

e-Bikes – Status quo, Potentiale und politische Handlungsoptionen

Kurzanalyse im Rahmen des Projektes "Analysen und Bewertungen zur Klimaschutzwirkung von Instrumenten und Maßnahmen zur Treibhausgasminderung im Verkehr, Entwicklung von Gestaltungsoptionen"

Julius Jöhrens, Heike Oehler, Kirsten Biemann, Jascha Klimke | ifeu

Heidelberg, Juni 2023

Inhalt

Та	belle	ingsverzeichnis nverzeichnis nenfassung	3 5 6
1	Einle	eitung	7
2	Stat	us quo und aktuelle Entwicklungen	9
	2.1	E-Bikes haben sich von einer Nische zu einer gleichberechtigten Sparte auf dem Zweiradmarkt entwickelt.	9
	2.2	E-Bikes ermöglichen längere Distanzen und senken topographische Hürden für die Zweiradnutzung.	10
	2.3	Es verdichten sich die Hinweise, dass privat genutzte E-Bikes in erheblichem Maße Pkw-Fahrten ersetzen.	11
	2.4	Lastenräder haben derzeit noch einen geringen Marktanteil, zeigen aber einen starken Wachstumstrend.	13
	2.5	Lastenräder werden vielfältig genutzt und können in vielen Fällen Pkw-Fahrten ersetzen.	14
3	THG	-Bilanz von E-Bikes und anderen Verkehrsmitteln im Vergleich	16
4	THG	-Minderungspotentiale durch den Einsatz von E-Bikes	22
	4.1	THG-Minderungspotentiale durch weitere Marktdurchdringung von E-Bikes	23
	4.2	THG-Minderungspotentiale durch den breiten Einsatz von Lastenrädern im privaten Bereich	28
5	Han	dlungsoptionen	34
		rverzeichnis : Überblick der Literaturdatenbasis	37 40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Zei	Deutschland seit 2011 (ZIV 2022, 2023)	ı 9
Abbildung 2: Ve	rkäufe von Fahrrädern und E-Bikes im Jahr 2022 (Deutschland) nach Modellgruppen (ZIV 2023)	10
Abbildung 3: We	egeanzahl in verschiedenen Entfernungssegmenten bei nicht motorisierten Fahrrädern im Vergleich zu E-Bikes, als Anteil de gesamten Wegeanzahl mit dem jeweiligen Verkehrsmittel. Datengrundlage: Deutsches Mobilitätspanel, Bezugszeitraum 2016-2019.	er 11
Abbildung 4: Ve	ränderung der mittleren täglichen Wegelängen von Personen, die sich im Zeitraum 2016-2019 ein E-Bike angeschafft haben. Datengrundlage: Deutsches Mobilitätspanel, Bezugszeitraum 2016-2019.	13
Abbildung 5: Ent	twicklung der Lastenrad-Verkaufszahlen in Deutschland 2018 – 2022 (ZIV 2023)	- 13
Abbildung 6: Nu	tzungsmotivation für Lastenräder (Franziska Jurczok 2021)	14
Abbildung 7: Tre	eibhausgasemissionen (Lebenswegbetrachtung) von E-Bikes un alternativen Verkehrsmitteln – Bezugsjahr 2022. Bei Pkw wurd in der Darstellung ein Besetzungsgrad von 1 angenommen (Annahme für die Substitution von Pkw-Fahrten durch Pedelecs).	
Abbildung 8: Tre	eibhausgasemissionen (Lebenswegbetrachtung) von E-Bikes un alternativen Verkehrsmitteln – Bezugsjahr 2030. Bei Pkw wurd in der Darstellung ein Besetzungsgrad von 1 angenommen (Annahme für die Substitution von Pkw-Fahrten durch Pedelecs).	
Abbildung 9: Sch	nematische Darstellung des Vorgehens bei der Berechnung des THG-Minderungspotentials von E-Bikes	
Abbildung 10: Ei	ntwicklung von E-Bike-Verkäufen, -Beständen und Fahrleistung im Szenario "Wachstum"	g 24
Abbildung 11: Ei	ntwicklung von E-Bike-Verkäufen, -Beständen und Fahrleistung im Szenario "Mainstreaming"	g 25
Abbildung 12: Ei	ntwicklung von E-Bike-Verkäufen, -Beständen und Fahrleistung im Szenario "Konsolidierung"	g 25
Abbildung 13: TI	HG-Einsparungen im Szenario "Wachstum" gegenüber der Referenzentwicklung für die Bilanzräume Tank to Wheel (TtW und den kompletten Lebensweg (LCA).	') 28
Abbildung 14: Ei	ntwicklung von Verkäufen, Beständen und Fahrleistung der Lastenräder in Deutschland im hier betrachteten Szenario	30

- Abbildung 15: Lastenradbestände (farbige Flächen), die erforderlich wären, um für Lastenräder prinzipiell infrage kommende Teile der Personenverkehrsleistung im Nahbereich zu ersetzen. Dem gegenüber gestellt ist die Entwicklung des Lastenradbestands im betrachteten Szenario.
- Abbildung 16: THG-Einsparungen durch eine verstärkte Verbreitung von
 Lastenrädern im betrachteten Szenario gegenüber der
 Referenzentwicklung für die Bilanzräume Tank to Wheel (TtW)
 und den kompletten Lebensweg (LCA).

Tabellenverzeichnis

E-Bikes verlagert wurde, nach verschiedenen Quellen.	2 au
Tabelle 2: Überblick über Annahmen und Einflussparameter zur LCA-Berechn	ung
von E-Bikes und E-Lastenrädern	17
Tabelle 3: Kumulierte THG-Einsparungen in den E-Bike-Szenarien gegenüber o	der
Referenzentwicklung	27
Tabelle 4: Kumulierte THG-Einsparungen durch Lastenräder gegenüber der Referenzentwicklung	32
Tabelle 5: Politische Handlungsfelder mit Bezug zu E-Bikes und ihre Wirkung a	auf
zentrale klimapolitische Einflussgrößen	35

Zusammenfassung

Die Nutzung von Zweirädern mit elektrischer Tretunterstützung ("E-Bikes") ist in Deutschland in den vergangenen Jahren stark angewachsen. E-Bikes haben Stand 2022 mit 2,2 Mio. verkauften Fahrzeugen einen Anteil von ca. 48 % am deutschen Fahrradmarkt, der Bestand liegt schätzungsweise bei fast 10 Mio. E-Bikes (ZIV 2023). Erkenntnisse zum Einsatz von E-Bikes deuten darauf hin, dass diese zu mehr als einem Drittel Transportleistung mit dem Pkw ersetzen. Angesichts enormer Herausforderungen bei der Erreichung der gesetzlichen Klimaschutzziele im Verkehrssektor stellt sich die Frage, welche Klimaschutzpotentiale E-Bikes für die Zukunft bieten und wovon diese abhängen.

Für den Zeitraum bis zum Jahr 2040 wurden daher drei Szenarien für unterschiedlich starke Markthochläufe von E-Bikes betrachtet und mit der Referenzentwicklung des Radverkehrs gemäß Projektionsbericht 2021 verglichen. Im optimistischsten Fall wurde eine Steigerung des E-Bike-Anteils auf drei Viertel des Fahrradmarkts angenommen, bei erheblich steigender Radverkehrsleistung und gleichbleibend hoher Substitution von Pkw-Verkehr. In diesem Szenario steigt die Radverkehrsleistung auf ein Niveau, das mit der aktuellen Situation in den Niederlanden vergleichbar ist. Im pessimistischen Fall wurde eine Konsolidierung des E-Bike-Markts bei der Hälfte des gesamten Fahrradmarkts angenommen. Durch Substitution anderer Verkehrsmittel, insbesondere des motorisierten Individualverkehrs, können in den Szenarien im Zeitraum 2022-2030 gegenüber der Referenzentwicklung THG-Minderungen von kumuliert 2,5 bis 3,9 Mio. t CO₂-Äq. in den Bilanzgrenzen des Verkehrssektors (tank-to-wheel) erreicht werden, das entspricht etwa 0,24 % der gemäß Projektionsbericht 2021 erwarteten THG-Emissionen des Verkehrssektors in diesem Zeitraum.

Lastenräder als Teilsegment des E-Bikes-Markts entwickeln sich derzeit besonders dynamisch, die Verkaufszahlen haben sich seit 2018 innerhalb von drei Jahren fast verdreifacht. Eine mögliche weitere Entwicklung des Lastenradbestands auf Basis aktueller Nutzerpräferenzen wurde hinsichtlich potentieller THG-Minderungen abgeschätzt. Im Zeitraum 2022-2030 ergeben sich kumulierte THG-Minderungen (tank-to-wheel) von etwa 2,2 Mt CO₂-Äq. Eine Analyse anhand der MiD ergab, dass die längerfristigen Einsatzpotentiale für Lastenräder auch eine deutlich ambitioniertere Marktentwicklung ermöglichen würden als hier betrachtet. Es ist zu beachten, dass die für Lastenräder ermittelten THG-Minderungspotentiale nicht einfach mit denjenigen für den gesamten E-Bike-Markt addierbar sind, u.a. da es erhebliche Schnittmengen bei den potentiell verlagerbaren Verkehren gibt.

Die Analyse zeigt, dass allein durch die aus heutiger Sicht zu erwartende weitere Entwicklung des E-Bike-Markts bei gegenüber heute gleichbleibender Nutzung der E-Bikes zusätzliche THG-Minderungen gegenüber der derzeitigen Referenzentwicklung zu erwarten sind. Diese sind jedoch bei gleichbleibenden Rahmenbedingungen für den Radverkehr begrenzt. Erst durch eine entsprechende politische Anpassung der verkehrlichen Rahmenbedingungen (insbesondere eine Verbesserung der Radverkehrsinfrastruktur und Internalisierung externer Kosten des motorisierten Individualverkehrs) könnten voraussichtlich die für die erzielbaren THG-Minderungen zentralen Parameter Nutzungsintensität (Fahrleistung) und Anteil substituierter Pkw-Fahrleistung erheblich verbessert werden. Eine Spezifizierung und Quantifizierung solcher Maßnahmen ist allerdings nicht Teil dieser Analyse.

1 Einleitung

Die Nutzung elektrisch angetriebener Zweiräder ("E-Bikes") ist in Deutschland in den vergangenen Jahren stark angewachsen. Angesichts enormer Herausforderungen bei der Erreichung der gesetzlichen Klimaschutzziele im Verkehrssektor stellt sich die Frage, welche Klimaschutzpotentiale diese Fahrzeuge für die Zukunft bieten und wovon diese abhängen. Das vorliegende Kurzpapier will darauf einige richtungssichere Antworten geben und Unsicherheiten sowie weitere Forschungsbedarfe aufzeigen.

Gegenstand dieses Papiers sind E-Bikes, womit hier alle Fahrzeuge mit Elektromotor und obligatorischer Tretunterstützung gemeint sind, die auf eine Höchstgeschwindigkeit von maximal 45 km/h begrenzt sind und maximal drei Räder haben. Darunter fallen zum einen von der Bauform her "gewöhnliche" Zweiräder mit elektrischer Unterstützung ("Pedelecs") und zum anderen elektrische Lastenräder, die es in vielfältigen Bauformen gibt und die in diesem Papier separat betrachtet werden.

Wesentliches Ziel des Papiers ist es, mögliche Treibhausgasminderungen durch die zunehmende Verbreitung von E-Bikes im Zeitraum bis 2040 in Deutschland im Vergleich zu einem Referenzszenario zu quantifizieren, unter besonderer Berücksichtigung kurzfristiger Minderungspotentiale bis 2030. Weitere positive Umweltwirkungen werden hier nicht betrachtet, ebenso wenig wie gesellschaftliche und wirtschaftliche Auswirkungen eines weiter wachsenden E-Bike-Bestands. Da E-Bikes in privater Hand (inklusive privat genutzter Diensträder) den weit überwiegenden Anteil am Bestand ausmachen und voraussichtlich auch zukünftig ausmachen werden, fokussieren die Betrachtungen auf diesem Fall, und der Einsatz von E-Bikes im Wirtschaftsverkehr sowie in öffentlichen Verleihsystemen wird nur punktuell adressiert. Für E-Bikes im Wirtschaftsverkehr bestehen keine belastbaren Zahlen, für E-Bikes in Sharingsystemen ebenfalls nicht. Da jedoch von einer Gesamtsumme von 50.000 bis 100.000 Sharing-Rädern (konventionell und E-Bikes) ausgegangen werden kann (vgl. dazu (VDV 2020)), von denen E-Bikes allerdings nur einen Bruchteil ausmachen, ist deren Betrachtung hier im Vergleich zum gesamten E-Bike-Bestand von ca. 8,5 Mio. Fahrzeugen von untergeordneter Relevanz.

Die Untersuchung basiert auf der Auswertung vorhandener Literaturquellen sowie einiger spezifischer Auswertungen von Mobilitätsbefragungen. Ein kurzer Überblick der genutzten Literatur ist im Anhang zu finden.

Der Aufbau des Papiers ist wie folgt: Zunächst werden wesentliche Aspekte des Status quo bezüglich des E-Bike-Markts und der Nutzung von E-Bikes in Deutschland dargestellt (Kap. 2). Anschließend wird die Klimawirkung der E-Bike-Nutzung ermittelt und der Klimabilanz konkurrierender Verkehrsmittel gegenübergestellt (Kap. 3). Auf dieser Grundlage werden in Kap. 4 für verschiedene Szenarien Treibhausgasminderungen durch die weitere Ver-

breitung von E-Bikes gegenüber den offiziellen Annahmen der Bundesregierung zur Referenzentwicklung¹ berechnet. Abschließend gibt das Papier eine Übersicht der Handlungsansätze, die potentiell geeignet sind, Treibhausgasminderungspotentiale durch Einsatz von E-Bikes bestmöglich zu nutzen.

¹ Die Referenzentwicklung wird gemäß dem Projektionsbericht (Öko-Institut et al. 2021) abgebildet. Hier wird eine pauschale Zunahme der Radverkehrsleistung ohne explizite Berücksichtigung von E-Bikes angenommen.

2 Status quo und aktuelle Entwicklungen

2.1 E-Bikes haben sich von einer Nische zu einer gleichberechtigten Sparte auf dem Zweiradmarkt entwickelt.

Der Anteil von E-Bikes am gesamten Fahrradmarkt ist in den letzten 10 Jahren kontinuierlich angestiegen (Abbildung 1), wobei sich das Wachstum in den letzten 5 Jahren deutlich beschleunigt hat: Von 2015 bis 2022 ist der Marktanteil von 12,4 % auf 47,8% gewachsen (ZIV 2023). E-Bikes machen somit heute bezüglich der Verkaufszahlen fast die Hälfte des Fahrradmarktes aus und aufgrund ihres in der Regel höheren Preises mittlerweile den Hauptteil des Umsatzes¹. Beim weit überwiegenden Teil aller E-Bikes ist die Tretunterstützung auf eine Geschwindigkeit von 25 km/h begrenzt. Nur 0,2 % aller verkauften E-Bikes sind sogenannte S-Pedelecs mit Tretunterstützung bis 45 km/h; S-Pedelecs benötigen ein Versicherungskennzeichen und sind von der Radwegenutzung im Allgemeinen ausgeschlossen.

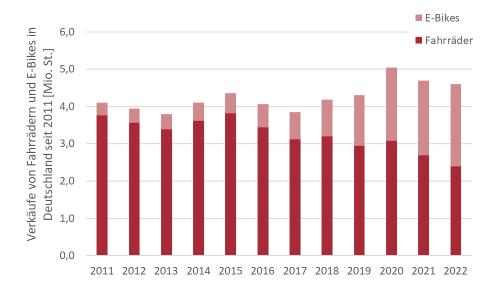


Abbildung 1: Zeitliche Entwicklung der Verkäufe von Fahrrädern und E-Bikes in Deutschland seit 2011 (ZIV 2022, 2023)

Die Segmente der Trekking- und City-Räder liegen beim E-Bike-Anteil in etwa im Durchschnitt aller Segmente (Abbildung 2). Bei den Mountainbikes haben E-Bikes ihre konventionellen Pendants mittlerweile fast verdrängt und auch bei den Lastenrädern ist der elektrische Anteil mit über drei Vierteln hoch. Lediglich bei der Kategorie sonstiger Bauformen

¹ Nach (SAZbike 2021) lag der mittlere Preis eines E-Bikes im Jahr 2021 bei 3.680 €, der konventioneller Räder bei 610 €.

(insbesondere Kinder-, Jugend- und Rennräder) dominiert nach wie vor das Rad ohne Elektroantrieb.

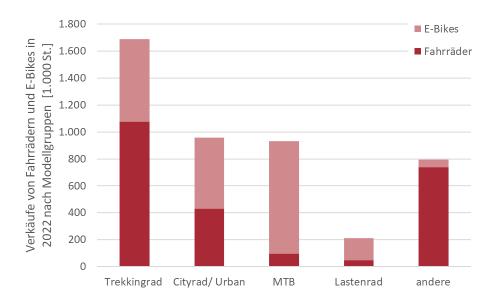


Abbildung 2: Verkäufe von Fahrrädern und E-Bikes im Jahr 2022 (Deutschland) nach Modellgruppen (ZIV 2023)

2.2 E-Bikes ermöglichen längere Distanzen und senken topographische Hürden für die Zweiradnutzung.

Im Fahrrad-Monitor Deutschland (Franziska Jurczok 2021) heben 18% der Befragten den Komfort-Aspekt von E-Bikes (Pedelecs) als Nutzungsmotiv hervor (gegenüber 6% für konventionelle Räder). Etwa die Hälfte aller Befragten finden E-Bikes grundsätzlich interessant. Unter diesen Personen ist für 76% der Einsatz vor allem auf längeren Strecken oder für Ausflüge und für 64% die Nutzung auf bergigen Strecken interessant.

Dies spiegelt sich auch in einer Auswertung des Mobilitätspanels, in der die Wegelängen von konventionellen Fahrrädern gegenüber E-Bikes verglichen wurden (Abbildung 3). Der Schwerpunkt der Nutzung liegt hier bei den E-Bikes bei deutlich höherer Entfernung als bei Fahrrädern. Demzufolge ist auch die mittlere Wegelänge mit 5,1 km deutlich höher als bei Fahrrädern (3,4 km). Auch im direkten Vergleich der Situation vor und nach Anschaffung eines E-Bikes in einzelnen Haushalten ist eine deutliche Verschiebung hin zu höheren Wegelängen zu beobachten.

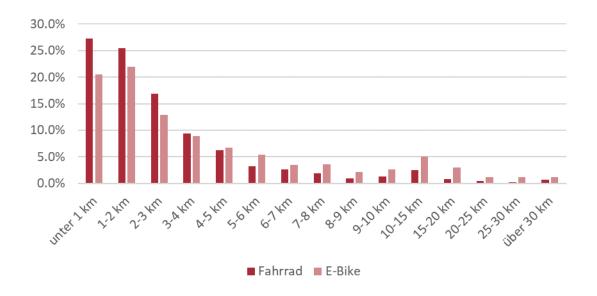


Abbildung 3: Wegeanzahl in verschiedenen Entfernungssegmenten bei nicht motorisierten Fahrrädern im Vergleich zu E-Bikes, als Anteil der gesamten Wegeanzahl mit dem jeweiligen Verkehrsmittel. Datengrundlage: Deutsches Mobilitätspanel, Bezugszeitraum 2016-2019.

2.3 Es verdichten sich die Hinweise, dass privat genutzte E-Bikes in erheblichem Maße Pkw-Fahrten ersetzen.

Erstmals wurden modale Verlagerungseffekte durch die Anschaffung von E-Bikes im Projekt "PEDELECTION" in den Jahren 2013/2014 systematisch für eine Gruppe von 70 Teilnehmenden untersucht, zusätzlich dokumentierten 312 weitere Beteiligte in einer Online-Studie mehrfach einwöchige Wegeprotokolle für alle Fahrten und Fußwege (HBK Braunschweig und ifeu 2015). Damals hatten E-Bikes lediglich einen Anteil von etwa 10 % an den Fahrradverkäufen. Gut die Hälfte der mit E-Bikes zurückgelegten Kilometer wurde vorher mit dem Auto oder dem öffentlichen Verkehr zurückgelegt (siehe

Tabelle 1). Bei Personen, die ihr E-Bike für den Arbeitsweg nutzten, war dieser Anteil mit über 70 % noch deutlich höher.

Im Deutschen Mobilitätspanel, einer repräsentativen Längsschnittbefragung zum Mobilitätsverhalten in Deutschland, wird seit 2016 der Besitz und die Nutzung von E-Bikes differenziert erfasst (Ecke et al. 2021). Haushalte nehmen in der Regel in drei aufeinanderfolgenden Jahren an der Befragung teil. Um zu ermitteln, welche Verkehrsmittel E-Bikes substituieren, wurden zunächst diejenigen Personen im Panel bestimmt, die sich während ihres Teilnahmezeitraums an der Befragung ein E-Bike angeschafft haben (117 von insgesamt 8838 teilnehmenden Personen). Für diese Personen wurde der Verkehrsträgermix vor sowie nach Anschaffung des E-Bikes bestimmt.

Im Mittel wurde das E-Bike von diesen Personen gut 2 km pro Tag bewegt (siehe Abbildung 4). Gleichzeitig lag die gesamte tägliche Wegstrecke über alle Verkehrsmittel nach der E-Bike-Anschaffung (42,7 km) um etwa 2 km niedriger als vor der Anschaffung (44,7 km). Bei Pkw (-1,79 km/d), dem öffentlichen Verkehr (-1,71 km/d), dem unmotorisierten Fahrrad (-1,19 km/d) sowie motorisierten Zweirädern mit Verbrennungsmotor (-0,68 km/d) nahm die Fahrleistung zusammengenommen um 5,4 km pro Tag ab, also deutlich stärker als über alle

on on on

Verkehrsmittel zusammengenommen. Es kann daher angenommen werden, dass die zusätzliche E-Bike-Fahrleistung im Wesentlichen von diesen Verkehrsmitteln verlagert wurde.

Tabelle 1: Ursprüngliche Verteilung der Fahrleistung nach Verkehrsträger, die auf E-Bikes verlagert wurde, nach verschiedenen Quellen.

	PEDELECTION - Verlagerungs- und Klimaeffekte durch Pedelec-Nutzung im Individualverkehr	Auswertung des Deutschen Mobilitäts- panels für die Befra- gungsjahre 2016-2019	Mode choice, substitu- tion patterns and envi- ronmental impacts of shared and personal micro-mobility
	(HBK Braunschweig und ifeu 2015)	(Ecke et al. 2021)	(Reck et al. 2022)
Pkw	45 %	33 %	48 %
ÖPNV	7 %	32 %	29 %
Fahrrad	32 %	22 %	14 %
zu Fuß	1 %		9 %
Sonstiges	5 %	13 %¹	
Induziert	10 %		

Die Anteile der substituierten Verkehrsträger wurden entsprechend des Verhältnisses des jeweiligen Fahrleistungsrückgangs bestimmt (z.B. Pkw: -1,79 km/d von 5,4 km/d entspricht 33 %). Es ist zu beachten, dass diese Auswertung allein auf den Wegeprotokollen des Mobilitätspanels basiert und keine Aussagen der Teilnehmenden zur Motivation der Verkehrsmittelwahl eingeflossen ist. Somit kann nicht ausgeschlossen werden, dass weitere Faktoren neben der E-Bike-Anschaffung die Entwicklung des Modal Splits über den betrachteten Zeitraum 2016-2019 systematisch beeinflusst haben.

Eine aktuelle Untersuchung für die Schweiz (Reck et al. 2022) kommt mittels eines an einem Panel von 500 Personen kalibrierten Mode Choice Modells zu einer noch etwas höheren Pkw-Substitution, ähnlich wie im Projekt PEDELECTION beobachtet. Dass der ÖPNV trotz seines hohen Anteils am Modal Split im Studienort Zürich im Vergleich zum Pkw deutlich weniger durchs E-Bike substituiert wird, kann als Indiz dafür gewertet werden, dass E-Bikes auch bei zukünftig verbesserter ÖPNV-Angebotsqualität in Deutschland weiter zur Reduktion des Pkw-Verkehrs beitragen können und nicht primär den ÖPNV "kannibalisieren" dürften.

¹ Dies ist hier die von Mofas, Mopeds und Motorrädern verlagerte Fahrleistung, siehe Abbildung 4.

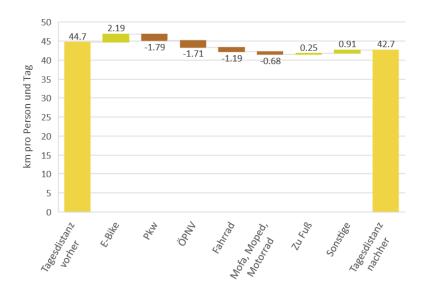


Abbildung 4: Veränderung der mittleren täglichen Wegelängen von Personen, die sich im Zeitraum 2016-2019 ein E-Bike angeschafft haben. Datengrundlage: Deutsches Mobilitätspanel, Bezugszeitraum 2016-2019.

2.4 Lastenräder haben derzeit noch einen geringen Marktanteil, zeigen aber einen starken Wachstumstrend.

Für Lastenrädern beginnt die deutsche Verkaufsstatistik im Jahr 2018. Seitdem hat sich der Markt innerhalb von vier Jahren fast vervierfacht (siehe Abbildung 5), auch wenn der Anteil der Lastenradverkäufe an den gesamten Fahrradverkäufen mit 4% derzeit noch gering ist. Etwa drei Viertel der verkauften Lastenräder haben einen elektrischen Antrieb (ZIV 2023), woraus zu schließen ist, dass der Elektroantrieb einen wesentlichen Treiber des Lastenradsegments darstellt.

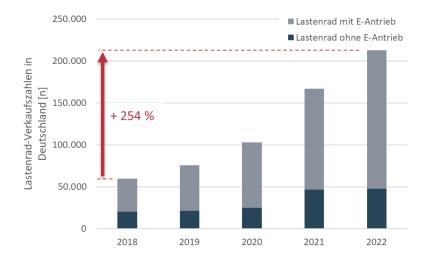


Abbildung 5: Entwicklung der Lastenrad-Verkaufszahlen in Deutschland 2018 – 2022 (ZIV 2023)

on o o

In den letzten Jahren hat die Vielfalt an Bauformen und damit auch möglichen Einsatzzwecken deutlich zugenommen. Die typischen und häufig eingesetzten Bauformen umfassen insbesondere (Gruber 2016)

- sogenannte Langträger ("Longtails") mit Ladefläche hinter dem Fahrradsattel,
- Tieflader ("Long John") mit Ladekapazität zwischen Lenker und Vorderrad,
- Frontlader ("Bakfiets") mit Lastenaufbewahrung vor dem Lenker zwischen den Vorderrädern sowie
- Hecklader mit Transportkapazität hinter dem Sattel zwischen den Hinterrädern.

Es handelt sich dabei um zwei- und dreirädrige, ein- und mehrspurige, häufig elektrifizierte Bauformen mit Zulade-Kapazitäten von bis zu 200 kg (in Einzelfällen bis zu 300 kg).

2.5 Lastenräder werden vielfältig genutzt und können in vielen Fällen Pkw-Fahrten ersetzen.

Für die private Nutzung werden Lastenräder hauptsächlich zum Transportieren von Einkäufen (Güter des täglichen Bedarfs, sperrige Güter) sowie zum Transportieren von Kindern genutzt (Becker und Rudolf 2017). Diese Ergebnisse werden vom Fahrrad-Monitor gestützt, wie dessen Umfrage-Ergebnisse mit Lastenradfahrenden in Abbildung 6 zeigen.

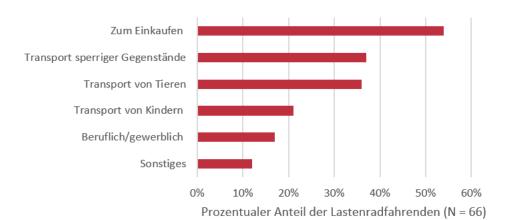


Abbildung 6: Nutzungsmotivation für Lastenräder (Franziska Jurczok 2021)

Der private Lastenrad-Verkehr wird in den betrachteten Studien im Nahumfeld im Bereich von 3,2 km bis 16 km (mit einem Durchschnitt von 9,6 km) eingesetzt (Becker und Rudolf 2017; Riggs 2016). Für den Wirtschaftsverkehr ergibt sich ein geringfügig höherer Bewegungsradius von 4,5 km bis 21 km (im Durchschnitt 11,0 km) (Conway et al. 2017; Gruber und Narayanan 2019; Gruber und Rudolph 2021).

Während Lastenräder in der Privatnutzung hauptsächlich für Alltagstransporte (Transport von Kindern, Einkaufstransporte) genutzt werden, sind im Wirtschaftsverkehr Lastenräder hauptsächlich im Bereich der Logistik (KEP-Dienstleistungen, Heimlieferservice für Einkäufe und Gastronomie etc.) für die letzte Meile im Einsatz. Dass Lastenräder zunehmend in der Liefer-Logistik bis zur Haustür eingesetzt werden, stellt noch eine relativ neue Entwicklung

dar, entsprechend gering ist die Datenbasis. Allerdings scheinen diverse Kooperationen zwischen Start-ups und etablierten Herstellern eine wachsende Relevanz anzudeuten, beispielsweise zwischen dem Kurierdienstleister Gorillas, dem niederländischen E-Lastenradhersteller Dockr sowie dem Fahrrad-Hersteller Kettler Alu-Rad (Pedelecs & E-Bikes 2022).

Die Untersuchung der Lastenradnutzung fokussierte bisher auf den Wirtschaftsverkehr. In der DLR-Studie "Ich entlaste Städte" wurden bezogen auf die Fahrleistung 64 % der Lastenradwege von Pkw oder leichten Nutzfahrzeugen verlagert (Gruber und Rudolph 2021). Für den Privatverkehr liegt mit 46 % eine Abschätzung für die Pkw-Substitution in einem Lastenrad-Sharing-System vor (Becker und Rudolf 2017). Dieser Wert wird in der vorliegenden Untersuchung auch als Abschätzung für den Anteil vom Pkw verlagerter Strecke herangezogen. Aktuellere Erkenntnisse für den Privatverkehr im deutschen Raum liegen leider nicht vor – hier wäre die Erhebung von Primärdaten im Rahmen entsprechender Studien bzw. Mobilitätsbefragungen sinnvoll.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass es derzeit keine belastbaren Angaben für die Verteilung des Lastenradeinsatzes auf den privaten bzw. gewerblichen Verkehr gibt. Zudem bestehen für beide Einsatzfelder hohe Unsicherheiten bei dem Anteil der Pkw-Substitution. Die vorliegende Untersuchung verwendet für die Abschätzung möglicher Treibhausgaseinsparungen die (konservativere) Angabe zur Pkw-Substitution im Privatverkehr. Ein Grund dafür ist, dass das langfristige Wachstumspotential bei der Privatnutzung deutlich höher eingeschätzt wird als im nahräumigen Wirtschaftsverkehr.

on on on

3 THG-Bilanz von E-Bikes und anderen Verkehrsmitteln im Vergleich

Als Grundlage für die nachfolgende Szenarienbetrachtung werden zunächst die THG-Emissionen pro Personenkilometer sowohl für E-Bikes als auch für die durch sie ersetzten Verkehrsmittel berechnet. Dabei wird der gesamte Lebensweg der jeweiligen Verkehrsmittel berücksichtigt (ökobilanzieller Ansatz), d.h. neben direkten Emissionen bei der Fahrzeugnutzung werden auch Emissionen durch die Bereitstellung der Energieträger sowie durch die Herstellung, Wartung und Entsorgung der Fahrzeuge berücksichtigt. Die Bilanz bildet hinsichtlich Technologie, Energiebereitstellung, Stoffströmen zunächst den aktuellen Stand ab. Um eine Fortschreibung für die in Kap. 4 vorgenommene Szenarienbetrachtung bis zum Jahr 2040 zu ermöglichen, wird vereinfachend lediglich die Strombereitstellung entsprechend des erwarteten Ausbaus der erneuerbaren Energieerzeugung angepasst. Umweltlasten aufgrund der Bereitstellung der Infrastruktur werden nicht berücksichtigt. Im Falle der Wegeinfrastruktur lässt sich die Inanspruchnahme durch die verschiedenen Verkehrsträger nicht klar trennen, die Infrastruktur der Energiebereitstellung wiederum ist gegenüber den anderen Posten vernachlässigbar (ITF 2020).

Die Treibhausgasbilanz der E-Bikes greift auf Ergebnisse einer aktuellen Marktrecherche (Fahrzeugparameter), Auswertungen des deutschen Mobilitätspanels (Fahrzeugnutzung) sowie das ifeu-eigene Ökobilanzmodell eLCAr mit der LCA-Datenbank ecoinvent V 3.8 als Hintergrund zurück und wurde mit Literaturergebnissen aus den vergangenen Jahren abgeglichen. Die Fahrzeugparameter für Pedelecs und elektrische Lastenräder sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Bisherige Untersuchungen zeigten, dass die Klimabilanz von E-Bikes hauptsächlich durch ihre Herstellung bestimmt wird. Für die Berechnung der kilometerbezogenen Klimawirkung kommt der Lebensdauer des E-Bikes und seiner Komponenten sowie der Nutzungsintensität daher eine große Bedeutung zu. Da E-Bikes nicht zentral registriert werden müssen, kann ihre Nutzungsdauer nur grob geschätzt werden. Existierende Schätzungen für Pedelecs reichen von 5,6 Jahren (ITF 2020) bis zu 10 Jahren (ifeu et al. 2019). Seitdem hat sich die Technologie weiterentwickelt, die Haltbarkeit der Komponenten verbessert, und es hat am Markt eine Konsolidierung stattgefunden, so dass einige wenige Antriebssysteme (insbesondere der Firma Bosch) nun eine sehr große Verbreitung haben. Dies wirkt sich positiv auf die Verfügbarkeit von Ersatzteilen aus. Daher wird als Basisfall für die Lebensdauer von Pedelecs in den nachfolgenden Berechnungen ein Wert von 10 Jahren angenommen. Die Lebensdauer des Akkus ist in der Regel geringer und wird im Bereich von 2 bis 5 Jahren angegeben ((Luo et al. 2019) sowie basierend auf Marktrecherchewerten). Sie hängt u.a. von der Nutzungsintensität und der Handhabung ab. Erfahrungswerte für kurze Akkulebensdauern von 2 bis 3 Jahren beziehen sich auf einen stark belastenden, anspruchsvollen Einsatz, der eher als Extremfall zu betrachten ist. Daher wird als Standardfall eine Akkulebensdauer von 5 Jahren angenommen und damit ein Akkuwechsel während der Lebensdauer des Pedelecs.

Für Pedelecs wurde basierend auf Daten aus dem Mobilitätspanel und Literaturwerten (HBK Braunschweig und ifeu 2015; Luo et al. 2019; Reck et al. 2022) als Basisfall von einer relativ

konservativen Jahresfahrleistung von 1.200 km/a (also etwa 3,3 km/d) ausgegangen, damit ergibt sich eine typische Lebensfahrleistung von 12.000 km. Aus dem Mobilitätspanel wurde für die jährliche Fahrleistung ein Mittelwert über die Jahre 2016 bis 2019 extrahiert, wobei die Schwankungsbreite zwischen den Jahren zwischen 960 km (2016) und 1.510 km (2017) liegt. Hier sind u.a. wetterbedingte Einflüsse zu vermuten. Die Pedelec-Fahrleistung liegt derzeit deutlich über dem Mittelwert für unmotorisierte Zweiräder (800 km). Generell sind Angaben zur Jahresfahrleistung mit einer hohen Unsicherheit behaftet, da sie stark abhängen von der Erfassungsart (Umfragen mit Unsicherheit der Selbsteinschätzung, Messungen, Modellierungen, Schätzung, Herstellerangaben) und auch zwischen verschiedenen Nutzungsmustern (Pendeln, Freizeitmobilität, Gelegenheitsnutzung etc.) eine starke Streuung vorliegt.

Tabelle 2: Überblick über Annahmen und Einflussparameter zur LCA-Berechnung von E-Bikes und E-Lastenrädern

Parameter	Pedelecs		E-Lastenräder	Quelle
	Basisfall	Bandbreite	Basisfall	
Fahrzeug-Ge- wicht	22 kg	20 – 27 kg	45 ¹ kg	Marktrecher- che, (ITF 2020)
Akku-Kapazität	500 Wh	250 – 1250 Wh	500 Wh	Marktrecher- che, (ITF 2020)
Akku-Gewicht	3,6 kg	1,4 – 7,0 kg	3,6 kg	Marktrecher- che, (ITF 2020)
Akku-Energie- dichte	140 Wh/kg	54,3 – 431,0 Wh/kg	140 Wh/kg	Marktrecher- che, (ITF 2020)
Akku-Lebens- dauer	5 a	2 – 5 a	5 a	Marktrecher- che, (ITF 2020)
Fahrzeug-Le- bensdauer	10 a	5,6 – 10 a	10 a	(ifeu et al. 2019; ITF 2020)
Jahres-Fahrleis- tung	1.200 km/a	500 – 2500 km/a	1.650 km/a	(HBK Braun- schweig und ifeu 2015; ITF 2020; Reck et al. 2022) (Gruber und Rudolph 2021; Riggs 2016)
Lebens-Fahrleis- tung	12.000 km	5.000 – 25.000 km	16.500 km	
Energiever- brauch je 100 pkm²	0,6 kWh/ 100 km	0,5 - 2,1 kWh/100 km	0,9 kWh/100km	Marktrecher- che, (HBK Braun- schweig und ifeu 2015)

Für Lastenräder wurde auf Grundlage von (Bjørnarå et al. 2019; Carracedo und Mostofi 2022; Gruber und Rudolph 2021; Riggs 2016) eine gegenüber Pedelecs etwas höhere Fahrleistung von durchschnittlich 1.650 km pro Jahr angenommen (bei einer Spannbreite von 1.168 km bis 2.117 km in den Quellen); dies schließt neben privaten auch Einsatzprofile im

¹ davon Gewicht der Anbauten ca. 30 kg

² berechnet aus Akkukapazität und angegebener Reichweite

Wirtschaftsverkehr ein, die tendenziell etwas höhere Fahrleistungen erreichen als der Privateinsatz. Trotz des Fokus auf den Privatmarkt soll damit auch Einsatzpotentialen im Wirtschaftsverkehr sowie beim Lastenrad-Sharing (mit potentiell höheren Fahrleistungen) Rechnung getragen werden. Bei einer geschätzten Lebensdauer von 10 Jahren (bisher liegen hier noch wenige Praxiserfahrungen vor) ergibt sich somit eine Lebensfahrleistung von 16.500 km.

Als potentiell durch das E-Bike ersetzte Verkehrsmittel werden Pkw (benzin- und dieselbetrieben sowie elektrisch), Kleinkrafträder, der öffentliche Nahverkehr (Diesel- und Elektrobus, Regionalzug und Straßenbahn/U-Bahn) sowie das unmotorisierte Fahrrad betrachtet. Die THG-Bilanz der Pkw basiert auf vorläufigen Ergebnissen für Pkw der Kompaktklasse aus einem noch laufenden UBA-Forschungsvorhaben¹, wobei angenommen wird, dass der Pkw bei aufs Pedelec verlagerten Fahrten nur mit einer Person besetzt war. Bei auf Lastenräder verlagerten Fahrten wird hingegen ein Besetzungsgrad von 1,33 (Mittelwert für den Alltagsverkehr nach (Schulz et al. 2020)) angenommen. Für die THG-Bilanz der E-Busse wird auf Daten aus der Evaluation der Elektrobusförderung des BMWK zurückgegriffen, die derzeit in einem Konsortium unter Beteiligung des ifeu durchgeführt wird. Die THG-Bilanz der übrigen Verkehrsträger entspricht den durch das ifeu jeweils ermittelten durchschnittlichen Kennzahlen aus dem Projekt "Ökologische Bewertung von Verkehrsarten" (ifeu et al. 2019), wobei für die elektrischen Antriebe der Emissionsfaktor der Strombereitstellung angepasst wurde, wie weiter unten beschrieben. Bei den Pkw wurde eine Fahrleistungsverteilung von 70 % innerorts und 30 % außerorts angenommen, um Wege widerzuspiegeln, die potentiell durch E-Bikes ersetzt werden können.

Abbildung 7 zeigt die Treibhausgasbilanz von E-Bikes und E-Lastenrädern für den oben beschriebenen Standardfall im Bezugsjahr 2022, zudem die Emissionen der alternativen Verkehrsmittel pro Personenkilometer. Die THG-Emissionen von E-Bikes werden hauptsächlich durch ihre Herstellung verursacht, der Energieverbrauch im Betrieb spielt eine untergeordnete Rolle². Durch die Antriebskomponenten, insbesondere die Batterie, und die robustere Bauweise liegen die herstellungsbedingten Emissionen um einen Faktor 2 bis 3 höher als bei unmotorisierten Fahrrädern – bei Lastenrädern pro Kilometer etwas geringer als bei Pedelecs, da sie zwar schwerer sind, aber hier auch eine im Mittel etwas höhere Laufleistung angenommen wird. Die Emissionen aller übrigen Verkehrsträger liegen jedoch auf weit höherem Niveau: Bei heutigen Produktionsbedingungen und Energieträgermix verursachen Verbrenner-Pkw etwa zehnmal und Elektro-Pkw etwa siebenmal so hohe Emissionen wie Pedelecs. Der öffentliche Verkehr liegt im Vergleich zum Pedelec etwa 2 bis 3,5 mal so hoch.

¹ "Analyse der Umweltbilanz von Kraftfahrzeugen mit alternativen Antrieben oder Kraftstoffen auf dem Weg zu einem treibhausgasneutralen Verkehr" (FKZ 3720571010)

² Der Stromverbrauch von E-Bikes liegt wurde mit deutlich unter 1 kWh pro 100 km abgeschätzt (siehe Tabelle 2). Der Stromverbrauch eines Elektro-Pkw hingegen liegt mit ca. 20 kWh pro 100 km in einer anderen Größenordnung.

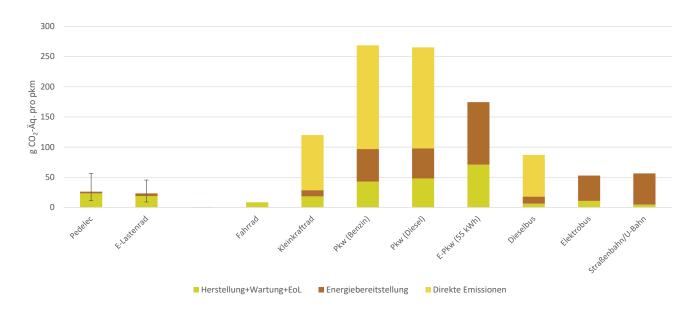


Abbildung 7: Treibhausgasemissionen (Lebenswegbetrachtung) von E-Bikes und alternativen Verkehrsmitteln – Bezugsjahr 2022. Bei Pkw wurde in der Darstellung ein Besetzungsgrad von 1 angenommen (Annahme für die Substitution von Pkw-Fahrten durch Pedelecs).

Um den Einfluss der Lebensdauer und der Nutzungsintensität als zentrale unsichere Parameter auszuleuchten, wurde die Lebensfahrleistung entsprechend der in Tabelle 2 genannten Bandbreite variiert. Im ungünstigsten Fall (nur 5.000 km Lebensfahrleistung) steigen die THG-Emissionen auf 50-60 g CO_2 -Äq./pkm und liegen damit in etwa gleichauf mit dem öffentlichen Schienennahverkehr. Bei sehr hoher Lebensfahrleistung von 25.000 km lassen sich die THG-Emissionen auf unter 15 g CO_2 -Äq./pkm verringern.

Zudem wurde als Sensitivität der Einfluss eines kürzeren Akku-Lebens untersucht. Werden über die Lebensdauer des E-Bikes vier Akkus verschlissen (Standardannahme: zwei Akkus pro Lebensdauer), so steigen die Emissionen auf 35 g CO₂-Äq./pkm bei Pedelecs und 30 g CO₂-Äq./pkm bei E-Lastenrädern.

Die derzeitige THG-Intensität der deutschen Stromerzeugung wird auf Basis der Berichterstattung des UBA für das Jahr 2021 mit 485 g CO₂-Äq./kWh angenommen (Umweltbundesamt 2022). Die aktuelle Energiepolitik zielt auf einen schnellen Ausbau der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien, die im Jahr 2030 entsprechend den Zielen der Bundesregierung etwa 80 % zur Stromerzeugung beitragen sollen (Bundesregierung 2021). Die THG-Emissionen der Stromerzeugung in zukünftigen Jahren wurden für die vorliegende Analyse anhand der Studie "Klimaneutrales Deutschland" (Prognos et al. 2021) abgeschätzt, wobei die Emissionsfaktoren der einzelnen Kraftwerkstypen auf (Hill et al. 2020) basieren. Für 2030 liegt der Emissionsfaktor der Stromerzeugung damit bei etwa 221 g CO₂-Äq./kWh, für 2040 bei 74 g CO₂-Äq./kWh. Diese Annahmen wirken sich erheblich auf die THG-Bilanz der meisten elektrischen Verkehrsmittel aus (

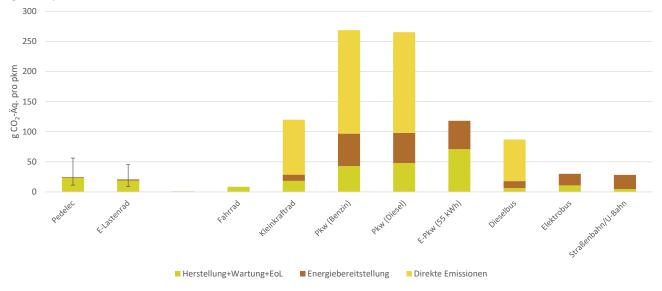


Abbildung 8): Vor allem der elektrische Schienenverkehr und Elektrobusse haben dann im Jahr 2030 nur noch geringfügig höhere Emissionen als das E-Bike.

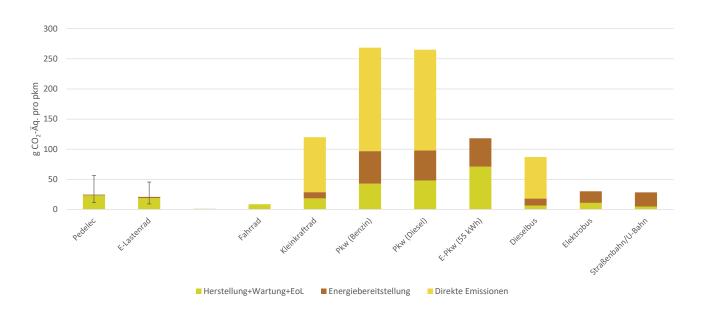


Abbildung 8: Treibhausgasemissionen (Lebenswegbetrachtung) von E-Bikes und alternativen Verkehrsmitteln – Bezugsjahr 2030. Bei Pkw wurde in der Darstellung ein Besetzungsgrad von 1 angenommen (Annahme für die Substitution von Pkw-Fahrten durch Pedelecs).

0000

Für die THG-Minderung durch E-Bikes kommt es auf die Differenz zwischen den Emissionen der Pedelecs und denen der substituierten Verkehrsmittel an. Die Bilanzen zeigen, dass zum

jetzigen Zeitpunkt eine substantielle Minderung noch in allen Fällen (abgesehen von der Substitution des Fahrrads) zu erwarten ist. Mit einem weitgehend erneuerbaren Strommix ergeben sich weiterhin erhebliche Minderungen gegenüber dem motorisierten Straßenverkehr und auch gegenüber den meisten öffentlichen Verkehrsmitteln. Sollte die erneuerbare Stromerzeugung langsamer als gemäß den ambitionierten Zielen ausgebaut werden, so würde dies zudem tendenziell die durch E-Bikes erzielbaren THG-Minderungen erhöhen.

Auch bei der Fahrzeugherstellung ist für die Zukunft eine Verringerung der THG-Intensität zu erwarten, u.a. durch den Einsatz erneuerbarer Energien in den Herstellungsprozessen. Da viele Komponenten (insbesondere die Batterien) in der Regel im Ausland hergestellt werden, ist diese Entwicklung hier allerdings schwer quantifizierbar und wird daher im Sinne einer robusten Abschätzung vernachlässigt.

4 THG-Minderungspotentiale durch den Einsatz von E-Bikes

Die Ergebnisse der verkehrsmittelspezifischen THG-Bilanzen wurden genutzt, um das deutschlandweite THG-Minderungspotential durch die verstärkte Verbreitung von E-Bikes im Zeitraum bis 2040 abzuschätzen. Dazu wurde ein vereinfachtes Flottenmodell erstellt, das für E-Bikes die Bestandsentwicklung und darauf basierend die Fahrleistungsentwicklung berechnet (siehe Abbildung 9). Die Referenzentwicklung der Radverkehrsleistung in Deutschland wurde auf Grundlage des aktuellen Projektionsberichts 2021 (Öko-Institut et al. 2021) abgeschätzt. Sie beinhaltet bis 2030 einen Anstieg der Radverkehrsleistung um 16 % gegenüber 2022; danach bleibt die Radverkehrsleistung stabil. Der Zuwachs der Radverkehrsleistung bis 2030 unterstellt ein gewisses Wachstum des Marktanteils der E-Bikes. Das Gesamtvolumen des Fahrradmarkts (2021: 4,76 Mio. verkaufte Fahrräder und E-Bikes) wird entsprechend des langjährigen Trends seit 2011 fortgeschrieben, was einem moderaten Wachstum etwa in der Größenordnung der angenommenen Zunahme der Radverkehrsleistung in der Referenzentwicklung entspricht.

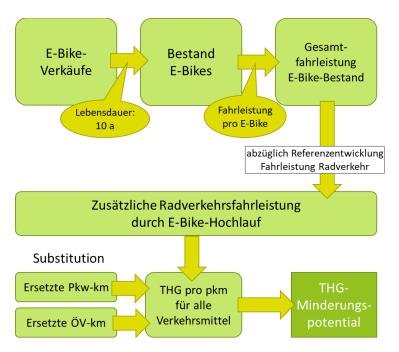


Abbildung 9: Schematische Darstellung des Vorgehens bei der Berechnung des THG-Minderungspotentials von E-Bikes

on o o

Die nachfolgend betrachteten Szenarien bilden die zusätzliche Fahrleistung durch einen E-Bike-Zuwachs bei unterschiedlichen Marktentwicklungen ab. Für diese zusätzliche Fahrleistung werden sodann Annahmen getroffen, wie sie vor Anschaffung des E-Bikes zurückgelegt wurde, welche Verkehrsträger also durch die E-Bike-Nutzung substituiert werden. Änderun-

gen der absoluten Fahrleistung (d.h. mögliche Mehrverkehre durch Pedelecs oder umgekehrt Fahrleistungseinsparungen beispielsweise durch kürzere Wege mit dem E-Bike gegenüber einer entsprechenden Autofahrt) werden hierbei vernachlässigt. Im Ergebnis kann das gesamte THG-Minderungspotential für einzelne Szenario-Jahre oder kumuliert für einen bestimmten Zeitraum berechnet werden.

4.1 THG-Minderungspotentiale durch weitere Marktdurchdringung von E-Bikes

Zunächst werden E-Bikes insgesamt betrachtet, wobei der Großteil der E-Bike-Flotte in Deutschland derzeit aus Pedelecs besteht (siehe Abschnitt 2.1). Ein mögliches stärkeres Wachstum speziell des Teilmarkts für Lastenräder wird separat in Abschnitt 4.2 betrachtet. Wir betrachten drei verschiedene Szenarien für den Zeitraum 2022-2040:

- Szenario "Wachstum": Weiteres Wachstum des E-Bike-Anteils auf 75 % des gesamten Zweiradmarktes im Jahr 2030 (derzeit etwa 48 %), danach Konsolidierung. Moderater Anstieg des Anteils durch E-Bikes substituierter Fahrradstrecken (nach Kilometern) auf 30 % (heute: 25 %, siehe Abschnitt 2.3). Dies repräsentiert eine Entwicklung, bei der die heutzutage beobachteten Verhaltensänderungen bei Personen, die sich ein E-Bike anschaffen, auch in einem noch größeren Markt Bestand haben.
- Szenario "Mainstreaming": Weiteres Wachstum des E-Bike-Anteils auf 75 % des gesamten Zweiradmarktes im Jahr 2030, danach Konsolidierung. Anstieg des Anteils substituierter Fahrradstrecken auf 50 %. Dieses Szenario entspricht einer Entwicklung, bei der E-Bikes zunehmend zum Normalfall werden, ohne dass sich im Massenmarkt die Zweirad-Nutzungsmuster grundlegend ändern. Die gesamte Radverkehrsleistung steigt in diesem Fall also nur moderat.
- Szenario "Konsolidierung": Nur leichtes Wachstum des E-Bike-Anteils auf 50 % des gesamten Zweiradmarkts in 2030, danach Konsolidierung. Moderater Anstieg des Anteils substituierter Fahrradstrecken auf 30 %. In diesem Fall wäre das Marktpotential in absehbarer Zeit ausgereizt und es würden kaum neue Käufergruppen und damit Nutzungsmuster hinzukommen, weshalb nur geringe Änderung an der derzeit zu beobachtenden Substitution anderer Verkehrsmittel erwartet wird.

In allen drei Szenarien ist das Gesamtvolumen des Zweiradmarkts identisch mit der Referenzentwicklung, wie im vorherigen Abschnitt dargestellt. Es findet also lediglich eine Verschiebung der Verkäufe von unmotorisierten Fahrrädern hin zu E-Bikes statt. Diese haben allerdings im Mittel eine gegenüber unmotorisierten Fahrrädern höhere Fahrleistung, was zum einen auf mehr und zum anderen auf längere Wege zurückgeht. Zudem wird in allen Szenarien angenommen, dass der Anteil substituierter Fahrleistung von Zweirädern mit Verbrennungsmotor (Mofas, Mopeds, Motorräder), der nach MOP-Auswertung derzeit bei 13 % liegt, bis 2040 auf null absinkt. Hintergrund ist die Vermutung, dass diese Fahrzeuge im Bereich der Alltagsmobilität aufgrund verschärfter Emissionsgrenzwerte und steigender Kraftstoffpreise ohnehin mittelfristig verschwinden werden.

Um einordnen zu können, wie stark sich die angenommenen Marktentwicklungen auf die gesamte Radverkehrsleistung in Deutschland auswirken würden und welchen Beitrag sie dazu leisten könnten, die Bedeutung des Radverkehrs hierzulande auf das Niveau europäischer Vorreiter anzuheben, wird die Fahrleistung jeweils mit einer auf Deutschland übertragenen Radverkehrsfahrleistung je Person in den Niederlanden ("Potential NL" aus einer Er-

hebung im Jahr 2016) verglichen. Daneben wird das Zielniveau der niederländischen Radverkehrspolitik angenommen ("Ziel NL", +20% innerhalb von 10 Jahren), die in (Bergk et al. 2021) abgeleitet wurden. Die Ergebnisse für Bestand und Fahrleistung sind in Abbildung 10, Abbildung 11 und Abbildung 12 dargestellt.

In allen Szenarien, auch bei konservativ angenommener Marktentwicklung, vervielfacht sich bis zum Jahr 2040 der E-Bike-Bestand, denn bei einer Lebensdauer von 10 Jahren läuft die Entwicklung des Bestands derer der Verkäufe deutlich hinterher. Bei 75 % mittelfristigem Marktanteil stellt sich eine Sättigung des Bestands bei etwa 40 Mio. Fahrzeugen ein, bei 50 % Marktanteil sind es etwa 25 Mio. Fahrzeuge. Da bei jedem neuen E-Bike nur 30 % (bzw. 50 % im Szenario "Mainstreaming") der Fahrleistung zulasten bisheriger unmotorisierter Zweiradfahrleistung geht, wächst die gesamte Fahrleistung im Radverkehr über die Jahre an. Im Szenario "Wachstum" wächst die Fahrleistung bis 2040 um rund 42 % und kommt damit in den 2030er Jahren den heutigen niederländischen Verhältnissen recht nah. Aber auch in den anderen Szenarien ist für das Jahr 2040 ein Plus von 30 % bzw. 19 % gegenüber der Referenzentwicklung zu verzeichnen.

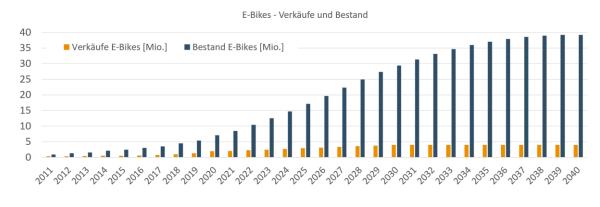




Abbildung 10: Entwicklung von E-Bike-Verkäufen, -Beständen und Fahrleistung im Szenario "Wachstum"



■ zusätzlich im Szenario ggü. Ref. [Mio. km]

Abbildung 11: Entwicklung von E-Bike-Verkäufen, -Beständen und Fahrleistung im Szenario "Mainstreaming"

■ Fahrleistung Rad Referenz [Mio. km]

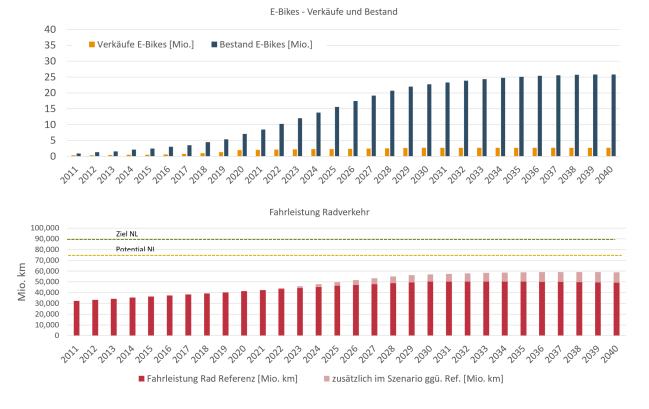


Abbildung 12: Entwicklung von E-Bike-Verkäufen, -Beständen und Fahrleistung im Szenario "Konsolidierung"

Bei der Berechnung des THG-Minderungspotentials wird für den heutigen Zeitpunkt unterstellt, dass die E-Bike-Fahrleistung gemäß den Befunden aus der Auswertung des Mobilitätspanels anteilig Fahrleistung von Pkw (38 %), öffentlichem Verkehr (37 %) und Fahrrad (25 %) ersetzt (siehe

Tabelle 1). Für das Jahr 2040 wird die Fahrradsubstitution entsprechend der o.g. Szenarien-Annahmen höher angesetzt und die Substitution von Pkw und ÖV anteilig verringert. In den Jahren zwischen 2022 und 2040 werden die Substitutionsanteile linear interpoliert. Bei der Berechnung über die Zeitreihe ist der voraussichtliche Anstieg des EE-Strom-Anteils über die Zeit zu berücksichtigen (siehe Kap. 3). Zudem findet voraussichtlich eine Elektrifizierung sowohl der Pkw- als auch der Busflotte statt. Für Pkw wird für 2030 ein Anteil von einem Drittel vollelektrischer Fahrzeuge gemäß den Zielen der Bundesregierung angenommen¹. Bei Bussen wird der elektrische Anteil mit zwei Dritteln entsprechend der Anforderungen der Clean Vehicles Directive abgeschätzt. Für 2040 wird für Pkw ein Elektroanteil von 90 % in der Flotte angenommen (2035 greift ein weitgehendes Verbrennerverbot bei den Neuzulassungen, infolge dessen auch in den Vorjahren der Anteil der Verkäufe von Nullemissionsfahrzeugen bereits stark ansteigen dürfte und im Anschluss die verbliebenen Fahrzeuge mit Verbrennermotor zunehmend ausgeflottet werden). Bei den Bussen ist mit der novellierten CO2-Grenzwertgesetzgebung für Nutzfahrzeuge auf EU-Ebene ein faktisches Verbrennerverbot für 2030 in der politischen Diskussion, zudem hat sich die Bundesregierung zu der Zulassung von bilanziell emissionsfreien Stadtbussen ab 2030 bekannt, für 2040 wird daher von einem vollständig elektrischem Betrieb der Flotte ausgegangen. Die Auslastung des öffentlichen Verkehrs wird über den betrachteten Zeitraum konstant entsprechend der aktuellen Werte angenommen.

Tabelle 3 zeigt die kumulierten THG-Minderungen im Zeitraum 2022-2030 für alle betrachteten Szenarien. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass allein durch weitere Marktdurchdringung von E-Bikes im Rahmen des heute Erwartbaren und bei heute absehbaren Nutzungspräferenzen, d.h. ohne zusätzliche Maßnahmen zur Radverkehrsförderung, die Radverkehrsleistung deutlich zunehmen kann. Es lassen sich dadurch THG-Minderungen im Bilanzraum des Verkehrssektors im Bereich von 2 - 4 Mt CO₂-Äq. kumuliert über den Zeitraum bis 2030 erzielen. Zu beachten ist, dass in der Referenzentwicklung bereits eine gewisse Zunahme des Anteils von E-Bikes an der Radverkehrsleistung unterstellt wurde, die im Projektionsbericht leider nicht quantitativ ausgewiesen wird. Dies führt dazu, dass die vorliegenden Ergebnisse die THG-Minderungen durch eine verstärkte Marktdurchdringung von E-Bikes tendenziell eher überschätzen.

Wesentliche Einflussgrößen für die erreichbare THG-Minderung sind zum einen die Nutzungsintensität (d.h. Fahrleistung) der E-Bikes und zum anderen die Verlagerungseffekte. Um die in den Szenarien enthaltene Erhöhung der Radverkehrsleistung tatsächlich in der Praxis zu erreichen, wäre aber eine **deutliche Verbesserung der Rad-Infrastruktur notwendig**, da ansonsten die bestehenden Nutzerpräferenzen negativ beeinflusst werden könnten bzw. es zu einer erheblichen Verschlechterung des "Level of service" auf der Radinfrastruktur kommen würde. Dies schließt insbesondere in Städten auch eine Umverteilung von Verkehrsflächen vom motorisierten Individualverkehr zum Radverkehr ein.

Die Entwicklung sowohl der Nutzungsintensität als auch der Verlagerungseffekte durch den Einsatz von E-Bikes dürfte zudem in erheblichem Maße von weiteren Rahmenbedingungen abhängen, die die Politik für den Radverkehr setzt (siehe Kapitel 5). Es ist zu erwarten, dass durch politisch ambitionierte Veränderungen der verkehrlichen Rahmenbedingungen und

¹ Laut Koalitionsvertrag strebt die Bundesregierung 15 Mio. Elektrofahrzeuge im Jahr 2030 an (Bundesregierung 2021), der Pkw-Gesamtbestand beträgt derzeit etwa 48,5 Mio. Fahrzeuge.

on on on

zielgerichtete Maßnahmen zur Begünstigung eines Verkehrsmittelwechsels sowohl der Fahrradbestand als auch die Nutzungsintensität der Räder erheblich gesteigert werden könnten. Damit ließen sich dann prinzipiell THG-Minderungspotentiale erschließen, die über die hier gezeigten Szenarien hinausgehen.

Das politische Ziel von 15 Mio. Elektro-Pkw in 2030 gilt als ambitioniert. Es wurde daher eine Sensitivitätsbetrachtung für den Fall durchgeführt, dass sich in 2030 lediglich 6 Mio. Elektro-Pkw (vgl. Ziel der Bundesregierung aus 2011 für 2030 (BMVBS 2011)) im Bestand befinden. Im Szenario "Wachstum" ergeben sich damit - 3,10 Mio. t CO_2 -Äq im Zeitraum 2022-2030 (tank-to-wheel), was eine Erhöhung des Einsparpotentials gegenüber dem Basisfall um ca. 10 % bedeutet, also keine qualitative Änderung.

Tabelle 3: Kumulierte THG-Einsparungen in den E-Bike-Szenarien gegenüber der Referenzentwicklung

Mio. t CO₂-Äq.	Zeitraum 2022-2030			traum 2-2040
	Tank-to- wheel ¹	Lebensweg ²	Tank-to- wheel ¹	Lebensweg ²
Szenario "Wachstum"	-3.87	-5.34	-8.69	-13.63
Szenario "Mainstreaming"	-3.31	-4.43	-6.53	-9.07
Szenario "Konsolidierung"	-2.50	-3.43	-4.76	-7.31

¹ Bilanzgrenze des Verkehrssektors

Die Zeitreihe der jährlichen THG-Einsparungen ist in Abbildung 13 exemplarisch für das Szenario "Wachstum" dargestellt. Die jährlichen Tank-to-Wheel (TtW)-Einsparungen (Berücksichtigung nur direkter Emissionen während des Fahrzeugbetriebs, entspricht der Bilanzgrenze des Verkehrssektors) erreichen um das Jahr 2030 herum ein Maximum und gehen dann aufgrund des steigenden Anteils von Nullemissionsfahrzeugen im Pkw- und Busverkehr sukzessive zurück. Im Jahr 2030 beträgt die jährlich zu erwartende TtW-Einsparung im Szenario "Wachstum" etwa 0,46 Mt CO₂-Äq.

Die Auswertung des Deutschen Mobilitätspanels für Teilnehmende vor und nach einer E-Bike-Anschaffung ergab eine Verringerung der gesamten täglichen Verkehrsleistung (siehe Abschnitt 2.3). Auch hier ist ein systematischer Zusammenhang mit der E-Bike-Nutzung denkbar, denn bisherige Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die tägliche Reisezeit pro Person näherungsweise als Konstante betrachtet werden kann. Gewinnen langsamere Verkehrsmittel im Modal split an Gewicht (zum Beispiel, indem das E-Bike Pkw-Nutzung substituiert), so führt dies bei konstanter täglicher Reisezeit zu einer Verringerung der Verkehrsleistung, was sich wiederum mindernd auf die THG-Emissionen auswirken würde. Aufgrund vieler weiterer möglicher Einflüsse kann dieser Effekt mit den hier genutzten Daten allerdings nicht quantifiziert werden.

² inkl. Energiebereitstellung & Fahrzeugherstellung

on o o

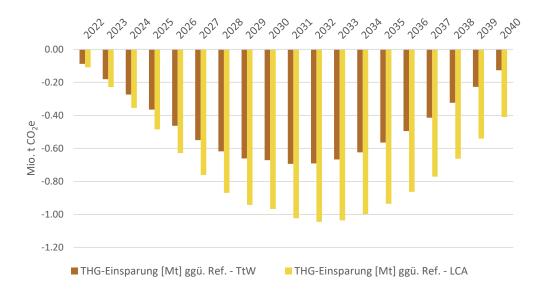


Abbildung 13: THG-Einsparungen im Szenario "Wachstum" gegenüber der Referenzentwicklung für die Bilanzräume Tank to Wheel (TtW) und den kompletten Lebensweg (LCA).

4.2 THG-Minderungspotentiale durch den breiten Einsatz von Lastenrädern im privaten Bereich

Elektrische Lastenräder bilden ein derzeit noch kleines Segment innerhalb der E-Bikes, das in den vergangenen Jahren aber besonders hohe Wachstumsraten verzeichnet hat (siehe Abschnitt 2.4). Im Folgenden wird mit einem stark vereinfachenden Ansatz untersucht, welche THG-Minderungen sich speziell durch E-Lastenräder realisieren ließen, wenn sich dieses Segment weiterhin dynamisch entwickelt und in die Breite des privaten Alltagsverkehrs vordringt¹. Diese Szenarien sind zunächst unabhängig von denen für den gesamten E-Bike-Markt (Abschnitt 4.1). Des Weiteren wird die Flottenentwicklung auf Basis aller Lastenräder abgeleitet, also auch nicht-elektrische Lastenräder berücksichtigt, deren Anteil 2021 bei etwa einem Drittel des gesamten Lastenradmarktes lag. Da der Unterschied bei den spezifischen THG-Emissionen zwischen elektrischen und nicht-elektrischen Lastenrädern im Vergleich zu den substituierten Verkehrsmitteln gering ist, wird davon bei den Berechnungen abstrahiert und stets ein typisches E-Lastenrad zugrunde gelegt.

Im Gegensatz zu den Szenarien für den gesamten E-Bike-Markt (Kap. 4.1), die unter derzeitigen Rahmenbedingungen grundsätzlich denkbare Entwicklungen widerspiegeln, stehen einer ambitionierten Entwicklung bei den Lastenrädern weitaus mehr potentielle Hürden gegenüber. Dies betrifft vor allem sichere und komfortable Abstellmöglichkeiten im privaten Bereich und im öffentlichen Raum. Die nachfolgend gezeigten Szenarien stehen somit unter der Annahme, dass für die Herausforderungen, die bei der städtebaulichen Integration eines neuartigen Verkehrsmittels bestehen, Lösungen gefunden werden. Ebenso setzen sie eine

¹ Mögliche zusätzliche Potentiale im Wirtschaftsverkehr sind nicht Gegenstand dieser Betrachtung.

breite, milieuübergreifende Akzeptanz von Lastenrädern voraus, die derzeit noch großenteils von urban lebenden, umweltbewussten und überdurchschnittlich gebildeten Menschen genutzt werden.

Schreibt man die empirische Marktentwicklung in den Jahren zwischen 2018 (60.000 verkaufte Lastenräder) und 2021 (165.000) mittels einer Regression zweiter Ordnung bis zum Jahr 2040 fort, so entspräche dies einem Anstieg der Verkaufszahlen von Lastenrädern bis auf gut 5 Mio. Fahrzeuge im Jahr 2040. Der Markt für Lastenräder wäre damit in etwa so groß wie der gesamte heutige Zweiradmarkt und der Bestand würde bis zum Jahr 2040 auf etwa 38 Mio. Lastenräder anwachsen.

In der Realität sind demgegenüber aus einer Reihe von Gründen eine langsamere Entwicklung und darüber hinaus Sättigungseffekte zu erwarten. Im hier betrachteten Szenario wurden daher bewusst aus der heutigen potenziellen Nachfrage ableitbare Annahmen zur Marktentwicklung getroffen. Bei der repräsentativen Befragung "Fahrrad-Monitor 2021" gaben im vorvergangenen Jahr 6 % aller potentiellen Fahrradkäufer:innen an, innerhalb der nächsten 12 Monate ein Lastenrad erwerben zu wollen, was etwa 920.000 jährlichen Neuanschaffungen entspricht (Franziska Jurczok 2021). Hier ist zu berücksichtigen, dass es bei solchen Befragungen regelmäßig einen "Value-Action-Gap" gibt und geäußerte Kaufabsichten in vielen Fällen nicht zu tatsächlichen Käufen führen. Zudem ist zu beachten, dass die Anschaffung von mehr als einem Lastenrad pro Haushalt unwahrscheinlich ist. Das Potential ist daher entsprechend dem Verhältnis der im Fahrrad-Monitor befragten Grundgesamtheit (erwachsene Einwohner Deutschlands, ca. 69 Mio.) und der Anzahl der Haushalte (ca. 40 Mio.) zu korrigieren. Es ergibt sich somit ein maximaler Wert von 530.000 jährlichen Neuanschaffungen, der für die Bestandsentwicklung im hier betrachteten Szenario zugrunde gelegt wird. Die sich ergebende Entwicklung von Anschaffungen und Bestand der Lastenräder in Deutschland sowie der Radverkehrsleistung ist in Abbildung 14 dargestellt.

Da Lastenräder im Straßenbild bis vor kurzem kaum präsent waren, ist davon auszugehen, dass mit der aktuellen Marktentwicklung das Lastenrad als Transportoption bei vielen Menschen erst allmählich ins Bewusstsein rückt und die Zahl derer, die sich eine Anschaffung prinzipiell vorstellen können, in den kommenden Jahren unter der Voraussetzung strukturell verbesserter (Lasten-)Radinfrastruktur noch weiter steigen könnte. Die hier getroffene Annahme ist somit als Fortschreibung auf Basis heutiger, veränderbarer Präferenzen anzusehen.

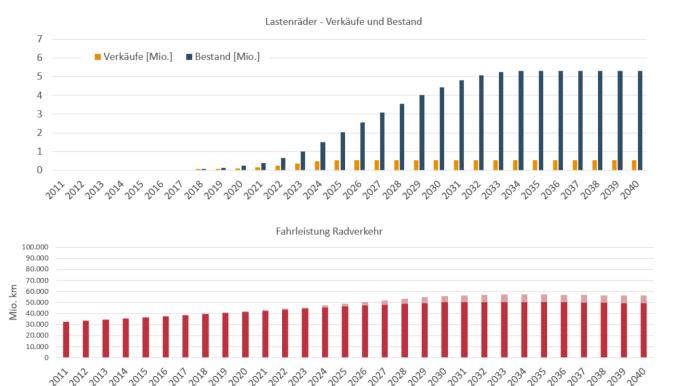


Abbildung 14: Entwicklung von Verkäufen, Beständen und Fahrleistung der Lastenräder in Deutschland im hier betrachteten Szenario

■ zusätzliche Fahrleistung Lastenräder [Mio. km]

on on on

Um abzuschätzen, in welcher Größenordnung sich mittel- bis langfristig der Markt für Lastenräder nachfragegetrieben entwickeln könnte, ist ein Blick auf mögliche zukünftige Einsatzbereiche der Lastenräder notwendig. Hierzu wurden die Verkehrsleistungen über alle Verkehrsmittel im Alltagsverkehr aus der Befragung "Mobilität in Deutschland 2017" nach Raumtypen, Entfernungsklassen und Wegezwecken gefiltert. Dabei wurden folgende Annahmen getroffen:

■ Fahrleistung Rad Referenz [Mio. km]

- Grundsätzlich kommt der Einsatz von Lastenrädern für Wegelängen bis zu 10 km infrage.
- Nur für Wegezwecke mit Transportbedarf ist der Einsatz eines Lastenrads sinnvoll. Im fraglichen Entfernungsbereich kann etwa 50-70 % der Wege ein potenzieller Transportbedarf zugeordnet werden (z.B. Einkauf, Begleitung/Beförderung anderer Personen, Ausflugsequipment). Es ist allerdings anzunehmen, dass ein erheblicher Anteil davon auch mit einem normalen Fahrrad/e-Bike bewältigt werden könnte. Andererseits gibt es auch Transportbedarfe (z.B. Begleitung mobilitätseingeschränkter Personen), die nicht mit dem Lastenrad bewältigt werden können. Der tatsächliche Lastenrad-affine Transportbedarf wird demnach vermutlich um einiges niedriger liegen.
- Lastenräder können primär in städtischen Regionen eine vollwertige Alternative zum Auto darstellen, da hier die nahräumliche Versorgungsdichte höher ist. Für ländliche Regionen wird daher angenommen, dass lediglich die Hälfte der nach den übrigen Kriterien geeigneten Wege prinzipiell für Lastenräder infrage kommt.

Auf Grundlage der heute typischen Jahresfahrleistung von Lastenrädern wurde sodann berechnet, wie viele Lastenräder in etwa benötigt würden, um die prinzipiell für Lastenräder

geeigneten Verkehrsleistungen¹ zu erbringen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 15 in Form farbiger Flächen dargestellt, denen die Bestandsentwicklung im betrachteten Szenario gegenübergestellt wird. Die Ergebnisse zeigen, dass die mit grundsätzlich denkbaren Einsatzpotentialen korrespondierenden Bestandszahlen weit oberhalb der Bestandsentwicklung im hier quantifizierten Szenario liegen. Der Einsatz von Lastenrädern für alle prinzipiell geeigneten Wege von weniger als 5 km Länge würde beispielsweise einen Lastenradbestand von ca. 25 Mio. Fahrzeugen erfordern (bei gleichbleibender Fahrleistung pro Lastenrad). Dies unterstreicht den konservativen Charakter des hier quantifizierten Szenarios. Es zeigt sich damit aber auch, dass eine recht ambitionierte Marktentwicklung bei den Lastenrädern notwendig wäre, um spürbare Auswirkungen auf die nahräumliche Alltagsmobilität in der Breite zu entfalten.

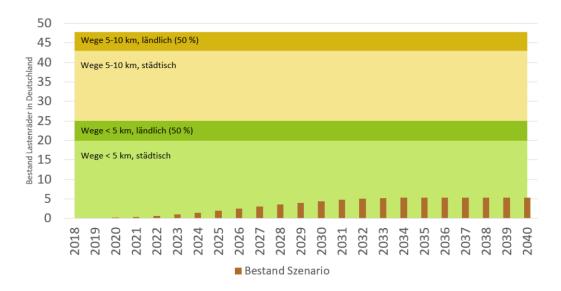


Abbildung 15: Lastenradbestände (farbige Flächen), die erforderlich wären, um für Lastenräder prinzipiell infrage kommende Teile der Personenverkehrsleistung im Nahbereich zu ersetzen. Dem gegenüber gestellt ist die Entwicklung des Lastenradbestands im betrachteten Szenario.

Für die Berechnung des THG-Minderungspotentials im Szenario wird entsprechend der Ergebnisse aus bisherigen Nutzerstudien angenommen, dass 46 % der Lastenrad-Fahrleistung vom Pkw verlagert wird (siehe Abschnitt 2.5). Für den Rest wird eine Verlagerung vom ÖV bzw. Fahrrad angenommen und auf diese beiden Verkehrsträger entsprechend der auf Grundlage des Mobilitätspanels ermittelten Anteile aufgeteilt (ÖV: 32 %; Fahrrad: 22 %). Diese Annahmen werden für alle Szenarienjahre identisch gesetzt, da es bei Lastenrädern aufgrund ihrer sehr spezifischen Eigenschaften keinen Grund zu Annahme gibt, dass diese künftig in verstärktem Maße konventionellen Radverkehr substituieren könnten.

Die kumulierten Emissionsminderungen über den gesamten Zeitraum bis 2040 sowie für den Zeitraum bis 2030 sind in Tabelle 4 zusammengefasst. In Abbildung 16 sind zusätzlich die Minderungen im Zeitverlauf dargestellt. Verglichen mit den Szenarien für den weiteren E-Bike-Hochlauf sind die erzielbaren THG-Minderungen hier etwas geringer, liegen aber in ähnlicher Größenordnung wie beim E-Bike-Szenario "Konsolidierung". Insgesamt ist die Da-

¹ Hier sind zunächst sämtliche Verkehrsleistungen eingeschlossen, unabhängig von dem derzeit verwendeten Verkehrsmittel. Auch werden keine spezifischen Hemmnisse wie beispielsweise eingeschränkte Akzeptanz von Lastenrädern oder verringerte Fahrbereitschaft aufgrund von Witterungseinflüssen berücksichtigt.

tenbasis bei den Lastenrädern allerdings noch weniger belastbar als bei Pedelecs, insbesondere was die jährlichen Fahrleistungen und die Anteile substituierbarerer Verkehrsleistungen angeht.

Es ist zu beachten, dass die THG-Minderungspotentiale für E-Bikes (Abschnitt 4.1) und Lastenräder im Sinne einer Gesamtabschätzung für den Radverkehr nicht einfach addierbar sind, sondern in Summe geringer ausfallen. Die für E-Bikes berechneten Potentiale basieren darauf, dass sich durch eine zunehmende Verschiebung des Zweiradmarkts hin zu elektrischen Antrieben die Nutzungsintensität jedes einzelnen Zweirads im Durchschnitt erhöht. Die für Lastenräder berechneten Potentiale basieren auf dem deutlich überproportionalen Wachstum eines bestimmten Segments im E-Bike-Markt (nämlich dem der Lastenräder), das mit entsprechenden potentiellen Anwendungsfeldern abgeglichen wurde. Die Szenarien machen keine Aussage darüber, inwieweit ein Wachstum des Lastenradmarkts auf Kosten des Pedelecmarkts gehen könnte. Bei den grundsätzlichen Einsatzpotentialen im Bereich der nahräumlichen Mobilität gibt es zwischen Pedelecs und Lastenrädern deutliche Überschneidungen (da z.B. Transportbedarfe anhand der Statistiken nicht klar abgegrenzt werden können in pedelectauglich und nicht-pedelectauglich).

Tabelle 4: Kumulierte THG-Einsparungen durch Lastenräder gegenüber der Referenzentwicklung

Mio. t CO₂-Äq.	Zeitraum 2022-2030		_	traum 2-2040
	Tank-to- wheel ¹	Lebensweg ²	Tank-to- wheel ¹	Lebensweg ²
THG-Minderung im Szenario	-2,16	-2,83	-4,22	-6,04

¹ Bilanzgrenze des Verkehrssektors

Der mögliche Einsatz von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr ist nicht Teil der vorstehenden Szenarienbetrachtung. Obwohl hier längerfristig im Vergleich zum privaten Einsatz ein deutlich geringeres Gesamtpotential zu erwarten ist, kann der gewerbliche Einsatz von Lastenrädern gerade im urbanen Raum kurzfristig zu THG-Minderungen wie auch zur Verbesserung der Luftqualität beitragen, unter anderem deshalb, weil Lastenräder hier in vielen Fällen auch leichte Nutzfahrzeuge ersetzen können.

² inkl. Energiebereitstellung & Fahrzeugherstellung

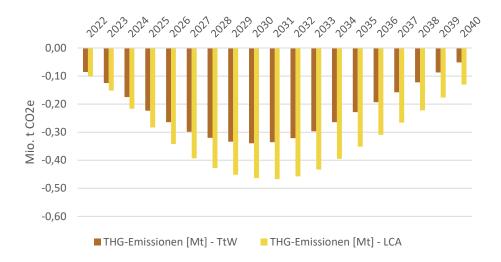


Abbildung 16: THG-Einsparungen durch eine verstärkte Verbreitung von Lastenrädern im betrachteten Szenario gegenüber der Referenzentwicklung für die Bilanzräume Tank to Wheel (TtW) und den kompletten Lebensweg (LCA).

Handlungsoptionen

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass E-Bikes bei sich abzeichnender Marktentwicklung und Fortschreibung bisheriger Nutzungsmuster die THG-Emissionen des deutschen Verkehrssektors im Zeitraum bis 2030 in Summe um einige Mio. Tonnen CO₂-Äq. reduzieren könnten. Hierfür wäre aber eine **deutliche Verbesserung der Rad-Infrastruktur notwendig**, um deren Tragfähigkeit für die dann deutlich höhere Radverkehrsleistung sicherzustellen. Andernfalls könnten bestehende Nutzerpräferenzen negativ beeinflusst werden und bereits dadurch die Realisierung der Szenarien unmöglich werden. Solche Verbesserungen der Infrastruktur setzen zum Teil einen angepassten Rechtsrahmen voraus, um dem Radverkehr vor allem im städtischen Bereich mehr Raum zu geben.

Als zentrale Parameter für die erzielbaren THG-Minderungen wurden neben der Marktentwicklung die Nutzungsintensität (Fahrleistung pro E-Bike) und der Anteil verlagerter motorisierter Fahrleistung (insbesondere Pkw-Fahrleistung) identifiziert. Gelänge es, die Nutzungsintensität deutlich zu erhöhen und mehr Pkw-Fahrleistung zu ersetzen, so könnten prinzipiell höhere THG-Einsparungen als in den Szenarien dieser Analyse realisiert werden. Bei den Lastenrädern wäre zudem auch eine ambitioniertere Marktentwicklung denkbar als im betrachteten Szenario unterstellt; die Analyse zeigte, dass auch eine sehr ambitionierte Marktentwicklung mit jährlichen Verkäufen mehrerer Millionen Lastenräder prinzipiell auf genügend potentielle Einsatzfelder treffen würde.

Um die in Kapitel 4 beschriebenen und darüber hinausgehende Minderungspotenziale heben zu können, bedarf es jedoch deutlich verbesserter Rahmenbedingungen für den Radverkehr in einer Vielzahl von Handlungsfeldern, insbesondere mit Blick auf den noch jungen Markt der Lastenräder. Von zentraler Bedeutung sind dabei Maßnahmen, die den Radverkehr im direkten Vergleich zum Autoverkehr attraktiver machen. Dies betrifft insbesondere eine radverkehrsfreundliche Stadtplanung (zusätzliche Flächen für Radverkehrsinfrastruktur bei Verknappung von Verkehrsflächen für den motorisierten Individualverkehr) sowie die Internalisierung externer Kosten des motorisierten Individualverkehrs (Umweltkosten, Kosten für Flächeninanspruchnahme). Tabelle 5 enthält eine Übersicht wichtiger Handlungsfelder.

Bei der Erstellung der vorliegenden Analyse wurde deutlich, dass die Datengrundlage zur derzeitigen Nutzung von E-Bikes in Deutschland verbesserungswürdig ist. Intensivere Nutzungsforschung mit dem Ziel, wichtige Nutzungsparameter repräsentativ zu erheben, könnte einen wichtigen Beitrag leisten, Treiber und Hürden der E-Bike-Nutzung besser zu verstehen. Damit ließen sich dann noch gezielter Förderinstrumente entwickeln, um das THG-Minderungspotential des Radverkehrs möglichst umfassend zu heben.

Tabelle 5: Politische Handlungsfelder mit Bezug zu E-Bikes und ihre Wirkung auf zentrale klimapolitische Einflussgrößen

Handlungsfeld	Wirkung	Bestand E-bikes	Fahrleis- tung	Pkw-Sub- stitution
Verbesserung ordnungspoliti- scher Rahmenbedingungen für den Radverkehr (z.B. leichtere Anordnung von Tempo 30 inner- orts ermöglichen, Durchfahrtsbe- schränkungen für Pkw in be- stimmten Bereichen)	Erhöhte Verkehrssicherheit → höhere Akzeptanz	X	X	X
Internalisierung externer Kosten des Pkw-Verkehrs und –besitzes (z.B. Parkraumbewirtschaftung, CO ₂ -Bepreisung), städtebauliche Priorisierung des Radverkehrs	Komparativer Vorteil von Fahrrädern / E-Bikes bei der Verkehrsmittelwahl Erleichtertes Ablegen Pkw-zentrierter Nutzungs- routinen	Х	Х	X
Verbesserte Radwegeinfrastruktur¹ (u.a. erweitertes Wegenetz, Verbesserung von Kreuzungsbereichen, Bau von Radschnellwegen)	Erhöhte Verkehrssicherheit → höhere Akzeptanz Verkürzte Reisezeiten → Ermöglichung längerer Wege	X	X	X X
Verbesserte Abstellinfrastruktur (sichere öffentliche Abstellanlagen, aber auch private Abstellmöglichkeiten, die z.B. über Stellplatzsatzungen beeinflusst werden können) → besonders relevant für Lastenräder wg. Größe und Wert	Ermöglichung zusätzlicher Wege durch Abstellmöglichkeit am Ziel → höhere Fahrleistung Neue Nutzer:innengruppen, wenn ein privater Stellplatz die Anschaffung erst ermöglicht² → mehr Fahrräder / E-Bikes	X	X	
Attraktive Rahmenbedingungen für privat genutzte Diensträder	Der E-Bike-Markt hat nachweislich von der Gleichstellung von Diensträdern und Dienst-Pkw profitiert (Synek 2021)	Х		
Förderprogramme für die Anschaffung von Lastenrädern	Entsprechende Förderprogramme werden gut angenommen und sind oft nach kurzer Zeit ausgeschöpft (GreenBike Blog 2022)	Х		

 $^{^{1}}$ Zum Teil setzen Verbesserungen der Radverkehrsinfrastruktur auch rechtliche Anpassungen an Straßenverkehrsordnung (StVO) bzw. Straßenverkehrsgesetz (StVG) voraus.

² Besonders relevant bei Lastenrädern, da hier der Platzbedarf höher ist und Lastenräder beispielsweise nicht einfach über Treppen getragen werden können.

Technische Weiterentwicklung von E-Bikes. Betrifft v.a. Lastenrä- der - bisherige Studien zeigten, dass durch viele Nutzende noch Optimierungspotential gesehen wird, z.B. (Gruber und Rudolph 2021)	Höhere Zufriedenheit der Nutzenden, Einsatz für weitere Nutzungszwecke Höhere Wahrscheinlichkeit, dass Lastenräder weiterempfohlen werden → "soziale Ansteckungseffekte"	Х	X	Х
Förderung gesellschaftlicher Akzeptanz radverkehrsbasierten Mobilitätsmustern, z.B. durch großangelegte Reallabore oder gezielte Programme, um wenig fahrradaffine Gruppen anzusprechen	Erleichtertes Ablegen Pkw-zentrierter Nutzungs- routinen	X		Х

on on on

Literaturverzeichnis

- Becker, S.; Rudolf, C. (2017): Das Potenzial von Lastenrad-Sharing für nachhaltige Mobilität: Erste Nutzerstudie der Freien Lastenräder. Potsdam, Stuttgart. S. 1. https://deinlastenrad.de/images/b/b2/FactSheet-Nutzerstudie_v3.pdf (04.08.2022).
- Bergk, F.; Dünnebeil, F.; Greinus, A.; Ickert, L.; Peter, M. (2021): Klimaschutzbeitrag alternativer Verkehrsträger Potenziale und Anforderungen. S. 40.
- Bjørnarå, H. B.; Berntsen, S.; J te Velde, S.; Fyhri, A.; Deforche, B.; Andersen, L. B.; Bere, E. (2019): From cars to bikes The effect of an intervention providing access to different bike types: A randomized controlled trial. In: *PLOS ONE*. Vol. 14, No. 7, S. e0219304.
- BMVBS (2011): Elektromobilität Deutschland als Leitmarkt und Leitanbieter. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), Berlin. https://www.bmdv.bund.de/blaetterkatalog/catalogs/235170/pdf/complete.pdf (02.02.2023).
- Bundesregierung (2021): Koalitionsvertrag der Bundesregierung. https://www.bundesregierung.de/breg-de/service/gesetzesvorhaben/koalitionsvertrag-2021-1990800.
- BVA BikeMedia (2022): Alles über den E-Bike Akku Der Akku: Das Kraftwerk am E-Bike. In: *RADfahren.de*. https://www.radfahren.de/service/e-bike-akku/. (17.01.2023).
- Carracedo, D.; Mostofi, H. (2022): Electric cargo bikes in urban areas: A new mobility option for private transportation. In: *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*. Vol. 16, S. 100705.
- Conway, A.; Cheng, J.; Kamga, C.; Wan, D. (2017): Cargo cycles for local delivery in New York City: Performance and impacts. In: *Research in Transportation Business & Management*. Sustainable efficiency and management issues in urban goods transport: new trends and applications Vol. 24, S. 90–100.
- Ecke, L.; Chlond, B.; Magdolen, M.; Vallée, J.; Vortisch, P. (2021): Deutsches Mobilitätspanel (MOP) Wissenschaftliche Begleitung und Auswertungen Bericht 2020/2021: Alltagsmobilität und Fahrleistung. Karlsruher Institut für Technologie (KIT). https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000140958 (17.01.2023).
- e-motion e-Bike Experten (o.J.): e-Bike Pedelec Antriebe. In: *e-motion e-Bike Experten*. https://emotion-technologies.de/e-bike-infos/e-bike-pedelec-antriebe/. (05.10.2022).
- Franziska Jurczok (2021): Fahrrad-Monitor Deutschland 2021. Sinus Markt- und Sozialforschung GmbH, Heidelberg. S. 220. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/StV/fahrrad-monitor-2021.pdf?__blob=publicationFile.
- GreenBike Blog (2022): Lastenrad-Förderung: Übersicht der Kaufprämien. In: *GreenBike Blog*.
- Gruber, J. (2016): Das Cargo-Bike für einen nachhaltigen städtischen Güterverkehr. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrsforschung,

on o o

- Berlin. S. 25. https://www.carvelo.ch/de-wAssets/docs/Praesentationen-carvelo-camp/2016/11.-Johannes-Gruber.pdf.
- Gruber, J.; Narayanan, S. (2019): Travel Time Differences between Cargo Cycles and Cars in Commercial Transport Operations. In: *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*. Vol. 2673, S. 036119811984308.
- Gruber, J.; Rudolph, C. (2016): Untersuchung des Einsatzes von Fahrrädern im Wirtschaftsverkehr (WIV-RAD). Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrsforschung, Berlin. S. 124. https://elib.dlr.de/104273/1/WIV-RAD-Schlussbericht.pdf (04.08.2022).
- Gruber, J.; Rudolph, C. (2021): Ich entlaste Städte: Das Lastenrad-Testangebot für gewerbliche und öffentliche Nutzer. Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) Institut für Verkehrsforschung, Berlin. https://elib.dlr.de/144453/1/Schlussbericht_Ich-entlaste-Staedte.pdf (10.10.2022).
- HBK Braunschweig; ifeu (2015): PEDELECTION Verlagerungs- und Klimaeffekte durch Pedelec-Nutzung im Individualverkehr. https://www.erneuerbar-mobil.de/sites/default/files/2016-09/150916_Abschlussbericht_Pedelection_final.pdf (07.07.2022).
- Hill, N.; Amaral, S.; Morgan-Price, S.; Nokes, T.; Bates, J.; Helms, H.; Fehrenbach, H.; Biemann, K.; Abdalla, N.; Jöhrens, J.; Cotton, E.; German, L.; Harris, A.; Ziem-Milojevic, S.; Haye, S.; Sim, C.; Bauen, A. (2020): Determining the environmental impacts of conventional and alternatively fuelled vehicles through LCA. Final Report for the European Commission, DG Climate Action Ricardo Energy & Environment, ifeu Institut für Energie und Umweltforschung, E4tech, Didcot. https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/2020_study_main_re-port_en.pdf (16.10.2020).
- ifeu; INFRAS; Öko-Institut (2019): Ökologische Bewertung von Verkehrsarten. S. 237. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/479/publikatio-nen/texte_156-2020_oekologische_bewertung_von_verkehrsarten_0.pdf.
- ITF (2020): Good to Go? Assessing the Environmental Performance of New Mobility. International Transport Forum ITF, Paris. S. 89. https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/environmental-performance-new-mobility.pdf.
- Luo, H.; Kou, Z.; Zhao, F.; Cai, H. (2019): Comparative life cycle assessment of station-based and dock-less bike sharing systems. In: *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 146, S. 180–189.
- Moser, C.; Artho, J.; Capillo, M.; Bibic, V. (2021): Wirkung von Sharing-Angeboten für E-Scooter, E-Bikes und Velos auf Mobilitätsgewohnheiten und Mobilitätswerkzeuge. Forschungsprojekt FP-1.27, Energieforschung Stadt Zürich, Zürich. S. 117. https://energieforschung-zuerich.ch/media/topics/report/FP-1.27_EFZ_Layout_Schlussbericht_komplett_def.pdf (06.10.2022).
- net4energy GmbH (2022): Lebensdauer eines E-Bike-Akkus. https://www.net4energy.com/de-de/mobilitaet/e-bike-akku-lebensdauer. (17.01.2023).
- Nobis, C. (2019): Mobilität in Deutschland MiD: Analysen zum Radverkehr und Fußverkehr. infas Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH, Bonn. S. 84. http://www.mobilitaet-in-deutschland.de/pdf/MiD2017_Analyse_zum_Rad_und_Fussverkehr.pdf (04.11.2022).

- Öko-Institut; Fraunhofer ISI; IREES; Thünen-Institut (2021): Projektionsbericht 2021 für Deutschland. S. 369.
- Pedelecs & E-Bikes (2022): GORILLAS liefert mit KETTLER E-Lastenrädern aus. In: *Pedelecs und E-Bikes*.
- Prognos; Öko-Institut; Wuppertal-Institut (2021): Klimaneutrales Deutschland 2045 Wie Deutschland seine Klimaziele schon vor 2050 erreichen kann.
- Reck, D. J.; Martin, H.; Axhausen, K. W. (2022): Mode choice, substitution patterns and environmental impacts of shared and personal micro-mobility. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 102, S. 103134.
- Riggs, W. (2016): Cargo bikes as a growth area for bicycle vs. auto trips: Exploring the potential for mode substitution behavior. In: *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. Vol. 43, S. 48–55.
- SAZbike (2021): E-Bike-Preise in zwei Jahren um 42 Prozent gestiegen. In: *SAZbike*. https://www.sazbike.de/markt-politik/studie/e-bike-preise-in-zwei-jahren-um-42-prozent-gestiegen-2749358.html. (07.02.2023).
- Schulz, A.; Chlond, B.; Magdolen, M.; Kuhnimhof, T. (2020): Klimawirksame Emissionen des deutschen Reiseverkehrs. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2020-07-20_texte_141-2020_emissionen-reiseverkehr_0.pdf.
- Sun, Q.; Feng, T.; Kemperman, A.; Spahn, A. (2020): Modal shift implications of e-bike use in the Netherlands: Moving towards sustainability? In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. Vol. 78, S. 102202.
- Synek, S. G. (2021): Essays on the adoption of the German company-bicycle leasing program. Technischen Universität München, München.
- Umweltbundesamt (2022): Entwicklung der spezifischen Treibhausgas-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 2021. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2022-04-13_cc_15-2022_strommix_2022_fin_bf.pdf.
- VDV (2020): Bike-Sharing-Projekte in Deutschland: vollständige Liste. In: *Verband Deutscher Verkehrsunternehmen*. https://www.vdv.de/services/new-mobility-forum/liste-bike-sharing.aspx. (02.02.2023).
- ZIV (2022): Marktdaten Fahrräder und E-Bikes 2021. ZIV Zweirad-Industrie-Verband e.V., Berlin. S. 41. https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Down-loads/Marktdaten/ZIV_Marktdatenpraesentation_2022_fuer_Geschaefts-jahr_2021.pdf (04.08.2022).
- ZIV (2023): Marktdaten Fahrräder und E-Bikes 2022. ZIV Zweirad-Industrie-Verband e.V., Berlin. https://www.ziv-zweirad.de/fileadmin/redakteure/Downloads/Marktdaten/ZIV Marktdatenpraesentation 2023 fuer GJ 2022.pdf (22.03.2023).

on on on

Basis für die Literaturrecherche stellen sowohl Publikationen aus Wissenschaftlichen Journalen als auch Berichte aus einzelnen Forschungsprojekten dar:

- (Reck et al. 2022) untersuchten unter anderem die E-Bike-Nutzungsmuster von über 500 Reisenden in Zürich
- (Moser et al. 2021) verglichen ebenfalls in Zürich den Einsatz von E-Bikes mit anderen Mikromobilitätsformen
- (Sun et al. 2020) untersuchten Einflüsse der Verkehrsverlagerung auf E-Bikes in den Niederlanden
- (HBK Braunschweig und ifeu 2015) führten eine tiefe Analyse des Nutzungs- und Verlagerungspotentials von E-Bikes durch
- (ITF 2020) verglichen die Lebenszyklus-Analyse- (LCA-)Ergebnisse für verschiedene Varianten der Mikromobilität miteinander
- (Luo et al. 2019) enthält trotz des Fokus auf (E-)Bike-Sharing-Konzepte wichtige Daten für die LCA
- (Bergk et al. 2021) analysierten die Klimaschutzwirkung verschiedener Verkehrsträger mit konkreten Vergleichsbeispielen für E-Bikes in den Niederlanden
- Für den Marktüberblick wurden insbesondere die Marktdaten des deutschen ZIV Zweirad-Industrie-Verbandes e.V. herangezogen (ZIV 2022).
- Erkenntnisse zu Nutzungsmustern und Mobilitätsgewohnheiten basieren teilweise auf Befragungen im Rahmen des Mobilitätspanels (MOP) (Ecke et al. 2021) und des Fahrrad-Monitor Deutschland 2021 (Franziska Jurczok 2021) sowie auf Mobilität in Deutschland (MID) (Nobis 2019).
- Für die Erstellung der Lebenszyklusanalyse wurde neben wissenschaftlichen Publikationen (ifeu et al. 2019; Luo et al. 2019) und Daten des International Transport Forum ITF (ITF 2020) auch auf Herstellerangaben und Daten von Händler*innen-Vergleichsportalen zurück gegriffen (insbesondere (BVA BikeMedia 2022; e-motion e-Bike Experten o.J.; net4energy GmbH 2022)).

Verhältnismäßig wenige Daten und Literatur findet sich zu Lastenrädern:

- Nutzungsmuster aus 30 Lastenrad-Sharing-Initiativen in Deutschland und Österreich wurden von (Becker und Rudolf 2017) untersucht
- Mögliche Einsatzmuster von Lastenrädern für öffentliche und gewerbliche Nutzende wurden in der DLR-Studie "Ich entlaste Städte" (Gruber und Rudolph 2021) analysiert
- (Carracedo und Mostofi 2022) geben einen Überblick über diverse internationale Studien zu in urbaner Logistik genutzten E-Lastenrädern
- (Gruber und Rudolph 2016) verglichen Praxisbeispiele vom Einsatz von Lastenrädern im Wirtschaftsverkehr in Deutschland.