate panes
Gehring, Zander € 14,00
- F 89: Erfassung der Fahrermüdigkeit
Platho, Pietrek, Kolrep € 16,50
- F 90: Aktive Systeme der passiven Fahrzeugsicherheit
Nuß, Eckstein, Berger € 17,90
- F 91: Standardisierungsprozess für offene Systeme der Straßenverkehrstelematik
Kroen € 17,00
- F 92: Elektrofahrzeuge – Auswirkungen auf die periodisch technische Überwachung
Beyer, Blumenschein, Bönninger, Grohmann, Lehmann, Meißner, Paulan, Richter, Stiller, Calker € 17,00

2014

- F 93: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren
Buld, Will, Kaussner, Krüger € 17,50
- F 94: Biokraftstoffe – Fahrzeugtechnische Voraussetzungen und Emissionen
Pellmann, Schmidt, Eckhardt, Wagner € 19,50
- F 95: Taxonomie von Fehlhandlungen bei der Fahrzeugführung
Oehme, Kolrep, Person, Byl € 16,50
- F 96: Auswirkungen alternativer Antriebskonzepte auf die Fahrdynamik von Pkw
Schönemann, Henze € 15,50
- F 97: Matrix von Lösungsvarianten Intelligenter Verkehrssysteme (IVS) im Straßenverkehr
Matrix of alternative implementation approaches of Intelligent Transport Systems (ITS) in road traffic
Lotz, Herb, Schindhelm, Vierkötter
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 98: Absicherungsstrategien für Fahrerassistenzsysteme mit Umfeldwahrnehmung
Weitzel, Winner, Peng, Geyer, Lotz Sefati € 16,50
- F 99: Study on smoke production, development and toxicity in bus fires
Hofmann, Dülzen € 16,50

2015

- F 100: Verhaltensbezogene Kennwerte zeitkritischer Fahrmanöver
Powelleit, Muhrer, Vollrath, Henze, Liesner, Pawellek € 17,50
- F 101: Altersabhängige Anpassung von Menschmodellen für die passive Fahrzeugsicherheit
Wagner, Segura, Mühlbauer, Fuchs, Peldschus, Freßmann € 19,00
- F 102: 6th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 103: Technische Möglichkeiten für die Reduktion der CO₂-Emissionen von Nutzfahrzeugen
Süßmann, Lienkamp
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 104: Abbiege-Assistenzsystem für Lkw – Grundlagen eines Testverfahrens
Schreck, Seiniger € 14,50
- F 105: Abgasverhalten von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Feldüberwachung
Schmidt, Georges € 14,50
- F 105b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – In-service conformity
Schmidt, Johannsen
Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.
- F 106: Untersuchung des Abgasverhaltens von in Betrieb befindlichen Fahrzeugen und emissionsrelevanten Bauteilen – Austauschkatalsatoren
Schmidt, Johannsen € 13,50

F 106b: Examination of pollutants emitted by vehicles in operation and of emission relevant components – Replacement catalytic converters

Schmidt, Johannsen

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 107: Sicherheitsaspekte beim Laden von Elektrofahrzeugen

Vogt, Link, Ritzinger, Ablingyte, Reindl € 16,50

F 108: Interoperabilität zwischen öffentlichem Verkehrsmanagement und individuellen Navigationsdiensten – Maßnahmen zur Gewährleistung

von der Ruhren, Kirschfink, Ansorge, Reusswig, Riegelhuth, Karina-Wedrich, Schopf, Sparmann, Wöbbeking, Kannenberg € 17,50

F 109: Ermittlung des Umfangs von Abweichungen bei Durchführung der Abgasuntersuchung zwischen Messung am Auspuff und Abfrage des On-Board-Diagnosesystems

Schröder, Steickert, Walther, Ranftl

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 110: Wahrnehmung und Bewertung von Fahrzeugaußengeräuschen durch Fußgänger in verschiedenen Verkehrssituationen und unterschiedlichen Betriebszuständen

Altinsoy, Landgraf, Rosenkranz, Lachmann, Hagen, Schulze, Schlag

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 111: Geräuschminderung von Dünnschichtbelägen

Schulze, Kluth, Ruhnau, Hübelt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2016

F 112: Ersatz von Außenspiegeln durch Kamera-Monitor-Systeme bei Pkw und Lkw

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens

€ 17,50

F 112b: Final Report Camera-Monitor-Systems as a Replacement for Exterior Mirrors in Cars and Trucks

Schmidt, Hoffmann, Krautscheid, Bierbach, Frey, Gail, Lotz-Keens

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 113: Erweiterung der Software TREMOD um zukünftige Fahrzeugkonzepte, Antriebe und Kraftstoffe

Bergk, Heidt, Knörr, Keller

€ 15,50

F 114: Barrierefreiheit bei Fernlinienbussen

Oehme, Berberich, Maier, Böhm

€ 17,50

F 115: Statischer und dynamischer Fahrsimulator im Vergleich – Wahrnehmung von Abstand und Geschwindigkeit

Frey

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2017

F 116: Lang-Lkw – Auswirkung auf Fahrzeugsicherheit und Umwelt

Süßmann, Förg, Wenzelis

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 117: 7th International Conference on ESAR „Expert Symposium on Accident Research“ – Reports on the ESAR-Conference 2016 at Hannover Medical School

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 118: Bedeutung kompensativer Fahrerstrategien im Kontext automatisierter Fahrfunktionen

Voß, Schwalm

€ 16,50

F 119: Fahrzeugtechnische Eigenschaften von Lang-Lkw

Förg, Süßmann, Wenzelis, Schmeier

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 120: Emissionen von über 30 Jahre alten Fahrzeugen

Steven, Schulte, Hammer, Lessmann, Pomsel

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 121: Laufleistungsabhängige Veränderungen der CO₂-Emissionen von neuen Pkw

Pellmann, Schmidt

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

2018

F 122: Revision der Emissionsmodellierung für leichte Nutzfahrzeuge – Bedarfsanalyse auf Basis einer Vorstudie

Auf der Maur, Strassburg, Knörr, Heidt, Wuethrich

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 123: Motorradschutzhelme – Identifizierung ihres Verbesserungspotenzials unter Berücksichtigung des Motorradunfallgeschehens

Pollak, Schueler, Bourdet, Deck, Willinger

€ 19,50

F 124: Aufbau eines Qualitätsmanagementsystems für die Erfassung und Weiterverarbeitung von Daten für IVS-Dienste

Heinrich, Pollesch, Schober, Stamatakis, Grzebellus, Radike, Schneider, Stapelfeld, Huber

Dieser Bericht liegt nur in digitaler Form vor und kann unter <http://bast.opus.hbz-nrw.de/> heruntergeladen werden.

F 125: Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen

Bierbach, Adolph, Frey, Kollmus, Bartels, Hoffmann, Halbach

€ 19,50

Fordern Sie auch unser kostenloses Gesamtverzeichnis aller lieferbaren Titel an! Dieses sowie alle Titel der Schriftenreihe können Sie unter der folgenden Adresse bestellen:

Fachverlag NW in der Carl Ed. Schünemann KG
Zweite Schlachtpforte 7 · 28195 Bremen
Tel. + (0)421/3 69 03-53 · Fax + (0)421/3 69 03-63

Alternativ können Sie alle lieferbaren Titel auch auf unserer Website finden und bestellen.

www.schuenemann-verlag.de