



**BERGISCHE  
UNIVERSITÄT  
WUPPERTAL**

Fakultät für Maschinenbau und Sicherheitstechnik

Fachgebiet für Verkehrssicherheit und Zuverlässigkeit

Jun.-Prof. Dr. Antoine Tordeux

**Analyse der sozialen und infrastrukturellen  
Auswirkungen der Elektro-Mikromobilität in Städten  
und deren konzeptionelles Potenzial**

Bachelorthesis gem. der Prüfungsordnung 2011

Vor- und Nachname: Jonas Fiedler  
Matrikel-Nr.: 1225767  
Anschrift: Filchnerweg 14  
42329 Wuppertal

1. Prüfer: Prof. Tordeux  
2. Prüfer: Frau Khelfa

Wuppertal, 16.03.2020

## Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere, dass ich die vorliegende Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen der Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinne nach anderen Werken entnommen sind, wurden in jedem Fall unter Angabe der Quellen (einschließlich des World Wide Web und anderer elektronischer Text- und Datensammlungen) und nach den üblichen Regeln wissenschaftlich Zitierens kenntlich gemacht. Mir ist bewusst, dass wahrheitswidrige Angaben als Täuschungsversuch und damit als Ordnungswidrigkeit behandelt werden.

-----

Ort, Datum

-----

Unterschrift

## **Danksagung**

Hiermit möchte ich die Gelegenheit nutzen, all jenen zu danken die mich im Vorfeld und insbesondere während der Erstellung dieser Bachelorarbeit unterstützt haben.

Ganz besonders danke ich Jun.-Prof. Dr. Antoine Tordeux für den geduldigen E-Mail-Verkehr und die persönlichen Gespräche, durch die er mich motiviert und unterstützt hat.

Des Weiteren bedanke ich mich bei meinen Freunden, die mich über die Dauer meines Studiums und während der Erstellung der vorliegenden Arbeit jederzeit moralisch begleitet haben und immer an mich geglaubt haben.

Nicht zuletzt gilt der größte Dank meiner Familie und insbesondere meinen Eltern. Ohne deren vielfältige Unterstützung, Wegbereitung und das stete Bieten von Rückhalt wäre das Studium und die vorliegende Arbeit nicht möglich gewesen.

# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
1 Einleitung .....	1
2 Elektrokleinstfahrzeuge: Begriffsklärung und Angebot.....	4
2.1 Vorstellung ausgewählter EKF .....	6
3 Soziale und infrastrukturelle Auswirkungen .....	10
4 Forschungsstand zur Sicherheit von EKF.....	15
4.1 Sicherheit bei elektrifizierten Fahrrädern .....	21
5 Rechtliche Situation in Deutschland .....	26
6 Ausgangssituation des Verkehrssektors in Deutschland.....	28
6.1 Zustand der Verkehrsinfrastruktur .....	31
7 Gefahren durch eine zunehmende Nutzung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb .....	33
7.1 Gefahren für Zuliefererbetriebe des Anlagen- und Maschinenbaus.....	34
7.2 Kritische Rohstoffe.....	39
8 Möglicher gesellschaftlicher Nutzen .....	40
8.1 Neue Geschäftsmodelle in einem multimodalen Verkehrssystem .....	40
8.2 Umwelt und Nachhaltigkeit.....	42
9 Diskussion und Fazit .....	44
10 Literaturverzeichnis.....	47

## Abkürzungsverzeichnis

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
EKF	Elektrokleinstfahrzeug
eKFV	Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung
EV	Electric Vehicle
LSV	Low-Speed Electric Vehicle
MEV	Medium-Speed-Electric Vehicles
NEV	Neighborhood Electric Vehicle
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
PEV	Personal Electric Vehicle
SGI	Subjective Danger Index

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über ausgewählte Modelle von EKF.....	5
Tabelle 2: Vergleich Pedelec, S-Pedelec und E-Bike.....	9
Tabelle 3: Typische Reisedistanzen und andere Parameter verschiedener Verkehrsmittel. .	10
Tabelle 4: Modal Split in ausgewählten Landeshauptstädten.....	30
Tabelle 5: Wertschöpfungsanteile bei E-Motoren und Batterien (Beispiele). ....	36

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Elektrische Skateboards. ....	6
Abbildung 2: Elektrischer Kickscooter bzw. E-Roller.....	6
Abbildung 3: Selbstbalancierende EKF (einrädig und zweirädig mit Haltestange).. ....	7
Abbildung 4: Hoverboard.....	8
Abbildung 5: Raumbedarf von 69 Personen mit verschiedenen Verkehrsmitteln.. ....	11
Abbildung 6: Versuchsaufbau.....	18
Abbildung 7: Beziehung zwischen Distanz und wahrgenommener Gefährdung. ....	19
Abbildung 8: Zusatzzeichen "Elektrokleinstfahrzeuge frei" gemäß §10 Abs. 3 eKFV. ....	27
Abbildung 9: PKW nach Standort im Wochenverlauf. ....	29
Abbildung 10: Faktoren der Regionalisierung von Fertigungsstandorten. ....	36
Abbildung 11: Marktentwicklung E-Mobility und Auswirkungen auf den Maschinenbau. ....	38
Abbildung 12: Entwicklung der Luftschadstoffe und THG-Emissionen des Straßenverkehrs	42

# 1 Einleitung

In der öffentlichen Diskussion und entlang aktueller Medienberichte werden derzeit zwei Themenkomplexe regelmäßig angeführt. Einerseits werden die Folgen des anthropogenen Klimawandels für immer größere Teile der Bevölkerung spürbar. Andererseits sind es die durch den Menschen verursachte Klimagase, die für einen großen Anteil der in den vergangenen Jahrzehnten beobachteten Erderwärmung verantwortlich sind. Ein großer Anteil hieran geht wiederum auf den Energiebedarf des Verkehrssektors zurück, der im Jahr 1990 noch bei etwa 25% lag und bis zum Jahr 2015 auf 30% gestiegen ist (Canzler et al. 2018: 5). Unter den derzeitigen technologischen Bedingungen ist global nicht mit einer Abnahme des Energiebedarfs für Kraftfahrzeuge zu rechnen, da sich Schwellenländer gerade erst am Beginn einer wachsenden Motorisierung befinden (ebd.).

Dies stellt Gesellschaft und Hersteller vor eine Herausforderung, die nur durch alternative Antriebsformen und die Entwicklung neuer Verkehrskonzepte bewältigt werden kann. Der Brundtland-Report der Vereinten Nationen verlangt eine entsprechende Sicherstellung, dass wirtschaftliche Aktivitäten die natürlich vorhandenen Ressourcen „nicht in dem Maße ausbeuten, dass die Entwicklung und Entfaltung zukünftiger Generationen unverhältnismäßig beeinträchtigt wird“ (Peters et al. 2012: 132).

Neue Verkehrskonzepte müssen berücksichtigen, dass der motorisierte Individualverkehr mit konventionellen Fahrzeugen gegenüber multimodalen Verkehrssystemen, bei denen Teilstrecken mit dem jeweils sinnvollsten Verkehrsmittel zurückgelegt werden, über ein hohes Maß von Ineffizienz verfügt. Diese Ineffizienz manifestiert sich in einer hohen Verkehrsdichte in urbanen Regionen und auf stark frequentierten Fernstraßen, die aufgrund häufiger Staus die Geduld der Autofahrer auf die Probe stellen, die Wirtschaftsleistung des Landes beeinträchtigen und zu zusätzlichen Emissionen von Treibhausgasen führen.

Hoffnungen sind daher auch mit Elektrokleinstfahrzeugen (EKF) verbunden, die unter Umständen den natürlichen Bewegungsradius der Menschen erweitern können und so dabei helfen, kürzere Strecken in urbanen Regionen zurückzulegen. Auf diese Weise könnten konventionelle Fahrzeuge oder Taxifahrten in Städten durch emissionsfreie Verkehrsmittel substituiert werden. Auf dem Weg zu einem multimodalen Verkehrssystem sind unterdessen noch viele Fragen offen, die in dieser Arbeit thematisiert werden.

Zunächst muss eine Begriffsklärung hinsichtlich EKF erfolgen, da für solche Fahrzeugkonzepte heterogene Bezeichnungen vorliegen und je nach Studie hierunter unterschiedliche Fahrzeugkategorien gefasst werden. Auch elektrisch angetriebene Fahrräder



sollen im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden, da sich die Probleme und Chancen von EKF stark mit denen von Pedelecs bzw. E-Bikes decken. Das anschließende Kapitel beschäftigt sich dann mit den sozialen und infrastrukturellen Auswirkungen, mit denen bei einem hohen Verbreitungsgrad der Fahrzeuge gerechnet werden muss. Der Fokus liegt dabei auf denkbaren Szenarios, die sich aus den technischen Eigenschaften der Geräte ergeben, aber auch Überlegungen zum in Zukunft geteilten öffentlichen Raum und zu Raumbedarf und Effizienz werden angestellt.

Im Folgekapitel werden Forschungsarbeiten vorgestellt, die sich mit sicherheitsrelevanten Aspekten von EKF beschäftigen. Zwar sind Studien auf diesem Gebiet noch rar, jedoch liegen u.a. bereits einige Ergebnisse bezüglich der subjektiv wahrgenommenen Gefahr durch Fußgänger vor. Andere Experimente sowie Befragungen attestieren aber noch weiteren Forschungsbedarf. Elektrisch angetriebene Fahrräder werden hier gesondert behandelt. Im Anschluss stellt sich die Frage, welche rechtlichen Voraussetzungen für die Nutzung von EKF in Deutschland existieren.

Auch die derzeit vorzufindende Ausgangssituation in Deutschland muss diskutiert werden. Hier wird ebenso ein Blick auf die aktuellen Nutzungsgewohnheiten geworfen wie auf den Zustand der Verkehrsinfrastruktur. Auf Basis der sicherheitsbezogenen Ausführungen wird deutlich werden, dass die Gestaltung und Regulierung von Verkehrssystemen ein bedeutender *Enabler* für eine breite gesellschaftliche Akzeptanz neuer Fortbewegungsmittel sein kann.

Doch nicht nur der mögliche gesellschaftliche Nutzen eines optimierten Systems muss bedacht werden, da eine Verkehrswende und die Entwicklung von Technologien mit elektrischen Antrieben mit Gefahren für den deutschen Wirtschaftsstandort verbunden sind. Dieser ist derzeit noch stark von der Produktion von Fahrzeugen mit Verbrennungsmotoren geprägt. Die Arbeitsplätze von Millionen Menschen in Deutschland sind vom wirtschaftlichen Erfolg dieser Branche abhängig. Gleichzeitig entstehen durch die Veränderungen auch für diese Unternehmen neue Chancen für die Neuausrichtung des Geschäftsfeldes, das auch EKF beinhalten kann. Diese Überlegungen werden in einem weiteren Kapitel dargestellt.

Anschließend werden die zentralen – in erster Linie wirtschaftlichen – Möglichkeiten der Elektrifizierung diskutiert. Neben dem Vorteil einer größeren Unabhängigkeit von fossilen Rohstoffen und damit einer nachhaltigeren Mobilität existiert großes Potenzial für zukünftige innovative Geschäftskonzepte. So werden aller Voraussicht nach Anbieter von Sharing-Konzepten in noch höherem Maße von der Entwicklung profitieren als bereits heute. Auch wird durch den Erfolg des Unternehmens Uber verdeutlicht, dass neue Geschäftsmodelle

ermöglicht werden. Staus und ein drohender Verkehrskollaps kosten die deutsche Volkswirtschaft mehrere Milliarden Euro jährlich, was durch ein innovatives Verkehrssystem entschärft werden kann und so den Wohlstand weiterhin sichern hilft.

Das Schlusskapitel beinhaltet schließlich einen Überblick über die zentralen Ergebnisse der Kapitel und diskutiert wichtige Einflussfaktoren, die für oder gegen eine zunehmende Nutzung von EKF sprechen.

## 2 Elektrokleinstfahrzeuge: Begriffsklärung und Angebot

Allein die verschiedenen Bezeichnungen für EKF zeugen davon, wie innovativ und dynamisch sich der Markt für Fahrzeuge dieser Art entwickelt. Deutschsprachige Bezeichnungen für diese Fahrzeuge sind Begriffe wie der hier verwendete Begriff der EKF oder Elektro-Mikromobile. In der englischsprachigen Literatur ist die Bandbreite verwendeter Begriffe deutlich größer und erstreckt sich über die Begriffe *Low-Speed Electric Vehicle (LSV)*, *Neighborhood Electric Vehicle (NEV)*, *Personal Electric Vehicle (PEV)*, *Medium-Speed-Electric Vehicles (MEV)* für *Fahrzeuge mit Höchstgeschwindigkeiten* oder schlicht *Rideables*.

In Deutschland hat der Gesetzgeber im Jahr 2018 die Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV) auf den Weg gebracht, um den Betrieb der neuen Fortbewegungsmittel auf öffentlichen Straßen zu ermöglichen. Die Verordnung definiert den Begriff der EKF jedoch enger und fasst hierunter lediglich Fahrzeuge mit einer Lenk- oder Haltestange, womit einige EKF von vornherein ausgeschlossen sind. Die Definition von Hasegawa et al. (2018) erfasst eine große Bandbreite von EKF. Demnach handelt es sich um kompakte motorisierte Fahrzeuge für einen Passagier, die selbstbalancierende Geräte mit zwei Rädern genauso einschließen wie andere Fahrzeuge mit Bewegungsmechanismen (Hasegawa et al. 2018: 257). Deren Alleinstellungsmerkmal Fahrrädern gegenüber liegt ihrer Ansicht nach in der höheren Stabilität bei niedrigen Geschwindigkeiten (ebd.). Sie unterscheiden sich von konventionellen Fahrzeugen vor allem hinsichtlich ihrer Länge, Breite, Spurbreite und der relativ geringen Beschleunigung (Hunter-Zaworski 2012: 3). Auch existieren in vielen Ländern keine eindeutigen Sicherheitsstandards, sodass u. a. Licht, Bremslicht und Gurtpflicht nicht reguliert sind (ebd.). Die hieraus folgenden Konsequenzen für die Fahrzeugsicherheit werden in den nächsten Kapiteln gesondert diskutiert.

Unter dem hier verwendeten Begriff der EKF fallen auch elektrisch betriebene Fahrräder bzw. E-Bikes oder Pedelecs (Hunter-Zaworski 2012, Cuffe 2018). Anhand des aktuellen Forschungsstandes lässt sich schließen, dass es bisher nicht gelungen ist, sich auf eine einheitliche Taxonomie bzw. Kategorisierung oder Definition der Fortbewegungsmittel zu verständigen. Die ersten EKF wurden ab dem Ende der 1990er Jahre entwickelt. Sie transportieren in der Regel einen Passagier über typische Distanzen zwischen einem und 20 Kilometern, sodass sie den natürlichen Bewegungsradius des Menschen um diese Strecke auch auf kleinem Raum erweitern können, der sich mit dem Gerät normalerweise nicht auf Schnellstraßen, sondern auf städtischen Straßen und Fußwegen fortbewegt (Ulrich 2005: 448).

Tabelle 1: Übersicht über ausgewählte Modelle von EKF. Quelle: Eigene Darstellung nach Bierbach et al. 2018: 19.

	E-Roller	E-Skateboards	Selbstbalancierende EKF		
			Solowheel	Zwei Räder, z. B. Hoverboard	Segway
Motorleistung	250 Watt	350 Watt	1.500 Watt	2*350 Watt	2*500 Watt
Max. Speed	25 km/h	Bis 38 km/h	16 km/h	15 km/h	20 km/h
Reichweite	20 km	30 km	16 km	15 km	38 km
∅ Reifen	16 cm	8 cm	40 cm	15 cm	46 cm
Gewicht	15 kg	8,2 kg	12 kg	12 kg	47,7 kg
Fahrzeugtyp	EKF	Nicht zugelassen	Nicht zugelassen	Nicht zugelassen	EKF
Helm	Empfohlen	Nein	Nein	Nein	Empfohlen
Versicherung	Ja	Nein	Nein	Nein	Ja

Gemeinsam ist ihnen außerdem, dass sie zur Fortbewegung Elektrizität als Energiequelle nutzen, die über einen Akkumulator bezogen wird (ebd.). Aufgrund dessen agieren sie geräusch- und emissionsarm (Rothfuß et al. 2012: 11). Sie verfügen in der Regel über eine Leichtbauweise, die auf den Materialien Aluminium und Fieberglas basiert und hinsichtlich Energieeffizienz und Reichweite entscheidende Vorteile gegenüber konventionellen Fahrzeugen bietet (Rothfuß et al. 2012: 12). Ihre vergleichsweise geringe Größe zieht zudem einen geringeren Bedarf an öffentlichem Raum nach sich (ebd.). EKF wiegen normalerweise um die zehn Kilogramm, haben eine Motorkraft von einigen Kilowatt und sind mit Lithium-Ion-Batterien mit einer Kapazität von einigen hundert Kilowattstunden ausgestattet (Cuffe 2018: 2). Die Ladezeit der Akkumulatoren beträgt mehrere Stunden (ebd.). Häufig lässt sich das Fahren leicht erlernen und erfordert nur wenig Übung. Die üblicherweise angebotenen Fahrzeuge erreichen eine Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h, sodass sie in vielen Ländern ohne eine Versicherungs- und Zulassungspflicht auskommen.

## 2.1 Vorstellung ausgewählter EKF



*Abbildung 1: Elektrische Skateboards. Quelle: Cuffe 2018: 2.*

Im Rahmen dieses Kapitels sollen die Fahrzeuge vorgestellt werden, für die in den vergangenen Jahren eine zunehmende Verbreitung zu verzeichnen ist. Hier können zunächst verschiedene Formen von elektrischen Skateboards genannt werden, die meist als Longboards gebaut sind und die je nach Ausführung zwischen einem und vier Rädern mit einem Elektromotor angetrieben werden (Cuffe 2018: 3). Der Motor ist dabei meist direkt im Reifen verbaut. Die Steuerung der Beschleunigung und Bremsung erfolgt in der Regel über eine Fernsteuerung oder einen Fußsensor, während das Lenken wie bei konventionellen Skateboards über eine Gewichtsverlagerung des Körpers gesteuert wird (ebd.). Die Vorteile der Skateboards liegen in der inhärenten Stabilität, der als positiv empfundenen Fahrdynamik sowie der Transportfähigkeit des Boards aufgrund des geringen Gewichts und der kleinen Abmessungen. Die kleinen Reifen sind jedoch nur für ebenen Untergrund geeignet und der Wendekreis des Fahrzeugs ist groß (ebd.).



*Abbildung 2: Elektrischer Kickscooter bzw. E-Roller. Quelle: Cuffe 2018: 2.*

Elektrische Kickscooter, auch E-Roller oder E-Tretroller genannt, verfügen über eine schmale Standfläche, auf der die Füße hintereinander platziert werden, sowie über zwei mittelgroße Reifen und eine Halte- bzw. Lenkstange für die Steuerung und Unterstützung des Passagiers (Cuffe 2018: 3 f.). Für schwieriges Terrain sind zudem E-Roller mit größeren Reifen bzw. zwei Vorderreifen erhältlich, einige Modelle sind im Sinne einer besseren Transportfähigkeit faltbar. Vorteilhaft ist die schnelle Erlernbarkeit des Fahrens auf einem E-Roller. Vermutlich sind auch deshalb die Geräte in deutschen Großstädten im Zuge von Mietmodellen zu Tausenden verbreitet, worauf in den folgenden Kapiteln noch genauer eingegangen wird. Weitere Vorteile liegen in der direkten mechanischen Übersetzung von Lenkbewegungen und der guten Manövrierbarkeit, die durch den Stabilitätsfaktor der Haltestange normalerweise beim Nutzer als angenehm empfunden wird (ebd.). Auf unebenem Terrain haben die üblicherweise angebotenen Modelle durch ihre geringe Reifengröße jedoch ähnliche Probleme wie Skateboards.



Abbildung 3: Selbstbalancierende EKF (einrädriig und zweirädriig mit Haltestange). Quelle: Cuffe 2018: 2.

Eine ganze Reihe unterschiedlicher EKF verbirgt sich hinter dem Begriff der selbstbalancierenden Fahrzeuge. Diese halten ihre nach oben gerichtete Orientierung durch eine Motorsteuerung aufrecht, die aus dem hochfrequenten Sammeln von Daten aus einem Gyroskopsensor gespeist wird (Cuffe 2018: 3 f.). Ein Lehnen nach vorne wird beispielsweise durch das System kompensiert, indem der Motor in diesem Moment eine impulsartige Beschleunigung durchführt, sodass der Fahrer stabil auf dem Fahrzeug stehen bleibt. Die Firma Segway brachte diese Modelle zuerst auf den Markt. Selbstbalancierende EKF lassen sich weiter in zweirädrige und einrädriige Fahrzeuge einteilen. Zu den zweirädrigen Fahrzeugen zählen Systeme, die das Prinzip des Segway nachahmen, jedoch auf die Haltestange verzichten. Bei diesen meist als Hoverboards bezeichneten Geräten erfolgt die Steuerung über die Erfassung der Fußbewegungen, wobei beide Räder unabhängig voneinander gesteuert werden können (ebd.). Die Geräte sind bei Kindern und Jugendlichen

äußerst beliebt und haben allein im Jahr 2015 für einen chinesischen Export in Höhe von 4,8 Milliarden Dollar gesorgt. Ihre schnelle Erlernbarkeit und der flexible Wendekreis sind positive Eigenschaften, jedoch verfügen sie über keine inhärente Stabilität und über ebenfalls zu kleine Reifen für anspruchsvollere Untergründe.



*Abbildung 4: Hoverboard. Quelle: Cuffe 2018: 2.*

Demgegenüber werden einrädige Fahrzeuge nur über einen großen und zentralen Reifen gesteuert. Der Fahrer steht auf Fußplatten, die jeweils links und rechts neben dem Reifengehäuse montiert sind. Die Lenkung erfolgt hier über die Verlagerung des Körpergewichts. Durch ihren großen Reifen sind sie unter den bis hierhin vorgestellten Fahrzeugen am besten in der Lage, auf unebenem Untergrund zu agieren. Das Starten und das Stoppen mit dem Gerät werden jedoch häufig als gefährlich empfunden, da man nicht mit nur einem Fuß auf dem Fahrzeug stehen kann. Das Erlernen des Fahrzeugs ist schwieriger als bei anderen EKF, sodass für das Fahren ein guter Gleichgewichtssinn erforderlich ist.

Eine Sonderrolle kommt elektrisch angetriebenen Fahrrädern zu, bei denen man weitere Unterformen unterscheidet. Pedelecs unterstützen den Fahrer beim Treten mit einem elektrischen Antrieb, sodass man auch von Hybridfahrzeugen aus Muskelkraft und elektrischer Energie sprechen kann (Rothfuß et al. 2012: 11). Normalerweise erreichen auch diese elektrifizierten Räder, die über den deutlich größten Marktanteil unter allen Formen elektrifizierter Fahrräder verfügen (98%), eine Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h bei einer Motorleistung von 250 Watt, sodass auch für diese Modelle weder Führerschein- noch Helm-, Versicherungs- oder Zulassungspflichten bestehen (ebd.). Darüber hinaus ist der Betrieb sogenannter S-Pedelecs (Speed-Pedelecs) bereits mit verschiedenen Auflagen verbunden, da sie mit einer Motorleistung von 500 Watt bereits Spitzengeschwindigkeiten von 45 km/h erreichen (ebd.). Vom Gesetzgeber werden sie daher als Kleinkraftfahrzeug behandelt, was eine Führerschein-, Helm-, Versicherungs- und Zulassungspflicht nach sich zieht (ebd.). Als E-Bikes werden unterdessen Fahrräder bezeichnet, die über einen tretunabhängigen Zusatzantrieb verfügen und ebenfalls Höchstgeschwindigkeiten von bis zu 45 km/h erreichen,

sodass der Betrieb mit denselben Auflagen verbunden ist wie bei den S-Pedelecs (Gehlert 2017: 4). Alle Formen von Elektrofahrrädern erfreuen sich zunehmender Beliebtheit und verfügen unter den EKF über die höchste Akzeptanz in der Bevölkerung: Allein im Jahr 2016 wurden 605.000 Elektrofahrräder verkauft (Gehlert 2017: 4). Tabelle 2 fasst die verschiedenen Fahrradmodelle noch einmal übersichtlich zusammen.

*Tabelle 2: Vergleich Pedelec, S-Pedelec und E-Bike. Quelle: Gehlert 2017: 4.*

	Pedelec	S-Pedelec	E-Bike
Motorleistung	250 Watt	500 Watt	4.000 Watt
Unterstützung bis	25 km/h	45 km/h	45 km/h
Fahrzeugtyp	Fahrrad	Kleinkraftrad	Kleinkraftrad
Führerschein	Nein	Ja	Ja
Helm	Empfohlen	Verpflichtend	Verpflichtend
Versicherung	Nein	Ja	Ja
Marktanteil	98%	2 – 3%	

Die Aufstellung von sämtlichen EKF ist kaum möglich, da permanent neue Fahrzeuge auf den Markt kommen und unzählige exotische Fahrzeuge existieren. Beispielhaft können hier elektrisch angetriebene Roller-Skates, Hybridformen aus Skateboard und einrädri gem selbstbalancierendem EKF, Schubvorrichtungen für Inlineskater, Go-Kart-Aufsätze für Hoverboards, selbstbalancierende Kugeln oder elektronische Mobilitätshilfen genannt werden.



### 3 Soziale und infrastrukturelle Auswirkungen

Wie bereits formuliert erfreuen sich die neuen EKF vor allem in urbanen Regionen zunehmender Beliebtheit. Sie sind aufgrund der technologischen Verbesserungen auf dem Markt verfügbar und werden von den Konsumenten angenommen. Ihr Potenzial zur Bewältigung von Problemen einer zunehmenden Urbanisierung sorgt auch dafür, dass sich die Politik mit den Chancen der Fahrzeuge beschäftigt und erste Versuche der Regulierung unternimmt. Die USA sind derzeit führend auf dem Markt für EKF, wobei Europa mit einem Anteil von 35% am Weltmarkt für diese Fahrzeuge mit nur wenig Abstand folgt (Zagorskas, & Burinskienė 2020: 274).

Aus Marktbeobachtungen wird für die Zukunft geschlossen, dass bis zum Jahr 2024 mit jährlichen Steigerungen um 7% gerechnet werden kann (ebd.). In einigen Städten sind die am häufigsten genutzten E-Scooter bereits genauso beliebt oder beliebter als Fahrräder; in Barcelona oder Paris machten sie zeitweise einen Anteil von 45% bis 60% am nicht-konventionellen Verkehr aus (Zagorskas, & Burinskienė 2020: 273 f.). Die bisher beliebteste Form von Mikromobilität in Form des Fahrradfahrens könnte also in den nächsten Jahren durch die Nutzung von EKF ersetzt werden.

*Tabelle 3: Typische Reisedistanzen und andere Parameter verschiedener Verkehrsmittel. Quelle: Zagorskas, & Burinskienė 2020: 278*

Fortbewegungsmittel	Typische Distanz	Speed	Raum (m <sup>2</sup> )	Wendekreis langsam (m)	Wendekreis Fahrt (m)
Laufen	<1,5 km	4-6 km/h	0,5-1,0	0,0	0,5
Radfahren	0,5-8 km	12-15 km/h	1,2-1,6	3,2-4	8-12
Pedelec	0,5-15 km	15-35 km/h	1,2-1,7	3,2-4	12-18
E-Scooter	0,5-5 km	15-25 km/h	0,8-1,2	1,5-2,5	1,5-2,5
ÖPNV	1-20 km	30-35 km/h	0,5-1,0	6-9	50-90
Auto	2-35 km	35-50 km/h	5,0-12	3,5-6	40-50

Studien legen nahe, dass die Fahrzeuge auf Strecken zwischen 0,8 und 3,2 Kilometern am effizientesten sind. Schätzungen zufolge könnten z. B. 1% der Taxifahrten in dichtbesiedelten Gebieten durch die Nutzung von EKF ersetzt werden. Daten aus Litauen zeigen beispielsweise, dass EKF für Wege von durchschnittlich vier bis fünf Kilometern und für eine Dauer von 15 bis 20 Minuten genutzt werden (Zagorskas, & Burinskienė 2020: 274).

Tabelle 3 ermöglicht eine Übersicht über Parameter verschiedener Fortbewegungsmittel, die im Hinblick auf die Verkehrsplanung von Bedeutung sind. Beim Vergleich wird deutlich, dass konventionelle Fahrzeuge anderen Mobilitätsformen allein in Bezug auf Geschwindigkeit und

Distanz überlegen sind. In Relation zu EKF oder Fahrrädern nehmen sie mit ihrer Größe und ihrem hohen Wendekreis jedoch den größten öffentlichen Raum ein (vgl. Abbildung 5). Die Abbildung verdeutlicht den stark variierenden Raumbedarf von 69 Personen. Während diese Menschen allesamt mit einem gewöhnlichen Linienbus transportiert werden könnten, würde dieselbe Anzahl von Personen im motorisierten Individualverkehr einen ganzen Straßenzug an Raum benötigen. Die in der Bildmitte dargestellten 69 Fahrräder zeigen, dass gegenüber konventionellen Autos kleinere Fahrzeuge bereits einen deutlich geringeren Raum beanspruchen und nicht mehr benötigen als ein Linienbus. Im Sinne einer höheren Effizienz können alternative Verkehrsmittel wie EKF oder klassische Fahrräder die Innenstädte daher deutlich entlasten.



Abbildung 5: Raumbedarf von 69 Personen mit verschiedenen Verkehrsmitteln. Quelle: Tawadros 2015.

Setzt man die typischen Parameter der in Tabelle 3 genannten Fortbewegungsmittel in Beziehung zur Mobilität in Deutschland, so wird das bislang noch wenig genutzte Potenzial der EKF's deutlich. Nur etwa ein Drittel der jährlichen Verkehrsleistung wird auf dem Weg zur Arbeitsstelle verwendet. Weitere Fahrten zu Freizeitaktivitäten, Erledigungen und Einkäufen nehmen daher einen beachtlichen Anteil am Verkehrsaufkommen ein (BMVI 2020). Durchschnittlich investiert eine Person in Deutschland pro Tag 1,3 Stunden für das Zurücklegen von Wegen, wobei die durchschnittliche Weglänge bei 3,7 Wegen am Tag bei 12 Kilometern liegt, woraus eine Tagesstrecke von etwa 39 Kilometern resultiert (ebd.).

Der Schluss liegt nahe, dass zumindest große Anteile dieser Tagesstrecke mit alternativen Verkehrsmitteln wie EKF bewältigt werden können, da die durchschnittliche Wegstrecke von 12 Kilometern von beinahe allen EKF zurückgelegt werden kann. Allerdings wird auch deutlich, dass EKF nur für bestimmte Einsatzzwecke infrage kommen. Die mittlere Entfernung des

Arbeitsplatzes von der eigenen Adresse beträgt 16 Kilometer. Auch die zwei Prozent der Berufstätigen, die aufgrund einer täglichen Wegstrecke von etwa 100 Kilometern als Fernpendler bezeichnet werden, müssen voraussichtlich in Zukunft auf individuelle Verkehrsmittel zurückgreifen, sollten sie nicht von den Möglichkeiten des Schienen- und öffentlichen Nahverkehrs profitieren können (ebd.).

E-Scooter werden von beinahe allen Altersgruppen angenommen; lediglich ältere Menschen nutzen die Gefährte deutlich seltener (Zagorskis, & Burinskienė 2020: 278). Während laut Befragungen 34% der E-Scooter-Nutzer angeben, dass sie die Fahrt ohne die Verfügbarkeit des Fahrzeugs mit dem Auto zurückgelegt hätten, gehen andere Studien davon aus, dass 45% bis 49% der Nutzer ansonsten gelaufen wären oder das Rad benutzt hätten (Zagorskis, & Burinskienė 2020: 273).

Hier besteht für die Zukunft also noch weiterer Forschungsbedarf, da je nach angegebener Alternative die Verkehrssituation entweder entlastet oder zusätzlich belastet wird. Zudem ist es für einen Mobilitätswandel kaum ausreichend, neu am Markt verfügbare Fahrzeuge und deren Nutzer mit der aktuellen Verkehrssituation in den Städten sich selbst zu überlassen, sondern es sollten im besten Falle proaktiv Regeln aufgestellt werden, um ein möglichst reibungsloses Nebeneinander der Fahrzeuge zu ermöglichen und Anreize für den Umstieg auf EKF zu schaffen. Auf Basis der aktuellen Studien zur Integration der EKF in den Straßenverkehr können solche Regeln abgeleitet werden.

Neben den zahlreichen Vorteilen der elektrifizierten Kleinfahrzeuge bergen sie bei zunehmender Verbreitung auch Risiken hinsichtlich der Sicherheit des Fahrers und anderer Verkehrsteilnehmer und Herausforderungen bezüglich der Aufteilung des öffentlichen Raums auf EKF, Fahrräder, Fußgänger und konventionelle Fahrzeuge. Bislang wurden urbane öffentliche Straßen meist in drei Zonen eingeteilt, die sich in erster Linie an den unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Verkehrsteilnehmer orientieren. Fußgänger bewegen sich mit etwa vier bis sieben km/h über Fußwege, Fahrräder sind mit durchschnittlich 15-25 km/h auf Radfahrwegen unterwegs und in Zonen, die ausschließlich von Autos genutzt werden sollen, herrscht eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h bis 50 km/h (Zagorskis, & Burinskienė 2020: 274). Der öffentliche Raum muss nun allerdings mit neuen Verkehrsteilnehmern geteilt werden, die über heterogene Höchstgeschwindigkeiten verfügen.

Die seit Langem etablierte Aufteilung scheint mit dem Aufkommen von EKF, deren Höchstgeschwindigkeit an die eines Autos heranreichen kann, nicht mehr zeitgemäß. Derzeit sollen sich EKF in den meisten Ländern auf Radwegen oder auf der Fahrbahn bewegen, um Fußgänger nicht zu gefährden (Zagorskis, & Burinskienė 2020: 279). Dabei zeigen

Erkenntnisse aus der Forschung u. a., dass das Verkehrsaufkommen, die Breite des Radweges, die Populationsdichte, Abstandshalter zum konventionellen Verkehr und die Nähe zu LKW-Routen entscheidende Determinanten der Sicherheit und des Sicherheitsgefühls von Radfahrern sind (ebd.). Ähnliches ist für die Nutzung von EKF anzunehmen. In der Praxis verlaufen Radwege optimalerweise meist entlang ungenutzter Flussufer, Parks oder Gegenden mit natürlicher Umgebung (ebd.). Durch die Nutzung verschiedener Verkehrsmittel auf den Radwegen sollten diese nicht nur konzeptionell umgestaltet, sondern auch umbenannt werden (Cuffe 2018: 6).

Sollte in Zukunft eine große Anzahl von Menschen von konventionellen Fahrzeugen oder Fahrrädern auf EKF umsteigen, impliziert dies Probleme für die Infrastruktur und Raumaufteilung des Stadtgebietes, da Fahrradwege nun deutlich frequentierter werden. Damit einhergehend ist unter den derzeitigen Bedingungen mit einer Zunahme der Unfallgefahr zu rechnen. Evaluationen in Großstädten und Forschungen auf dem Gebiet der Fahrzeugsicherheit legen nahe, dass die Anzahl der Verletzungen an die Verbreitung der EKFs gekoppelt ist und damit ebenfalls zunimmt. Die Auswertung der Unfälle ergibt, dass die entstehenden Verletzungen teils schwer sind und häufig den Kopfbereich und die Extremitäten betreffen (Zagorskas, & Burinskienė 2020: 280). Mit den größten Gefahren ist dann zu rechnen, wenn sich Fußgänger, Radfahrer und Fahrer von EKF einen Weg teilen müssen (ebd.). Für Fußgänger ist die subjektiv wahrgenommene Gefahr umso höher, je geringer der Puffer zu Fahrzeugen ist und je schneller diese sich bewegen (Zagorskas, & Burinskienė 2020: 278).

Der Raum, der derzeit von konventionellen Fahrzeugen genutzt wird, kann in Zukunft so umorganisiert werden, dass er nur von öffentlichen Verkehrsmitteln, EKF und Fahrrädern genutzt werden darf. Voraussetzung hierfür ist eine ähnliche Geschwindigkeit der Verkehrsteilnehmer, sodass hierfür in Innenstädten eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h vorgeschrieben sein muss (ebd.). Wenn die örtliche Situation dies nicht zulässt, sollten sich EKF auf denselben Spuren bewegen dürfen wie öffentliche Verkehrsmittel (beispielsweise auf sogenannten Umweltspuren).

Für den Fall, dass sich EKF wie bislang weiter auf Radwegen bewegen, sollten diese in Zukunft bestenfalls in weitere Zonen bzw. Spuren unterteilt werden, die Fahrzeuge mit langsameren Geschwindigkeiten von EKF mit schnelleren Geschwindigkeiten trennen (Zagorskas, & Burinskienė 2020: 278). Allgemein wird gemäß Forschungsstand empfohlen, die Raumaufteilung entlang der Höchstgeschwindigkeiten der Fahrzeuge festzulegen, wobei auch die technischen Spezifikationen der Fahrzeuge wie beispielsweise Beschleunigung, Manövrierbarkeit und das Fahrverhalten berücksichtigt werden müssen (Zagorskas, &

Burinskienė 2020: 282). Alles in allem wird deutlich, dass die Verbreitung von EKF mit großen Herausforderungen für das Verkehrsmanagement verbunden ist, um ein harmonisches Miteinander zu ermöglichen und die Potenziale der Geräte auszuschöpfen.

## 4 Forschungsstand zur Sicherheit von EKF

Der Gesetzgeber setzt unterschiedlichen Fahrzeugklassen Leitplanken für einen sicheren und effizienten Betrieb in der Öffentlichkeit. Betrachtet man beispielsweise die Regularien für Fahrräder, so werden deren technische Voraussetzungen zur Teilnahme am Straßenverkehr genauestens geregelt. Auch der freigegebene Verkehrsraum kann variieren, sodass Rad fahrende Personen je nach Örtlichkeit am normalen Straßenverkehr teilnehmen oder eigens zur Verfügung gestellte Radwege benutzen können. Weitere Gegenstände einer Regulierung von Fahrzeugen können beispielsweise eine Helmpflicht, Höchstgeschwindigkeit, Versicherungs- und Kennzeichenpflicht, ein Mindestalter oder Fahrtrichtungsanzeiger sein (Bierbach et al. 2018: 11). Sicherheitsaspekte von EKF und entsprechende Forschungsprojekte sollen daher in diesem Kapitel thematisiert werden, um im Anschluss auf den derzeitigen Stand der Gesetzgebung in Deutschland einzugehen.

2018 wurde die „Untersuchung zur Elektrokleinstfahrzeugen“ veröffentlicht, die definiert, unter welchen Bedingungen EKF im Straßenverkehr sicher betrieben werden können. Matthias Bierbach et al. (2018) wurden in ihrer Rolle als Vertreter der Bundesanstalt für Straßenwesen damit beauftragt, einen Marktüberblick zu erstellen und eine Kategorisierung der bereits verfügbaren Fahrzeuge vorzunehmen. Hierfür wurden die Dimensionen der aktiven und passiven Fahrzeugsicherheit, des Nutzerverhaltens, der Risikobewertung und Verkehrsfläche herangezogen. Es wurden zehn auf dem Markt verfügbare EKF getestet, die verschiedene selbstbalancierende Fahrzeuge (Anwendung: sitzend oder stehend fahrbar), ein Skateboard sowie E-Roller und Sitzroller umfassen. Konkret wurden die Verzögerungen bei einer Bremsung gemessen sowie das Fahrzeugverhalten bei Ausweichmanövern, auf einer Rüttelstrecke und an einer Bordsteinkante. Auch die Balanceeigenschaften auf engem Raum und das Fahren auf Schlechtwegstrecken wurden untersucht (Bierbach et al. 2018: 20 f.).

Die wichtigsten Erkenntnisse dieser Untersuchungen bestehen darin, dass bezüglich Agilität und Ausweichverhalten Balancefahrzeuge die größten Probleme aufwiesen, da die für alle Fahrzeuge konstant gehaltene Anfahrgeschwindigkeit von 15 km/h beim Erreichen eines Parcours am deutlichsten reduziert werden musste (ebd.). Auch hinsichtlich des Bremsverhaltens konnten nicht alle Fahrzeuge die empfohlene Mindestverzögerung von 3,5 m/s<sup>2</sup> erfüllen. Selbstbalancierende Fahrzeuge hatten im Versuch die geringste Bremsverzögerung; zudem ist aufgrund der Bauweise eine Vollbremsung ohne Sturz so gut wie ausgeschlossen, da die Verlagerung des Körperschwerpunkts nur sehr eingeschränkt möglich ist (ebd.). Auch ist es bei Verzögerungen von mehr als 1 m/s<sup>2</sup> auf Skateboards unmöglich, während der Bremsung auf dem Fahrzeug stehen zu bleiben (ebd.). Ähnliches ist intuitiv bei der Verwendung sogenannter Hoverboards oder E-Boards zu erwarten. Neben den

fahrdynamischen Untersuchungen thematisieren die Autoren auch passive Sicherheitsaspekte wie das Tragen eines Fahrradhelms, das Nutzerverhalten und die in Anspruch genommene Verkehrsfläche (Bierbach et al. 2018: 21 ff.).

Zur Erfassung von Nutzungsverhalten wurde ein Versuch mit Probanden durchgeführt, deren Persönlichkeitsmerkmale mit weiteren Variablen mithilfe eines Fragebogens erfasst wurden. Die Versuchspersonen brauchten höchstens 15 Minuten Übung, um das Fahren auf den entsprechenden Fahrzeugen zu erlernen. Teils berichten die Testpersonen von Problemen in konkreten Fahrsituationen, die sie zu einem Anteil von 25% als „unangenehm“ oder „gefährlich“ einstufen (Bierbach et al. 2018: 72). Als Beispiel kann hier die Richtungsanzeige beim Abbiegen genannt werden, die ohne einen Fahrtrichtungsanzeiger per Handzeichen erfolgt, sodass das Fahrzeug während der Kurvenfahrt nur mit einer Hand bedient werden kann (Bierbach et al. 2018: 78).

Gefragt nach dem präferierten Verkehrsbereich wurde der Radweg am häufigsten genannt, auf dem sich die Personen offensichtlich am besten in den Verkehrsfluss einfügen konnten (ebd.). Das subjektive Ausmaß an Sicherheit fiel auf der Fahrbahn signifikant geringer aus. Der Gehweg wird bei langsameren Fahrzeugen oder innerorts ebenfalls bedingt genutzt (ebd.). Zudem wurden hohe Akzeptanzwerte bezüglich des Tragens von persönlicher Schutzausrüstung gemessen. Diese waren zwar bei Fahrradhelmen am höchsten, aber auch das Tragen von Handschuhen und Protektoren stößt auf Akzeptanz seitens der Versuchspersonen (Bierbach et al. 2018: 72). Die Einschätzung des Verletzungsrisikos sowie die maximal akzeptierte Geschwindigkeit und Bewertung der Kontrollierbarkeit schwankte deutlich zwischen den Fahrzeugen (Bierbach et al. 2018: 73).

Bierbach et al. (2018) teilen die Fahrzeuge anschließend zunächst auf Basis ihrer baubedingten Höchstgeschwindigkeit ein und verwenden die Kategorien K0, K1 und K2 (Bierbach et al. 2018: 32). Fahrzeuge in Kategorie K0 fahren mit einer maximalen Geschwindigkeit von 6 km/h in etwa so schnell wie die Schrittgeschwindigkeit eines Fußgängers. In die Kategorie K1 fallen Fahrzeuge mit einer Höchstgeschwindigkeit zwischen 6 und 20 km/h, die sich an der eines Fahrrads orientiert. K2 schließlich umfasst EKF mit der Höchstgeschwindigkeit von 25 km/h, was der Geschwindigkeit eines Mofas entspricht (ebd.).

Von einer Zulassung von K0-Fahrzeugen für den öffentlichen Straßenverkehr wird dringend abgeraten, da sie aufgrund ihrer geringen Geschwindigkeit hohes Konfliktpotenzial mit anderen Verkehrsteilnehmern bergen und kaum wissenschaftlich untersucht sind (Bierbach et al. 2018: 33). Bezüglich passiver Sicherheit wird eine Helmpflicht bei Geschwindigkeiten von mehr als 20 km/h empfohlen, während bis zu dieser Grenze lediglich die Empfehlung eines

Helms ausreicht (Bierbach et al. 2018: 35). Entsprechendes gilt für die vorgenommenen Kategorien K1 (Empfehlung) und K2 (Pflicht). K1-Fahrzeuge sollten auf Radwegen benutzt werden und nur im Ausnahmefall auf der Fahrbahn fahren, falls sie sich außerorts bewegen und kein Radweg vorhanden ist (Bierbach et al. 2018: 88). EKF der Kategorie K2 sollten aufgrund ihrer höheren Geschwindigkeit nur auf der Fahrbahn eingesetzt werden dürfen. Eine Nutzung von Radwegen soll nur dann erfolgen, wenn der Bereich durch ein Verkehrszeichen für K2-Fahrzeuge freigegeben ist.

Nach der Untersuchung der Formaggressivität der EKF kommt das Autorenteam zur Empfehlung, dass aufgrund von teils engen Verkehrssituationen und weitgehend ungeschützten anderen Verkehrsteilnehmern scharfe Kanten und überstehende Fahrzeugteile vermieden werden sollen (Bierbach et al. 2018: 45). Auch einem Einklemmen kann bereits beim Bau eines Fahrzeugs vorbeugend entgegengewirkt werden (ebd.). Für den sicheren Einsatz aller untersuchten Fahrzeuge werden lichttechnische Einrichtungen, ein Rückspiegel, ein Fahrtrichtungsanzeiger, eine Klingel und ein Haltegriff empfohlen (Bierbach et al. 2018: 88). Des Weiteren wird festgelegt, dass die EKF zudem über eine Abschaltvorrichtung verfügen müssen, die den Antrieb bei Kontaktverlust mit dem Fahrenden automatisch deaktiviert. Zwei voneinander unabhängige Bremssysteme sollen die permanente Kontrollierbarkeit des Fahrzeugs sicherstellen (Bierbach et al. 2018: 33). Hersteller sollten für EKF aller Kategorien verpflichtend Sicherheitsnachweise für die fahrdynamischen Anforderungen und die Stabilität des Fahrzeugs erbringen müssen (ebd.).

Hasegawa et al. (2018) führten zur Analyse der Wahrnehmung von EKF durch Fußgänger Experimente durch. Der Fokus lag dabei auf der Wahrnehmung der persönlichen Gefährdung in Situationen, in denen begrenzte Verkehrsräume durch Fußgänger und Fahrer von EKF gleichermaßen geteilt werden müssen. Das Experiment wurde von Februar bis März des Jahres 2017 am *Institute of Industrial Science* der Universität Tokio durchgeführt. Für den Versuch wurden 32 Probanden aus der Studierendenschaft rekrutiert, die hauptsächlich Bachelorstudenten waren und sich in 23 männliche sowie 9 weibliche Teilnehmerinnen und Teilnehmer im Alter von 19 bis 26 Jahren aufteilten. Um die Fahrten der EKF zu simulieren, wurden daneben vier erfahrene Fahrer der Fahrzeuge am Versuch beteiligt (Hasegawa et al. 2018: 258).

Hinsichtlich des Versuchsaufbaus sollten die Studenten bzw. Fußgänger in unterschiedlichen Situationen stehen bleiben und möglichst weder den Körper bewegen noch die Blickrichtung des Kopfes verändern. Die Fußgänger sollten in drei Szenarios frontal, seitlich oder rückwärtsgewandt zu einem herannahenden Segway stehen (Hasegawa et al. 2018: 259). Zudem wurde die Distanz zwischen Fahrzeug und Personen und die Geschwindigkeit des



herannahenden Fahrzeugs variiert: Zwischen Fußgängern und Segway wurden Abstände von 0,6, 0,8 und 1,0 Metern realisiert, die mit festgelegten Geschwindigkeiten von 6 und 10 km/h kombiniert wurden (ebd.). Auf das Setting eines Abstands von 0,6 Metern bei einer Geschwindigkeit von 10 km/h wurde mit Rücksicht auf die Sicherheit der Versuchspersonen verzichtet. Die professionellen Fahrer wurden angewiesen, mit möglichst konstanter Geschwindigkeit an den Versuchspersonen vorbeizufahren (ebd.). Zusammengefasst wurden also Distanz, Geschwindigkeit und Orientierung variiert, sodass eine zu analysierende Stichprobe von 64 Samples bzw. Szenarios vorlag (vgl. Abbildung 6).

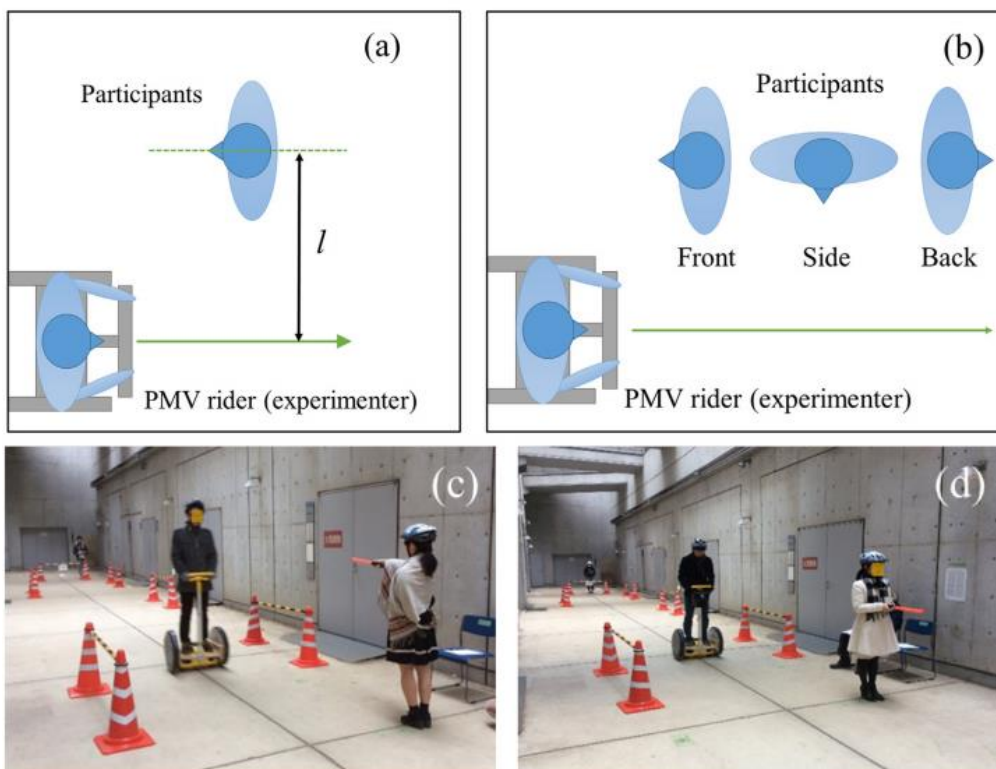


Abbildung 6: Versuchsaufbau. Quelle: Hasegawa et al. (2018): 259.

Im Anschluss sollten die Probanden einen Fragebogen ausfüllen, mit dessen Hilfe vor allem die subjektiv wahrgenommene Gefährdung durch die EKF evaluiert wurde (Hasegawa et al. 2018: 260). Mit den Angaben oder Daten aus den Fragebögen wurde wiederum ein Modell gespeist, mit dem sich der von Hasegawa et al. (2018) formulierte *Subjektive Danger Index (SDI)* errechnen lässt, der ein Index für ebendiese wahrgenommene Gefährdung ist. Die zwei wichtigsten Ergebnisse der Studie bestehen darin, dass zum einen die Distanz durch die Fußgänger realistischer eingeschätzt wird, wenn sich das EKF vor ihnen bewegt im Vergleich zu Situationen, in denen das EKF hinter den Probanden fährt. Zweitens nehmen Fußgänger vor ihnen fahrende Fahrzeuge als gefährlicher wahr als hinter ihnen befindliche EKF (Hasegawa et al. 2018: 256).

Demnach liefern diese Erkenntnisse erste Hinweise im Hinblick auf die Gestaltung der öffentlichen Infrastruktur, sollte eine zunehmende Nutzung von EKF durch die Politik gefördert werden. Getrennte Fahrbahnen, wie es bereits im optimalen Fall zwischen Fußgängern, Radfahrern und Autoverkehr praktiziert wird, werden die subjektive Gefährdungswahrnehmung daher voraussichtlich am effizientesten senken. Die Autoren schränken die Aussagekraft ihrer Studie allerdings insofern ein, dass die Varianzen der Wahrnehmungen zwischen den Probanden teilweise sehr hoch ausfallen, sodass sie ihre Ausführungen mit der Empfehlung weiterer Experimente abschließen (Hasegawa et al. 2018: 261).

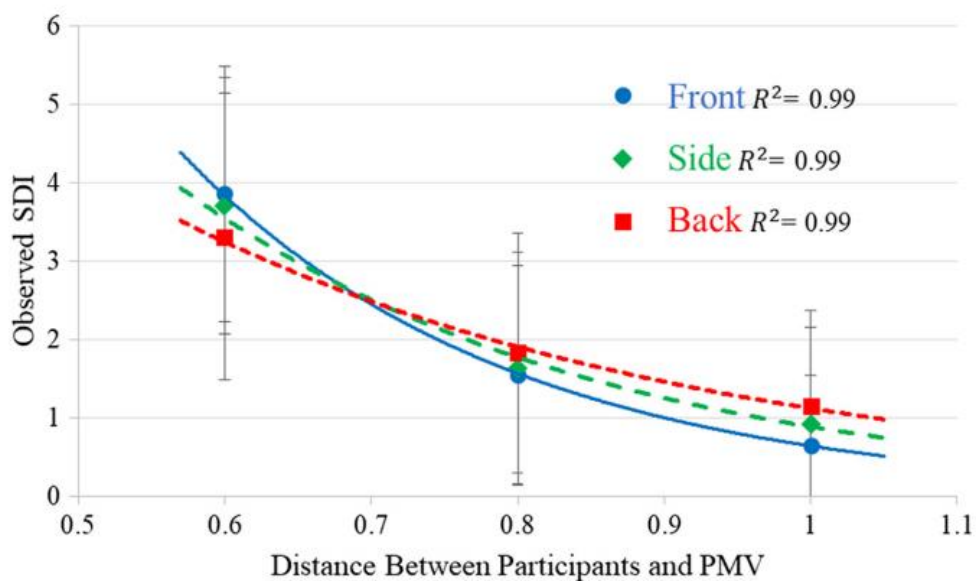


Abbildung 7: Beziehung zwischen Distanz und wahrgenommener Gefährdung. Quelle: Hasegawa et al. (2018): 261.

Svensson et al. (2014) beschäftigen sich in ihrer Untersuchung wiederum mit möglichen zukünftigen Unfallszenarios unter Beteiligung von *Small Electric Vehicles*, mit denen allerdings nicht in erster Linie EKF angesprochen werden, sondern elektrisch betriebene Autos, die extrem leicht sind und nach hinten und vorne nur einen geringen Überstand vorweisen (Svensson et al. 2014: 51). Auch in diesen Fahrzeugen ist allerdings in der Regel Platz für fünf Personen. Einzelne Untersuchungsergebnisse können jedoch auch für den sicheren Betrieb von EKF relevant sein, da in Relation zu konventionellen Fahrzeugen ähnliche sicherheitsbezogene Schwächen vorliegen.

Die Autoren rechnen mit einer starken Zunahme der Fahrzeuge aufgrund des kleinen Fußabdrucks, der sie für die Nutzung in Städten attraktiv macht (Svensson et al. 2014: 51). In der Konsequenz werden auch die heutigen Unfallszenarios Veränderungen unterworfen sein, die neue Schutzszenarios bedingen. Mithilfe von virtuellen Testmethoden wurde in diesem

Zusammenhang bereits abgeleitet, dass Fahrerassistenzsysteme hohes Potenzial vorweisen, einen großen Teil der prognostizierten Unfälle zu verhindern. Der Schutz durch derartige Sicherheitssysteme ist allerdings in solchen Fällen höher, in denen eine Kollision zwischen längs ausgerichteten Fahrzeugen verhindert werden soll. Die Prävention seitlicher Kollisionen verlangt demnach eine höhere Aufmerksamkeit bezüglich geeigneter Sicherheitssysteme (Svensson et al. 2014: 51).

In ihrer eigenen Untersuchung wurden schließlich Daten mit zwei Herangehensweisen ausgewertet. Zum einen wurden aktuelle Autounfälle analysiert, um deren Relevanz für künftige Szenarios abzuleiten. Zum anderen wurde ein *Subset* von Unfalldaten aus städtischen Fällen herangezogen, in dem der Gewichtsunterschied der an Unfällen beteiligten Fahrzeuge hoch war (Svensson et al. 2014: 52). Der Fokus lag hier auf der Analyse des Effekts von Fahrerassistenzsystemen. Svensson et al (2014) kommen zum Schluss, dass bis zum Jahr 2025 alle konventionellen Fahrzeuge mit Fahrerassistenzsystemen ausgestattet sein werden, während dies bei den betrachteten Kleinfahrzeugen nur zu etwa 50% der Fall sein wird (ebd.). Somit erwarten sie bei Frontalzusammenstößen eine Reduktion der Aufprallgeschwindigkeit um durchschnittlich 18 km/h, wenn beide beteiligten Fahrzeuge über Sicherheitssysteme verfügen sogar um 30 km/h (ebd.).

Die fehlende Marktdurchdringung durch Schutzsysteme vor seitlichen Aufprallszenarios sollte in den kommenden Jahren durch technologische Entwicklungen kompensiert werden. Erste Prototypen für diese Systeme liegen beispielsweise seitens Mercedes vor (Svensson et al. 2014: 52). Auch hinsichtlich der Akzeptanz möglicher Nutzer muss geschlussfolgert werden, dass eine Reduktion bestimmter Kollisionstypen voraussichtlich für eine breite Marktdurchdringung der Fahrzeuge nicht ausreichen wird, da sich die Öffentlichkeit an das mittlerweile hohe Sicherheitsniveau konventioneller Fahrzeuge gewöhnt hat und die Toleranz für Abstriche im Hinblick auf die persönliche Sicherheit vermutlich nur gering ist (ebd.).

Eine besondere Rolle unter den EKF nehmen aufgrund ihres bereits heute vorliegenden hohen Verbreitungsgrads Pedelecs ein. Die Unfallgefahr ist hier durch die im Vergleich zu konventionellen Fahrrädern realisierten hohen Geschwindigkeiten und den dadurch verlängerten Bremsweg höher. Neben den Folgen hoher Geschwindigkeiten spielt nicht zuletzt auch die Wahrnehmung durch andere Verkehrsteilnehmer eine Rolle, die Fehleinschätzungen in Hinsicht auf die wahrgenommene Geschwindigkeit der Fahrräder mit elektrischen Antrieben unterliegen können.

## 4.1 Sicherheit bei elektrifizierten Fahrrädern

Scaramuzza et al. (2015) führten für die Schweizer Beratungsstelle für Unfallverhütung eine umfangreiche Literaturanalyse durch, die sie mit einer Fahrerbefragung und einem Experiment zur Geschwindigkeitseinschätzung ergänzten. Auch in der Schweiz ist der Verbreitungsgrad hoch, nachdem allein in den Jahren 2011 bis 2013 150.000 E-Bikes (25%) oder Pedelecs verkauft (75%) wurden. Das Durchschnittsalter der Käufer liegt in der Schweiz bei 53,5 Jahren, sodass ähnlich wie in Deutschland vor allem ältere Personen von der elektrischen Unterstützung Gebrauch machen (Scaramuzza et al. 2015: 17). Tendenzen zeigen allerdings, dass sich das Durchschnittsalter senkt und nach und nach auch jüngere Personen auf ein elektrisches Fahrrad umsteigen. So hängt das bisherige Durchschnittsalter auch entscheidend mit den Unfallcharakteristika zusammen, was im Folgenden genauer erläutert wird.

Die Literaturanalyse verfügt über die Schwäche, dass sich bislang nur wenig wissenschaftliche Literatur mit dem jungen Forschungsgebiet beschäftigt. In Studien zur Fahrgeschwindigkeit von elektrischen Fahrrädern wird ermittelt, dass sich die Fahrzeuge mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 14 km/h bewegen und somit um 6% bis 23% schneller als konventionelle Fahrräder (Scaramuzza et al. 2015: 17). Auch die Variation der Geschwindigkeiten auf einer Wegstrecke unterliegt starken Schwankungen, wobei ein Großteil des Weges eben mit einer höheren Geschwindigkeit zurückgelegt wird als mit Rädern, die nur mit Muskelkraft bewegt werden. Höhere Geschwindigkeiten werden vor allem von jüngeren Fahrern und von Besitzern schnellerer E-Bikes realisiert, die eine Geschwindigkeit von bis zu 45 km/h erreichen (Scaramuzza et al. 2015: 18).

Beobachtet man das Verhalten der Fahrer bei höheren Geschwindigkeiten, so bringen diese mehr Überholvorgänge und damit eine höhere Anzahl von Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern mit sich (Scaramuzza et al. 2015: 18). Ungeklärt ist in diesem Zusammenhang, ob auch die mentalen Anforderungen für den Fahrer hierdurch steigen. Keine Unterschiede im Verhalten zwischen Fahrern von Fahrrädern und Fahrern elektrischer Fahrräder konnten dagegen in Bezug auf regelwidriges Verhalten gefunden werden (ebd.). Die Helmtragequote ist unter Fahrern elektrischer Fahrräder allerdings zumindest in der Schweiz höher, sodass ein Bewusstsein für die mit den höheren Geschwindigkeiten verbundenen Unfallrisiken zu herrschen scheint. Einen Helm tragen entsprechend 69% der E-Bike- bzw. Pedelecfahrer, aber nur 43% der Fahrradfahrer (ebd.).

Die beste Datenquelle für Unfallanalysen stellen derzeit die polizeilich registrierten Unfälle unter Beteiligung von elektrischen Fahrrädern dar. Trotzdem ist mit einer höheren Dunkelziffer zu rechnen, da die Einschätzung von Unfallmerkmalen bei der Unfallaufnahme subjektiv

variieren kann (Scaramuzza et al. 2015: 19). Im Hinblick auf die Unfallhäufigkeit wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen Fahrrädern und Pedelecs bzw. E-Bikes gefunden. Auch existieren keine signifikanten Differenzen bezüglich der Anzahl und Art der Konflikte mit anderen Verkehrsteilnehmern, wie es im Rahmen der Untersuchung mithilfe von Videofahrten dokumentiert wurde (Scaramuzza et al. 2015: 18). Die Analyse der Verletzungsschwere wiederum steht vor der Herausforderung, dass vorhandene Forschungsarbeiten heterogen bezüglich der verwendeten Methoden sind.

Unter gewissen Unsicherheiten kann trotzdem geschlussfolgert werden, dass Unfälle mit elektrischen Rädern ein höheres Risiko bergen, behandlungsbedürftige Verletzungen davon zu tragen (Scaramuzza et al. 2015: 18). Auf der anderen Seite zeigen Analysen, die nur die Verletzungsschwere von Behandelten erfassen, keine signifikanten Unterschiede (ebd.). Die höhere Anzahl schwerer Unfälle kann gemäß Polizeistatistik auch mit den im Schnitt älteren Fahrern zusammenhängen, die aufgrund ihrer körperlichen Konstitution schlichtweg vulnerabler bzw. verletzungsanfälliger sind als jüngere Altersgruppen (ebd.). Demnach ist in Bezug auf die Verletzungsschwere noch kein eindeutiges Fazit möglich.

Deutlicher ist allerdings die Schlussfolgerung, dass Alleinunfälle ohne Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer der häufigste Unfalltyp sind, wobei die Alleinunfälle häufiger bei elektrischen als bei konventionellen Rädern auftreten (Scaramuzza et al. 2015: 19). Zu untersuchen ist, ob dieser Unterschied auf das Fahrverhalten der Radfahrer oder auf die Wahrnehmung anderer Verkehrsteilnehmer zurückzuführen ist. Die Untersuchung von Unfällen unter Beteiligung anderer Verkehrsteilnehmer zeigt, dass Radfahrer häufig unverschuldet in Unfälle verwickelt werden, weil von rechts einmündende Fahrzeuge die Vorfahrt nicht gewähren oder diese in Kreisverkehrssystemen nicht berücksichtigt wird (ebd.).

Die Analyse der Fahrzeugtechnik fiel größtenteils zufriedenstellend aus. So traten Probleme hauptsächlich bei konventionellen Rädern auf, die z. B. mithilfe eines Nachrüstsets nachträglich mit einem Elektromotor ausgestattet wurden (Scaramuzza et al. 2015: 18). Vorhandene Bremssysteme oder der Fahrradrahmen sind unter Umständen den höheren physikalischen Anforderungen bei höheren Durchschnittsgeschwindigkeiten nicht gewachsen. Auch bestimmte Brems- und Antriebskonzepte verursachten teilweise Probleme, sodass der Motor trotz gestoppter Tretbewegung nachläuft oder beim initialen Treten nur verzögert einsetzt (ebd.). Ebenfalls problematisch sind im Hinblick auf den Schwerpunkt des Fahrzeugs falsch platzierte Motoren und Batterien, sodass ein zu leichtes Vorderrad bei Kurvenfahrten ausbrechen kann (ebd.).

Im Zuge einer Fahrerbefragung sollten zudem psychologische Komponenten des Fahrverhaltens untersucht werden (Scaramuzza et al. 2015: 19 f.). Hierfür wurde ein Modell berechnet, das mithilfe von sieben Prädiktoren bzw. Determinanten eine Vorhersage des Fahrverhaltens ermöglicht (Scaramuzza et al. 2015: 19). Da die Prädiktoren mithilfe einer Befragung erfasst werden, handelt es sich hier allerdings nicht um ein objektiv gemessenes Fahrverhalten, sondern um das Selbstberichtete. Eine Mehrheit der befragten Personen ist sich demnach bewusst, dass die höheren Fahrgeschwindigkeiten mit längeren Bremswegen und damit mit einer möglichen Fehleinschätzung durch andere Verkehrsteilnehmer einhergehen (Scaramuzza et al. 2015: 19). Die mögliche These, dass die Häufigkeit der Unfälle auf ein mangelndes Gefahrenbewusstsein der Radfahrer zurückgeht, muss daher angezweifelt werden. Verkannt wird dagegen oft die Tatsache, dass Radfahrer sich häufig ohne Beteiligung Anderer in Unfälle verwickeln (ebd.).

Zusammengenommen hängen laut Studie vor allem vier zentrale persönliche Einflussfaktoren mit dem selbstberichteten Fahrverhalten zusammen: Zunächst spielt das Gefahrenbewusstsein hinsichtlich der gefahrenen Geschwindigkeit eine Rolle. Auch die Varianz in einem Gefühl der Unverletzbarkeit ist mit einem veränderten Fahrstil korreliert. Die subjektiv empfundene Kontrollierbarkeit, die sich zum einem auf das Rad bezieht und zum anderen auf die gefahrene Geschwindigkeit, ist ebenfalls mit anderen Outcomes in Bezug auf das Fahrverhalten assoziiert (Scaramuzza et al. 2015: 19).

Überraschend bzw. paradox sind auf den ersten Blick teilweise die Richtungen der Zusammenhänge. So fahren Personen, die sich der höheren Geschwindigkeit bewusst sind, in der Regel weniger vorsichtig. Wer sich außerdem in einem höheren Maß unverletzbar fühlt, fährt sicherheitsorientierter als jene, die sich als verletzlicher bezeichnen. Die ebenfalls berücksichtigten Kontrollvariablen des Geschlechts, des Alters und der Fahrerfahrung zeigen, dass Frauen, ältere Personen, Wenigfahrer oder jene Personen, die bereits vor der Anschaffung des elektrischen Rads wenig Fahrrad gefahren sind, über ein vorsichtigeres Fahrverhalten verfügen (ebd.).

Ein Experiment sollte die Gefahren evaluieren, die mit einer möglichen Fehlwahrnehmung durch andere Verkehrsteilnehmer einhergeht (Scaramuzza et al. 2015: 19 f.). Hierfür wurden verschiedene Hypothesen formuliert, die mittels eines Versuches bestätigt werden sollten. Zunächst wird vermutet, dass Fahrer von Kraftfahrzeugen die Geschwindigkeit von Fahrrädern unterschätzen, die von links herannahen (Scaramuzza et al. 2015: 20). Zusätzlich wird angenommen, dass diese Unterschätzung bei herannahenden elektrischen Rädern stärker ausgeprägt ist als bei konventionellen Rädern (ebd.). Drittens wird angenommen, dass die Beurteilung der Geschwindigkeit aufgrund der Tatsache zur Herausforderung wird, dass das

Erscheinungsbild der Radfahrer nicht zwingend mit der Geschwindigkeit zusammenhängt (ebd.). So wird vermutet, dass bei älteren herannahenden Personen von den Fahrern der Kraftfahrzeuge keine hohen Anfahrgeschwindigkeiten erwartet werden (ebd.).

Der Versuchsaufbau gestaltet sich so, dass am Fahrbahnrand sitzende Versuchspersonen, die die Fahrzeuglenker simulieren sollen, die Geschwindigkeit von einspurigen Fahrzeugen einschätzen sollten, die sich von links nähern (Scaramuzza et al. 2015: 20). Somit handelt es sich um eine typische Verkehrssituation, in der einem auf der Vorfahrtsstraße befindlichen Fahrzeug vor dem Einmünden die Vorfahrt gewährt werden muss. Die Versuchspersonen sollten nach Durchführung des Versuchs den Fahrzeugtyp, das Alter, das Geschlecht und vor allem die Geschwindigkeit der vorbeifahrenden Fahrzeuge einschätzen und auf einem Fragebogen notieren (Scaramuzza et al. 2015: 20).

Die Ergebnisse zeigen, dass die Geschwindigkeit unabhängig vom Fahrzeugtyp unterschätzt wird, von einer Fehleinschätzung also konventionelle Räder ebenso betroffen sind wie elektrifizierte Räder (Scaramuzza et al. 2015: 20 f.). Ein wesentlicher Einflussfaktor für das Ausmaß der Unterschätzung ist dabei die Geschwindigkeit selbst, da diese bei 25 km/h und 40 km/h eine deutlich höhere Differenz aufweist als bei 15 km/h (Scaramuzza et al. 2015: 20). In Hinsicht auf das Erscheinungsbild der Radfahrenden wurde ermittelt, dass eine höhere und leicht nach hinten versetzte Sitzposition mit einer geringeren Einschätzung der gefahrenen Geschwindigkeit einhergeht (ebd.). Ein plausibles Erklärungsmuster für diesen Mechanismus ist die Erwartungshaltung der Fahrer von Kraftfahrzeugen, die bei leichter aussehenden Tretbewegungen und einer entspannteren Körperhaltung des Radfahrers von einer geringen Fahrgeschwindigkeit ausgehen. Insgesamt zeigen sich also keine signifikanten Risikounterschiede zwischen Fahrrädern und Pedelecs oder E-Bikes. Die genannte höhere Unfallschwere ist demnach derzeit vor allem auf das Alter der Nutzer zurückzuführen.

Die Untersuchung schließt mit Forderungen zur Prävention von Unfällen auf Basis der Untersuchungsergebnisse ab. So müssen weitere In-Depth-Analysen Mechanismen bei Unfällen unter Beteiligung von elektrischen Rädern offenlegen, was ein feinmaschiges Monitoring der Unfallhergänge voraussetzt (Scaramuzza et al. 2015: 21). Auf der Basis der bisherigen Forschungsergebnisse können Fahrer bereits heute im Hinblick auf die Besonderheiten von elektrischen Rädern im Rahmen von Kampagnen und Fahrkursen sensibilisiert werden. Dies gilt auch für die Fahrer konventioneller Kraftfahrzeuge, die auf eine mögliche Unterschätzung der Geschwindigkeit und auf die Häufung von Unfällen an Verkehrsknotenpunkten hingewiesen werden müssen. Bestehende Normen müssen ebenso überprüft werden wie die Eignung der Straßeninfrastruktur für die Realisierung höherer Durchschnittsgeschwindigkeiten (Scaramuzza et al. 2015: 21).

Mit dem Fokus auf die Sicherheitstechnik muss die Weiterentwicklung von Helmen vorangetrieben werden, die bei Kollisionen mit höheren Geschwindigkeiten einen ausreichenden Schutz bieten müssen. Einheitliche Sicherheitsstandards bei der Zertifizierung von Pedelecs und E-Bikes sichern ein möglichst hohes Sicherheitsniveau bereits beim Kauf solcher Fahrzeuge (Scaramuzza et al. 2015: 21).

Mit dem Abschluss des Kapitels wird also deutlich, dass sicherheitsbezogene Überlegungen in Bezug auf den Betrieb von EKF aller Art vor allem weiterer Forschung bedürfen. Eine präventive Regulierung durch die beteiligten Institutionen kann nur auf der Basis solider Forschungsergebnisse erfolgen, um die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten. Nur ein im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen gleichwertiges Sicherheitsgefühl der Gesellschaft kann zudem die Akzeptanz zur Nutzung der Fahrzeuge erhöhen und somit für ein effizienteres Verkehrsmanagement sorgen. Dies ist unter Umständen nicht immer gegeben, wie nicht nur die Forschungsergebnisse zeigen, sondern auch die mediale Berichterstattung über Brandfälle von Hoverboards, die während der Benutzung plötzlich Feuer fangen.



## 5 Rechtliche Situation in Deutschland

Das Straßenverkehrsgesetz definiert Kraftfahrzeuge als „Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Bahngleise gebunden zu sein“ (StVG). Hiermit wird deutlich, dass EKF unter die Definition fallen und in dieser Hinsicht gewöhnliche Kraftfahrzeuge darstellen. Die konkrete Betriebserlaubnis ist jedoch an weitere Faktoren gebunden, sodass heute nur wenige EKF diese Anforderungen erfüllen (Bierbach et al. 2018: 9). Zum Jahr 2018 war lediglich die Nutzung selbstbalancierender EKF reguliert, die den meisten unter dem Begriff „Segway“ bekannt sind – benannt nach dem bekanntesten Hersteller dieser Verkehrsmittel (ebd.). Von EKF abgegrenzt betrachtet der Gesetzgeber elektrifizierte Formen des Fahrrads, die ebenfalls im Straßenverkehrsgesetz definiert werden (StVG). Rechtlich gehören E-Bikes demnach zwar zu Kraftfahrzeugen, allerdings erfahren sie eine gesonderte juristische Behandlung. Daneben existieren vor dem Gesetz „besondere Fortbewegungsmittel“ wie Rollstühle, Kinderwagen und Rollschuhe, die nicht als Fahrzeuge gelten und daher weder auf Radwegen noch auf der Fahrbahn verwendet werden dürfen (Bierbach et al. 2018: 12). Die derzeit von verschiedensten Herstellern angebotenen Fahrzeuge stellen den Gesetzgeber daher vor die Herausforderung, auf einen sich dynamisch entwickelnden Markt für EKF adäquat zu reagieren.

Vor allem die stark ansteigende Nutzung von Elektro-Tretrollern und die damit einhergehende Rechtsunsicherheit und mediale Aufmerksamkeit haben die Bundesregierung im Jahr 2019 zur Verabschiedung der Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eFKV) bewogen. Tatsächlich entspricht die kürzlich verabschiedete Verordnung zu großen Teilen den Empfehlungen der Forschung von Matthias Bierbach et al. (2018). EKF im Sinne der Verordnung sind

„Kraftfahrzeuge mit elektrischem Antrieb und einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht weniger als 6 km/h und nicht mehr als 20 km/h, die folgende Merkmale aufweisen:

1. Fahrzeug ohne Sitz oder selbstbalancierendes Fahrzeug mit oder ohne Sitz,
2. eine Lenk- oder Haltestange von mindestens 500 mm für Kraftfahrzeuge mit Sitz und von mindestens 700 mm für Kraftfahrzeuge ohne Sitz,
3. eine Nenndauerleistung von nicht mehr als 500 Watt, oder von nicht mehr als 1400 Watt, wenn mindestens 60 Prozent der Leistung zur Selbstbalancierung verwendet werden. Die Nenndauerleistung ist nach dem Verfahren gemäß DIN EN 15194:2018-112 oder den Anforderungen der Regelung Nr. 85 der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (UNECE) – Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Verbrennungsmotoren oder elektrischen Antriebssystemen für den Antrieb von Kraftfahrzeugen der Klassen M und N hinsichtlich der Messung der Nutzleistung und der höchsten 30-Minuten-Leistung elektrischer Antriebssysteme (ABl. L 323 vom 7.11.2014, S. 52) zu bestimmen,
4. eine Gesamtbreite von nicht mehr als 700 mm, eine Gesamthöhe von nicht mehr als 1400 mm und eine Gesamtlänge von nicht mehr als 2000 mm und
5. eine maximale Fahrzeugmasse ohne Fahrer von nicht mehr als 55 kg.“ (eFKV)

Mit dieser Regulierung wird per Definition eine große Bandbreite verschiedener EKF erfasst. In hoher Übereinstimmung mit den Forschungsergebnissen von Bierbach et al. (2018) sind zwei voneinander unabhängige Bremssysteme, Beleuchtung, seitlich angebrachte Reflektoren und die Möglichkeit eines akustischen Signals vorgeschrieben. Auch das Tragen eines Helms wird empfohlen, was durch die per Definition festgelegte Höchstgeschwindigkeit den Empfehlungen für K1-Fahrzeuge folgt (s. o.). Die verpflichtende Nutzung von Radwegen wurde mit der Verordnung ebenfalls umgesetzt. Gehwege können nur dann benutzt werden, wenn das neue Zusatzzeichen „Elektrokleinstfahrzeuge frei“ dies ausweist.



*Abbildung 8: Zusatzzeichen "Elektrokleinstfahrzeuge frei" gemäß §10 Abs. 3 eKFV. Quelle: Bundesgesetzblatt, DIN-Normen*

Künftig besteht weiterer Regulierungsbedarf für in der Verordnung nicht angesprochene EKF, da hier noch immer Rechtsunsicherheit herrscht. Nicht behandelt werden in der eKFV z. B. Fahrzeuge, die eine Höchstgeschwindigkeit von mehr als 20 km/h erreichen und im o. g. Forschungsprojekt der Kategorie K2 zuzuordnen sind. Die in der Verordnung genannte Voraussetzung der Lenk- oder Haltestange schließt zudem die Mitbetrachtung von Hoverboards und elektrisch betriebenen Skateboards aus. Fahrzeuge der Kategorie K0, die gemäß Empfehlungen aus der Forschung nicht für den öffentlichen Verkehr zugelassen werden sollten, werden von der Verordnung ebenfalls nicht berührt.

Die Verordnung brachte ein geteiltes Medienecho mit sich. Während der TÜV die umfangreichen technischen Vorgaben begrüßte, hält der Bundesverband eMobilität sie für zu umfangreich (Rabenstein 2018). Dem TÜV zufolge geht die vorgeschriebene Versicherungspflicht über das Ziel hinaus. Ihre Gleichsetzung mit anderen Kraftfahrzeugen ermöglicht zudem keine Mitnahme in den Verkehrsmitteln des ÖPNV. Der Betrieb von elektrisch angetriebenen Skateboards im öffentlichen Raum ist weiterhin verboten, wie der TÜV ebenfalls kritisiert (ebd.). Damit wird bereits ein Jahr nach dem Inkrafttreten der Verordnung deutlich, dass für den Gesetzgeber weiterer Handlungsbedarf besteht.

## 6 Ausgangssituation des Verkehrssektors in Deutschland

Die mit der massenhaften Nutzung von Individualverkehrsmitteln einhergehenden Probleme wachsen stetig. Etwa 20% des Ausstoßes an Kohlendioxid in der Bundesrepublik Deutschland geht auf den Verkehrssektor zurück. Die Urbanisierung der Gesellschaft und die damit einhergehende zunehmende Dichte in den Städten sorgt für eine starke Luftverschmutzung, Platzmangel und Lärm, von dem sich laut Befragungen mehr als die Hälfte der Bürgerinnen und Bürger gestört fühlt (Kagermann 2017: 357). Es wird außerdem angenommen, dass sich der Trend zur Urbanisierung fortsetzt und bis zum Jahr 2050 weltweit von 54% auf 66% steigt (Goll & Knüttgen 2017: 391). Vereinzelt ist in diesem Zusammenhang von einem drohenden Verkehrsinfarkt zu lesen (Kagermann 2017: 357).

Der Allgemeine deutsche Automobilclub (kurz: ADAC) hat für das Jahr 2019 eine jährliche „Staubilanz“ ermittelt und kommt zum Ergebnis, dass die Gesamtlänge aller Staus dem 35,5-fachen des Erdumfangs entspricht (Dümmer 2020). Es bildeten sich 708.500 Staus mit einer Gesamtlänge von 1,4 Millionen Kilometern, wobei die staureichsten Regionen in Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg zu verorten sind (ebd.). Die Tatsache, dass KFZ in Deutschland im Schnitt 95% des Tages ungenutzt parken und öffentlichen Raum belegen, unterstreicht das Optimierungspotenzial im Sinne eines effizienteren Verkehrsmanagements, was sich auch in der Forderung nach einem Ausbau des ÖPNV durch den ADAC niederschlägt (vgl. Abbildung 9; ebd.). Nur ein Bruchteil des Bestands an PKW ist im durchschnittlichen Wochenverlauf in Bewegung, sodass die große Masse von Autos am Arbeitsplatz oder vor der eigenen Haustür geparkt wird. Individuell betrachtet werden Fahrzeuge im Schnitt 23 Stunden am Tag geparkt und nur eine Stunde bewegt (Randelhoff 2016).

Die Zahl der Neuzulassungen von KFZ in Deutschland ist seit den 1950er Jahren stetig gestiegen. Die größten Zuwächse fallen dabei auf PKW und Zweiräder, während die Zulassungszahlen anderer Fahrzeuge seit Jahren stagnieren. Im Schnitt kommen hierzulande auf 1.000 Einwohner 692 Kraftfahrzeuge (KBA 2020). Von den im Jahr 2012 zugelassenen 42,5 Millionen PKW waren drei Viertel mit einem Benzin- und etwa 11 Millionen Fahrzeuge mit einem Dieselmotor ausgestattet (Peters et al. 2012: 56). Zum selben Zeitpunkt betrug die Anzahl elektrisch angetriebener Fahrzeuge nur etwa 4.500 (ebd.). Zum heutigen Stand ist der Gesamtbestand an KFZ auf über 64 Millionen gestiegen (KBA 2020).

Anteil Pkw aus Privathaushalten nach Standort im Wochenverlauf

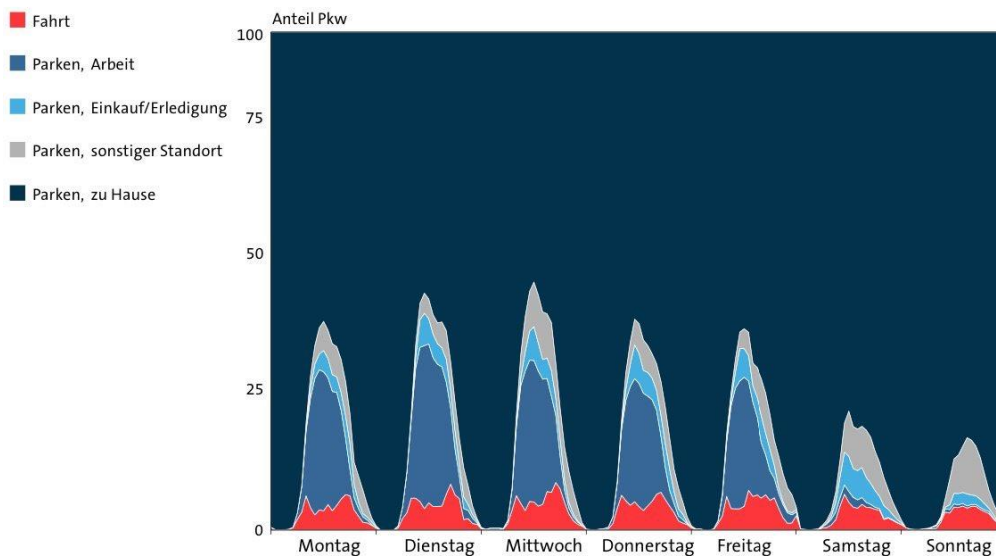


Abbildung 9: PKW nach Standort im Wochenverlauf. Quelle: Neißendorfer 2020.

Gleichzeitig sind starke Zuwachsraten hinsichtlich der Elektromobilität zu erkennen, die im Jahr 2019 im Vergleich zum Vorjahr 54,4% beträgt (KBA 2020). Dennoch sind im derzeitigen Fahrzeugbestand der Bundesrepublik Deutschland nur etwa 80.000 KFZ mit Elektromotor zugelassen, sodass noch großes Potenzial für eine weitere Verbreitung vorhanden ist (ebd.). Auch die etwa 4,4 Millionen zugelassenen Krafträder bergen Potenzial für einen Elektroantrieb (Peters et al. 2012: 57). Die politischen Rahmenbedingungen, ein wachsendes Umweltbewusstsein in der Bevölkerung, steigende Preise für fossile Kraftstoffe und technische Entwicklungen im Bereich der E-Mobilität sorgen also den Zulassungszahlen zufolge für ein gesellschaftliches Umdenken (Peters et al. 2012: 239).

Ein massenhafter Umstieg auf Elektromobilität wäre allerdings nur eine teilweise Lösung der o. g. gesellschaftlichen Herausforderungen. Verkehrsexperten rechnen damit, dass der hohe Anteil von Individualverkehr in den nächsten Jahren zugunsten multimodaler Verkehrssysteme zurückgedrängt wird, in denen der Gesamtweg in Wegeanteile zerfällt, die mit dem jeweils sinnvollsten Verkehrsmittel zurückgelegt werden (Peters et al. 2012: 68 f.). Kommunen steigern daher ihre Bemühungen, die Bürgerinnen und Bürger zu einem Umstieg auf alternative, umweltfreundlichere und effizientere Alternativen zu bewegen. Der Stand dieser Entwicklungen lässt sich am sogenannten Modal Split ablesen. Diese Verteilungen geben an, wie „hoch der Anteil am Verkehrsaufkommen bezogen auf die Zahl der zurückgelegten Wege der Verkehrsmittel Auto, ÖPNV, Fahrrad sowie Fußverkehr (...) ist“ (Bundestag 2017: 4). Nachdem für die Ermittlung von Modal Splits keine Registerdaten vorliegen, wurden die Anteile durch eine direkte Befragung von Städten ermittelt (ebd.). Tabelle 4 ermöglicht eine Übersicht über die Anteile in ausgewählten Landeshauptstädten. Deutlich wird die weiterhin dominante

Rolle motorisierten Individualverkehrs, der bei mindestens 32% liegt und in Wiesbaden sogar mehr als die Hälfte der Wegeanteile ausmacht. Eine Verbesserung der angespannten Verkehrssituation ist nur zu erwarten, wenn der Anteil der übrigen Mobilitätsformen zunimmt. Die Kombination verschiedener Verkehrsmittel wächst zwar stetig, bewegt sich derzeit aber dennoch auf einem niedrigen Niveau (Bundestag 2017: 5).

Einzelne Städte wie Bremen und Hannover liegen mit einem Radverkehrsanteil von 19% bzw. 25% deutlich über dem Durchschnitt und sorgen damit für eine Entlastung der Situation im Allgemeinen. Auch konstatiert der wissenschaftliche Dienst des Bundestages, dass Großstädte hinsichtlich des Umweltschutzes auf einem guten Weg sind, da Fußwege und das Fahrrad „immer mehr das neue ‚Nahverkehrsmittel‘ für Wege von bis zu fünf Kilometern sind“ (Bundestag 2017: 5). Unter den EKF erfreuen sich zudem E-Bikes großer Beliebtheit, deren Verkaufszahl bereits seit Jahren steigt und allein im Jahr 2019 etwa 1,1 Millionen betrug (Jahns 2019). Auf den Gesamtbestand von 75 Millionen Fahrrädern fallen mittlerweile 4,5 Millionen E-Bikes (ebd.).

*Tabelle 4: Modal Split in ausgewählten Landeshauptstädten. Quelle: Bundestag 2017: 9.*

Stadt	Fahrrad (in %)	Zu Fuß (in %)	ÖPNV (in %)	MIV (in %)
Berlin	13,0	28,0	27,0	32,0
Hamburg	12,0	28,0	18,0	42,0
München	17,4	27,2	22,8	32,5
Stuttgart	5,0	26,0	24,0	45,0
Düsseldorf	12,5	31,4	22,1	33,6
Bremen	25,0	21,0	14,0	40,0
Dresden	16,0	21,8	21,0	41,3
Hannover	19,0	25,0	19,0	38,0
Wiesbaden	3,0	25,0	15,0	56,0

Pro Tag werden in Deutschland durchschnittlich 3,4 Wege mit einer Gesamtstrecke von 39 Kilometern zurückgelegt, sodass ein Weg im Schnitt 12 Kilometer Strecke umfasst (Bundestag 2017: 5). Auf absolut 162 Millionen Wegstrecken werden 2,5 Milliarden Personenkilometer zurückgelegt, die entsprechend der Modal Splits in Tabelle 4 hauptsächlich auf motorisierten Individualverkehr fallen (ebd.).

Die zukünftige Rolle der EKF ist abgesehen vom Potenzial des Fahrrads bzw. E-Bikes bei kürzeren Wegstrecken noch relativ wenig erforscht. Die beispielsweise in den vergangenen Monaten massenhaft zugenommene Verbreitung von E-Scootern kann die Verkehrssituation nur dann entlasten, wenn die Geräte nicht nur zum Freizeitvergnügen, sondern als umweltfreundliches Fortbewegungsmittel andere Verkehrsmittel mit fossilem Antrieb ersetzen. In Städten wie Berlin oder München befinden sich derzeit bereits mehrere Tausende der E-Roller (Brandt 2019). Allerdings deuten Analysen und Befragungen darauf hin, dass die E-

Roller derzeitig eher zum Vergnügen gemietet werden (ebd.). Der Ressourcenverbrauch zur Herstellung dieser Fahrzeuge kann nach heutigem Stand demnach nicht durch eine nachfolgende Einsparung von fossilen Kraftstoffen überkompensiert werden und verschärft auf diese Weise die Umweltproblematik zusätzlich. Für andere Formen von EKF sind unter den derzeitigen Voraussetzungen und politischen Rahmenbedingungen ähnliche Mechanismen anzunehmen, da die Fahrzeuge über ähnliche technische Voraussetzungen verfügen.

## 6.1 Zustand der Verkehrsinfrastruktur

Doch nicht nur die derzeit genutzten Fahrzeuge und Interaktionen bei der Nutzung der Infrastruktur, sondern auch der Zustand der Infrastruktur selbst ist für einen Mobilitätswandel von Bedeutung. Der Zustand des deutschen Verkehrswegenetzes ist seit Jahrzehnten von einem hohen Investitionsrückstand geprägt. Den eigentlich jährlich erforderlichen 7,2 Milliarden Euro Bedarf für die Instandhaltung des Straßensystems stehen tatsächliche Ausgaben weit darunter gegenüber (Kopper et al. 2013: 659). Ein Substanzverfall ist jedoch nicht nur aufgrund mangelnder Investitionen, sondern vor allem auf ein hohes Wachstum des LKW-Verkehrs zurückzuführen, der konjunkturell bedingt ist. Dies kann jedoch keinen Grund für den derzeitigen Zustand der Straßen darstellen, da diese Entwicklung prognostiziert und der Politik bekannt war (ebd.).

Die Belastung der Straße durch LKW steigt mit der vierten Potenz der Achslast, sodass eine Achse mit neun Tonnen Gewicht die Straße um den Faktor 5.000 stärker belastet ein PKW mit 0,9 Tonnen Achslast (Kopper et al. 2013: 660). Dem steht eine Besteuerung gegenüber, die die Belastung der Straße außer Acht lässt, sodass schwere LKW mit vier Achsen je nach Schadstoffklasse nur ein bis zwei Cent mehr abführen müssen als solche mit zwei oder drei Achsen (ebd.). Verglichen mit dem Ausland besteht hier ein erheblicher Spielraum für Steuererhöhungen; in der Schweiz und in Österreich werden für vergleichbare LKW 40 bis 90 Cent pro Kilometer fällig (ebd.). Eine Anpassung der Steuer oder die Ausweitung der LKW-Maut auf Bundesstraßen könnte diese Investitionslücke schließen.

Zudem besteht ein strukturelles Problem politischer Planung, da die Realisierung bzw. Auswahl von Projekten zur Realisierung nicht entlang von Kosten-Nutzen-Analysen, sondern anhand von Aushandlungsprozessen zwischen Bund und Ländern erfolgt (Kopper et al. 2013: 662). Hierdurch werden teilweise dringende Projekte an stark frequentierten Abschnitten verschoben, um Projekte mit einem geringeren Nutzen vorzuziehen. Der schlechte Zustand der Straßen wird somit mehr und mehr zur Belastung für die Volkswirtschaft, da die Kosten für Raumüberwindung steigen, indem sich Zeit-, Betriebs- und Unsicherheitskosten erhöhen

(Kopper et al. 2013: 663). In der Folge nehmen Wachstum und Wohlstand ab. Das Ausland löst diese Probleme durch die o. g. Orientierung der Besteuerung an der Straßenbelastung, sodass auch Deutschland sein System zugunsten einer „Nutznießerfinanzierung“ umgestalten kann (ebd.). Als Nebeneffekt kann von einer Lenkungswirkung hinsichtlich der Nutzung nachhaltigerer Verkehrsmittel im Sinne einer Senkung der externen Kosten des Verkehrssektors profitiert werden.

Obwohl die Verkehrsinfrastruktur Deutschlands hier nur am Rande thematisiert werden kann, ist sie von hoher Bedeutung auch für einen Wandel der Mobilität. Hohe Investitionen, die in den kommenden Jahren ohnehin getätigt werden müssen, um die Straßensubstanz zu erhalten, könnten in diesem Zuge so verwendet werden, dass die Infrastruktur auf die neuen Verkehrsteilnehmer auf EKF bereits vorbereitet ist. Dass solche Voraussetzungen geschaffen werden müssen, zeigt das Kapitel, das sich mit den Sicherheitsaspekten von EKF beschäftigt. Teilweise muss hier geschlussfolgert werden, dass EKF eine andere Infrastruktur benötigen als heute zur Verfügung steht.

## 7 Gefahren durch eine zunehmende Nutzung von Fahrzeugen mit Elektroantrieb

Die in Deutschland marktbeherrschende Stellung hinsichtlich Entwicklung und Produktion von Fahrzeugen mit konventionellen Antrieben wird mit der zunehmenden Verbreitung von Elektromobilität zum Risiko. Schlüsselfaktor für den wirtschaftlichen Erfolg von Autokonzernen wird in Zukunft weniger die Vorherrschaft auf dem Markt für Verbrennungsmotoren sein, sondern die Entwicklung von Batteriezellen, Steuerungselektronik, Software und Kühlung als relevanteste Komponente der elektrischen Mobilität (Kagermann 2017: 361). Die ökologischere Einstellung der Kunden reduziert die Nachfrage nach Mobilität derweil nicht, sondern verschiebt sie in Richtung anderer Verkehrsangebote und Elektromobilität (Goll & Knüttgen 2017: 402). Die erfolgreiche Produktion von Batteriezellen kann für Autohersteller also neue Märkte erschließen. Der Autohersteller BMW beispielsweise bietet in seiner Motorradsparte ein EKF für die Stadt an, das den bekannten E-Rollern sehr ähnlich ist (BMW 2020). Es ist transportabel und lässt sich so in öffentliche Verkehrsmittel mitnehmen und erfüllt mit einer Spitzengeschwindigkeit von 20 km/h die Voraussetzung für eine offizielle Zulassung (ebd.).

Obwohl die Regierung das Ziel formulierte, bis 2020 zum Leitanbieter und Leitmarkt für Elektromobilität zu werden, sind in der Entwicklung der genannten Technologien derzeit Japan, Korea und China dominant (ebd.). In den Niederlanden und in Norwegen stammt unter den Elektroautos ein Anteil von 50%, in den USA ein Anteil von 20% aus Deutschland (ebd.). Erste Erfolge sind also zu verzeichnen, obwohl die Entwicklungen und Innovationen aus dem Ausland die deutsche Automobilbranche unter Druck setzen. Patentanalysen zeigen, dass deutsche Hersteller in einigen Bereichen (Leistungselektronik und Elektromotoren) der E-Mobilität gut positioniert sind, aber die zu erwartende Wachstumsschwäche in den 2020er Jahren unter den derzeitigen Bedingungen kritisch ist (Peters et al. 2012: 243). Anfang 2020 verfügte der US-Hersteller Tesla zum ersten Mal über einen höheren Börsenwert als Volkswagen (Beutelsbacher 2020). Die Bemühungen hinsichtlich Forschung und Entwicklung müssen daher zur Sicherung des Wirtschaftsstandorts deutlich intensiviert werden. Die Positionierung der Automobilbranche in den Jahren 2020 bis 2030 wird für die Zukunft entscheidend sein (Peters et al. 2012: 244).

Von der deutschen Automobilbranche sind 774.000 Menschen direkt und weitere Beschäftigte indirekt abhängig, zu denen beispielsweise die Logistikbranche mit etwa 2,8 Millionen Beschäftigten gehört. Der Automarkt generiert dabei einen Umsatz von 370 Milliarden Euro im Jahr 2014 und damit den höchsten aller Industriezweige, während in der Logistikbranche etwa 222 Milliarden Euro umgesetzt werden (Kagermann 2017: 359). Damit wird das



volkswirtschaftliche Risiko deutlich, dem der Wirtschaftsstandort ausgesetzt ist, wenn Umsatz und Beschäftigung zurückgehen. Auf der anderen Seite verfügen die neuen Technologien über ein enormes wirtschaftliches Potenzial, von dem deutsche Hersteller profitieren können. Auf diese Potenziale wird in einem gesonderten Kapitel eingegangen.

## 7.1 Gefahren für Zuliefererbetriebe des Anlagen- und Maschinenbaus

Schlick et al. (2011) fassen die Herausforderungen und Chancen für den deutschen Anlagen- und Maschinenbau entlang zweier Fallstudien zusammen, die sich zum einen auf die Produktion von Elektromotoren und zum anderen auf die Herstellung von Batterien beziehen. E-Mobilität betrachten sie als wichtigsten Treiber für Umbrüche in der Branche. Gleichzeitig ist ein starkes Wachstum der Automobilmärkte zu beobachten, das vor allem aus den wirtschaftlich stark wachsenden Regionen der BRICS-Saaten stammt (Brasilien, Russland, Indien, China und Südafrika) (Schlick et al. 2011: 8).

Auf der anderen Seite muss das Wachstum aufgrund des problematischen Verbrauchs fossiler Ressourcen und dem damit einhergehenden Ausstoß von CO<sup>2</sup> nachhaltig gestaltet werden. Der Kraftstoffverbrauch oder Ausstoß des Klimagases kann mithilfe neuer Technologien zwar um etwa ein Drittel gesenkt werden, allerdings würde auch dies nicht ausreichen, um die gesetzlichen Vorgaben der meisten Staaten zu erfüllen (Schlick et al. 2011: 8). Der Verbrennungsmotor als heutige zentrale Komponente der Markenidentität der Automobilhersteller wird künftig durch andere Technologien ersetzt werden (Schlick et al. 2011: 10).

Neben der Weiterentwicklung konventioneller Antriebe muss sich die Branche daher vor allem auf die konsequente Entwicklung alternativer Antriebe konzentrieren; entweder batterieelektrisch oder auf Basis von Brennstoffzellen. In dieser Entwicklung besteht die Strategie der Automobilindustrie, wodurch auch mit starken Umbrüchen in den Zuliefererbetrieben bzw. im Maschinen- und Anlagenbau zu rechnen ist. Voraussichtlich werden bis 2025 die Hälfte aller neu zugelassenen PKW ganz oder teilweise mit elektrischen Antrieben ausgestattet sein (Schlick et al. 2011: 10). Die wichtigsten Erfolgsfaktoren für Marktteilnehmer auf diesem Gebiet werden darin bestehen, die Reichweite der Batterien zu erhöhen und gleichzeitig die Batteriekosten zu senken (ebd.). Hier kommt dem Anlagen- und Maschinenbau eine wichtige Rolle zu, da etwa die Hälfte der Herstellungskosten von Batterien auf die Fertigungskosten zurückgehen.

Eine bisherige Trennlinie zwischen Automobilherstellern und Zulieferern bestand bis heute in den Kernkompetenzen der jeweiligen Partner. Bislang stellten Zulieferer in der Regel nicht die Produktion von Motoren zur Verfügung, damit Automobilhersteller diese externalisieren

können. Diese klassische Rollenverteilung könnte in Zukunft aufgeweicht werden, weil Automobilhersteller weder über technologische Erfahrung noch über Kapazitäten verfügen, um kurzfristig in die Herstellung von E-Motoren einzusteigen (Schlick et al. 2011: 11). In dieser neuen Aufgabenallokation bestehen Risiken und Chancen zugleich. Für etablierte wie neue Marktteilnehmer öffnet sich ein Gelegenheitsfenster, Teil der neu entstehenden Wertschöpfungsketten zu werden und in ihnen Fuß zu fassen (ebd.).

Die Höhe des Risikos für die deutschen Hersteller und Zulieferer lässt sich erahnen, wenn man die unterschiedliche Bewertung der Technologien durch Unternehmen und deren Anteil an der Wertschöpfungskette heranzieht. Die derzeitige Herausforderung für die Hersteller besteht vor allem in der Klärung der Frage, wie weit man in die Entwicklung und Produktion dieser Komponenten einsteigen will (Schlick et al. 2011: 11). Tabelle 5 ist zu entnehmen, wie unterschiedlich diese Bewertung allein unter den drei großen Herstellern Daimler, Volkswagen und Ford ausfällt.

Grob formuliert bestehen die möglichen Strategien nun in den Alternativen, alle Komponenten selbst herzustellen oder die Komponenten Dritter in eigene Systeme zu integrieren (ebd.). Ausschlaggebend für diese Entscheidung sind vor allem die zu erwartenden Verkaufszahlen von elektrisch angetriebenen Fahrzeugen. Schließlich rentiert sich eine eigene Produktion nur dann, wenn die Verkaufszahlen über einer bestimmten Schwelle liegen (ebd.). Werden hohe Investitionen in Forschung, Entwicklung und Produktion der neuen Komponenten getätigt, auf die keine hohe Nachfrage folgt, ist mit fundamentalen Liquiditätsproblemen der Unternehmen zu rechnen.

Anschließend stellt sich die Frage nach der strategischen Positionierung der Zuliefererbetriebe, die sich zum heutigen Zeitpunkt in starker Abhängigkeit der Automobilhersteller befinden. Unklar ist, ob Autohersteller in Zukunft Kunden oder Zulieferer werden und ebenfalls, wie heterogen sich der Markt entwickeln wird (Schlick et al. 2011: 12). Prognosen gehen davon aus, dass durch die steigende Technologie-Diversität zahlreiche neue Marktteilnehmer um Verkäufe konkurrieren (ebd.).

Langfristig wird außerdem erwartet, dass sich die Produktionsstätten der Technologien für Elektromobilität, die sich derzeit fast ausschließlich in Asien befinden, regionaler und damit in der Nähe der Fahrzeugmärkte ansiedeln (Schlick et al. 2011: 13). Abbildung 10 verdeutlicht die Faktoren, die aller Voraussicht nach eine zunehmende Regionalisierung der Produktion nach sich ziehen werden. So würden u. a. lange Transportwege einen hohen Grad von Kapitalbindung mit sich ziehen, das für längere Zeiträume nicht liquide zur Verfügung steht.

Tabelle 5: Wertschöpfungsanteile bei E-Motoren und Batterien (Beispiele). Quelle: Schlick et al. 2011: 11.

	Batterie-Lieferanten	E-Motor-Lieferanten
<b>Daimler</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigene Produktion von Zellen und vollständigen Batterien im Joint Venture mit Evonik</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Eigene Produktion von Motoren für Hybrid-Fahrzeuge im Werk in Berlin</li> <li>- JV mit Bosch zur Produktion von Elektromotoren für EV-s/Full-Hybrids</li> </ul>
<b>Volkswagen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Batteriezellen werden von Sanyo produziert</li> <li>- Montage der vollständigen Batterien wird von VW selbst übernommen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher Nutzung von Zulieferern für Kleinserien-Fahrzeuge</li> <li>- Zukünftig eigene Produktion im Werk von Kassel geplant</li> </ul>
<b>Ford</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ford bezieht Batteriezellen und vollständige Batterien von Sanyo, LG, Chem und Johnson Controls-Saft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzung einer Reihe von Zulieferern, unter anderem Magna und Toshiba</li> <li>- Aktuell keine eigene Produktion</li> </ul>

Dass diese Prognosen bereits teilweise eintreffen, zeigt eine Ankündigung durch den CEO des erfolgreichen Unternehmens Tesla. Der Hersteller für Elektrofahrzeuge Elon Musk kündigte im Rahmen einer Preisverleihung in Berlin im Jahr 2019 an, dass Tesla die nächste „Gigafactory“ innerhalb des Berliner Agglomerationsraums errichten will (Lambert 2019). Der Bau soll bereits im Jahr 2021 abgeschlossen sein, um dann die ersten Modelle *Model Y* und *Model 3* fertigen zu können (ebd.). Das Unternehmen plant die Produktion von 500.000 Fahrzeugen pro Jahr mithilfe von 10.000 neu zu schaffenden Arbeitsplätzen allein an diesem Standort (ebd.). Musk löst hiermit die Herausforderung, die auch in Europa immer beliebter werdenden Fahrzeuge in regionaler Nähe zum Absatzmarkt herzustellen. Die bisherigen drei Produktionsstätten in Nevada, New York und Shanghai werden somit um einen Standort erweitert, der erstmalig in Europa liegt.



Abbildung 10: Faktoren der Regionalisierung von Fertigungsstandorten. Quelle: Schlick et al. (2011): 13

Herausforderungen für Zulieferer bzw. den deutschen Maschinen- und Anlagenbau bestehen also im Hinblick auf die Veränderung der Kundenstruktur und der Änderung regionaler Märkte. Veränderungsbedarf für die Branche besteht zum Beispiel in einer Internationalisierung der Absatzmärkte und der damit verbundenen Notwendigkeit, auch global Kunden gewinnen und betreuen zu können (Schlick et al. 2011: 13). Die bereits seit Jahrzehnten gewohnten Kontakte zwischen Zulieferern und der Automobilbranche werden demnach zugunsten einer heterogenen Akteursstruktur abgelöst, die eine dynamische Anpassung und Flexibilität für Unternehmen notwendig macht (Schlick et al. 2011: 33).

Auch die Produktion in den Betrieben muss sich auf neue Anforderungen einstellen, da für die Herstellung von elektrischen Antrieben neue Technologien benötigt werden, die für die Automobilindustrie bislang unwichtig waren. Hier ist zum Beispiel die Beschichtung von Batterieelektroden zu nennen, sodass die Technologie sich von der bislang bedeutsamen Metallverarbeitung in Richtung von Methoden des Mischens und Beschichtens entwickeln muss (Schlick et al. 2011: 14). Eine Fokussierung auf neue Produktionsmethoden impliziert gleichzeitig, dass der wirtschaftliche Erfolg von Zulieferern nicht mehr allein von den konjunkturellen Schwankungen der Automobilbranche abhängig ist (ebd.).

Das Beispiel der Batterieproduktion zeigt, dass die Automobilindustrie weiterhin hohes Interesse an regionalen Herstellern haben muss, da für die Unternehmen ein Abfluss von Fachkräften und Know-how ins Ausland nicht gewünscht sein kann (Schlick et al. 2011: 25 f.). Für das Geschäftsfeld wird mit einem hohen Marktwachstum gerechnet, sodass der Markt in den nächsten Jahren mehrere Milliarden Euro umfasst (Schlick et al. 2011: 26). In der Folge entsteht Bedarf nach Maschinen für ihre Herstellung, die dann angenommen bzw. nachgefragt werden, wenn die Produktionstechnologien wirtschaftlich sind. Die Autoren schlussfolgern daher, dass immense Bemühungen und Investitionen in die Forschung und Entwicklung solcher Produktionstechnologien getätigt werden, um nicht den Anschluss an die neuen Unternehmen der Branche zu verlieren (Schlick et al. 2011: 33).

Dem gegenüber sind die Anlageinvestitionen zur Herstellung von Elektromotoren vergleichsweise gering (Schlick et al. 2011: 33 f.). Im Gegensatz zur Batterienachfrage wird der Absatzmarkt für E-Motoren allerdings auch nur zweistellige Millionenbeträge erreichen, während es bei den Batterien 200 Millionen Euro sind (Schlick et al. 2011: 35). Sollten sich E-Motoren jedoch als dominante Antriebsform von Kraftfahrzeugen durchsetzen, ist auch hier ein attraktives Geschäftsfeld in Abhängigkeit der Fertigungstiefe, des Volumens und des Grades der Automatisierung zu erwarten (ebd.). Ein künftiges Geschäftsfeld könnte beispielsweise in der Produktion besonders leistungsstarker Elektromotoren liegen (Schlick et al. 2011: 32).

Es wurde deutlich, dass der wirtschaftliche Erfolg bzw. Misserfolg an zahlreiche Bedingungen geknüpft ist und Unternehmen ihre Entscheidungen derzeit noch unter vielen Unsicherheiten treffen müssen. Ein Worst-Case-Szenario bestünde darin, dass enorme Entwicklungskosten mit dem Ziel einer wettbewerbsfähigen E-Mobilität getätigt werden, die aufgrund der möglichen Durchsetzung einer anderen Antriebstechnologie, beispielsweise der Brennstoffzelle, nicht wieder kompensiert werden können. Im Sinne einer Senkung dieses Risikos werden Unternehmen kurzfristig Partnerschaften eingehen, bis eine fundiertere Entscheidungsgrundlage für Investitionen in eigene Entwicklungen vorliegen, wie es beispielsweise bei den o. g. Automobilherstellern bereits praktiziert wird (Schlick et al. 2011: 33).

Eine mögliche Strategie kann aber eben auch darin bestehen, sich nicht nur auf den konventionellen Fahrzeugmarkt zu konzentrieren, sondern die Bemühungen um eine bedeutende Rolle ebenfalls zunehmend genutzter EKF zu intensivieren. Im Sinne einer Diversifizierung der Investitionen können auch so Investitionsrisiken gemindert werden.



Abbildung 11: Marktentwicklung E-Mobility und Auswirkungen auf den Maschinenbau. Quelle: Schlick et al. 2011: 33

Erst in den nächsten Jahren wird die Branche sich nach dem Aufkommen zahlreicher Player konsolidieren und festere Strukturen herausbilden (Schlick et al. 2011: 35). Noch ist jedoch unklar, zu welchem Zeitpunkt hiermit gerechnet werden kann (vgl. Abbildung 11). Schlick et al. (2011) bezeichnen die derzeitige Ausgangsposition für deutsche Maschinen- und Anlagenbauer vorsichtig als „nicht umfassend ideal“, da zwar umfassende technologische Kompetenzen vorliegen, jedoch kaum Ressourcen für eine erfolgreiche Kommerzialisierung der Technologien (Schlick et al. 2011: 33).

## 7.2 Kritische Rohstoffe

Doch nicht nur in Bezug auf wirtschaftliche Aspekte muss mit Risiken gerechnet werden, sondern auch bezüglich bestimmter Rohstoffe, die für die Produktion konventioneller Fahrzeuge noch nicht notwendig waren. Ohnehin hat sich die Entnahme mineralischer und metallischer Rohstoffe seit den 1990er Jahren verdoppelt, sodass eine mögliche Knappheit nicht nur bei fossilen Energiequellen eine Rolle spielt (Peters et al. 2012: 207). Ein weiteres Problem besteht in der hohen Abhängigkeit von Importen, da derzeit vor allem Schwellenländer wie China die notwendigen Rohstoffe zur Verfügung stellen können (Peters et al. 2012: 208).

Wird ein Fahrzeug der Größe eines konventionellen PKW elektrisch angetrieben, so besteht ein Mehrbedarf von etwa drei Kilogramm Lithium als Ladungsträger der Lithium-Ionen-Batterie sowie mehrerer Kilogramm Nickel, Mangan und Kobalt (Peters et al. 2012: 209). Weitere benötigte Rohstoffe sind u. a. Neodym und Dysprosium (ebd.). Laut Europäischer Union werden dabei Kobalt, Seltene Erden sowie Platingruppenmetalle als für die Elektromobilität notwendige Rohstoffe knapp. Nicht für jeden dieser Rohstoffe bestehen zudem bereits Methoden des Recyclings (Peters et al. 2012: 209).

Prognosen sehen trotz der stark ansteigenden Nachfrage in Bezug auf den größten Teil der Rohstoffe keine Gefahr der globalen Verknappung, rechnen jedoch mit einem hierdurch bedingten starken Preisanstieg (Peters et al. 2012: 210). Die globale Nachfrage auf der einen und die Konzentration auf wenige Lieferländer auf der anderen Seite befördern diese Marktmechanismen (ebd.). Der Bedarf an neuen Methoden der Wiederverwertung ist daher hoch. So wurde festgestellt, dass die Konzentration kritischer Rohstoffe auf Mülldeponien teils höher ist als in den Abbaugebieten der Erde. Ein neues Geschäftsfeld kann sich daher durch sogenanntes *Waste Mining* ergeben (Peters et al. 2012: 215).

Nicht zuletzt müssen auch die sozialen Verhältnisse und Arbeitsbedingungen in den Herkunftsländern bedacht werden. Laut Amnesty International hat sich bspw. das Elend arbeitender Kinder in den Minen des Kongos, die das für Elektrofahrzeuge wichtige Kobalt abbauen, in den letzten Jahren durch die Trends in der westlichen Welt verstärkt (Köllner 2017). Laut Schätzungen handelt es sich mittlerweile um eine Anzahl von 40.000 Kindern allein in kongolesischen Minen (ebd.). Die Menschenrechtsorganisation fordert daher von profitierenden Konzernen, Verantwortung für diese Zustände zu übernehmen und Strategien für Transparenz und Nachhaltigkeit zu entwickeln (ebd.).

## 8 Möglicher gesellschaftlicher Nutzen

Ihre im Vergleich zum Auto deutlich geringeren laufenden Kosten für Instandhaltung, Versicherung und Zulassung macht EKF für Stadtbewohner, die kurze Distanzen zurücklegen müssen, theoretisch zu einer Alternative zu konventionellen Mobilitätsformen. In dichtbesiedelten Gebieten, in denen ohnehin Parkplatzschwierigkeiten herrschen, können die Fahrzeuge mit geringeren Tür-zu-Tür-Fahrzeiten ihre Stärken ausspielen. Voraussetzung hierfür ist die Anpassung der Verkehrsinfrastruktur, sodass die neuartigen Verkehrsteilnehmer sich sicher fühlen und die Hemmschwelle zu einem Umstieg auf die Geräte sinkt. Durch den geringeren Raumbedarf ist der Nutzer in der Lage, die Parkplatzsituation in Großstädten zu entschärfen. Auch in ländlichen Regionen können EKF dort hilfreich sein, wo der Weg zum nächsten ÖPNV-Haltepunkt zu lang ist, um ihn zu Fuß zurückzulegen (Hasegawa et al. 2018: 449).

Die Auswirkungen der Elektromobilität würden zahlreiche gesellschaftliche Bereiche tangieren, zu denen neben den direkten Auswirkungen auf den Verkehr auch Aspekte der Volkswirtschaft und der Nachhaltigkeit kommen. Berechnet man den volkswirtschaftlichen Schaden, der durch Staus entsteht, so reichen die Schätzungen je nach Berechnungsmethode für Deutschland von 10 bis 100 Milliarden Euro im Jahr (SWR 2020). In eine solche Berechnung fließt der Verlust von Arbeitszeit und die Verschwendung von Kraftstoffen mit ein. Bei einem vier Kilometer langen Stau warten alle Autofahrer in diesem Stau zusammengenommen insgesamt 2.800 Stunden, wobei ein Stundenlohn von 35 Euro zugrunde gelegt wird und somit allein dieser Stau einen Schaden von 100.000 Euro verursacht (ebd.). Einschränkend muss hinzugefügt werden, dass es sich bei diesen Staus vor allem um jene handelt, die auf Autobahnen entstehen und daher nicht direkt durch die Nutzung von EKF kompensiert werden können. Indirekt aber ist bei einer zunehmenden Nutzung von EKF, die sich teils in Bus oder Bahn mitnehmen lassen, die Einschätzung verbunden, dass sich dadurch mehr Menschen zum Umstieg auf den ÖPNV bewegen lassen und so auch die angespannte Situation auf Autobahnen entschärft werden könnte.

### 8.1 Neue Geschäftsmodelle in einem multimodalen Verkehrssystem

Wirtschaftliche Chancen ergeben sich außerdem für neue Geschäftsmodelle, die auf der Nutzung der EKF basieren. Hier sind zunächst die Hersteller von EKF zu nennen. Hersteller konventioneller Fahrzeuge haben teils damit begonnen, sich auf den neuen Markt einzustellen, so z. B. BMW (s. o.). Will man den Anschluss an die internationalen Entwicklungen nicht verlieren, so muss die Entwicklung und Produktion von EKF in Deutschland jedoch stark intensiviert werden. Vier von fünf weltweit gekauften E-Scootern stammen von der

chinesischen Firma Ninebot, die in dem Land drei Fabriken unterhält (Manager Magazin 2018a). Die hohe Nachfrage nach den Geräten seitens der Sharing-Anbieter sorgt für einen Boom auf dem Markt, von dem derzeit vor allem Asien profitiert. Das Unternehmen wurde so erfolgreich, dass es den ersten bekannten Hersteller für selbstbalancierende Fahrzeuge, Segway, übernommen hat (Manager Magazin 2018a). Eine Chance für deutsche Hersteller könnte allerdings die teils als mangelhaft betrachtete Sicherheit der Scooter sein. So haben sich wegen einiger Brandfälle Sharing-Anbieter teilweise vom Unternehmen abgewendet, was derzeit noch mit vier weiteren Anbietern von E-Rollern kompensiert wird, die sich allerdings ebenfalls in China befinden (ebd.). Die hohen deutschen Sicherheitsstandards könnten also ein Alleinstellungsmerkmal gegenüber den derzeit erhältlichen Modellen darstellen.

Sharing-Anbieter bewegen sich in einer Branche, die ebenfalls stark vom Aufkommen der EKF profitiert. US-Startups wie Lime haben sich innerhalb von kürzester Zeit zu milliardenschweren Unternehmen entwickelt (Manager Magazin 2018b). Auch in Deutschland wurden noch vor der Regulierung durch das Bundesverkehrsministerium mehrere Millionen Euro in Startups dieser Art investiert. Beispielhaft können hier das Berliner Unternehmen Tier Mobility oder GoFlash genannt werden, die E-Scooter zunächst in Wien aufstellten und mittlerweile überall in Deutschland anbieten (Manager Magazin 2018b). Durch die Konkurrenz aus den USA, die ebenfalls auf den deutschen Markt drängt, müssen die Unternehmen inzwischen in einigen Städten an Vergabeverfahren teilnehmen, was für deutsche Anbieter eine Chance darstellt (ebd.). Synergieeffekte wären hier durch die Verwendung von EKF aus deutscher Herstellung denkbar.

Auch andere Branchen können potenziell von der Nutzung multimodaler Verkehrskonzepte profitieren, in denen Teilstrecken mit den jeweils sinnvollsten Verkehrsmitteln zurückgelegt werden. Einige solcher Kombinationen von Individual- mit öffentlichem Verkehr werden bereits heute genutzt und sind unter den Begriffen *Park-and-ride* oder *Bike-and-ride* bekannt. So könnte bei einer Kombination verschiedener Fortbewegungsmittel die Nachfrage nach öffentlichem Personennahverkehr oder nach Fahrzeugen von Sharing-Anbietern steigen. Diese Anbieter befinden sich bereits seit längerer Zeit auf dem Markt, wurden jedoch erst in den vergangenen Jahren dank zunehmender Beliebtheit sichtbar: Ende 2017 waren bereits mehr als zwei Millionen Deutsche Kunden bzw. Mitglieder der Unternehmen (Canzler & Knie 2018: 7).

Auch die Taxibranche steht aufgrund des Mobilitätswandels vor Umbrüchen, sodass z. B. der US-Fahrdienst-Anbieter Uber ein immenses Wachstum verzeichnet und in Nordamerika zum präferierten Fortbewegungsmittel wurde (ebd.). Weitere Unternehmen stellen Plattformen zur Verfügung, auf denen man sein privates Fahrzeug zum Verleih an andere anbieten kann.



Größtenteils handelt es sich bei den genannten Anbietern allerdings um urbane Phänomene, da noch etwa 90% der Fahrten auf dem Land mit dem eigenen Auto zurückgelegt werden (ebd.). Deutlich wird jedoch der sich dynamisch entwickelnde Markt für Mobilität, der neue Geschäftsmodelle und somit Potenzial für wirtschaftliches Wachstum abseits der Produktion von konventionellen Fahrzeugen für individuelle Mobilität bietet.

## 8.2 Umwelt und Nachhaltigkeit

Ein zentraler Ausgangspunkt für das Vorantreiben der EKF ist die heutige Umweltsituation. Ein wesentlicher Nachteil von Verbrennungsmotoren besteht darin, dass der Wirkungsgrad bei Teillast gering ist, sodass bei konstant geringen Geschwindigkeiten ein erheblicher Teil der gespeisten Energie in z. B. Form von Wärme verloren geht (Pehnt et al. 2007: 3). Große Hoffnungen sind daher mit einer möglichen Kompensation durch neue Technologien verbunden, zu denen die zunehmende Elektrifizierung des Verkehrssektors gehört, der heute zum überwiegenden Teil für die Probleme mit der Belastung durch Schmutzpartikel, Stickstoffdioxid und Lärm verantwortlich ist (Pehnt et al. 2007: 5). Zur Abschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen dieses Wandels müssen neben dem Vergleich physikalischer Eigenschaften verschiedener Antriebsformen auch die sogenannten externen Kosten hinzugezogen werden, zu denen Klimafolgen, Luftverschmutzung, Verkehrssicherheit, Lärm und die bereits genannten Stauereffekte gehören (Peters et al. 2012: 167).

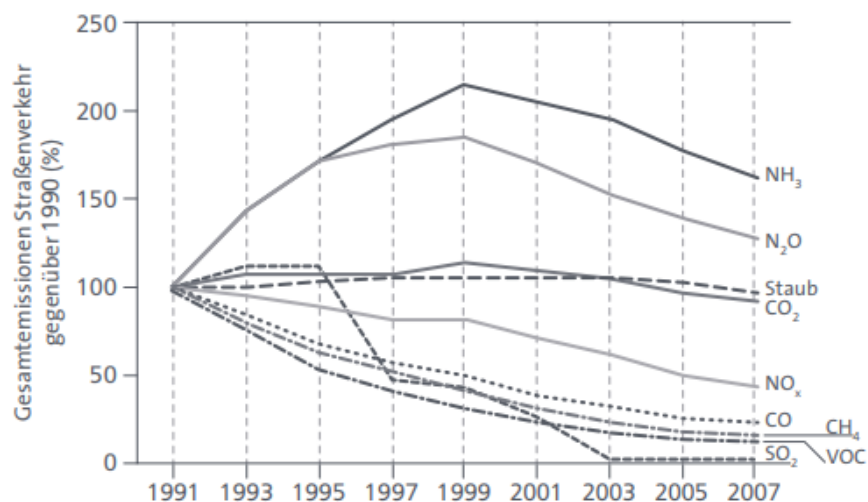


Abbildung 12: Entwicklung der Luftschadstoffe und THG-Emissionen des Straßenverkehrs 1990-2007. Quelle: Peters et al. 2012: 131

Die Auswirkungen von Luftschadstoffen, wie Feinstaub, sind kurzfristig und in der Regel lokal begrenzt (Pehnt et al. 2007: 5). Die externen Kosten der Luftverschmutzung sind dennoch

immens. Aktuell ist auf Basis einer neuen Studie zu erkennen, dass die Luftverschmutzung in den Städten im Schnitt den Verlust von 2,9 Lebensjahren nach sich zieht und weltweit mehr Menschen tötet als Kriege oder Infektionskrankheiten (Spiegel 2020). Mittels neuer Technologien kann allerdings auch bei konventionellen Fahrzeugen ein großer Teil dieser Schadstoffe gefiltert werden, bevor diese in die Umwelt gelangen (Peters et al. 2012: 130).

Auch der Lärmpegel von elektrisch betriebenen Fahrzeugen ist bei niedrigen Geschwindigkeiten deutlich geringer als bei konventionellen Fahrzeugen. Batteriebetriebene Fahrzeuge verursachen erst bei höheren Geschwindigkeiten einen mit konventionellen Fahrzeugen vergleichbaren Geräuschpegel (Pehnt et al. 2007: 5). Diesbezüglich belegen Studien, dass in Europa etwa 12.000 vorzeitige Todesfälle auf Lärm zurückgehen und 20% der europäischen Bevölkerung unter Lärm leiden (Vorreiter 2020). Die volkswirtschaftlichen Kosten für Krankheiten, die auf Lärm als Ursache zurückzuführen sind, dürften also noch weit höher liegen als nur die Kosten für Todesfälle.

Die Umweltvorteile der Elektromobilität ergeben sich vor allem durch die Einsparung des Treibhausgases Kohlendioxid, das im Gegensatz zu den Luftschadstoffen langfristig und global wirkt (Peters et al. 2012: 130). Wichtig ist hier jedoch eine ganzheitliche Betrachtung, die auch die aufgewendete Energie bei der Herstellung von Fahrzeugen berücksichtigt. Solche Betrachtungen sind beispielsweise mittels Methoden der Ökobilanzierung und Wirkungspfadanalysen möglich, die den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge berücksichtigen. Dabei wird deutlich, dass die Energiebilanzen bzw. ökologische Qualität elektrisch betriebener Fahrzeuge dann am besten ausfällt und konventionellen Fahrzeuge weit überlegen ist, wenn der zum Laden verwendete Strom aus regenerativen Energien stammt (Pehnt et al. 2007: 5).

Um die möglichen Einsparungen durch Elektromobilität zu quantifizieren, können die genannten externen Kosten monetarisiert werden. Wenn man alle denkbaren Einsparungen externer Umwelt- und Klimakosten zusammennimmt, die sich durch den Ersatz konventioneller Fahrzeuge durch Elektroautos und Hybridmodelle ergeben, kommen Peters et al. (2012) auf Einsparungen in Höhe von etwa 1.800 bis 2.700 Euro pro Fahrzeug bis zum Jahr 2030 (Peters et al. 2012: 173). Es wird also deutlich, dass neben den Risiken für den deutschen Wirtschaftsstandort vor allem die gesamtgesellschaftlichen Chancen überwiegen, die sich aus einem neuen Verkehrsmanagement ergeben können. Dennoch kann hier nur ein Ausschnitt der möglichen Folgen präsentiert werden, da noch weitere Systeme von einem Wandel berührt werden. Hier sind beispielsweise die bisherigen Prinzipien einer zentralen Energiewirtschaft zu nennen, die sich in Richtung einer dezentralen Energieversorgung entwickeln kann.

## 9 Diskussion und Fazit

Zunächst haben die einleitenden Kapitel die Notwendigkeit offengelegt, sich auf eine möglichst einheitliche Definition und Unterscheidungskriterien von bzw. für EKF zu verständigen, was durch die Bandbreite verfügbarer Fahrzeuge in dem Segment erschwert wird. Wichtige Kriterien können hier beispielsweise die Leistung, der entlang der Geschwindigkeit und des Wendekreises ermittelte Raumbedarf oder die Bauweise der Fahrzeuge sein. Die Ausführungen zu Sicherheitsaspekten haben vor allem gezeigt, dass noch großer Forschungsbedarf besteht. Zwar gibt es bereits erste Erkenntnisse, aus denen bereits jetzt Konsequenzen für die Verwendung und Zulassung der Fahrzeuge gezogen werden können, jedoch sollten einzelne Fahrzeuge oder ggf. bestimmte Fahrzeugkategorien im Speziellen untersucht werden, um tiefergehende Analysen zu ermöglichen. Die bislang verfügbaren Studien zeichnen sich meist dadurch aus, dass sie der Herausforderung der Untersuchung einer großen Bandbreite von Fahrzeugen gegenüberstehen.

In Relation dazu wurden elektrisch angetriebene Fahrräder bereits intensiver untersucht, was vermutlich mit dem Umstand zusammenhängt, dass die Bauweise Ähnlichkeiten mit konventionellen Fahrrädern aufweist und einige dieser Erkenntnisse auch auf die innovativen Produkte angewendet werden können. Studien zur subjektiven Wahrnehmung der eigenen Fahrweise tendieren dazu, dass vor allem dritte Verkehrsteilnehmer für die neueren Fahrzeuge sensibilisiert werden müssen. Ähnliches dürfte auch für den Betrieb von sonstigen EKF zu erwarten sein, wobei je nach Modell Erfahrung und Training notwendig ist, um die Fahrzeuge sicher zu bewegen. Die voran gegangene Vorstellung der Modelle zeigte auch, dass einige Konzepte wohl eher im Bereich des Freizeitvergnügens angesiedelt werden müssen und keine ernsthafte Alternative zu bisherigen Fortbewegungsmitteln darstellen.

Die rechtliche Situation in Deutschland ist bislang nur für bestimmte Typen von EKF geklärt, während der Betrieb der meisten auf dem Markt verfügbaren Geräte im öffentlichen Verkehr weiterhin untersagt ist. Die Politik muss ihre Bemühungen daher intensivieren, um Innovationen im Verkehrssektor nicht auszubremsen, und schneller reagieren, sollten als sicher zu betrachtende Fahrzeuge auf dem Markt verfügbar werden. Der Gesetzgeber darf gleichzeitig die Vorschriften für den Betrieb der EKF, wie beispielsweise eine Führerschein- oder Helmpflicht nicht auf höherem Niveau als unbedingt notwendig ansiedeln, da sonst die Hürde zu einem Umstieg auf die Fahrzeuge zu hoch würde. Dies impliziert, dass der rechtliche Status der Fahrzeuge in Zukunft zügiger geklärt werden muss. Im Zuge der eKfV wurde der Gesetzgeber beispielsweise erst aktiv, als immer mehr Anbieter der Mietfahrzeuge auf den Markt drängten. Die bislang vorliegenden Studien haben allerdings auch gezeigt, dass die hohen Sicherheitsstandards nicht bei allen verfügbaren Modellen gewährleistet sind.

Die Forschungsergebnisse deuten auch darauf hin, dass durch die unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Gefährte ein höheres Maß an Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmern vorliegt. Gefahren können in diesem Zusammenhang dadurch entstehen, dass sich heterogen gestaltete Fortbewegungsmittel denselben urbanen Raum teilen müssen. Die Stadtplanung darf sich daher nicht mehr an der klassischen Unterteilung zwischen Fußgängern, Radfahrern und konventionellen Fahrzeugen orientieren, sondern muss Konzepte für ein modernes Verkehrsmanagement entwickeln. Nur so können sich die dringend notwendigen multimodalen Verkehrssysteme in Zukunft durchsetzen und die Akzeptanz für neue Fahrzeuge erhöht werden.

Kommunale Ziele wie die Erhöhung des Anteils bestimmter Verkehrsmittel auf Gesamtverkehrsaufkommen (Modal Split) müssen in Zukunft auch EKF berücksichtigen (Cuffe 2018: 6). Zudem sind die Implementierung von Ladestandards für die Batterien der Fahrzeuge und die Entwicklung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur notwendig, um größere Teile der Bevölkerung von einem Umstieg zu überzeugen (Taylor et al. 2009: 14). Insgesamt ist also eine aufmerksame politische Planung notwendig, die zudem Investitionen in die öffentliche Infrastruktur erfordert. Ein permanentes Monitoring, für das die Unfalldaten zentral und gesondert für den Betrieb von EKF registriert werden, ermöglicht eine frühzeitige Intervention und bietet eine Entscheidungsgrundlage für das Verkehrsmanagement (Zagorskas, & Burinskienė 2020: 282).

Der Nutzen eines multimodalen Verkehrsmanagement erstreckt sich schließlich nicht nur auf eine schnellere und effizientere Mobilität, sondern eben auch auf positive volkswirtschaftliche Effekte u. a. durch die mögliche Zeitersparnis. Vor allem aber bietet es eine Möglichkeit, den Verkehrssektors mit seinem hohen Anteil an Treibhausgasemissionen nachhaltiger und somit zukunftsfähiger zu gestalten, will man die Pariser Klimaziele einhalten und die Lebensgrundlagen der Bevölkerung sichern. Auch deshalb sollte die Politik ein hohes Interesse an der proaktiven Gestaltung von Verkehr haben, wohingegen sich seit Jahrzehnten ein hoher Investitionsrückstau gebildet hat. Die neuen Anforderungen bergen also die Chance, längst überfällige Investitionen zu tätigen und sich gleichzeitig auf die neuen Teilnehmer am Straßenverkehr einzustellen.

Neben der Rolle bereits existenter Marktteilnehmer bergen die Entwicklungen das Potenzial für neue Geschäftsmodelle, die derzeit noch häufig aus den USA stammen (z. B. Uber, Lime). Auch hier könnten höhere Investitionen und eine politische Förderung sinnvoll sein, um eventuell in Zukunft in ihrer Bedeutung sinkende Wirtschaftszweige zu kompensieren. Dies

impliziert bereits, dass neben den neuen Möglichkeiten ebenso große Herausforderungen für die Wirtschaft entstehen. Gefahren liegen dabei, betrachtet man die Rolle Deutschlands im Wirtschaftsgefüge der Welt, in erster Linie in den Umbrüchen, die auf die Automobilindustrie zukommen. Die in Deutschland bislang für Hersteller identitätsstiftende Produktion von Verbrennungsmotoren, die in die ganze Welt exportiert werden und somit für einen großen Anteil der deutschen Wirtschaftsleistung verantwortlich sind, wird aller Voraussicht nach in den nächsten Jahren in einem signifikant geringerem Ausmaß benötigt als heute.

Für die Automobilhersteller ist es daher von enormer Bedeutung, sich proaktiv auf die Entwicklungen einzustellen und stark in Forschung und Entwicklung zu investieren. Sollte man sich in den neu entstehenden Märkten etablieren können, so bergen auch diese ein enormes wirtschaftliches Potenzial. Ähnliches gilt nicht nur für die etwa 800.000 direkt im Automobilsektor Beschäftigten, sondern auch für die Zuliefererbetriebe des Maschinen- und Anlagenbaus, in denen noch einmal mehrere Millionen Arbeitsplätze zu großen Teilen vom Schicksal der Autoindustrie abhängen. Für die Hersteller ist es zurzeit nur schwer möglich, sich auf die Entwicklungen einzustellen, da noch eine relative „Technologieoffenheit“ vorliegt und hohe Investitionen zum Risiko werden, sollten sich langfristig andere Antriebsformen wie z. B. die Brennstoffzelle durchsetzen.

Diese Produzenten tragen zudem eine internationale Verantwortung, der sie im höheren Maße gerecht werden müssen als in der Vergangenheit. Das bezieht sich nicht nur auf die Forschung und Entwicklung neuer Technologien zur Sicherung von deutschen Arbeitsplätzen und der Ökologie, sondern auch auf die Arbeitsbedingungen in den Ländern, aus denen die Rohstoffe für die zunehmende Elektrifizierung der führenden Industrienationen stammen.

## 10 Literaturverzeichnis

- Beutelsbacher, S. (2020): Tesla ist zum ersten Mal wertvoller als Volkswagen. Hg. von WELT. Online verfügbar unter <https://www.welt.de/wirtschaft/article205269833/Tesla-ist-zum-ersten-Mal-wertvoller-als-Volkswagen.html>, zuletzt abgerufen am 29.02.2020.
- Bierbach, M., Adolph, T., Frey, A., Kollmus, B., Bartels, O., Hoffmann, H., & Halbach, A. L. (2018). Untersuchung zu Elektrokleinstfahrzeugen.
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und Infrastruktur) (2020): Mobilität in Deutschland. Online verfügbar unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/mobilitaet-in-deutschland.html>, zuletzt abgerufen am 06.03.2020.
- BMW (2020): BMW Motorrad X2City. Abrufbar unter <https://www.bmw-motorrad.de/de/experience/stories/urban-mobility/x2city.html#/section-ein-fahrspass-der-dich-elektrisiert>, zuletzt abgerufen am 07.03.2020
- Brandt, M. (2019): E-Scooter in Deutschland. Hg. von Statista. Online verfügbar unter <https://de.statista.com/infografik/18871/zahlen-zu-e-scootern-in-deutschland/>, zuletzt abgerufen am 29.02.2020.
- Bundestag (2017): Modal Split in ausgewählten deutschen Großstädten. Hg. von Wissenschaftlicher Dienst des Bundestages. Abrufbar unter <https://www.bundestag.de/resource/blob/535044/f9877fd834da2c1bf7c7bb02299da09e/wd-5-084-17-pdf-data.pdf>, zuletzt abgerufen am 01.03.2020.
- Canzler, W., & Knie, A. (2018). Die Zukunft urbaner Mobilität: Ansätze für eine ökologische Verkehrswende im digitalen Zeitalter (No. 6). böll. brief-Grüne Ordnungspolitik.
- Cuffe, P. (2018, April). Flexible mobility in the smart city: the role of small personal electric vehicles. In DIT-eseia Conference on Smart Energy Systems in Cities and Regions, Dublin, Ireland, 10-12 April 2018. Springer.
- Dümmer, K. (2020): Staubilanz 2019 – So lange standen die Deutschen im Stau. Hg. von ADAC. Online verfügbar unter <https://www.adac.de/verkehr/verkehrsinformationen/staubilanz/>, zuletzt abgerufen am 01.03.2020
- Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV) idF vom 06.06.2019 (BGBl. I S. 756).
- Goll, F., & Knüttgen, I. (2017). Digitale Revolution in der Mobilität–Automatisiert. Vernetzt. Elektrisch. In CSR und Digitalisierung (pp. 391-408). Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.
- Hasegawa, Y., Dias, C., Iryo-Asano, M., & Nishiuchi, H. (2018). Modeling pedestrians' subjective danger perception toward personal mobility vehicles. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 56, 256-267.
- Hunter-Zaworski, K. M. (2012). Impacts of low-speed vehicles on transportation infrastructure and safety. *Journal of Transport and Land Use*, 5(2), 68-76.
- Jahns, M. (2019): Fahrradmarkt: 2019 wird Rekordjahr für E-Bikes. Hg. von ISPO (Internationale Fachmesse für Sportartikel und Sportmode). Online verfügbar unter <https://www.ispo.com/maerkte/fahrradmarkt-2019-wird-rekordjahr-fuer-e-bikes>, zuletzt abgerufen am 29.02.2020.
- Kagermann, H. (2017). Die Mobilitätswende: Die Zukunft der Mobilität ist elektrisch, vernetzt und automatisiert. In CSR und Digitalisierung (pp. 357-371). Springer Gabler, Berlin, Heidelberg.

KBA (Kraftfahrtbundesamt) (2020): Jahresbilanz des Fahrzeugbestandes am 1. Januar 2019. Online abrufbar unter [https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand\\_node.html](https://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/bestand_node.html), zuletzt abgerufen am 01.03.2020.

Köllner, C. (2017): Die Schattenseiten der Rohstofflieferkette. Hg. von Springer Professional. Abrufbar unter <https://www.springerprofessional.de/elektromobilitaet/ressourceneinsatz/die-schattenseiten-der-rohstofflieferkette/15283350>, zuletzt abgerufen am 13.03.2020

Kopper, C., Hartwig, K. H., Rothengatter, W., Gawel, E., & Eisenkopf, A. (2013). Die Verkehrsinfrastruktur in Deutschland: marode und unterfinanziert. *Wirtschaftsdienst*, 93(10), 659-677.

Lambert, F. (2019): Tesla Gigafactory 4 will produce 500.00 Model Y and Model 3 cars per year. Hg. Von electrek. Online abrufbar unter <https://electrek.co/2019/12/11/tesla-gigafactory-4-produce-500000-model-y-model-3-cars-per-year/>, zuletzt abgerufen am 13.03.2020.

Manager Magazin (2018a): Eine einzige Fabrik in China sorgt für den E-Scooter-Boom. Verfügbar unter <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/autoindustrie/elektroroller-ninebot-dominiert-markt-fuer-e-scooter-a-1242270.html>, zuletzt abgerufen am 07.03.2020.

Manager Magazin (2018b): Millionen für Berliner Scooter-Startup: Investoren befeuern Wettkampf. Abrufbar unter <https://www.manager-magazin.de/digitales/it/e-scooter-in-deutschland-start-up-tier-mobility-bekommt-millionen-a-1234662.html>, zuletzt abgerufen am 07.03.2020

Neißendorfer, M. (2020): Warum nur heißen Autos "Fahrzeuge"? Sie parken ja die meiste Zeit. Nur der rote Bereich zeigt Autos in Bewegung. Der überwiegende Rest (gut 97 Prozent) sind Stehzeuge. [https://twitter.com/\\_mingerer\\_/status/1218116841563881472?s=20](https://twitter.com/_mingerer_/status/1218116841563881472?s=20) [Tweet]. Zuletzt abgerufen am 13.03.2020

Pehnt, M., Höpfner, U., & Merten, F. (2007). Elektromobilität und erneuerbare Energien. Wuppertal Inst. für Klima, Umwelt, Energie GmbH.

Peters, A., Doll, C., Kley, F., Möckel, M., Plötz, P., Sauer, A., ... & Zanker, C. (2012). Konzepte der Elektromobilität und deren Bedeutung für Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt. Innovationsreport für das Büro für Technikfolgenabschätzung beim Deutschen Bundestag, Arbeitsbericht, 153.

Randelhoff, M. (2016): Die größte Ineffizienz des privaten PKW-Besitzes: Das Parken. Hg. von ZUKUNFT MOBILITÄT. Verfügbar unter <https://www.zukunft-mobilitaet.net/13615/strassenverkehr/parkraum-abloesebetrag-parkgebuehr-23-stunden/>, zuletzt abgerufen am 13.03.2020.

Rabenstein, A. (2018): E-Tretroller werden bald erlaubt. Hg. von SPIEGEL. Abrufbar unter <https://www.spiegel.de/auto/aktuell/e-roller-bald-erlaubt-hoverboards-bleiben-verboden-a-1235287.html>, zuletzt abgerufen am 01.03.2020

Rothfuß, R., Hochschild, V., Bachofer, F., le Bris, J., Ernst, T., & Fischer, S. (2012): Elektromobilität als Baustein eines zukunftsfähigen Verkehrssystems.

Scaramuzza, G., Uhr, A., & Niemann, S. (2015). E-Bikes im Strassenverkehr: Sicherheitsanalyse. Bfu-Beratungsstelle für Unfallverhütung.

Schlick, T., Hertel, G., Hagemann, B., Maiser, E., & Kramer, M. (2011). Zukunftsfeld Elektromobilität–Chancen und Herausforderungen für den deutschen Maschinen-und Anlagenbau. Roland Berger Stragey Consultants VDMA, n/s.

Spiegel (2020): Luftverschmutzung in Städten kostet drei Lebensjahre. Abrufbar unter <https://www.spiegel.de/wissenschaft/luftverschmutzung-in-staedten-ist-gefaehrlicher-als-rauchen-und-aids-a-bbe352a6-7d16-40dd-bf2a-0c544f8675cf>, zuletzt abgerufen am 07.03.2020

Straßenverkehrsgesetz (StVG) idF vom 05.05.2003 (BGBl. I S. 310, ber. S. 919), zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 05.12.2018 (BGBl. I S. 2008).

Svensson, M. Y., D'Addetta, G. A., Carlsson, A., Ewald, C., Luttenberger, P., Mayer, C., ... & Wismans, J. (2014). Future accident scenarios involving small electric vehicles. In International Research Council on the Biomechanics of Injury Conference, IRCOBI 2014; Berlin; Germany; 10 September 2014 through 12 September 2014 (pp. 51-52).

SWR (Südwest-Rundfunk) 2020: Volkswirtschaftliche Kosten durch stockenden Verkehr, abrufbar unter <https://www.swrfernsehen.de/marktcheck/hintergrund/Volkswirtschaftliche-Kosten-durch-stockenden-Verkehr-Wo-die-Wirtschaft-boomt-gibt-es-auch-Stau,article-swr-5680.html>, zuletzt abgerufen am 07.03.2020

Taylor, M. A., Pudney, P., Zito, R., Holyoak, N., Albrecht, A., & Raicu, R. (2009). Planning for electric vehicles in Australia-can we match environmental requirements, technology and travel demands (Doctoral dissertation, World Transport Research Society).

Tawadros, P. (2015): Road space comparison of 40 cars and 69 bus passengers, pedestrians and cyclists. Online verfügbar unter [https://www.researchgate.net/figure/Road-space-comparison-of-40-cars-and-69-bus-passengers-pedestrians-and-cyclists-10\\_fig2\\_298421948](https://www.researchgate.net/figure/Road-space-comparison-of-40-cars-and-69-bus-passengers-pedestrians-and-cyclists-10_fig2_298421948), zuletzt abgerufen am 13.03.2020

Ulrich, K. T. (2005). Estimating the technology frontier for personal electric vehicles. *Transportation research part C: Emerging technologies*, 13(5-6), 448-462.

Vorreiter, P. (2020): Jeder fünfte in Europa leidet unter Lärm. Hg. von deutschlandfunk.de. Abrufbar unter [https://www.deutschlandfunk.de/autos-flugzeuge-zuege-und-industrie-jeder-fuenfte-in-europa.697.de.html?dram:article\\_id=471790](https://www.deutschlandfunk.de/autos-flugzeuge-zuege-und-industrie-jeder-fuenfte-in-europa.697.de.html?dram:article_id=471790), zuletzt abgerufen am 07.03.2020.

Zagorskas, J., & Burinskienė, M. (2020). Challenges Caused by Increased Use of E-Powered Personal Mobility Vehicles in European Cities. *Sustainability*, 12(1), 273.