



dena-STUDIE

E-Scooter-Sharing – eine ganzheitliche Bilanz

Potenziale von E-Scootern für eine nachhaltigere, urbane Mobilität

Impressum

Herausgeber

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel: +49 (0)30 66 777 - 0
Fax: +49 (0)30 66 777 - 699
E-Mail: info@dena.de
Internet: www.dena.de

Autoren dena:

Jascha Lackner, dena
Stefan Siegemund, dena
Norman Wendt, dena

Autoren HS Bochum:

Nora Schelte, HS Bochum
Semih Severengiz, HS Bochum

Bildnachweis

Shutterstock.vom: Titelbild – YURII MASLAK,
S. 2 – hanohiki, S.3, Oben, S. 6 li. und S. 11 –
Hugo1989, S. 6 Mitte – TanyaBanku, S. 6 Rechts
– Robcartorres, S. 9 – Kostsov, S. 13 – Peeradon-
tax; S. 3 Mitte – SunCrafter GmbH, S.3 u. r. – Ad-
obeStock/hanohiki, S. 12 – AdobeStock/Carlo

Stand:

06/2021

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht
unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

Bitte zitieren als: Deutsche Energie-Agentur
GmbH (dena), dena-STUDIE „E-Scooter-Sharing
– eine ganzheitliche Bilanz“, Juni 2021

Inhalt



1 Zusammenfassung S. 4

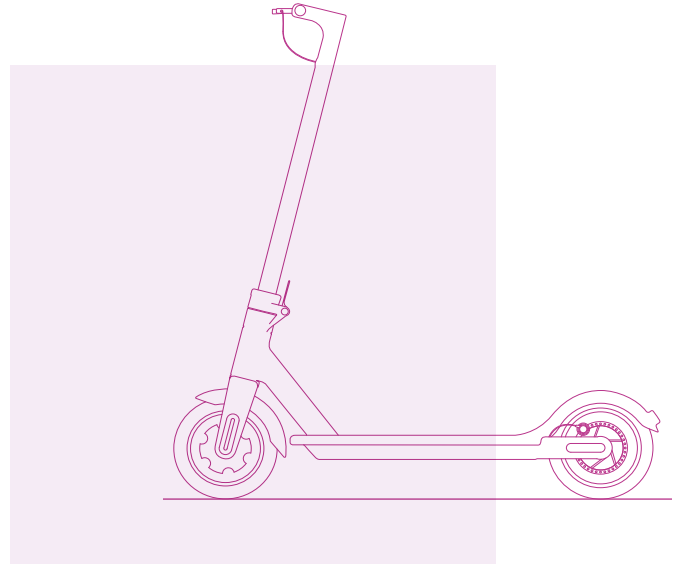
2 Rahmenbedingungen der E-Scooter S. 5

- 2.1 Herausforderungen im Mobilitätssektor
- 2.2 E-Scooter/E-Tretroller/E-Roller
- 2.3 E-Scooter-Sharing
- 2.4 Rechtliche Rahmenbedingungen für die E-Scooter Nutzung



3 Umweltbilanz der E-Scooter S. 8

- 3.1 Umweltwirkungen und Personenkilometer
- 3.2 Produktion und Produktionsstandort
- 3.3 Transport
- 3.4 Nutzungsphase
- 3.5 Entsorgung und Recycling



4 Umweltbilanz am Beispiel der Nutzung in Berlin S. 14

- 4.1 Szenario 2019 – Markteintritt
- 4.2 Szenario 2020 – Erste Optimierungen
- 4.3 Szenario 2021 – Plus
- 4.4 Ergebnisse
- 4.5 Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln



5 Schlussfolgerungen S. 17



1 Zusammenfassung

Der Verkehrssektor steht vor großen Umbrüchen. Neben Effizienzsteigerungen und dem Einsatz von erneuerbaren Kraftstoffen muss auch die Verkehrsverlagerung stärkere Beachtung finden. Die öffentliche Diskussion thematisiert meist nur die Verlagerung von Verkehrsleistung auf die Schiene, obwohl auch andere Formen der Mobilität darunter verstanden werden.

Der Beitrag von Elektro-Kleinstfahrzeugen (eKF) wie E-Scootern, E-Rollern und Pedelecs im urbanen Raum kann eine sinnvolle Ergänzung für den Transformationsprozess in eine nachhaltigere Mobilität sein.

eKF haben, unter der Voraussetzung, dass sie richtig eingesetzt, produziert und mit dem öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) kombiniert werden, Vorteile gegenüber konventionellen motorisierten Individualverkehrsmitteln, wie Mopeds oder Pkw.

Sie können bereits heute mit erneuerbaren Energien betrieben werden, sie haben einen geringeren Platzbedarf im öffentlichen Raum und emittieren lokal keine Umweltschadstoffe (z. B. NO_x), keinen Lärm oder klimaschädliche Gase (z. B. CO_2).

Dennoch stehen die eKF, insbesondere E-Scooter im Sharingbetrieb, in der öffentlichen Kritik. Die rasante Ausbreitung in den Innenstädten, Fragen zur Sicherheit der neuen Mobilitätsform und Aspekte zur Nachhaltigkeit ihrer Verwendung und Lebensdauer sind dabei zentrale Punkte.

Die nachfolgende Studie adressiert die Frage, ob E-Scooter im Sharingbetrieb gegenüber anderen Verkehrsoptionen zur Senkung von CO_2 -Emissionen beitragen können und unter welchen Voraussetzungen dies der Fall wäre.

Mittels Life-Cycle Assessment (LCA) stellt die Studie erstmals unabhängig und praxisnah die Umweltbilanz von E-Scootern den Umweltbilanzen anderer urbaner Mobilitätsformen wie Pkw, Bus, Tram und Bahn gegenüber. Die durch die ISO-Norm 14044 standardisierte Methode umfasst die Umweltbilanz der Produktion, des Transports sowie der Nutzung, Wiederverwertung und Entsorgung der E-Scooter.

Mehrere Sharinganbieter stellten für die Studie Materiallisten ihrer Scooter bereit oder stellten Modelle für die Auswertung zur Verfügung. Zudem lieferten die Anbieter zahlreiche Daten zu verwendeter Energie, Verteilungs- und Sammlungsfahrten sowie zur E-Scooter-Nutzung und Lebensdauer.

Die Ergebnisse zeigen für die betrachteten Szenarien deutliche Unterschiede in der Treibhausgasbilanz von E-Scootern, die im Sharingbetrieb genutzt werden. **Im Szenario 2019 – Markteintritt weisen die E-Scooter mit $197 \text{ g CO}_2\text{-Äq./Pkm}$ ein sehr hohes Treibhauspotenzial auf.** E-Scooter der ersten Generation mit fest verbauter Batterie und kurzer Lebensdauer sowie bei Sammel- und Wartungsfahrten, die mit Transportern mit Dieselantrieb durchgeführt werden, haben keine bessere Treibhausgasbilanz als Pkw.

Die Szenarien 2020 – Erste Optimierungen sowie das innovative Szenario 2021 – Plus zeigen hingegen bessere Treibhausgasemissionen der E-Scooter im Sharingbetrieb. **Im Szenario 2021 – Plus sinkt das Treibhauspotenzial auf $59 \text{ g CO}_2\text{-Äq./Pkm}$, womit die E-Scooter eine geringere Umweltbelastung als ein Pkw, elektrifizierte Motorroller und der öffentliche Personennahverkehr aufweisen.** E-Scooter verfügen somit über das Potenzial, kurzfristig die Umweltbilanz des Verkehrssystems zu verbessern, wenn sie andere motorisierte Verkehre ersetzen.

Zukünftig wird daher von Bedeutung sein, dass der Einsatz von E-Scootern in Sharingflotten an strengere Vorgaben gebunden wird, um sicherzustellen, dass deren Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen führt. Dies ist durch die Senkung der Emissionen in der Produktion, die Steigerung der Lebensdauer, den Einsatz von Wechselbatterien und die Nutzung von elektrifizierten Fahrzeugen für den Sammel- und Wartungsbetrieb erreichbar. Darüber hinaus ist es empfehlenswert, dass der Gebietsradius, in dem die E-Scooter im Sharingbetrieb genutzt werden, vergrößert wird, sodass der ÖPNV sinnvoll ergänzt und mögliche Substitutionseffekte verringert werden können. Hier kann auch dezentrale Ladeinfrastruktur, z. B. an einer in Zusammenarbeit mit dem ÖPNV betriebenen Mobilstation mit erneuerbarer Stromversorgung, zu einer Reduktion der Emissionen beitragen.

2

Rahmenbedingungen der E-Scooter

2.1 Herausforderungen im Mobilitätssektor

Der Verkehrssektor ist mit einem Anteil von 24 % in Europa und 20 % in Deutschland einer der Hauptemittenten von Treibhausgasen und hat in den vergangenen 20 Jahren kaum CO₂-Einsparungen erreicht. Im Klimaschutzplan der Bundesregierung wurden einzelne Sektorziele für die Minderung von Treibhausgasemissionen festgelegt. Demnach sollen die Emissionen des Verkehrssektors bis zum Jahr 2030 um 40 bis 42 % im Vergleich zu 1990 sinken¹.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind Effizienzsteigerungen ein wichtiger Faktor. Die größten Hoffnungen auf eine Effizienzsteigerung in dieser Dekade im Verkehrssektor liegen im Einsatz der Elektromobilität. Dies ist ein wichtiger Baustein der Energiewende und gleichzeitig ein industriepolitisch wichtiges Thema.

Ohne eine Kombination mit verkehrsverlagernden Maßnahmen wird jedoch auch die Verkehrswende nicht erfolgreich sein. Dabei können neue Mobilitätskonzepte die Elektrifizierung des Mobilitätssektors mit einer effektiven Verkehrsverlagerung auf alternative Fortbewegungsmittel optimal verknüpfen und so große Anteile des Verkehrs auf effiziente Verkehrsmittel, insbesondere im städtischen Bereich, verlagern.

Der Handlungsbedarf wird vor allem im städtischen Raum durch die wachsenden Ansprüche an die Lebensqualität verstärkt. Über 70 % der deutschen Bevölkerung leben in städtischen Räumen² und erhoffen sich weniger Lärm, geringe Luftschadstoffbelastung und eine gute verkehrliche Erreichbarkeit mit allen Verkehrsmitteln und somit die wichtigsten Merkmale eines qualitativ hochwertigen Wohnumfelds³. Daher ist es wichtig, die Verkehrsvermeidung und -verlagerung als Ausgangspunkt der Verkehrswende zu begreifen.

Einen Teil dieser Verkehrswende könnte auch die Mikromobilität darstellen. Laut dem International Transport Forum (ITF) ist Mikromobilität definiert als der Einsatz von kleinen, leichten Fahrzeugen mit einer Masse von weniger als 350 kg und einer bauartbedingten Geschwindigkeit von nicht mehr als 45 km/h,

wie beispielsweise E-Rollern, E-Bikes oder E-Tretrollern bzw. E-Scootern. Nach Angaben des Institute for Transportation & Development Policy (ITDP) sind die Fahrzeuge typischerweise elektrisch angetrieben⁴. Sie benötigen Batteriekapazitäten von 0,4 kWh bis 10 kWh, was zu Reichweiten von 20 bis 160 km führt⁵. Mikromobilität ermöglicht es Personen, schnell, unkompliziert und günstig kurze Wege zurückzulegen und diese mit anderen Verkehrsmitteln, wie dem ÖPNV, zu kombinieren⁶. 50 bis 60 % aller Fahrten in Städten sind kürzer als acht Kilometer und kommen damit für E-Roller, E-Bikes oder E-Tretroller bzw. E-Scooter infrage. Bis zum Jahr 2030 sollen sich mit diesen Angeboten in Europa bis zu 150 Milliarden US-Dollar umsetzen lassen, weltweit sogar bis zu 500 Milliarden US-Dollar. Der Markt wächst zwei- bis dreimal so schnell wie Carsharing oder E-Hailing-Dienste (App-basierte Taxi- und Fahrdienste)⁷.

Die Herausforderung liegt darin, dieses Angebot optimal mit den vorhandenen Angeboten wie dem ÖPNV zu verknüpfen und eine bessere Energieeffizienz gegenüber Pkw sicherzustellen – auch über den gesamten Lebenszyklus betrachtet.

2.2 E-Scooter/E-Tretroller/E-Roller

Die Begriffe E-Scooter, E-Tretroller und E-Roller werden nicht einheitlich verwendet. Unter der Bezeichnung Elektroroller, E-Roller oder auch E-Moped werden Motorroller gefasst, die statt des üblichen Verbrennungsmotors über einen Elektroantrieb verfügen und sitzend gefahren werden. Die gängigen Elektroroller im Sharingbetrieb sind zulassungsbedingt auf eine Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h begrenzt, es gibt allerdings auch E-Roller, die abhängig von Leistung und Zulassung höhere Geschwindigkeiten erreichen können. Für die Nutzung eines Elektrorollers wird ein Führerschein benötigt und es besteht eine Helmpflicht. Auch das Sharing von E-Rollern hat ein großes Potenzial zur Reduktion der Umweltwirkung des urbanen Verkehrs. In dieser Studie werden jedoch ausnahmslos stehend gefahrene Fahrzeuge, also E-Tretroller, betrachtet⁸. Der Begriff E-Scooter wird ausschließlich für den Elektro-Stehroller verwendet. Der Begriff E-Scooter bezeichnet inzwischen im

¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020.

² Weltbank 2019.

³ Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) 2017.

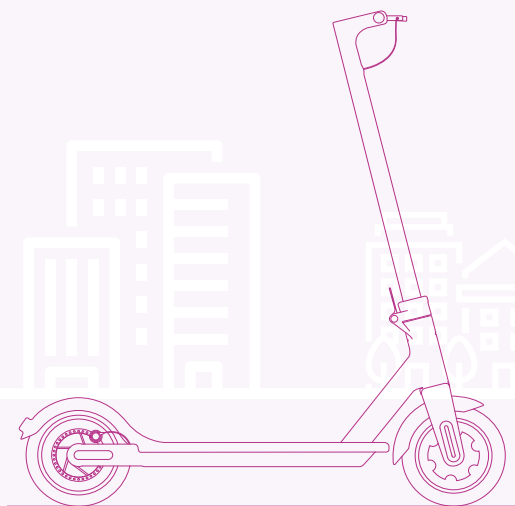
⁴ Institute for Transportation and Development Policy 2019.

⁵ Umweltbundesamt 2019.

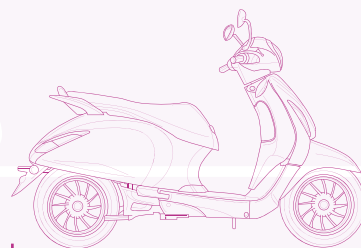
⁶ International Transport Forum 2020.

⁷ McKinsey & Company 2019.

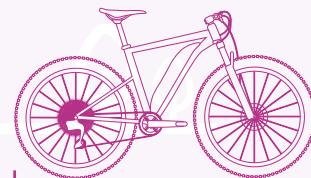
⁸ Severengiz, Finke, Schelte & Forrister 2019.



E-Scooter



E-Moped/E-Roller



Pedelec

deutschsprachigen Raum meist sogenannte E-Tretroller beziehungsweise Elektro-Stehroller.

Diese werden stehend gefahren, erreichen zulassungsbedingt geringere Geschwindigkeiten (bis zu 20 km/h in Deutschland) und sind konzipiert für den Transport von Einzelpersonen über kurze Strecken im städtischen Raum. Während E-Scooter im Ausland (USA, China) bereits seit einigen Jahren im Einsatz sind, wurden sie in Deutschland erst seit Inkrafttreten der Elektro-Kleinstfahrzeugverordnung (eKFV) im Juni 2019 für den Einsatz auf deutschen Straßen zugelassen. In der Folge kam es zu einem konzentrierten und rasanten Markthochlauf.

Von Beginn an wurde der E-Scooter als neue Mobilitätsalternative kontrovers diskutiert, vor allem in Hinblick auf dessen Umweltbilanz. Diese Studie untersucht einige kontrovers diskutierte Merkmale mithilfe eines sogenannten Life-Cycle Assessments.

2.3 E-Scooter-Sharing

Es werden zwei Nutzungsmodelle von E-Scootern unterschieden: die private Nutzung oder die Nutzung im Sharingbetrieb. Der Sharingbetrieb unterschiedlicher Verkehrsmittel im urbanen Raum liegt im Trend. Sharingkonzepte mit leichten Elektrofahrzeugen verbreiten sich in zahlreichen Metropolregionen weltweit. So stieg die Anzahl von E-Scootern in Sharingdiensten nach der Markteinführung in Deutschland im Juni 2019 bereits im September 2019 auf 30.000 Fahrzeuge⁹. In den USA, wo

Sharingdienste mit E-Scootern schon seit 2016 verfügbar sind, waren E-Scooter zwei Jahre nach Markteintritt bereits in 100 Städten verbreitet¹⁰. In deutschen Städten finden sich E-Scooter vor allem in Form von stationslosen Sharingsystemen. Hierbei können E-Scooter innerhalb eines definierten Geschäftsgebiets flexibel angemietet und wieder abgestellt werden (free-floating). Die Nutzung von Sharingdiensten im Verkehrssektor kann die Treibhausgasemissionen, den Energieverbrauch, das Verkehrsaufkommen und Staus minimieren¹¹. Darüber hinaus haben Sharingdienste das Potenzial, ein integraler Bestandteil eines intermodalen Mobilitätskonzepts zu sein, insbesondere als Lösung für die letzte Meile.

Dem Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) zufolge kann intermodale Mobilität positive Auswirkungen auf die Umwelt haben, indem sie den öffentlichen Verkehr in Bezug auf Standort, Bezahlung und Tarife mit Sharingangeboten verknüpft¹². Diese Modelle schaffen sowohl für Bewohnerinnen und Bewohner als auch für Reisende im urbanen Raum einen Mehrwert. Aktuell bieten in Deutschland sieben Anbieter (Tier, Lime, Bird, Voi, UFO, Spin, Dott) in über 40 Städten E-Scooter-Sharingdienste an. Die Gesamtanzahl der E-Scooter belief sich Stand 2019 auf rund 35.000, allein rund 10.000 davon in Berlin¹³. Weitere Expansionen sind bereits angekündigt. Für die nachfolgende Untersuchung wurde die Stadt Berlin als Referenzgeschäftsgebiet ausgewählt. Berlin verfügt über ein weitläufiges ÖPNV-Netz und fünf Anbieter von E-Scooter-Sharingdiensten.

⁹ Tack, Klein & Bock (Civity) 2019.

¹⁰ National Association of City Transportation Officials 2019.

¹¹ Baptista, Melo & Rolim 2014.

¹² Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2014.

¹³ Tack, Klein & Bock (Civity) 2019.

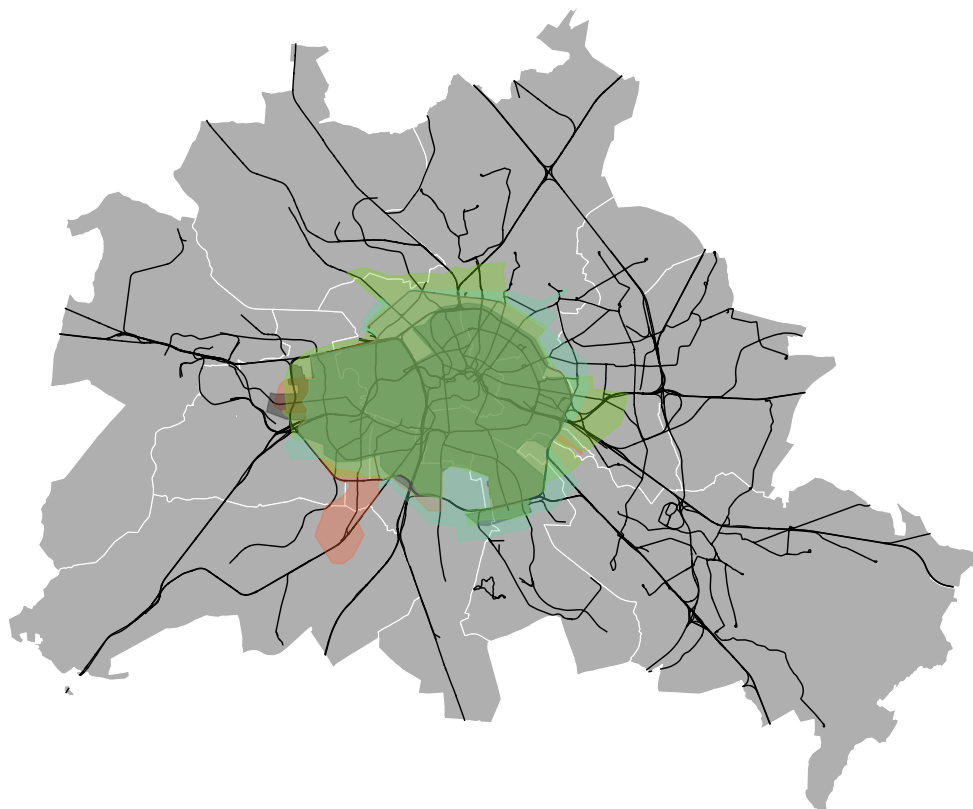


Abbildung 1: Übersicht Nahverkehrsnetz in Berlin und Geschäftsgebiete verschiedener E-Scooter-Sharinganbieter

Voi Lime Bird Tier

2.4 Rechtliche Rahmenbedingungen für die E-Scooter-Nutzung

Für die Nutzung von Fahrzeugen im Leih- bzw. Sharingbetrieb gelten dieselben rechtlichen Vorgaben wie für Fahrzeuge im privaten Betrieb. E-Scooter dürfen im Straßenverkehr nur bewegt werden, wenn für den Betrieb eine allgemeine Betriebserlaubnis (ABE) vom Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) oder eine Einzelbetriebserlaubnis (EBE) vom TÜV vorliegt, zudem gilt eine Altersbeschränkung von 14 Jahren sowie eine Versicherungspflicht. Für Letzteres wurde eine kleine Versicherungsplakette zum Aufkleben eingeführt.

Die Elektrokleinstfahrzeuge-Verordnung (eKFV) bildet die rechtliche Grundlage für die Teilnahme von E-Scootern am Straßenverkehr. Gemäß der Verordnung wird die baubedingte Höchstgeschwindigkeit bei selbst balancierenden Fahrzeugen auf 6 km/h bis max. 20 km/h und die Leistung auf 500 Watt bzw. 1.400 Watt festgelegt. Darüber hinaus müssen die Fahrzeuge eine Lenk- oder Haltestange sowie weitere verkehrssicherheitsrechtliche Mindestanforderungen aufweisen.

Die Anforderungen an Elektrokleinstfahrzeuge variieren zwischen verschiedenen EU-Ländern aufgrund der fehlenden einheitlichen europäischen Rahmenbedingungen. So etwa bestehen Unterschiede bei der Geschwindigkeitsbegrenzung und den zulässigen Verkehrsflächen, in anderen Ländern ist die Nutzung sogar ausgeschlossen¹⁴. Das BMVI wird die eKFV auf ihre Wirksamkeit, Zielsetzung und Auswirkung auf die Verkehrssicherheit anhand einer wissenschaftlichen Begleitung

überprüfen. Weiterhin behält sie sich vor, auf dieser Grundlage im Jahr 2023 einen Änderungsvorschlag vorzulegen.

In der Festlegung technischer Voraussetzungen und Anforderungen an Elektrokleinstfahrzeuge sind Nachhaltigkeits- und Umweltkriterien aktuell nicht berücksichtigt. Während beispielsweise bei anderen Verkehrsmitteln wie dem Pkw seitens der EU festgelegte CO₂-Grenzwerte existieren, die auf Effizienzsteigerung im Bereich Tank-to-Wheel abzielen, gibt es für E-Scooter keine gesetzlichen Auflagen hinsichtlich der Effizienz. Die Ergebnisse der Studie belegen, dass eine Berücksichtigung weiterer Kriterien wie beispielsweise Lebensdauer, Material und eingesetzter Energie deutlich zur Verbesserung der Umweltbilanz von E-Scootern beitragen kann.

Für E-Scooter gelten die Vorgaben der sogenannten „WEEE-Richtlinie“ (2012/19/EU), in Deutschland als Elektro- und Elektronikgerätegesetz (ElektroG) umgesetzt. Das ElektroG regelt den Verkauf, die Rücknahme und die Entsorgung von elektrischen und elektronischen Geräten. Wie in der WEEE-Direktive festgehalten, sollen Abfälle dieser Art vermieden oder reduziert werden, um die Umwelt zu schützen. Das Gesetz soll die Verantwortung der Hersteller für die von ihnen verkauften Elektrogeräte auf den gesamten Lebenszyklus ausdehnen. Daher wird von den Herstellern, Vertriebern oder Importeuren von elektronischen Geräten erwartet, einen Beitrag zu den Entsorgungskosten zu leisten. Die Unternehmen sind verpflichtet, von ihnen in Verkehr gebrachte Elektrogeräte zurückzunehmen und nach festgelegten Umweltstandards zu entsorgen.

¹⁴ Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) 2019.

3 Umweltbilanz der E-Scooter

Bei der Transformation hin zu einer nachhaltigeren Mobilität ist es von großer Bedeutung, die Umweltauswirkungen der einzelnen Verkehrsmittel einschließlich ihres Nutzungskonzepts möglichst genau zu untersuchen und zu quantifizieren. Mithilfe einer Umweltbilanzierung werden Umweltauswirkungen eines Produktes nach internationalen Standards und Systemgrenzen erfasst und bewertet¹⁵. Die vorliegende Analyse umfasst die Umweltauswirkungen der E-Scooter in der Wirkungskategorie Treibhauspotenzial (GWP 100)¹⁶ über ihre gesamte Lebens-

dauer – von der Rohstoffgewinnung über die Produktion, den Transport, die Produktnutzung bis hin zum Recycling oder zur abschließenden Entsorgung. Die Kilometerleistung der Fahrzeuge wird dabei auf alle Energie- und Materialflüsse von der Produktion bis zur Entsorgung verteilt. Dies stellt sicher, dass nicht nur der Energiebedarf für die zurückgelegten Kilometer betrachtet wird, sondern die gesamten, über den Lebenszeitraum anfallenden Emissionen.

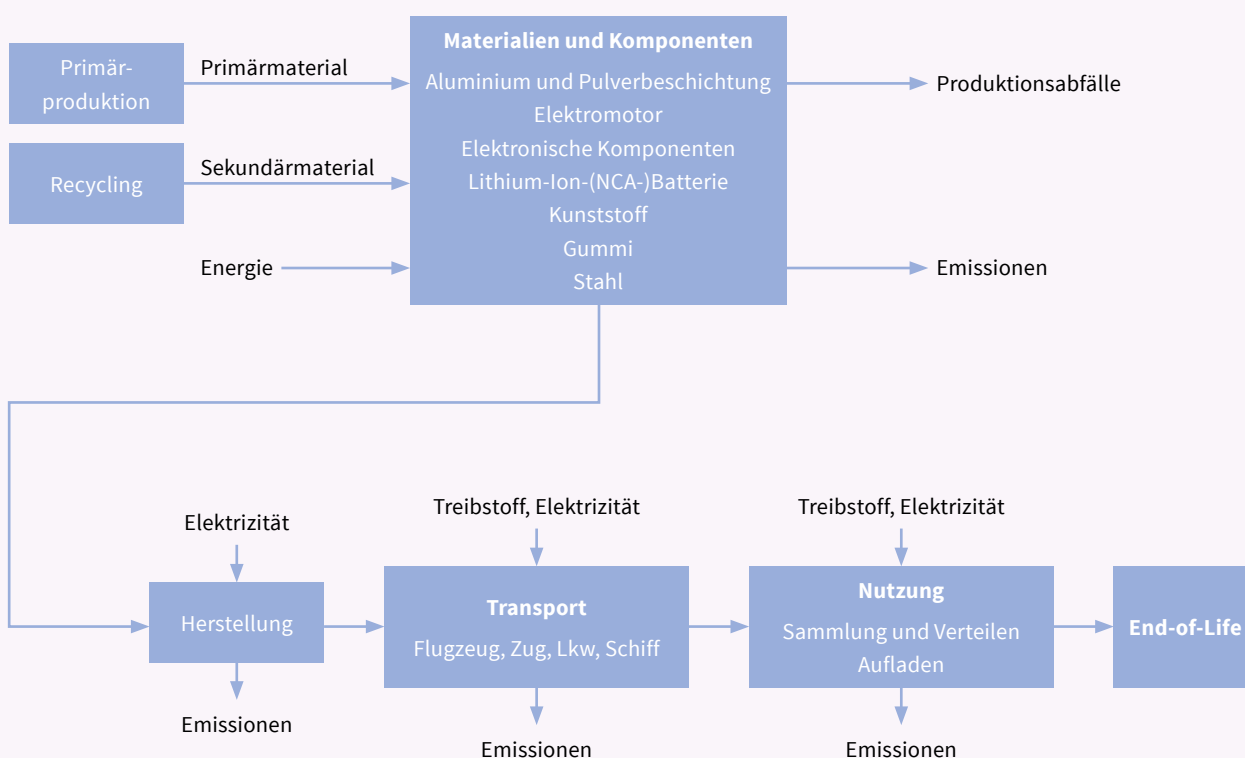


Abbildung 2: Systemgrenzen der Lebenszyklusanalyse von E-Scootern

¹⁵ Die Lebenszyklusanalyse wurde in Übereinstimmung mit der ISO-Norm in Goal- und Scope-Definition, Sachbilanz, Wirkungsabschätzung und Interpretation gegliedert. Die Rohdaten und Ergebnisse basieren auf einer bestehenden wissenschaftlichen Untersuchung und Publikation, die Grundlage für die Interpretation und Diskussion dieser Studie sind. Die Inventarmodellierung wurde mit dem Programm „Ganzheitliche Bilanzierung. GaBi“ der thinkstep AG durchgeführt. Als Methode der Wirkungsabschätzung wird die CML-Methode in der aktualisierten Version von Januar 2016 verwendet (Quelle: Severengiz, Finke, Schelte & Wendt 2020).

¹⁶ Das Treibhauspotenzial beschreibt den potenziellen Beitrag eines Prozesses zum Treibhauseffekt durch die Emission von Treibhausgasen und wird in CO₂-Äquivalenten (CO₂-Äq.) angegeben. Da die emittierten Gase über einen längeren Zeitraum in der Atmosphäre verbleiben und wirken, wird ein zeitlicher Bezug angegeben. Für die vorliegende Arbeit beträgt der Bezugszeitraum 100 Jahre.



3.1 Umweltwirkungen und Personenkilometer

Die Umweltbilanzierung ermöglicht es, Ursachen für Umweltwirkungen zu identifizieren und schlussendlich verschiedene Mobilitätsformen hinsichtlich ihrer Umweltverträglichkeit miteinander zu vergleichen.

Für den Vergleich unterschiedlicher Verkehrsmittel eignet sich die funktionelle Einheit Personenkilometer. Diese gibt Auskunft über die Leistung der verschiedenen Verkehrsmittel, indem die zurückgelegten Kilometer mit der Zahl der Reisenden multipliziert werden. Dadurch wird ein einfacher Vergleich verschiedener Verkehrsträger möglich. Die Systemgrenzen der vorliegenden Lebenszyklusanalyse sind in Abbildung 2 dargestellt.

Die der Studie zugrunde liegenden Annahmen für die tägliche Nutzung, die Sammlung und das Laden der E-Scooter wurden gemeinsam mit am Markt aktiven Sharingflottenbetreibern in Gesprächen entwickelt. Auch die für die Analyse betrachte-

te Stückliste der E-Scooter-Komponenten basiert auf Informationen der E-Scooter-Sharinganbieter sowie auf der Demontage und Analyse einzelner E-Scooter-Modelle. Die Erfahrungen aus dem Geschäftsgebiet der Stadt Berlin dienen als Referenz für die Nutzungsmuster in der aktuellen Marktsituation, z. B. in Bezug auf durchschnittlich zurückgelegte Distanzen.

Mit Blick auf die Umweltwirkungen der E-Scooter haben sich bereits mehrere E-Scooter-Sharinganbieter zu Nachhaltigkeitszielen verpflichtet. Dabei sollen anfallende Treibhausgasemissionen in Zukunft vermieden, reduziert oder ausgeglichen werden. Durch die Kooperation mit Partnerunternehmen und umfangliche Kompensationsleistungen könnte dies nach eigenen Angaben von Unternehmen wie Tier¹⁷, Voi¹⁸ und Bird¹⁹ schon zum jetzigen Zeitpunkt erreicht werden.

¹⁷ Tier 2019.

¹⁸ Voi 2020.

¹⁹ Bird 2020.

3.2 Produktion und Produktionsstandort

Die Produktionsphase beinhaltet die Herstellung des E-Scooters und der Batterie. Für diese Studie wurde die Herstellung zweier E-Scooter-Referenzmodelle betrachtet: ein Modell mit fest verbauter Batterie und einem Gewicht von ca. 19 kg sowie ein Modell mit wechselbarer Batterie mit einem Gewicht von ca. 28 kg. Die Bestandteile mit dem höchsten Gewicht der betrachteten Referenz-E-Scooter sind Aluminiumkomponenten (47 bzw. 43 %), eine Lithium-Ionen-Batterie (17 bzw. 13 %), ein Elektromotor (13 %) sowie Gummi- (14 %) und Kunststoffteile (4 %), die insgesamt 95 bzw. 87 % der Gesamtmasse des Rollers ausmachen (siehe Abbildung 3). Zu den Aluminiumkomponenten zählen beispielsweise der Rahmen und die Lenkerstange, zu den Komponenten aus Gummi die Reifen des Rollers.

Auf der Grundlage der Angaben von Sharinganbietern von E-Scootern wurde für die Herstellung und Montage der Batterie der Roller ein Energieverbrauch von 3,9 kWh sowie als Produktionsstandort China angenommen. Dabei wird ein Recyclinganteil für Aluminium berücksichtigt. Dieser beträgt 24 %, was dem durchschnittlichen Gehalt von chinesischem Aluminium im Jahr 2017 entspricht²⁰. In Europa macht recyceltes Aluminium 36 % des Angebots aus. Die Produktion von Primär-Aluminium erfordert einen sehr hohen Energieeinsatz von rund 55 kWh/kg²¹. Vor dem Hintergrund, dass der Aluminiumrecyclingprozess lediglich 6 % der Energie benötigt²², die für die Produktion von Primär-Aluminium aufgewendet werden muss, bietet seine Verwendung ein großes Potenzial zur Energie- und Emissionseinsparung.

Neben der Erhöhung des Recyclinganteils des Aluminiums bieten auch die Reduktion oder Substitution von Aluminium durch Materialien, die weniger energieintensiv in der Herstellung sind, Einsparpotenziale für die Senkung der Emissionen in der Produktionsphase. Aktuell dominiert Aluminium den Materialmix der E-Scooter.

Wie Abbildung 4 zeigt, liegen die Treibhausgasemissionen der Produktion des E-Scooter-Modells mit wechselbarer Batterie um etwa 60 % höher als die des Modells mit fest verbauter Batterie. Ursache dafür ist insbesondere das höhere Gewicht der Aluminiumkomponenten. Allerdings ist zu berücksichtigen, dass bei den Modellen mit fest verbauten Batterien von einer weitaus kürzeren Lebensdauer auszugehen ist als bei den Modellen mit wechselbarer Batterie.

Die Auswertung der Produktion zeigt, dass die Emissionen der Aluminiumkomponenten über denen der Lithium-Ionen-Batterie liegen. Die Wahl des Produktionsstandortes hat einen großen Einfluss auf die Gesamtemissionen bei der Produktion der E-Scooter. So liegt der Emissionsfaktor des Strommixes am Produktionsstandort China bei rund 0,836 kg CO₂-Äq./kWh²³, während Länder wie beispielsweise Schweden einen deutlich emissionsärmeren Strommix mit 0,049 kg CO₂-Äq./kWh²⁴ aufweisen. Die Beispiele zeigen, dass die Wahl des Materials und des Produktionsstandortes die Umweltbilanz deutlich beeinflussen. Hinzu kommt, dass auch ein steigender Anteil an erneuerbaren Energien im lokalen Strommix die Gesamtbilanz von E-Scootern positiv beeinflusst.

²⁰ Bertram, Ramkumar, Rechberger, Rombach, Bayliss, Martchek, Müller & Liu 2017.

²¹ European Aluminium 2020; thinkstep AG 2019.

²² thinkstep AG 2019.

²³ Severengiz, Finke, Schelte & Wendt 2020 nach thinkstep AG 2019.

²⁴ thinkstep AG 2019.

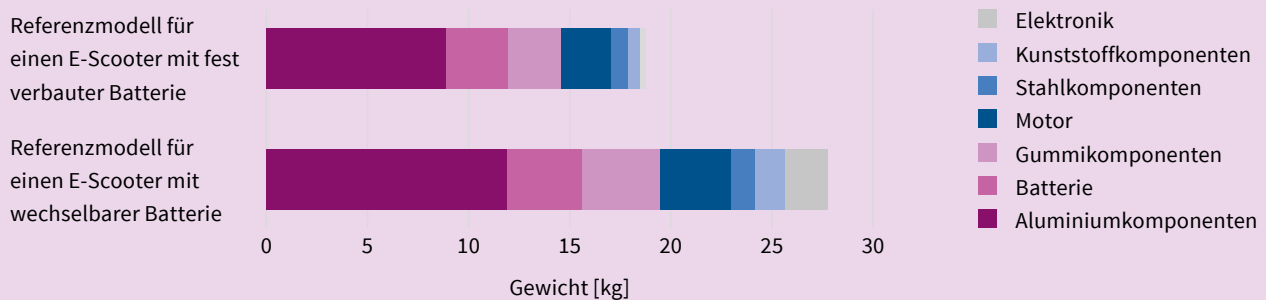
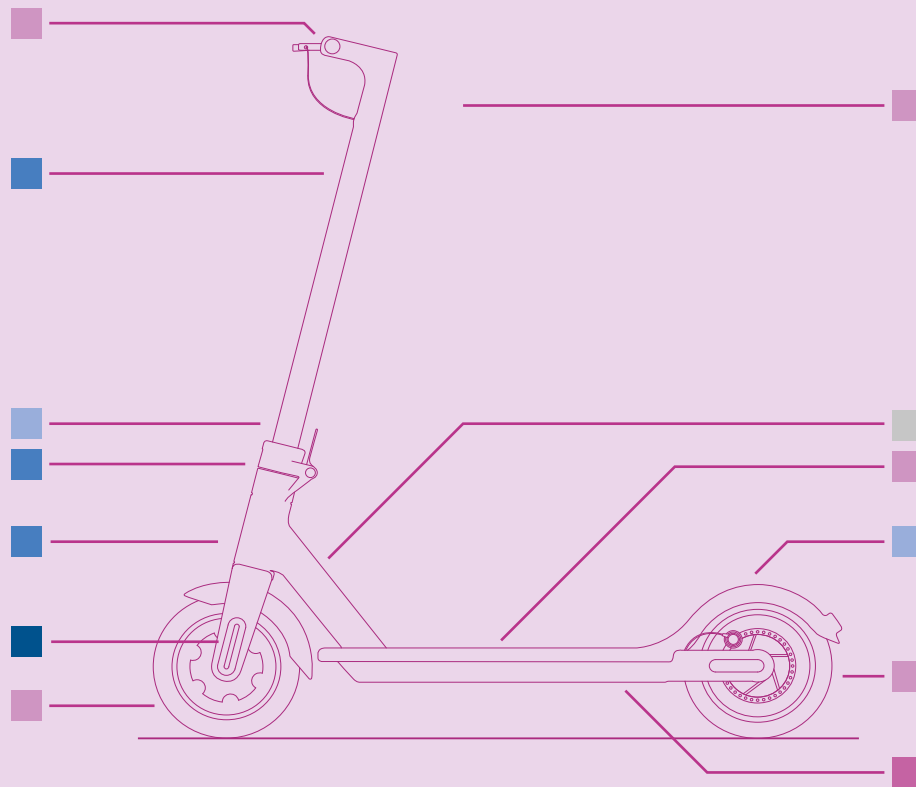


Abbildung 3: Gewichtsanteile der Bestandteile eines Referenz-E-Scooters

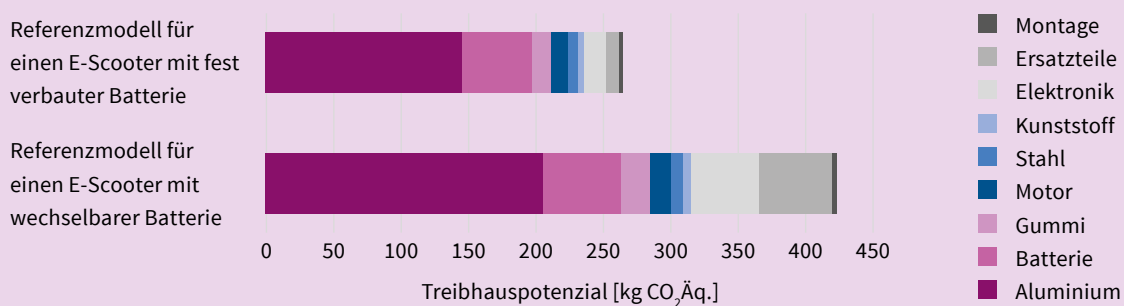


Abbildung 4: Treibhausgasemissionen in der Produktionsphase der Referenz-E-Scooter



3.3 Transport

Die Hauptproduktionsorte für die E-Scooter liegen in den chinesischen Provinzen Zhejiang und Guangdong. Für den Transport nach Europa gibt es drei Möglichkeiten: per Flugzeug, per Zug oder per Schiff. Hinsichtlich der Transportdauer, der Kosten und Treibhausgasemissionen weisen alle Verkehrsträger Vor- und Nachteile auf. Der Einfluss des Transportes auf die Treibhausgasemissionen des Referenz-E-Scooters mit wechselbarer Batterie wird in Abbildung 5 dargestellt.

Die angenommene Transportdistanz beträgt rund 19.000 km bei einem Transport per Containerschiff, 11.000 km beim Transport per Zug und 7.500 km per Flugzeug. Bei der Betrachtung der CO₂-Emissionen schneidet der Transport per Schiff am besten ab. Dieser ist verglichen mit den anderen Transportwegen am längsten, allerdings transportieren sie mit Abstand die größten Frachtmengen pro Verkehrsträger. Die CO₂-Emissionen pro Tonnenkilometer betragen beim Transport per Schiff 8,7 g CO₂/t km, beim Schienentransport 26 g CO₂/t km beim Transport per Flugzeug hingegen 560 g CO₂/t km²⁵. Die Betrachtung der Transportoptionen zeigt, dass aus Sicht der Umweltbilanz ein Transport per Schiff oder Zug zu bevorzugen ist.

3.4 Nutzungsphase

Die Nutzungsphase beinhaltet den Energieverbrauch der täglichen Fahrten der E-Scooter im Sharingbetrieb, das Aufsammeln für die Ladung und Wartung sowie die erneute Verteilung auf das Geschäftsgebiet. Die Umweltauswirkungen der Nutzungsphase hängen dabei von verschiedenen Faktoren ab. Zunächst bestimmen die täglich zurückgelegte Strecke eines E-Scooter sowie der Strommix, mit dem der E-Scooter geladen wird, die entstehenden CO₂-Emissionen. Die in der Studie für die Nutzungsphase getroffenen Annahmen basieren auf Aussagen von E-Scooter-Sharinganbietern.

In den betrachteten Szenarien legt ein E-Scooter eine durchschnittliche Strecke von 11,5 km pro Tag zurück. Je nach Lebensdauer (6 bis 24 Monate) ergibt sich eine durchschnittliche Strecke von rund 1.900 bis 7.500 km über die gesamte Lebensdauer. Dabei sind jedoch Ausfallzeiten des Rollers für Wartung und Reparaturen nicht berücksichtigt. Die Sharinganbieter geben an, dass täglich 0,5 % der Roller wegen Reparaturen ausfallen. Das gewählte E-Scooter-Referenzmodell mit fest verbauter Batterie hat eine Reichweite von 22 km bei einer Batteriekapazität von 0,43 kWh, während die E-Scooter mit wechselbarer Batterie eine Reichweite von 30 km und eine Batteriekapazität von 0,58 kWh haben. Daraus ergibt sich ein Energieverbrauch von 0,02 kWh pro km oder rund 37 bis 144 kWh über die gesamte Lebensdauer. Für das Ausgangsszenario 2019 – Markteintritt werden die Umweltwirkungen des Strombedarfs entsprechend dem deutschen Strommix von 2016 bestimmt.

Einfluss Transport auf die Treibhausgasemissionen

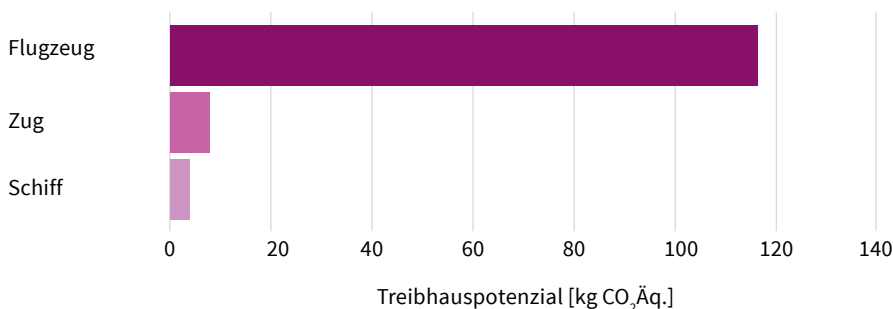


Abbildung 5: Treibhausgasemissionen durch den Transport eines Referenz-E-Scooters mit wechselbarer Batterie vom Produktionsstandort in China zum Einsatzort in Deutschland

²⁵ Den angegebenen Emissionsfaktoren der Transportmittel liegen folgende Annahmen zugrunde: (a) Der Transport per Schiff erfolgt in einem Containerschiff mit 70 % Auslastung. Das Schweröl hat einen Emissionsfaktor von 492 g CO₂/kg.; (b) Der Transport per Zug erfolgt in einem Güterzug mit 726 t Nutzlast und 40 % Auslastung. Es wird angenommen, dass der Zug zu je 50 % mit einer Diesel- bzw. einem elektrisch betriebenen Triebfahrzeug gezogen wird. Der Emissionsfaktor des Diesels beträgt 481 g CO₂/kg, der des genutzten Strommixes 836 g CO₂/kWh; (c) Der Transport per Flugzeug erfolgt in einem Frachtflugzeug mit 65 t Nutzlast und einer Auslastung von 66 %. Das genutzte Kerosin hat einen Emissionsfaktor von 344 g CO₂/kg. Bei den getroffenen Annahmen handelt es sich um Durchschnittswerte nach thinkstep AG 2019.

Das Treibhauspotenzial beträgt hierbei 0,568 kg CO₂-Äq. pro kWh Strom²⁶. Für die Betrachtung der Umweltwirkung eines Produktes ist das Treibhauspotenzial einer der wichtigsten Indikatoren. Neben der tatsächlichen Nutzung der E-Scooter ist vor allem die Methode für das Einsammeln, Austauschen und Warten der E-Scooter und Batterien ausschlaggebend. Hierfür werden in den Szenarien wahlweise Dieseltransporter, E-Vans oder E-Cargobikes eingesetzt. Außerdem gibt es in Deutschland seit einiger Zeit Wechselstationen, welche die Nutzung von standardisierten Wechselbatterien ermöglichen und Serviceverkehre in naher Zukunft überflüssig machen könnten. Diese dezentrale Möglichkeit der Ladung wird im letzten Szenario betrachtet.

Darüber hinaus gibt es Anbieter, die nicht eigene Mitarbeiter einsetzen, um E-Scooter einzusammeln, aufzuladen und wieder zu verteilen, sondern sogenannte „Juicer“, die beispielsweise vom Unternehmen Lime eingesetzt werden²⁷. Da bei dieser Methode private Fahrzeuge genutzt werden, haben Anbieter keine Kenntnis über die verwendeten Kraftstoffe, den eingesetzten Strommix sowie die zurückgelegten Strecken. Aufgrund der hohen Unsicherheiten über die Umweltwirkungen dieses Anwendungsfalls wurde dieser in den Szenarien nicht berücksichtigt. Abschließend zählt auch der Betrieb der IT-Infrastruktur für Flottenmanagement zur Nutzungsphase, welcher aufgrund der fehlenden Datengrundlage in der Studie nicht berücksichtigt wurde.



Potenziale zur Reduktion der Treibhausgasemissionen bestehen während der Nutzungsphase demnach vor allem in der Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien und eines umweltfreundlichen Flottenmanagements unter Einsatz von Elektrofahrzeugen beziehungsweise E-Cargobikes zum Einsammeln der E-Scooter oder zum Austausch der Batterien. Einige Anbieter geben an, dass bereits ausschließlich Strom aus erneuerbaren Energien für die Ladung der E-Scooter genutzt werde. Darüber hinaus werden wohl anfallende CO₂-Äq.-Emissionen aus den verschiedenen Phasen über Partnerunternehmen kompensiert.

3.5 Entsorgung und Recycling

Wiederverwertung und Entsorgung gehören zur Lebensendphase des Fahrzeugs. Bei der Entsorgung eines Produktes werden im Rahmen von Lebenszyklusanalysen teilweise sogenannte End-of-Life-Credits²⁸ vergeben. Da diese jedoch aufgrund der Verwendung verschiedener Berechnungsansätze und noch andauernden wissenschaftlichen Diskurses nur unzureichend bestimmt werden können, werden sie in der vorliegenden Publikation nicht angewendet²⁹. Der E-Scooter wird am Ende seiner Lebensdauer lediglich geschreddert und es werden dafür keine Gutschriften gegeben. Der Energiebedarf dafür beträgt 2,7 kWh³⁰.

Mehrere Anbieter geben an, dass die E-Scooter, wenn sie das Ende des Lebenszyklus erreicht haben oder irreparable Schäden aufweisen, in ihre Einzelteile zerlegt und weiterhin nutzbare Teile für die Reparatur vorhandener Fahrzeuge verwendet werden. Teile, die nicht mehr weiterverwendet werden können, werden teilweise von lokalen Recyclingunternehmen wiederverwertet. Einige E-Scooter-Anbieter geben an, eine nennenswerte Reduktion der Treibhausgasemissionen pro Personenkilometer durch eine Recyclingrate von 99 % für Aluminium, Stahl und Plastik sowie eine Recyclingrate von 70 % für Lithium-Ionen-Batterien zu erreichen³¹. Auch gibt es bereits Anbieter, die im Sharingbetrieb genutzte Fahrzeuge wiederaufbereiten und diese als Gebrauchtfahrzeuge an private Nutzer weitergeben.

In diesem Prozess werden Einzelteile wie Handgriffe, Verkleidungskomponenten oder beispielsweise auch die Lenkerstange mit neuen Teilen ersetzt. Die Materialbasis des E-Scooters bleibt dabei erhalten. Hierdurch lässt sich die Lebensdauer der E-Scooter verlängern und die Umweltbilanz wird entsprechend verbessert. Eine einheitliche Vorgehensweise, wie im Vorangegangenen beschrieben, könnte in der Zukunft positive Auswirkungen auf die Gesamtemissionen der E-Scooter haben.

²⁶ Severengiz, Finke, Schelte & Wendt 2020 nach thinkstep AG 2019.

²⁷ Lime 2020.

²⁸ Der Ansatz End-of-Life-Credits ist eine Form der End-of-Life-Bilanzierung, bei der das Recycling eines Materials am Ende der Nutzungsdauer eines Produkts durch die Zuweisung einer Gutschrift für die Umweltbelastung der Produktion des Primärmaterials belohnt wird, die der Masse des aus Sammlung und Recycling zurückgewonnenen Sekundärmaterials entspricht.

²⁹ Koffler & Finkbeiner 2018.

³⁰ Koffler & Finkbeiner 2018.

³¹ Ernst & Young 2020.

4

Umweltbilanz am Beispiel der Nutzung in Berlin

Das E-Scooter-Sharing ist ein relativ neues Geschäftsmodell, daher gibt es kaum verlässliche Daten über die Lebensdauer von E-Scootern. Auch die Methoden zum Einsammeln und Aufladen der E-Scooter bzw. ihrer Batterien unterscheiden sich stark. Um diesen Unsicherheiten Rechnung zu tragen, wurden verschiedene Szenarien für die Nutzungsphase am Beispiel der Stadt Berlin entwickelt. Das Ausgangsszenario 2019 – Markteintritt orientiert sich an den Auswertungen der Rollergeneration aus dem Jahr 2019 und Interviews mit Sharinganbietern. Bis auf wenige Ausnahmen wurden E-Scooter mit fest verbauten Batterien, niedriger Lebensdauer und Serviceverhalten mit dieselbetriebenen Vans eingesetzt. In Szenario 2020 – Erste Optimierungen wird davon ausgegangen, dass die Lebensdauer der E-Scooter gesteigert wird, wechselbare Batterien die Anzahl der Serviceverkehre minimieren und durch den Einsatz von E-Vans oder E-Cargobikes für Servicefahrten der CO₂-Fußabdruck des Serviceverkehrs optimiert wird. Im Szenario 2021 – Plus wird davon ausgegangen, dass E-Scooter fest in das öffentliche Verkehrsnetz integriert werden, eine deutlich höhere Lebensdauer erreichen und durch dezentrale Ladeoptionen (wie Ladestationen an Knotenpunkten) der Serviceverkehr bis auf Wartungsfahrten entfällt. Der Transport erfolgt in allen betrachteten Szenarien per Schiff. Außerdem wird in allen Szenarien ein Energieverbrauch von 2,7 kWh für die Entsorgung des Scooters am Ende seines Lebenszyklus angenommen.

4.1 Szenario 2019 – Markteintritt

Im Szenario 2019 – Markteintritt beträgt die Lebensdauer der E-Scooter 6 Monate, was bei einer täglichen Strecke von 10,5 km einer Laufleistung von 1.900 km entspricht. Der E-Scooter hat eine fest verbaute Batterie und wird daher vollständig eingesammelt und aufgeladen. Die Batterie hat eine Reichweite von 22 km bei einem Energieverbrauch von 0,02 kWh pro km. Für das Einsammeln werden Kleintransporter (Diesel, Euro 4, 3,5 t) eingesetzt³². Der Transporter hat unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus ein Treibhauspotenzial von 337 g CO₂-Äq. pro km³³. Nach Angaben der Sharinganbieter kann ein Transporter 40 E-Scooter pro Tag zum Aufladen transportieren.

Die Transporter sammeln auch E-Scooter (0,5 % aller Roller pro Tag) zur Reparatur ein. Da nicht alle Scooter, sondern nur etwa zwei Drittel täglich geladen werden müssen, bedeutet dies, dass ein Transporter 60 E-Scooter versorgen kann, wobei er eine Strecke von 100 km/Tag zurücklegt. Insgesamt legt ein Transporter in diesem Szenario 1,7 km pro E-Scooter pro Tag oder 300 km über den Lebenszyklus eines E-Scooters zurück.

4.2 Szenario 2020 – Erste Optimierungen

Im Szenario 2020 – Erste Optimierungen wird von einer gesteigerten Lebensdauer der E-Scooter von 12 Monaten ausgegangen. Darüber hinaus besitzen die E-Scooter eine wechselbare Batterie mit einer Reichweite von 30 km. Einige der befragten Anbieter von E-Scooter-Sharingdiensten geben an, aktuell für den Batteriewechsel elektrifizierte Kleintransporter und in der Zukunft elektrifizierte Cargobikes zu nutzen³⁴. Als weitere Optimierungsmaßnahme werden E-Scooter und Servicefahrzeuge mit Strom aus erneuerbaren Quellen (0,073 kg CO₂-Äq./ kWh) geladen.

Es wird angenommen, dass es sich um einen Lieferwagen eines chinesischen Herstellers mit einer Lithium-Ionen-Batterie handelt³⁵. Ausgehend von einer Lebensdauer des Transporters von 150.000 km³⁶ wurde die Umweltwirkung der Produktion des Transporters in die Bilanzierung des Batteriewechsels mit dem E-Van einbezogen. Ein Transporter wechselt nach Angaben der Sharinganbieter täglich 100 Batterien, da die Batterien weniger Platz im Transporter benötigen als die E-Scooter. Da durch die höhere Reichweite gleichzeitig nur etwa die Hälfte der Batterien täglich gewechselt werden muss, kann ein Transporter 200 Roller versorgen. Die Transporter sammeln ebenfalls E-Scooter (0,5 % aller Roller pro Tag) zur Reparatur ein. Insgesamt fährt ein Transporter eine Strecke von 100 km pro Tag, d. h., er legt pro Tag 0,5 km pro E-Roller oder 183 km über die Lebensdauer eines E-Rollers zurück. Die E-Vans haben eine Reichweite von ca. 160 km mit einer Batteriekapazität von ca. 56 kWh³⁷. Daraus ergibt sich ein Energieverbrauch von 0,35 kWh pro km oder 64 kWh über die gesamte Lebensdauer des E-Rollers.

³² Severengiz, Finke, Schelte & Wendt 2020 nach thinkstep AG 2019.

³³ Severengiz, Finke, Schelte & Wendt 2020 nach thinkstep AG 2019.

³⁴ Da die Batterien nicht fest verbaut sind, können diese unabhängig von der Lebensdauer des E-Scooters verwendet werden. Dadurch wird im Modell – über den Lebenszyklus betrachtet – nur eine Batterie je Scooter berücksichtigt und in die Bilanzierung einbezogen. Um die Nutzung der Batterien über die Lebensdauer der E-Scooter hinaus zu gewährleisten, sollte der Lebenszyklus von Batterien und Fahrzeugen synchronisiert werden. Quelle: Severengiz, Schelte & Bracke, 2020.

³⁵ Busch & Sakanoshita 2019.

³⁶ Ritthoff & Schallaböck 2012.

³⁷ Busch & Sakanoshita 2019.

Eine weitere Methode zum Batteriewechsel ist der Einsatz elektrifizierter Cargobikes. Mit einer Reichweite von ca. 30 km kann das Cargobike allerdings weniger E-Scooter bedienen als ein Transporter. Daher wird davon ausgegangen, dass ein Cargobike 50 Batterien pro Tag wechselt und dadurch 100 Roller pro Tag bedienen kann. Insgesamt legt ein Cargobike 0,5 km pro E-Roller pro Tag oder 183 km über die Lebensdauer eines E-Rollers zurück. Der Energiebedarf beträgt 0,046 kWh pro Kilometer oder 8,4 kWh über den gesamten Lebenszyklus des E-Scooters. Ausgehend von einer Lebensdauer des E-Cargobikes von 15.000 km³⁸ wurde die Produktion in die Bilanzierung des Batteriewechsels mit dem E-Cargobike einbezogen.

Insgesamt ergibt sich unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus des E-Scooters in der Nutzungsphase ein Treibhauspotenzial von 7,7 g CO₂Äq./Pkm bei Nutzung von E-Vans und ein Treibhauspotenzial von 3,1 g CO₂Äq./Pkm unter Verwendung von E-Cargobikes.

4.3 Szenario 2021 – Plus

In dem innovativen Szenario 2021 – Plus wurde eine Lebensdauer der E-Scooter von 24 Monaten angenommen. Weiterhin besitzen die E-Scooter eine wechselbare Batterie. Im Unterschied zu Szenario 2 werden die Batterien dezentral und stationsbasiert geladen. Dies könnte beispielsweise in Wechselstationen für standardisierte Wechselbatterien erfolgen³⁹. Solche Stationen könnten in der Zukunft eine anbieterübergreifende und einfache Ladelösung bieten, um die Effizienz der Sharingbetriebe weiter zu erhöhen.

Auch der Einsatz von Solarladestationen zum Laden der E-Scooter stellt eine Option zur Optimierung dar und wird bei-

spielsweise bereits durch das Unternehmen SunCrafter umgesetzt. Die Umweltwirkung der Stationen ist durch die Berücksichtigung der Photovoltaikmodule in der Bilanzierung des Solarstroms (0,067 kg CO₂Äq./kWh) einbezogen. Weitere interessante Alternativen stellen Lösungen zum Aufladen bzw. Wechseln von Batterien in Kiosken und Geschäften dar⁴⁰. Die Umweltwirkung dieser Lösungen muss allerdings noch abschließend bewertet werden. Da davon auszugehen ist, dass Nutzer an diesen Stationen die Batterien selbstständig wechseln können beziehungsweise den E-Scooter selbstständig zum Laden anschließen, wird in diesem Szenario angenommen, dass Servicefahrten zum Batteriewechsel vollständig entfallen. Nur das Einsammeln von E-Scootern (0,5 % aller Roller pro Tag) zur Reparatur oder Wartung mit E-Transportern wurde in die Berechnung einbezogen. Die E-Transporter werden in diesem Szenario – ebenso wie die E-Scooter – mit Solarstrom beladen.

4.4 Ergebnisse

Die untersuchten Szenarien zeigen erhebliche Unterschiede im Treibhauspotenzial der E-Scooter (siehe Abbildung 6). Im Szenario 2019 – Markteintritt besitzen die E-Scooter ein Treibhauspotenzial von rund 197 g CO₂Äq./Pkm, wobei der Anteil der Produktion hierbei rund 70 % beträgt. Im Szenario 2020 – Erste Optimierungen werden bereits deutliche Verbesserungen erreicht. Die Verwendung von E-Vans oder E-Cargobikes führt dabei zu einer Reduktion auf 123 g CO₂Äq./Pkm bzw. 118 g CO₂Äq./Pkm. Im zukunftsorientierten Szenario 2021 – Plus werden schließlich Werte von rund 59 g CO₂Äq./Pkm für die E-Scooter erreicht.

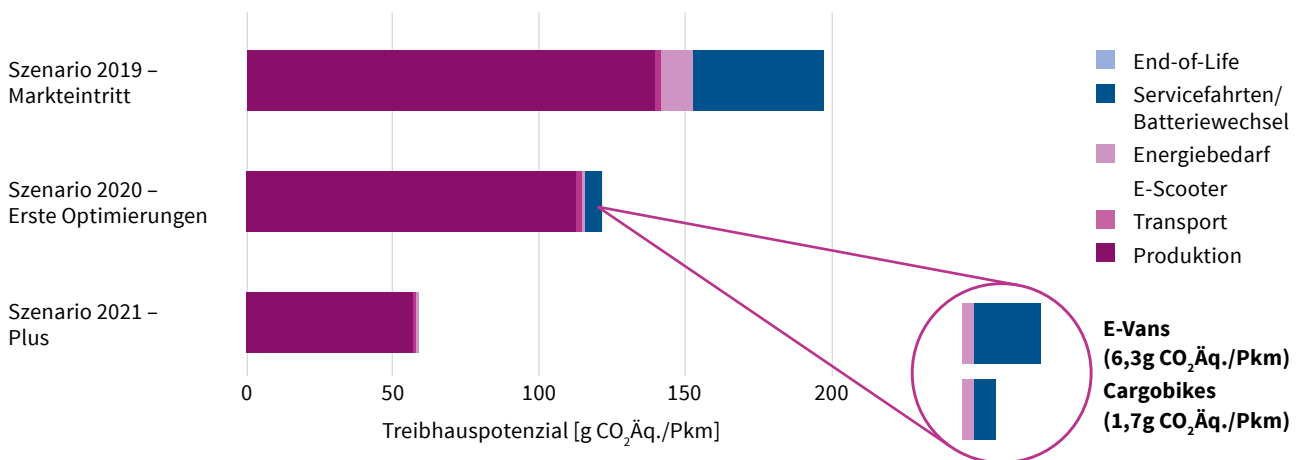


Abbildung 6: Treibhauspotenzial des E-Scooter-Sharings bezogen auf einen Personenkilometer für die betrachteten Nutzungs- und Betriebsszenarien

³⁸ Leutenberger & Frischknecht 2010.

³⁹ Kürzlich stellte das Unternehmen Swobbee hierfür die erste compatible Prototypen-Wechselstation für E-Scooter vor.

⁴⁰ Tier 2021.

Die durchgeführte Sensitivitätsanalyse⁴¹ zeigt, dass das Treibhauspotenzial am empfindlichsten auf die Lebensdauer des Scooters und auf die für den Serviceverkehr zurückgelegte Strecke reagiert (Batteriewechsel und für das Sammeln der Fahrzeuge). Eine geringe Lebensdauer des Rollers (<6 Monate) zeigt bedingt durch die E-Scooter-Produktion sehr hohe Auswirkungen auf die Treibhauswirkung, welche sich in der Folge auf weniger gefahrene Kilometer über die Lebensdauer des E-Scooters verteilt. Das macht deutlich, dass die Produktion ein wichtiger Parameter ist, um die Umweltauswirkungen des E-Scooter-Sharings zu beeinflussen, auch wenn diese Studie keine Sensitivitätsanalyse zur Produktion beinhaltete, da das Ziel die Identifikation von Optimierungspotenzialen in der Nutzungsphase war. Ein weiterer wichtiger Parameter ist die zurückgelegte Strecke zum Sammeln von Batterien/Scootern pro gefahrener Strecke des E-Scooters. Insbesondere die Verwendung von wechselbaren Batterien reduziert die Sammeldistanz und damit die Umweltwirkung enorm.

4.5 Vergleich mit anderen Verkehrsmitteln

Um die Umweltauswirkungen des E-Scooter-Sharings zu bewerten, ist es notwendig, es mit alternativen Verkehrsträgern zu vergleichen. Betrachtet man das Szenario 2021 – Plus, hat das E-Scooter-Sharing mit 59 g CO₂Äq./Pkm ein um 70 % geringeres Treibhauspotenzial je Personenkilometer als ein durch-

schnittlicher Privat-Pkw⁴². Auch gegenüber elektrifizierten Motorrollern⁴³ und dem öffentlichen Personennahverkehr⁴⁴ kann die Umweltwirkung um 21–33 % reduziert werden. Das E-Scooter-Sharing schneidet allerdings schlechter als E-Bikes oder das Fahrrad ab. In der Betrachtung des Markteintrittsszenarios weist der E-Scooter hingegen eine ähnlich schlechte Bilanz wie Privat-Pkw auf.

E-Scooter-Sharing besitzt das Potenzial, ein Beitrag zur Entlastung der Städte und eine Teillösung für das Problem der letzten Meile zu sein, aber es reduziert nicht zwangsläufig die THG-Emissionen des urbanen Verkehrssystems. Die Ergebnisse zeigen, dass E-Scooter die Treibhausgasemissionen im Vergleich zu den Verkehrsmitteln, die sie substituieren, senken können. Im ungünstigsten Szenario könnten, abhängig vom Betriebsmodell und Produkt, die Emissionen pro Passagierkilometer des E-Scooter-Sharings höher sein als bei allen anderen Verkehrsmitteln.

E-Scooter erreichen im Vergleich zu anderen Fahrzeugen und Mobilitätsformen bisher deutlich geringere Laufleistungen. Dies hat zur Folge, dass sich die in Produktion und Betrieb anfallenden Emissionen auf wenige Personen und Kilometer verteilen. Der Vergleich zeigt aber auch, dass durch konkrete Maßnahmen und Vorgaben E-Scooter ein deutliches Potenzial zur Treibhausgasminderung haben.

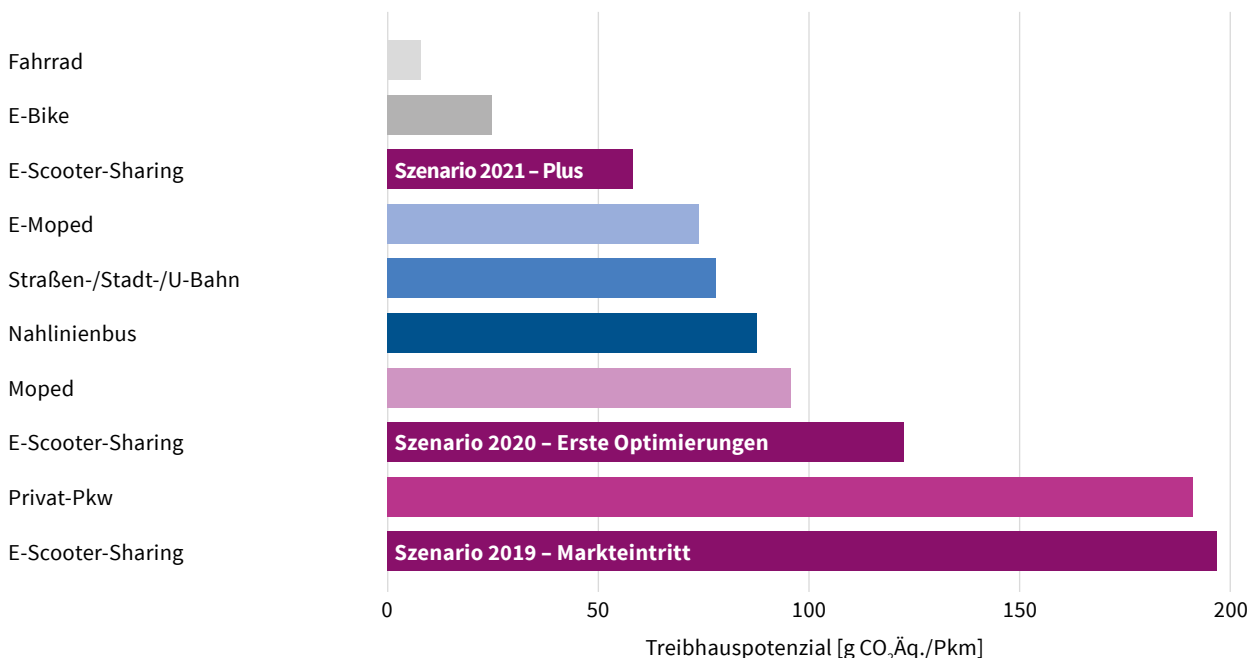


Abbildung 7: Treibhauspotenzial des E-Scooter-Sharings über den Lebenszyklus im Vergleich mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln des Personennahverkehrs^{45, 46}

⁴¹ Die Sensitivitätsanalyse ist eine Methode zur quantitativen Untersuchung von Unsicherheiten durch Modellparameter und Eingabegrößen. Sie hat zur Aufgabe, zu ermitteln, inwiefern sich die Variation eines Parameters oder einer Eingabegröße auf das Modellergebnis auswirkt.

⁴² Umweltbundesamt 2019.

⁴³ Weiss, Dekker, Moro, Scholz & Patel 2015.

⁴⁴ Umweltbundesamt 2019.

⁴⁵ Umweltbundesamt 2019.

⁴⁶ Weiss, Dekker, Moro, Scholz & Patel 2015.

5

Schlussfolgerungen

Wie die Studie zeigt, haben E-Scooter im Sharingbetrieb das Potenzial, die Mobilität in Städten umweltfreundlicher zu gestalten. Ihr Vorteil besteht darin, dass sie eine hohe Energieeffizienz in der Nutzungsphase aufweisen und sowohl die Lärmbelastung als auch die vom Individualverkehr eingenommene Fläche reduzieren. Zusätzlich sind E-Scooter als Last-Mile-Verkehrsmittel geeignet. Für die Mitnahme und Verstauung von E-Scootern im ÖPNV sind allerdings einheitliche, für den Verbraucher nachvollziehbare Regelungen und Vorrichtungen nötig. Eine klare Kommunikation dieser Regeln ist für alle Verkehrsteilnehmenden unerlässlich.

Die Datengrundlage der Studie bildete das Jahr der Markteinführung der E-Scooter in Deutschland – 2019. **Einige Sharinganbieter haben bereits reagiert und Maßnahmen umgesetzt, welche sich positiv auswirken und so die Umweltbilanz im Vergleich zum Markteintrittsszenario verbessern.** Zu den Neuerungen zählen austauschbare Batterien, eine robustere Produktgestaltung und dadurch verlängerte Produktlebensdauer sowie der Einsatz von E-Fahrzeugen für Servicefahrten.

Um potenzielle Umweltvorteile des E-Scooter-Sharings zu erschließen, sind die folgenden Maßnahmen empfehlenswert. Die Lebensdauer von E-Scootern sollte durch einen modularen Aufbau verlängert werden, da so defekte Teile einfacher austauschbar sind. Auch ein robustes Design und zusätzliche Anti-Vandalismus-Maßnahmen beeinflussen die Lebensdauer positiv.

Die CO₂-Emissionen während der Produktionsphase können durch die Nutzung von Sekundärmaterialien sowie Maßnahmen zum Closed Loop Recycling zwischen Flottenbetreibern bzw. Fahrzeugherstellern und Rohstoff- bzw. Recyclingunternehmen verringert werden. **Auch die Verwendung alternativer Materialien mit einer besseren Umweltbilanz und einer lebenszyklusorientierten Leichtbauweise kann die Produktion von E-Scootern klimafreundlicher gestalten.** Eine Leichtbauweise sollte allerdings nur implementiert werden, wenn sich diese ökologisch innerhalb der Lebensdauer amortisiert. **Eine Produktionsverlagerung zu einem Standort, die Produktions- und Transportemissionen reduziert, sowie ein CO₂-ärmerer Strommix sind ebenfalls empfehlenswert.**

Während der Nutzungsphase sollten CO₂-Emissionen durch die Verwendung von Strom aus erneuerbaren Energien sowie effizientere Betriebs- und Energieversorgungssysteme verringert werden, dazu zählen beispielsweise wechselbare Batterien, welche wiederum durch Nutzer oder Servicemitarbeiter mit E-Fahrzeugen ausgetauscht oder an Ladestationen aufgeladen werden können. **Allgemein sollte sich der Trend zum selbstständigen Laden der E-Scooter durch Nutzende an Lade- oder Batteriewechselstationen entwickeln.**

Negative Substitutionseffekte sollten durch die Positionierung von Ladestationen mit Strom aus erneuerbaren Energien an ÖPNV-Haltestellen sowie eine direkte Kommunikation zwischen ÖPNV- und Sharinganbietern verhindert werden⁴⁷. Die Schaffung von gemeinsamen Plattformen und Angeboten von ÖPNV- und Sharinganbietern würde die Verwendung der E-Scooter als Last-Mile-Fahrzeug für Konsumenten erleichtern. Eine gezielte Positionierung von E-Scootern an Standorten mit hohem Pkw- und geringem ÖPNV-Anteil wie in Stadtrandgebieten und Vororten kann zudem die Substitution des umweltfreundlichen ÖPNV verhindern und gleichzeitig die ÖPNV-Anbindung verbessern.

Für eine umfassende Bewertung der Umweltwirkung von E-Scootern sind weiterführende Forschungsarbeiten erforderlich. Hierbei sollten die Wechselwirkung im Verkehrssystem und die Substitution anderer Fortbewegungsmöglichkeiten adressiert werden, um zu identifizieren, welche Verkehrsmittel und/oder Fußwege ersetzt werden. Insbesondere das Zusammenspiel mit dem ÖPNV sollte stärker beleuchtet werden, um die positiven Klimaeffekte beider Verkehrsmittel besser fördern zu können.

Für die E-Scooter-Sharinganbieter in Berlin ist auffällig, dass sich diese überwiegend innerhalb des S-Bahnringes konzentrieren. Damit wird das Potenzial von E-Scootern als Last-Mile-Verkehrsmittel nicht optimal genutzt, da hier bereits eine umweltfreundliche Alternative in Form eines gut ausgebauten Verkehrsnetzes des ÖPNV vorhanden ist und so E-Scooter die positive Wirkung des ÖPNV substituieren. Stattdessen sollten Kommunen vorgeben, möglichst die Stadtrandbezirke zu integrieren. So können E-Scooter den ÖPNV ergänzen, ohne dessen Wirkung zu substituieren⁴⁸.

⁴⁷ Solche Mobilstationen sind z. B. bereits in Berlin von der BVG unter dem Namen „Jelbi“ realisiert worden.

⁴⁸ Portland Bureau of Transportation 2018; San Francisco Municipal Transportation Agency's (SFMTA's) 2019; Crier, Chretien & Louvet 2019.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Nahverkehrsnetz in Berlin und Geschäftsgebiete verschiedener E-Scooter-Sharinganbieter	7
Abbildung 2: Systemgrenzen der Lebenszyklusanalyse von E-Scootern	8
Abbildung 3: Gewichtsanteile der Bestandteile eines Referenz-E-Scooters	11
Abbildung 4: Treibhausgasemissionen in der Produktionsphase der Referenz-E-Scooter	11
Abbildung 5: Treibhausgasemissionen durch den Transport eines Referenz-E-Scooters mit wechselbarer Batterie vom Produktionsstandort in China zum Einsatzort in Deutschland	12
Abbildung 6: Treibhauspotenzial des E-Scooter-Sharings bezogen auf einen Personenkilometer für die betrachteten Nutzungs- und Betriebsszenarien	15
Abbildung 7: Treibhauspotenzial des E-Scooter-Sharings über den Lebenszyklus im Vergleich mit unterschiedlichen Verkehrsmitteln des Personennahverkehrs	16

Literaturverzeichnis

Tack, A. Klein, A. & Bock, B. (Civity). (2019). E-Scooters in Germany. A data-driven contribution to the ongoing debate. Von <http://scooters.civity.de/en> abgerufen.

Baptista, P., Melo, S. & Rolim, C. (2014). Energy, environmental and mobility impacts of car-sharing systems. Empirical results from Lisbon, Portugal. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 111, S. 28–37.

Bird. (2020). Von Bird Partners With Carbone 4 To Become The First Operator To Contribute To Carbon Neutrality In Paris In 2020. Von <https://www.bird.co/blog/bird-partners-with-carbone-4-to-become-the-first-operator-to-contribute-to-carbon-neutrality-in-paris-in-2020/> abgerufen.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU). (2020). Klimaschutz in Zahlen. Von Fakten, Trends und Impulsen deutscher Klimapolitik. Ausgabe 2020. Von https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Broschueren/klimaschutz_zahlen_2020_broschuere_bf.pdf abgerufen.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). (2014). Innovative Öffentliche Fahrradverleihsysteme – Ergebnisse der Evaluation und Empfehlungen aus den Modellprojekten. Von <http://edoc.difu.de/edoc.php?id=ST234X67> abgerufen.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). (2019). Elektrokleinstfahrzeuge – Fragen und Antworten. Von <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Strassenverkehr/elektrokleinstfahrzeuge-verordnung-faq.html> abgerufen.

Busch, M. & Sakanoshita, Y. (2019). Maxus EV80. Von <https://www.maske.de/fahrzeuge/leichte-nutzfahrzeuge/e-nutzfahrzeuge/maxus-ev80/> abgerufen.

Carbonfootprint.com. (2019). 2019 Grid Electricity Emissions Factors v1.0 – Juni 2019. Von https://www.carbonfootprint.com/docs/2019_06_emissions_factors_sources_for_2019_electricity.pdf abgerufen.

Crier, C., Chretien, J. & Louvet, N. (2019). Uses and users of free- floating e-scooters in France.

Ernst & Young. (2020). Micromobility: moving cities into a sustainable future. Von https://www.voiscooters.com/wp-content/uploads/2020/03/200316_EY_Micromobility_Moving_cities_into_a_sustainable_future_1.pdf abgerufen.

European Aluminium. (2020). A strategy for achieving aluminium's full potential for circular economy by 2030. Von https://www.european-aluminium.eu/media/2929/2020-05-13-european-aluminium_circular-aluminium-action-plan.pdf abgerufen.

Institute for Transportation and Development Policy. (2019). The Electric Assist: Leveraging E-bikes and E-scooters for More Livable Cities.

International Transport Forum. (2020). Safe Micromobility. Report by the International Transport Forum OECD/ITF.

Kaltschmitt, M. & Schebek, L. (2015). Umweltbewertung für Ingenieure. Heidelberg: Springer Verlag.

Koffler, C. & Finkbeiner, M. (2018). Are we still keeping it “real”? Proposing a revised paradigm for recycling credits in attributional life cycle assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment volume 23, S. 181–190. The International Journal of Life Cycle Assessment, volume 23. Von <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1404-x> abgerufen.

Leutenberger, M. & Frischknecht, R. (2010). Life Cycle Assessment of Two Wheel Vehicles.

Lime. (2020). Alles zum Einsammeln. Von <https://help.li.me/hc/de/articles/3600156-abgerufen91953-Alles-zum-Einsammeln> abgerufen.

Bertram, M., Ramkumar, S., Rechberger, H., Rombach, G., Bayliss, C., Martchek, K. J., Müller, D. B. & Liu, G. (2017). A regionally-linked, dynamic material flow modelling tool for rolled, extruded and cast aluminium products. Res. Conservation Recycling. Von <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.05.014> abgerufen.

Weiss, M., Dekker, P., Moro, A., Scholz, H. & Patel, M. K. (2015). On the electrification of road transportation – A review of the environmental, economic, and social performance of electric two-wheelers. Transp. Res. D 41, S. 348–366.

McKinsey & Company. (2019). Micromobility's 15,000-Mile Checkup. Von <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/micromobilitys-15000-mile-checkup#> abgerufen.

National Association of City Transportation Officials. (2019). Shared Micromobility in the US.

Portland Bureau of Transportation. (2018). E-Scooter Pilot User Survey Results.

Ritthoff, M. & Schallaböck, K. O. (2012). Ökobilanzierung der Elektromobilität. Themen und Stand der Forschung. Teilbericht im Rahmen der Umweltbegleitforschung Elektromobilität im Förderschwerpunkt „Modellregionen Elektromobilität“.

Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU). (2017). Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor (Sondergutachten, 1. Auflage, digitale Originalausgabe). Berlin.

San Francisco Municipal Transportation Agency's (SFMTA's). (2019). Powered Scooter Share Mid-Pilot Evaluation.

Severengiz, S., Finke, S., Schelte, N. & Forrister, H. (2019). Assessing the Environmental Impact of Novel Mobility Services using Shared Electric Scooters as an Example; 17th Global Conference on Sustainable Manufacturing Shanghai, China on 9th–11th October, 2019.

Severengiz, S., Finke, S., Schelte, N. & Wendt, N. (2020). Life Cycle Assessment on the Mobility Service E-Scooter Sharing. IEEE European Technology and Engineering Management Summit (E-TEMS) (S. pp. 1–6). Dortmund.

Severengiz, S., Schelte, N. & Bracke, S. (2020). Analysis of the environmental impact of e-scooter sharing services considering product reliability characteristics and durability. In: Proceedings of CIRPe 2020, 14th–16th October 2020, 8th CIRP Global Web Conference – Flexible Mass Customisation, 2020.

thinkstep AG. (2019). LBP-GaBi. University of Stuttgart, GaBi Software.

Tier. (2019). TIER Mobility commits to full carbon neutrality. Von <https://www.tier.app/de/tier-mobility-commits-to-full-carbon-neutrality/> abgerufen.

Tier. (2021). Tier elektrisiert Europa. Von <https://www.tier.app/de/energynetwork/> abgerufen.

Umweltbundesamt. (2019). Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. Abschlussbericht.

Umweltbundesamt. (2019). Vergleich der durchschnittlichen Emissionen.
Von <https://www.umweltbundesamt.de/bild/vergleich-der-durchschnittlichen-emissionen-0> abgerufen.

Voi. (2020). Independent Ernst&Young report confirms Voyager 3 is our most sustainable model ever.
Von <https://www.voiscooters.com/blog/voiyager-3-is-our-most-sustainable-model-ever/> abgerufen.

Weltbank. (2019). World Development Indicators.
Von <https://data.worldbank.org/indicator/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=DE&view=chart> abgerufen.

