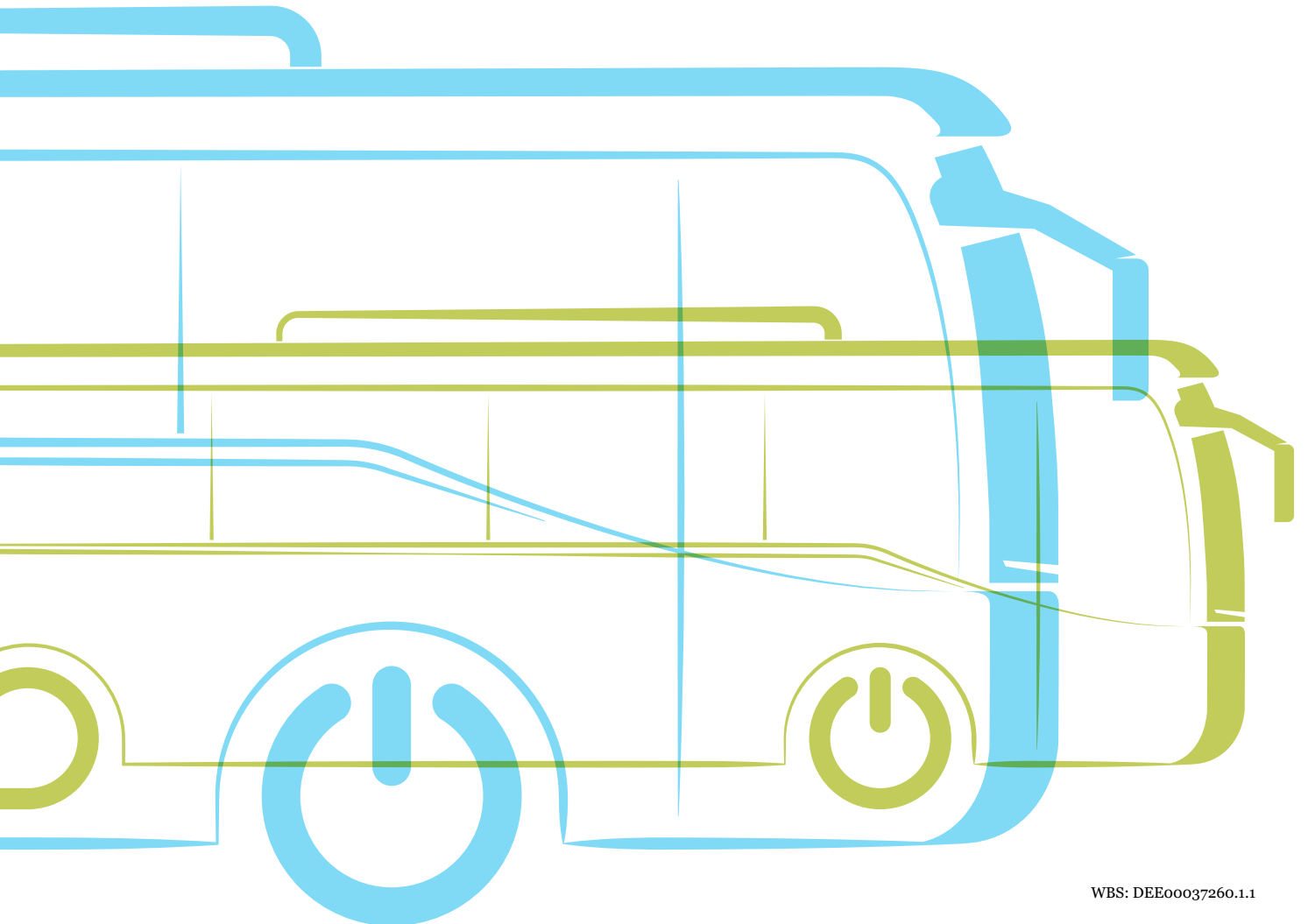


Kurzfassung des Abschlussberichts zur Begleituntersuchung der Förderung von Elektrobussen im ÖPNV

Eine Bilanz der Förderrichtlinie zur Anschaffung von
Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr
für die Jahre 2018 bis 2023 – im Auftrag des Bundes-
ministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK)



Impressum

Im Auftrag des
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

Auftragnehmer
PricewaterhouseCoopers GmbH WPG („PwC“)

Unterauftragnehmer
Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH („ifeu“)
CP/COMPARTNER Agentur für Kommunikation GmbH
Prognos AG
EEBC European Electrical Bus Company GmbH („EEBC“)

Einleitung

Die E-Bus-Förderung hat die Antriebswende im ÖPNV gestartet

Die Bundesrepublik Deutschland hat sich zum Ziel gesetzt, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu werden. Bereits bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen der Bundesrepublik – im Vergleich zu 1990 – um 65 Prozent sinken. Dazu muss der Verkehrssektor einen bedeutenden Teil beitragen. Allerdings lagen dessen Emissionen im Jahr 2023 gerade einmal elf Prozent unter dem Niveau von 1990.

Der Verkehrssektor muss seine Treibhausgasemissionen zukünftig also schneller reduzieren, damit unser Land die Klimaziele erreicht. Dafür braucht es auch einen gut ausgebauten und emissionsfreien öffentlichen Personennahverkehr (ÖPNV) – und dafür wiederum flächendeckend eingesetzte, emissionsfrei angetriebene Elektrobusse (im Folgenden „E-Busse“ genannt) für den straßengebundenen ÖPNV.

Unter den verschiedenen Arten von E-Bussen unterstützen insbesondere batterieelektrisch angetriebene Busse (im Folgenden auch „Batteriebusse“ genannt) die Antriebswende im Sinne der Defossilisierung des straßengebundenen ÖPNV besonders effizient und effektiv. Oder anders ausgedrückt: Batteriebusse hängen Dieselbusse bei der Umweltverträglichkeit in den meisten Dimensionen ab. Schon heute zugelassene Batteriebusse können die Menge an Klimagas-Emissionen¹, die herkömmliche Dieselbusse erzeugen, über ihren Lebenszyklus hinweg um mehr als 50 Prozent reduzieren.

Für alle Arten von E-Bussen gilt: Sie fahren meist deutlich leiser als die bislang noch überwiegend eingesetzten Dieselbusse und stoßen im Gegensatz zu letzteren keine Stickoxide aus. Jedoch war es im vergangenen Jahrzehnt für Verkehrsunternehmen technisch, betrieblich und vor allem wirtschaftlich sehr herausfordernd, ihre Flotten von den umweltbelastenden Dieselantrieben auf emissionsfreie Antriebe umzustellen. Denn das Angebot an E-Bussen war gering und ihr Einsatz auf einzelne Forschungs- und Entwicklungsprojekte begrenzt.

Die Antriebswende im Bussektor kam im März 2018 richtig in Fahrt – als das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) die Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahverkehr veröffentlicht hat. Nach der Neubildung der Bundesregierung im Jahr 2021 übernahm das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) das Förderprogramm. Von Anfang an richtete es sich an Verkehrsunternehmen und unterstützte diese in einer sehr frühen Marktphase bei der Beschaffung von emissionsfreien Stadtbussen für den straßengebundenen ÖPNV. Die Förderung priorisierte die

Verschiedene Arten von E-Bussen

Batteriebusse sind elektrisch angetriebene Busse, die ihre Antriebsenergie ausschließlich aus der integrierten Traktionsbatterie beziehen.

Oberleitungsbusse sind elektrisch angetriebene Busse, die ihre Antriebsenergie während der Fahrt aus einer Oberleitung beziehen.

Brennstoffzellenbusse sind elektrisch angetriebene Busse, die ihre Antriebsenergie aus Wasserstoff beziehen, der im Fahrzeug zur Stromerzeugung mittels Brennstoffzelle eingesetzt wird.

Plug-in-Hybrid-Busse sind Busse, die ihre Traktionsenergie sowohl aus einer Batterie als auch aus einem Verbrennungsmotor beziehen.

Umstellung ganzer Flotten oder zumindest vollständiger Buslinien und adressierte insbesondere Städte und Kommunen mit besonders hoher Luftschadstoff- und Lärmbelastung. Das Förderprogramm

- regte Lern-, Skalen- und Vernetzungseffekte für die Antriebswende an,
- forcierte die Verfügbarkeit serientauglicher E-Busse,
- motivierte auch deutsche Fahrzeughersteller, ihr Angebot an Batteriebussen auszubauen,
- zeichnete ein klares Zielbild für den E-Bus-Markt
- und förderte den Markthochlauf in einer entscheidenden Phase.

Das Ziel des Förderprogramms, den Übergang von der Forschungs- bzw. Entwicklungsphase zum Markthochlauf zu beschleunigen, wurde erreicht. Die flächendeckende, initiale Einführung von E-Bussen gelang, wobei aus guten Gründen der Fokus auf Batteriebusse gelegt wurde. Die Basis für einen sich selbsttragenden E-Bus-Markt in Deutschland wurde gelegt und damit die Antriebswende im straßengebundenen ÖPNV gestartet.

Mit der E-Bus-Förderung hat Deutschland seine Fahrt in Richtung Klimaneutralität beschleunigt. Bis Ende 2023 wurden insgesamt 823 Ladepunkte und 1.489 Batteriebusse gefördert. Dies entspricht rund 56 Prozent des gesamten E-Bus-Bestands in Deutschland per Ende 2023. Die Fördersumme betrug rund 487 Millionen Euro.

Um die Effekte des Förderprogramms zu evaluieren, hatte das BMU eine umfassende Begleitforschung beauftragt. Der Abschlussbericht dazu ist unter dem Titel "Begleituntersuchung zur Förderung von Elektrobussen im ÖPNV" im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz erschienen.

Diese Publikation ist die Kurzfassung des Abschlussberichts. Sie würdigt die wesentlichen Ergebnisse der Langfassung und fasst diese in aller Kürze zusammen. Für Leserinnen und Leser, die mehr erfahren möchten, eignet sich der Abschlussbericht als umfassendes und detailliertes Nachschlagewerk.

Die Themen der Kurzfassung

- Kapitel 1** beschreibt die Wirkung der Förderrichtlinie.
- Kapitel 2** enthält relevante Details über die Leistungsfähigkeit von E-Bussen, ihren Klimaschutzbeitrag und ihre Wirtschaftlichkeit.
- Kapitel 3** thematisiert den Status quo, Trends und Tendenzen im E-Bus-Markt
- Kapitel 4** skizziert, wie der weitere Markthochlauf gestaltet werden könnte.

1. Überblick über die Erfolge der Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im ÖPNV

Dieses Kapitel informiert über die Historie, den Fokus und die Ziele des Förderprogramms, über die sich daraus ergebenden Möglichkeiten für Verkehrsunternehmen, über die Wirkung auf Fahrzeughersteller und über Ergebnisse des Programms im Zeitraum der Begleituntersuchung.

Umfassende Transformation des Bussektors angeregt

Für den Betrachtungszeitraum der Begleituntersuchung – für die Jahre 2018 bis 2023 – besagte die Förderrichtlinie, dass Verkehrsunternehmen (auch in Zusammenschlüssen und Verbänden), finanzielle Förderungen für den Kauf bzw. das Leasing von Batteriebussen erhalten konnten: in Höhe von bis zu 80 Prozent der Investitionsmehrkosten. Zudem waren bis zu 40 Prozent der Investitionen in Ladeinfrastruktur förderfähig. Um Förderung zu erhalten, mussten die Antragsteller

- mindestens fünf Batteriebusse anschaffen,
- sie im ÖPNV einsetzen,
- erneuerbare Energien für den Busbetrieb nutzen sowie
- die Lieferzusage eines Herstellers und
- eine plausible Wirtschaftlichkeitsrechnung vorweisen.

Das Förderprogramm war auf Batteriebusse konzentriert, weil diese Busse besonders klimafreundlich sind. Dagegen bringen andere alternative Antriebstechnologien wie Erdgas- und Brennstoffzellenbusse geringere positive Effekte. Ausnahmen sind Busse, die mit grünem, also mit aus regenerativen Energien erzeugtem Wasserstoff fahren. Geeignete Busmodelle dieser Art sind zwar schon verfügbar, doch grüner Wasserstoff ist es noch kaum – und sehr teuer. Zudem bleibt die Energiebilanz solcher Busse auch

in absehbarer Zukunft ungünstiger als bei Batteriebussen. Damit bleiben sehr wahrscheinlich auch die Betriebskosten solcher Wasserstoffbusse höher als die von Batteriebussen, sofern der Wasserstoffpreis nicht sehr viel stärker als der Strompreis sinkt.

Vor diesem Hintergrund sollte die Förderung in der sehr frühen Marktphase der Jahre 2018 bis 2023

- das Angebot von und die Nachfrage nach Batteriebussen erhöhen, Planungssicherheit für die Fahrzeughersteller gewährleisten,
- Verkehrsunternehmen bei der Beschaffung von Batteriebussen für den straßengebundenen ÖPNV unterstützen und
- mit allen Effekten den Markthochlauf von E-Bussen beschleunigen,

um die Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen im ÖPNV sowie den Verkehrslärm zu reduzieren.

Durch die Förderung wurde die groß angelegte Antriebswende im straßengebundenen ÖPNV gestartet. Das Förderprogramm war somit eine Initialzündung für eine perspektivisch marktgetriebene Umstellung im Bussektor bzw. straßengebundenen ÖPNV.

Die Förderung war auch deshalb richtig, weil alternative und emissionsfreie Antriebe bei Bussen lange nur eine untergeordnete Rolle spielten.

Der Anteil der emissionsfrei fahrenden Busse an der Gesamtflotte lag im Jahr 2008 bei lediglich 4,6 Prozent; 2015 waren es sogar nur noch 3,3 Prozent. Denn für traditionelle Hersteller von Nutzfahrzeugen war es lohnender, bestehende Synergien bei der Produktion dieselbetriebener Busse und anderer Nutzfahrzeuge zu heben.

Das politische Ziel der Klimaneutralität verlieh der Defossilisierung des straßengebundenen ÖPNV einen neuen Antrieb. Hier war die Förderung neuer Technologien notwendig, da Defossilisierung bei Dieselnur nur sehr begrenzt möglich ist. Biokraftstoffe sind nur begrenzt verfügbar und mit Nutzungskonflikten belastet. Zudem sind auch E-Fuels nicht ausreichend verfügbar – und neben Nachteilen in Bezug auf Effizienz und Ressourcenverbrauch weiterhin zu teuer. Deshalb sind mit erneuerbarem Strom angetriebene Batteriebusse in den meisten Fällen die sinnvollste Defossilisierungsoption.

Die Förderung durch das BMU ab dem Jahr 2018 bzw. durch das BMWK ab 2021 gab einen wichtigen Impuls, um den straßengebundenen ÖPNV mit emissionsfreien Antrieben zu transformieren. Im Jahr 2021 kamen ebenfalls die gesetzlichen Mindestquoten für die Beschaffung sauberer bzw. emissionsfreier Fahrzeuge hinzu – infolge der Clean Vehicles Directive (CVD) der Europäischen Union (EU) und der deutschen Umsetzung im Rahmen des Gesetzes über die Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge. Die Umsetzung implizierte eine Antriebswende speziell bei Stadtbussen – bei gleichzeitig politisch gewolltem Ausbau des ÖPNV. Dafür bedurfte es – auch angesichts der finanziellen Situation vieler Kommunen – kurzfristig finanzieller Unterstützung für eine Technologie, die gerade erst am Übergang zur Marktreife war.

Ab dem Jahr 2021 schloss das Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) ein umfassendes Förderprogramm an, das auf eine großflächige Flottenumstellung abzielt. Zudem beschloss die EU im Juni 2024 eine Verschärfung der CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge, die auf die

Fahrzeughersteller wirkt: Demnach müssen ab 2030 mindestens 90 Prozent der neu zugelassenen Stadtbusse emissionsfrei sein.

Stark steigende E-Bus-Zahlen und fast geschlossene Kostenlücke

Unter anderem die folgenden Zahlen verdeutlichen die Erfolge: Als die Förderung im Jahr 2018 startete, gab es in der deutschen ÖPNV-Busflotte gerade einmal rund 200 E-Busse. Fünf Jahre später, im Jahr 2023, waren es 2.640 – mehr als dreizehnmal so viele. Allein 2023 wuchs der E-Bus-Bestand im ÖPNV gegenüber dem Vorjahr um 33 Prozent bzw. 782 Fahrzeuge (2022 ggü. 2021: + 590 Fahrzeuge).

Gemäß der für die Begleitforschung erfassten Planungen der Verkehrsunternehmen (Stand Ende 2023) könnten Ende 2025 rund 7.400 E-Busse in Deutschland fahren. Dies entspräche rund 14 Prozent der gesamten Busflotte im ÖPNV (rund 54.000 Stadt- und Überlandbusse, davon 35.000 Stadtbusse). Bis 2030 könnte die Anzahl der E-Busse auf Basis der Umfragen auf mehr als 11.000 ansteigen.

Von 2018 bis 2023 nutzten 65 Verkehrsunternehmen aus 13 Bundesländern die Förderung in insgesamt 50 Förderprojekten. Das Förderprogramm des BMU/BMWK hat das wirtschaftliche Risiko der ÖPNV-Betreiber deutlich reduziert, den straßengebundenen ÖPNV als Innovationsträger attraktiver gemacht und die Umwelt- und Klimabilanzen der Kommunen verbessert. Die folgende Grafik zeigt die Standorte der geförderten Verkehrsunternehmen.

Auch industriepolitisch gab das Förderprogramm entscheidende Impulse: Als es 2018 begann, waren noch keine serienreifen E-Busse aus deutscher Produktion lieferbar. Durch das Programm entwickelte sich eine ausreichend große Nachfrage, die deutsche und europäische Bushersteller zur E-Bus-Produktion motivierte. Ende 2023 kamen 96 Prozent der geförderten Batteriebusse aus deutscher und europäischer Produktion. Zudem unterstützte das Programm die Hersteller dabei, den technologischen Rückstand gegenüber chinesischen Herstellern aufzuholen. Auch

Die BMWK-Förderung hat eine flächendeckende Einführung von Batteriebussen ermöglicht

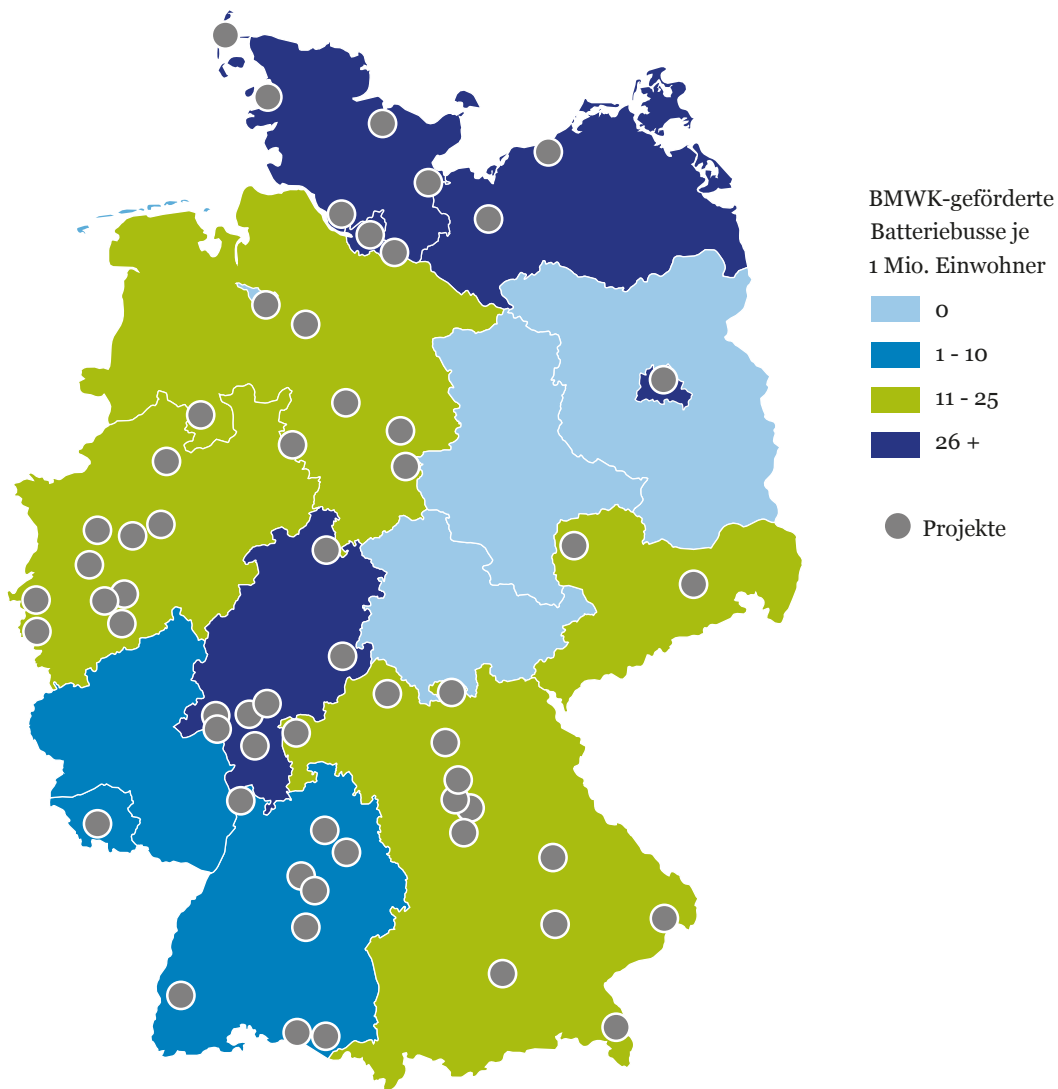


Abbildung 1: Standorte der geförderten Verkehrsunternehmen und Dichte der durch das BMWK geförderten E-Busse je Bundesland (Stand 1. November 2023)

die Batteriekapazitäten sind mittlerweile deutlich höher – sie sind keine technische Hürde für die Flottenumstellung mehr.

Allerdings: Ohne die staatliche Förderung müssten Verkehrsunternehmen für die Anschaffung und den Betrieb von E-Bussen über ein gesamtes „Fahrzeugleben“ immer noch etwa 30 Prozent mehr bezahlen als für Dieselsebusse (Stand: Ende 2023). Die Förderung konnte die

große Anschaffungs- und Gesamtkostenlücke zum fossilen und damit nicht zukunftsfähigen Dieselsebus deutlich verringern: Die Prognose für das Jahr 2030 zeigt, dass dann beschaffte batterieelektrisch fahrende Solo- bzw. Gelenkbusse voraussichtlich auch ohne Förderung nur noch rund fünf bzw. elf Prozent mehr kosten als herkömmliche Dieselfahrzeuge – infolge von stärkeren Skaleneffekten, gesunkenen Batteriepreisen und gleichzeitig erhöhten Batteriekapazitäten.

Kurzfristig jedoch verursacht die Antriebswende weiteren Finanzierungsbedarf bei den Verkehrsbetrieben. Dieser Finanzierungsbedarf trifft zusammen mit allgemein steigenden Kosten und dem politischen Wunsch nach einem weiterem Angebotsausbau im ÖPNV im Sinne des Klimaschutzes.

Insgesamt hat die Förderrichtlinie zur Anschaffung von Elektrobussen im öffentlichen Personennahver-

kehr deutlich geholfen, Unsicherheiten und Vorurteile bezüglich der E-Busse, insbesondere der Batteriebusse, zu überwinden. Und sie hat der Industrie und den Verkehrsbetrieben im Zeitraum der Begleituntersuchung verlässliche Planungsperspektiven eröffnet. Das Programm war die Basis für die gelungene erste Phase des Markthochlaufs für E-Busse in den Jahren 2018 bis 2023.

Die Basis für den E-Bus-Markthochlauf in Deutschland

Das Förderprogramm für Batteriebusse in Zahlen und Fakten



Förderung von Verkehrsunternehmen breitflächig gelungen

Das Programm umfasste 50 Förderprojekte für 65 Verkehrsunternehmen in 13 Bundesländern.

96 %

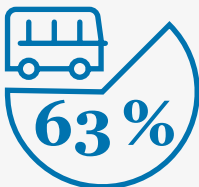
Förderung war auch ein Impuls für die Fahrzeugindustrie

96 Prozent der geförderten E-Busse haben deutsche bzw. europäische Hersteller produziert.



Einsatzfähigkeit der Batterien stark verbessert

Die durchschnittlichen Batteriekapazitäten sind von ca. 260 kWh im Jahr 2020 (Beginn der Begleitforschung) auf ca. 350 kWh im Jahr 2023 gestiegen. Damit können inzwischen fast alle Einsatzszenarien zuverlässig abgedeckt werden.

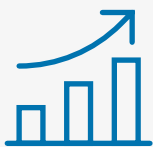


Marktanteil deutscher E-Bus-Hersteller mehr als verdreifacht

E-Busse deutscher Hersteller im Jahr 2023: 1.265 (der Marktanteil ist von 18,5 % im Jahr 2018 auf 63 % im Jahr 2023 gestiegen)

E-Busse von niederländischen Herstellern 2023: 504

E-Busse von polnischen Herstellern 2023: 328



E-Bus-Wachstum im deutschen ÖPNV verläuft dynamisch

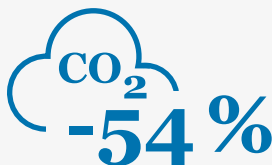
(Planungsstand Ende 2023, der eine weitere Unterstützung unterstellte)

2018: rund 200 E-Busse

2023: rund 2.640 E-Busse

2025: voraussichtlich rund 7.400 E-Busse

2030: voraussichtlich mehr als 11.000 E-Busse



Gewinn für Umwelt und Klima

Bereits heute verursachen Batteriebusse über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg (Produktion, Betrieb und Batterierecycling) 54 Prozent weniger CO₂-Emissionen als Dieselbusse.

2. Leistungsfähigkeit, Treibhausgasminderung und Kennzahlen im Detail

Dieses Kapitel informiert über die technologische Marktreife von E-Bussen anhand wichtiger Kennzahlen wie Energieverbrauch und Batteriekapazität, über ökologische Wirkungen auch in der Zukunft und über Kostennach- und -vorteile gegenüber herkömmlichen Bussen mit Dieselantrieb.

Batteriebusse werden immer leistungsfähiger

Die Begleitforschung hat wertvolle empirische Daten zur Wirkung der Förderung und zur Marktreife der E-Busse erhoben. So zeigen die erfassten Betriebsdaten der im ÖPNV eingesetzten Batteriebusse, dass der **Energieverbrauch** von Solobussen im Durchschnitt bei 1,3 kWh/km lag – und der von Gelenkbusen bei 1,7 kWh/km.

Weil Busse im Winter beheizt werden müssen und dafür bei Batteriebussen (anders als bei Bussen mit Verbrennungsmotor) keine Abwärme verfügbar ist, ist der Stromverbrauch von Batteriebussen zur kalten Jahreszeit höher. Dies fällt bei Stadtbusen ins Gewicht, weil deren Türen zum Ein- und Aussteigen häufig geöffnet werden müssen.

Klimatische Bedingungen beeinflussen den Energieverbrauch von Batteriebussen

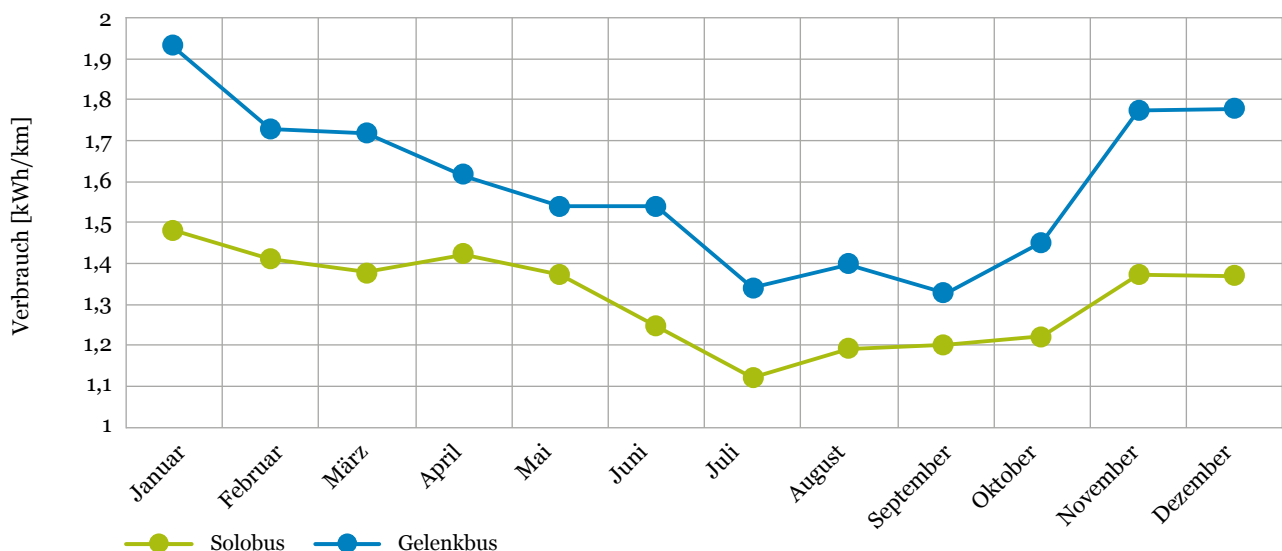


Abbildung 2: Verbrauch im Jahresverlauf (durchschnittlicher Kilometer)

So schwankt der Durchschnittsverbrauch von batteriebetriebenen Solobussen zwischen 1,5 kWh/km in Wintermonaten und lediglich 1,1 kWh/km in der wärmeren Jahreszeit. Bei batteriebetriebenen Gelenkbussen pendelt der Verbrauch zwischen 1,3 und 1,9 kWh/km – je nach Jahreszeit.

Ebenso bemerkenswert ist die Entwicklung der ermittelten **Tagesfahrleistungen** der Batteriebusse: Sie verdeutlichen deren zunehmende Alltagstauglichkeit bzw. Nutzungsintensität. Die durchschnittliche Tagesfahrleistung der geförderten Batteriebusse lag im Jahr 2021 bei 135 Kilometern, 2022 schon bei 149 Kilometern und 2023 bei 172 Kilometern – wobei für 2023 mehr Daten von Verkehrsunternehmen mit tendenziell höherer Fahrleistung vorliegen. Allerdings ist die Bandbreite der individuellen Tagesfahrleistungen groß: Sie reichen von weniger als 50 Kilometern bis zu 350 Kilometern pro Tag.

Grundsätzlich nähern sich die Tagesfahrleistungen von Batteriebusen denen von Dieselbussen an. Bei Dieselbussen liegt die durchschnittliche Tagesfahrleistung bei rund 150 Kilometern – ein Wert, der bei den geförderten Bussen inzwischen erreicht bzw. überschritten wurde. Ähnliches gilt für die Jahresfahrleistungen von etwa 50.000 bis 60.000 Kilometern, wobei nicht für alle Batteriebusse die Daten für volle Kalenderjahre vorliegen.

Eine zentrale technische Spezifikation von Batteriebusen ist die **Batteriekapazität**. Sie beeinflusst deren Reichweite stark – und damit ihre Einsatzmöglichkeiten und den potenziellen Bedarf an zusätzlichen Fahrzeugen. Seit dem Beginn der Begleitforschung (2020) bis zum Jahr 2023 ist die durchschnittliche Batteriekapazität von Solobussen um 35 Prozent gestiegen – von rund 260 kWh auf etwa 350 kWh. Dies hat die Einsatzmöglichkeiten stark erweitert und unterstreicht die positive Entwicklung der Technologie im Förderzeitraum.

Inzwischen sind E-Busse ähnlich leistungsfähig wie Dieselbusse.

Mit E-Bussen hat der Klimaschutz eindeutig Vorfahrt

Und wie wirken die geförderten E-Busse ökologisch über ihre Lebensdauer? Ein 2023 in Betrieb genommener, zwölf Meter langer Solobus ist voraussichtlich etwa zwölf Jahre lang im Betrieb. Der Klimavergleich verschiedener Antriebstechnologien zeigt: Batteriebusse reduzieren die Treibhausgasemissionen gegenüber Dieselbussen bereits heute um mehr als die Hälfte.

Brennstoffzellen, die mit Wasserstoff aus der heute üblichen Erdgasdampfpreformierung betrieben werden, bringen für Brennstoffzellen-Solobusse einen Klimavorteil gegenüber Dieselbussen von lediglich zehn Prozent. Der noch geringe Vorteil ließe sich erhöhen, sofern künftig – wie geplant – vermehrt elektrolytisch (mit Strom aus erneuerbaren Energien) hergestellter Wasserstoff verwendet wird. Würde der Wasserstoff hingegen aus dem heutigen Strommix hergestellt, lägen die Emissionen rund 23 Prozent höher als bei Dieselbussen.

Und wie verändern sich die ökologischen Wirkungen in verschiedenen **Szenarien**? Für eine Inbetriebnahme eines zwölf Meter langen Solobusses im Jahr 2030 liegt der Klimavorteil von Batteriebusen aufgrund des immer emissionsärmeren Strommixes bei 65 Prozent gegenüber dem Dieselantrieb – die Klimavorteile wären also noch größer als heute. Auf Basis der ermittelten Daten werden die 1.489 von 2018 bis 2023 geförderten batterieelektrischen Solo- und Gelenkbusse über ihre Lebensdauer hinweg voraussichtlich etwa 920 Kilotonnen (kT) CO₂-Äquivalente an durch die Fahrten verursachten Klimagasemissionen (Tank to Wheel, TTW, also im Verkehrssektor) einsparen. Das sind fast 77 kt pro Betriebsjahr.

Um abzuschätzen, wie sich ein weiterer Markthochlauf auswirken würde, wurde in der Begleitforschung berechnet, wie sich die Treibhausgasemissionen von Stadtbussen (Well to Wheel, WTW, also der CO₂-Äquivalentwert der Treibhausgase am Fahrzeug und aus der Energiebereitstellung) entwickeln. Ergebnis: In allen Szenarien helfen Batteriebusse selbst unter

Batteriebusse verursachen weniger Klimagasemissionen als Busse mit anderen Antriebstechnologien

12-m-Standardbus, Inbetriebnahme 2023

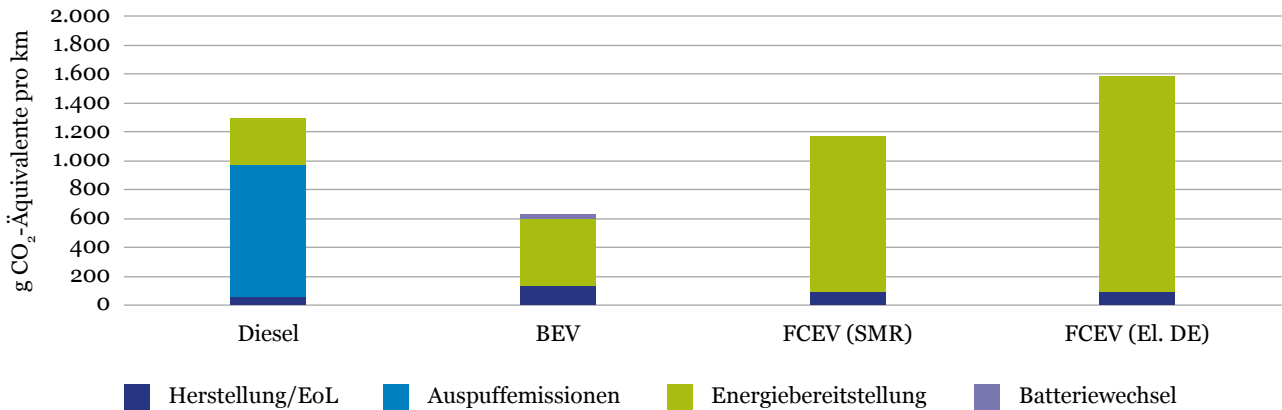


Abbildung 3: Klimagasemissionen eines 12-m-Standardbusses über den Lebensweg (12 Jahre, 660.000 km) in Deutschland bei Inbetriebnahme 2023 (BEV = batterieelektrisch, FCEV = Brennstoffzelle, SMR = Steam Methane Reforming, El = Elektrolyse). Deutscher Strommix für alle strombasierten Konzepte und Energieträger

Berücksichtigung der Stromerzeugung, die Emissionen deutlich zu reduzieren. In einem Szenario mit einer kontinuierlichen Fortsetzung des bisherigen Markthochlaufs sinken die Treibhausgasemissionen des straßengebundenen ÖPNV mit Bussen bis 2050 um rund 89 Prozent auf 0,38 Megatonnen (Mt) CO₂-Äquivalente. In einem ambitionierteren Szenario mit ausschließlich Batteriebuszulassungen ab 2030 sinken sie sogar um 97 Prozent auf 0,09 Mt CO₂-Äquivalente.

Würden ab dem Jahr 2030 nur noch Batteriebusse im ÖPNV zugelassen, würde dies die Treibhausgasemissionen gegenüber einem ausschließlichen Dieselseinsatz 2050 um 97 Prozent reduzieren.

E-Busse werden wohl erst nach 2030 günstiger als Dieselse

Es folgt ein Blick auf die **Kosten**: Ein im Jahr 2023 neu zugelassener Batteriebus kostet als Depotlader während eines gesamten zwölfjährigen Lebenszyklus und mit einer Jahresfahrleistung von rund 55.000

Kilometern circa 30 Prozent mehr als ein herkömmlicher Dieselsebus. Denn die heute schon niedrigeren Betriebskosten gleichen die höheren Investitionskosten noch nicht vollständig aus. Der Kostennachteil wurde dank der BMWK-Förderung für die Batteriebus-Anschaffung während der Förderung deutlich abgemildert.

Ohne Förderung sieht es anders aus. Das zeigt der Kostenvergleich ausgewählter Antriebskonzepte anhand der Vollkosten für im Jahr 2023 und voraussichtlich im Jahr 2030 verfügbare Fahrzeuge: Zwar erzeugen Batteriebusse mit Depotladung unter den elektrischen Varianten die geringsten Vollkosten. Allerdings kostet ein im Jahr 2023 angeschaffter Solo-Batteriebus mit Depotladung eben knapp ein Drittel mehr als ein Dieselsebus – vor allem weil die Anschaffungskosten derzeit noch mehr als doppelt so hoch sind. Die Energiekosten hingegen sind bei batterieelektrischen Buskonzepten nur etwa halb so hoch wie bei Dieselsebussen. Bei wasserstoffbetriebenen Brennstoffzellenfahrzeugen sind sie allerdings deutlich höher – sogar höher als bei Dieselsebussen.

Im Jahr 2030 werden die Kosten aller untersuchten E-Busse geringer sein als 2023, vor allem weil die Batterie- und Brennstoffzellentechnologien aller Wahrscheinlichkeit nach kostengünstiger werden und damit die Anschaffungskosten weiter sinken. Bis 2030 ließe sich sogar Kostenparität erreichen, wenn

die Kosten stärker sinken würden als von uns für die Berechnung angenommen – und wenn die verwendeten Batterietechnologien sich im Praxiseinsatz so bewähren, dass es keine Ersatzbatterien über die zwölfjährige Laufzeit braucht.

Die Mehrkosten von E-Bussen gegenüber Dieselnissen nehmen künftig deutlich ab

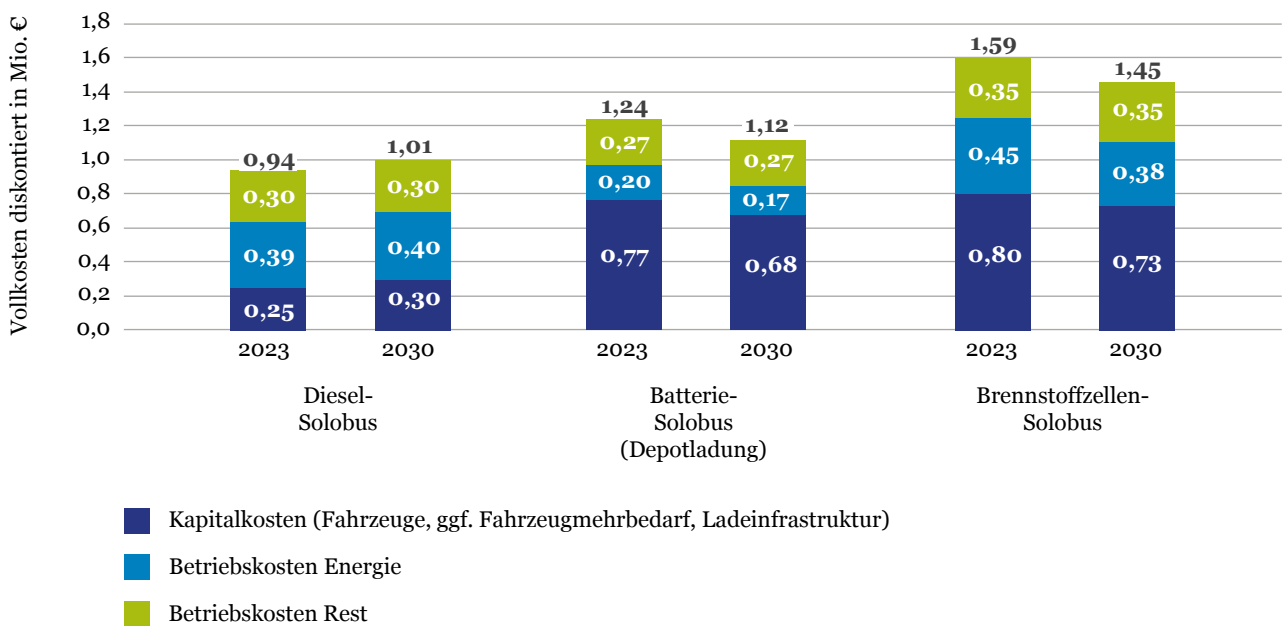


Abbildung 4: Kumulierte Vollkosten bei Solobussen nach Kostenkomponenten bei Beschaffung in den Basisjahren 2023 sowie 2030

3. Der Status quo, Trends und Tendenzen im E-Bus-Markt

Dieses Kapitel informiert über die steigende Anzahl an E-Bussen auf deutschen Straßen, über den Bestand nach Antriebsarten, über dessen mögliche Weiterentwicklung und die Modellstruktur. Abschließend geht der Blick über die Grenzen Deutschlands hinaus.

Der E-Bus-Markt in Deutschland hat Zukunft

- **Die BMWK-Förderung hat deutschen bzw. europäischen Herstellern einen Markt eröffnet.**
Die Investitionskostenförderung des Bundes für Batteriebusse war entscheidend dafür, dass ein relevanter Markt entstehen konnte. Insbesondere bot sie deutschen und europäischen Busherstellern eine planbare Nachfrage – und den Verkehrsbetrieben im Umkehrschluss ein verlässliches Angebot. Damit forcierte sie den Markthochlauf von E-Bussen.
- **Die Zukunft der Busflotten ist batterieelektrisch.**
Künftig wird der Großteil der Busse im ÖPNV batterieelektrisch angetrieben, vor allem im Stadt- und Regionalverkehr. Die Verkehrsunternehmen und die Kommunen als ÖPNV-Aufgabenträger richten ihre strategischen Ziele auf diese Technologie aus.
- **Der E-Bus-Markt wird auch für Hersteller attraktiv.**
Ein weiterer Markthochlauf beeinflusst auch die Produktionsstrategien der Hersteller maßgeblich. Denn je mehr E-Busse sie verkaufen können, desto größer wird die Planbarkeit für sie. Dies ermöglicht in der Folge dann auch die Bereitstellung einer großen Palette innovativer Fahrzeugmodelle.
- **Das Vertrauen in die Technologie steigt.**
E-Busse sind in den vergangenen Jahren deutlich zuverlässiger geworden. Viele Verkehrsunternehmen sind mit der technischen Fahrzeugqualität schon heute weitgehend zufrieden. Das stärkt das Vertrauen in die Antriebstechnologie weiter.
- **Die Energieversorgungsinfrastruktur ist immens wichtig.**
Verkehrsunternehmen weisen darauf hin, dass tendenziell unterschätzt wird, wie komplex die Energieversorgungsinfrastruktur für die Elektrifizierung von Busflotten ist – und zwar in finanzieller, organisatorischer und zeitlicher Hinsicht.

Der E-Bus-Markt entwickelt sich dynamisch

Die Erkenntnisse der Begleitforschung zur E-Bus-Förderung sind eindeutig: Der Markt für emissionsfreie Busse ist ein **Wachstumsmarkt**. In den vergangenen Jahren hat sich der E-Bus-Bestand in Deutschland dynamisch

entwickelt. Besonders seit dem Jahr 2018 – dem Beginn der staatlichen Förderung – wuchs das Segment deutlich: Gab es damals nur rund 200 E-Busse in Deutschland, waren es im Jahr 2023 schon rund 2.640 Fahrzeuge – ein Zuwachs um mehr als das Dreizehnfache.

Am größten war der Zuwachs relativ und absolut bei den Batteriebussen. 2018 waren nur 98 solcher Busse in Betrieb; 2023 waren es 2.332. Das Wachstum verlief zunächst exponentiell und setzte sich ab 2020 auf hohem Niveau fort.

Der Gesamtbestand an Stadtbussen im deutschen ÖPNV Ende 2023 umfasste rund 35.000 Fahrzeuge. Davon waren rund 7,5 Prozent E-Busse. Das war trotz des starken Wachstums in den Jahren zuvor noch ein relativ geringer Wert. Denn aufgrund der langen Nutzungsdauern der Dieselsebusse nimmt die Umstellung auf E-Busse Zeit in Anspruch.

Im Jahr 2023 haben die deutschen Verkehrsunternehmen 782 E-Busse neu angeschafft. Dies entspricht einem Zuwachs von 33 Prozent gegenüber dem Vorjahr (2022 ggü. 2021: +590 Busse). Der Anteil an den Neubeschaffungen liegt damit schon auf hohem Niveau – bei Stadtbussen betrug er 2023 etwa 27 Prozent.

Deutlich mehr als die Hälfte aller bis zum Ende des Jahres 2023 eingeflotteten Fahrzeuge wurde allein durch das BMWK-Förderprogramm unterstützt. Das bewertete Förderprogramm hat damit einen zentralen Anteil am E-Bus-Markthochlauf der vergangenen Jahre.

Batterieelektrische Antriebe sind die dominierende emissionsfreie Antriebsart bei E-Bussen

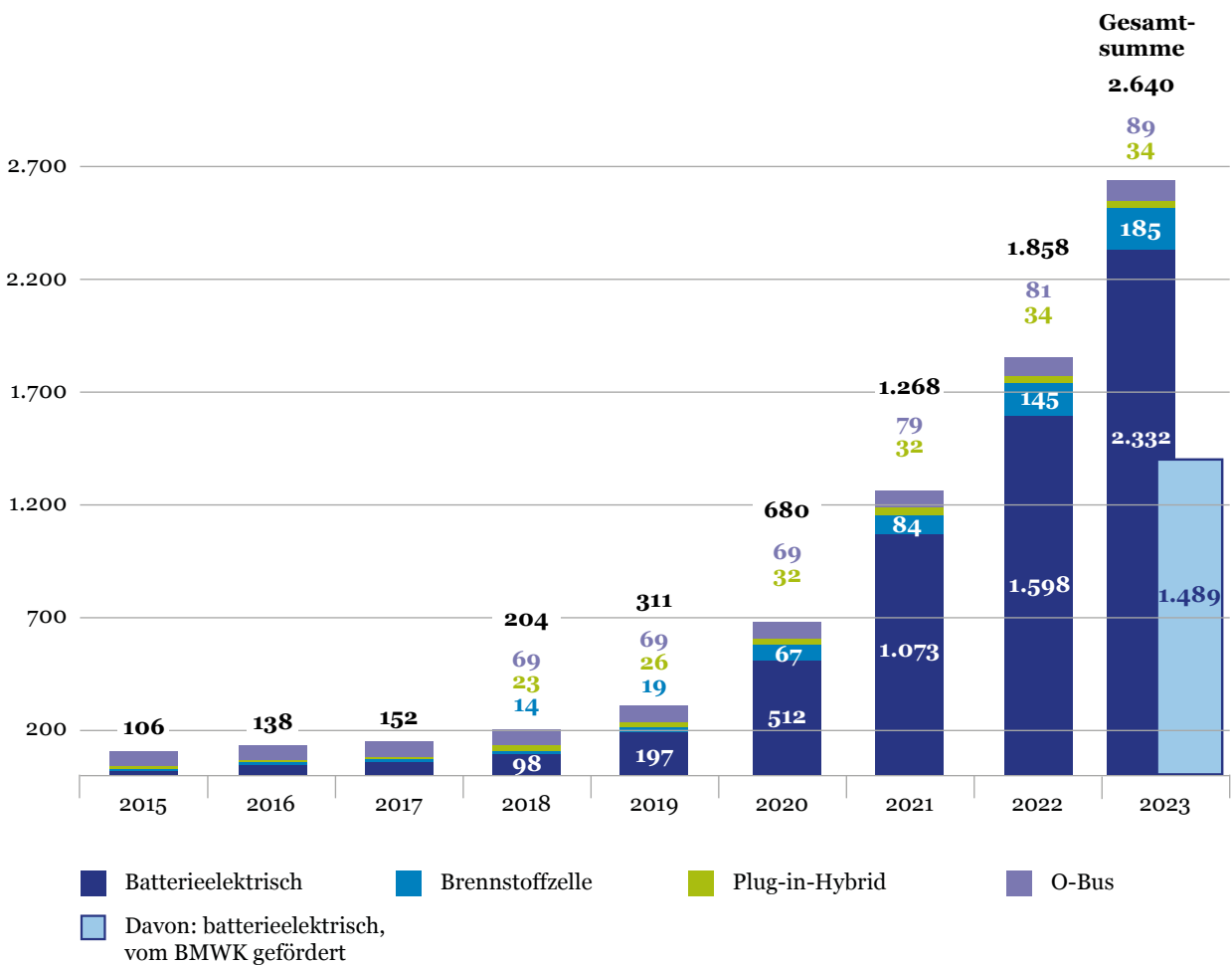


Abbildung 5: E-Bus-Bestand nach Antriebsarten bis zum Jahr 2023, Stand Ende 2023 (n=2.640)

In den vergangenen Jahren ist der E-Bus-Bestand vor allem in Großstädten deutlich gewachsen. Seit 2022 gibt es auch Anzeichen für stärkeres Wachstum in kleineren Städten und weniger dicht besiedelten Gebieten. Ob der E-Bus-Bestand dort aber tatsächlich zulegt, hängt auch von den Investitionsentscheidungen einzelner Verkehrsbetriebe und ihrer ÖPNV-Aufgabenträger ab. Diese sind häufig bestimmt von lokalpolitischen Zielen sowie der Bereitschaft der Unternehmen, neue Technologien frühzeitig zu erproben und schrittweise in den regulären Betrieb zu integrieren. Einflussreich sind auch die politischen und wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, beispielsweise die staatliche finanzielle Förderung.

Die E-Bus-Anbieter- und die Modellstruktur sind vielfältig

Deutschland ist der Hauptsitz zweier weltweit führender Bushersteller: Daimler Buses (Mercedes-Benz) und MAN. Im Jahr 2023 stammten die meisten Batteriebusse im deutschen ÖPNV von in Deutschland ansässigen Herstellern (1.265 Busse). Niederländische und polnische Wettbewerber kamen im Jahr 2023 auf 504 und 328 Batteriebusse.

Die deutschen Hersteller steigerten ihren Marktanteil am Gesamtbestand von 18,5 Prozent im Jahr 2018 auf 63 Prozent im Jahr 2023 – EvoBus/Daimler Buses vor allem mit dem Modell eCitaro und MAN mit dem Lion's City E. Die Bestandsanalyse legt nahe, dass deutsche Verkehrsunternehmen darauf gewartet haben, dass etablierte deutsche Hersteller, mit denen sie auch in der Vergangenheit häufig zusammengearbeitet hatten, mehr E-Bus-Modelle anbieten.

Auch neue Anbieter wie BYD (China) und Ebusco (Niederlande) sowie bekannte Hersteller wie VDL (Niederlande) drängen mit E-Bussen nach Deutschland. Diese und weitere Unternehmen – manche fokussieren sich ausschließlich auf E-Busse und haben Start-up-Charakter – tragen zur zunehmenden Vielfalt an E-Bus-Modellen bei. Auch deshalb ist in den vergangenen Jahren das Angebot deutlich gewachsen: 2020, zu Beginn der Begleitforschung, und 2021 gab es 295 verschiedene Modelle. Im Jahr

2023 waren es 342. Besonders bei Linienbussen mit acht bis zehn Metern Länge (Midibusse) und bei Solobussen hat das Modellangebot zugenommen. Für Verkehrsunternehmen birgt der zunehmende Wettbewerb ein steigendes Kostensenkungspotenzial bei der Beschaffung.

Batteriebusse werden den ÖPNV prägen

Viele Verkehrsunternehmen haben bereits beachtliche E-Bus-Flotten aufgebaut. Deren wachsende Bedeutung spiegelt sich auch in den weiteren Beschaffungsplänen: Gemäß den Planungen von 2023 werden im Jahr 2030 bereits mehr als 11.000 E-Busse im deutschen ÖPNV fahren. Seit der bis dato letzten Datenerhebung (2021) waren Pläne für mehr als 5.000 zusätzliche E-Busse hinzugekommen. Diese sollten überwiegend bis 2026 angeschafft werden.

Während des BMWK-Förderprogramms seit 2018 sind die Beschaffungsplanungen bis 2030 mit Stand Ende 2023 um rund 75 Prozent gewachsen. Die bisherige staatliche Förderung hatte also eindeutig einen langfristig wirksamen Pull-Effekt auf den E-Bus-Markt in Deutschland.

Ende 2023 planten Verkehrsunternehmen einen umfassenden weiteren Ausbau ihrer E-Bus-Flotten

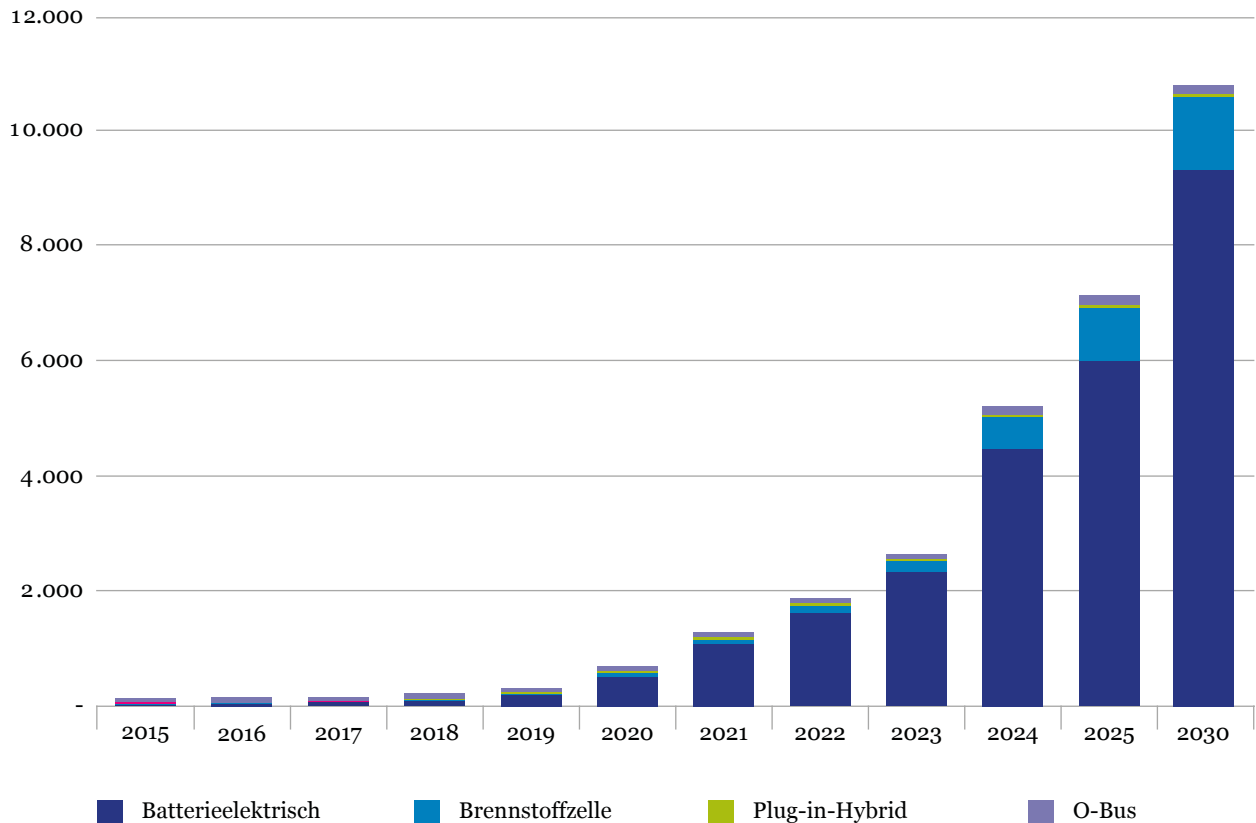


Abbildung 6: Entwicklung E-Bus-Bestand auf Basis bestehender Planungen bis zum Jahr 2030, Stand Ende 2023 (n=11.034)

Trotz des dynamischen Wachstums erscheint es unwahrscheinlich, dass das im Klimaschutzprogramm der Bundesregierung festgelegte Ziel – 50 Prozent emissionsfreie Stadtbusse in Deutschland bis 2030 – unter den aktuellen Rahmenbedingungen erreicht werden kann.

Der durch die staatlichen Förderprogramme von BMWK und BMDV stimulierte Markthochlauf wird sich wahrscheinlich fortsetzen – so jedenfalls sah es bei der Erhebung im Jahr 2023 und den seinerzeit geltenden Rahmenbedingungen aus. Batteriebetriebene Elektrobusse werden den ÖPNV zunehmend prägen.

Gemäß den damaligen Plänen der Verkehrsunternehmen werden bis 2030 circa 85 Prozent der E-Busse batterieelektrisch betrieben sein.

Der E-Bus-Betrieb erfordert Investitionen auch in Ladeinfrastruktur

Batteriebusse verursachen im Vergleich zu konventionellen Dieselfahrzeugen deutlich höhere Investitionskosten – vor allem, weil ihre Anschaffungspreise trotz bereits erzielter Kostensenkungen noch wesentlich höher sind. Der durchschnittliche Nettoanschaffungspreis für Solo-Batteriebusse betrug während der Laufzeit des Förderprogramms 2018 bis 2023 rund 577.000 Euro, für Batterie Gelenkbusse sogar 779.000 Euro netto.

Die Anschaffungspreise für E-Busse schwanken innerhalb der Fahrzeugsegmente deutlich

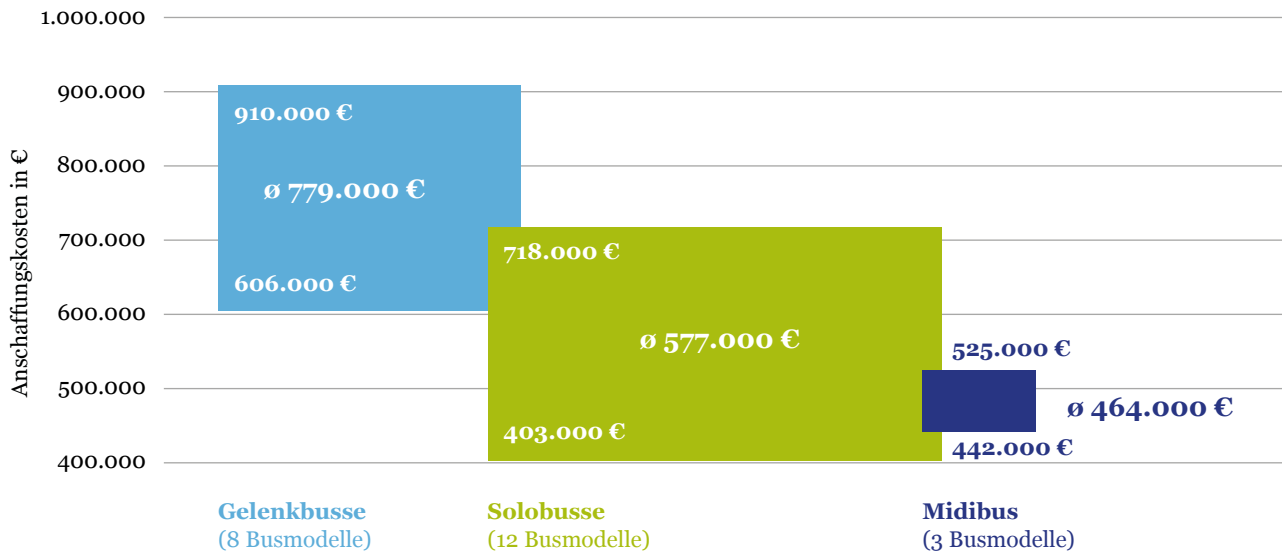


Abbildung 7: Anschaffungskosten (netto) nach Fahrzeugsegment 2018 bis 2023

Die Anschaffungskosten für Batteriebusse variierten im Betrachtungszeitraum stark, sowohl zwischen den Fahrzeugmodellen als auch innerhalb der Fahrzeugmodelle bei unterschiedlichen Beschaffungsvorhaben. Bei Solo-Batteriebussen reichte die Bandbreite von 400.000 Euro bis über 700.000 Euro netto. Die Preisunterschiede bei Batteriebussen ergeben sich prinzipiell durch unterschiedliche Konfigurationen wie Akkugröße, Heizsysteme und Innenausstattung sowie durch Abnahmemengen, Garantien und Gewährleistungsregelungen.

Um den E-Bus-Betrieb sicherzustellen, sind neben den Investitionen in die Fahrzeuge umfangreiche Investitionen in Ladeinfrastruktur erforderlich. Mit zunehmender Fahrzeuganzahl lassen sich die relativen Infrastrukturkosten durch Skaleneffekte senken: Wird die Ladeinfrastruktur mehrfach genutzt, reduziert dies die benötigte Ladeleistung pro Fahrzeug und erhöht die Kosteneffizienz. Es ist zu erwarten, dass der Preis für Ladeinfrastruktur pro installiertem Kilowatt Leistung mittelfristig sinkt.

Weiteres Kostensenkungspotenzial ergibt sich durch die Ladeinfrastruktur bei den Stromkosten, weil mit zunehmender Flottengröße die Gesamtsysteme intelligenter und effizienter werden – vor allem durch moderne Steuerungs- und Managementsysteme. Somit können E-Busse zukünftig auch einen Beitrag zu einem intelligenten Stromnetz leisten.

Andere Länder bestätigen den Nutzen von Zielen und Förderungen

Die Begleitforschung hat zum Vergleich auch untersucht, wie sich der E-Bus-Bestand in Europa, Asien, Nordamerika und Südamerika entwickelt hat. Die hier folgenden Absätze thematisieren vor allem Europa.

In **Europa** bauen fast alle Länder ihre E-Bus-Flotten erheblich aus, sodass der Bestand in Europa bis 2030 voraussichtlich um mindestens 30.000 E-Busse wachsen wird. Viele E-Bus-Hersteller sind vor allem auf ihren Heimatmärkten stark. Das heißt auch: Eine starke Nachfrage nach E-Bussen

auf dem Heimatmarkt erleichtert es einheimischen Herstellern, auf Elektromobilität umzustellen. Und Nationen, die bei der Transformation zu emissionsfreien Busflotten führend sind, unterstützen sie mit umfangreichen Förderprogrammen.

Im Jahr 2022 lag der E-Bus-Anteil am gesamten Busbestand der EU bei 12,7 Prozent. Die Neuzulassungen von Dieselmotoren sind seit 2018 rückläufig. Der Trend zu emissionsfreien Bussen wird EU-weit seit 2021 über die CVD auch ordnungsrechtlich abgesichert und seit dem Jahr 2024 auch über die Verschärfung der CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge.

Der **batterieelektrische Antrieb** ist auf dem europäischen Markt auch angebotsseitig zur Standardantriebstechnologie für emissionsfreie Busse geworden: Im Jahr 2023 waren 243 bzw. 82 Prozent der verfügbaren 342 emissionsfreien Busmodelle auf dem europäischen Markt batterieelektrisch. Weitere Konzepte sind Oberleitungsbusse (39 Modelle, davon 32 als O-Bus-Hybrid), Diesel-Plug-in-Hybridbusse (34 Modelle) und Brennstoffzellenbusse (26 Modelle).

Während europäische und deutsche Hersteller – auch dank Förderprogrammen wie dem hier betrachteten – in Europa vorherrschen, spielen chinesische Hersteller bislang vor allem auf außereuropäischen Märkten eine zentrale Rolle. Beides dürfte auf absehbare Zeit so bleiben.

Etliche Länder zeigen inzwischen, dass die erfolgreiche Umstellung auf emissionsfreie Busse durch finanzielle Förderung, klare politische Ziele und geeignete rechtliche Rahmenbedingungen möglich ist. Auch einzelne Städte bzw. Regionen sind gute Beispiele dafür: etwa Oslo in Norwegen und die Region Amstelland-Meerlanden in den Niederlanden.

Mit der Transformation entstehen neue Anforderungen an die Organisations- und Finanzierungsmodelle der Verkehrsunternehmen. Um auch diese Herausforderungen zu meistern, haben sich international verschiedene **innovative Modelle** für die Finanzierung

und den Betrieb als effizient erwiesen – etwa Leasing- und Public-Private-Partnership(PPP)-Modelle wie in Santiago de Chile. Solche Modelle verteilen finanzielle Risiken auf mehrere Akteure und bieten den Busbetreibern mehr Flexibilität bei der Umstellung auf E-Busse.

Ein weiteres Beispiel ist das in der Region Amstelland-Meerlanden umgesetzte Maximalprinzip bei der Ausschreibung der E-Bus-Verkehre. Das Bewertungskriterium hierbei war die schnellste Flottendekarbonisierung (und damit auch größte Flotte mit emissionsfreien Antrieben) unter gegebenen Mitteln. Eine zentrale Herausforderung in allen Ländern ist die Verfügbarkeit von Flächen für die Ladeinfrastruktur.

Anders als in Deutschland wird in einigen Ländern auch eine **konsumtive Förderung** der Betriebskosten eingesetzt. Sie entlastet Verkehrsunternehmen und schafft Anreize für den möglichst umfangreichen Einsatz angeschaffter E-Busse. Andere Ansätze zielen auf die Risikoverteilung im Rahmen der Flottenelektrifizierung. Ein Beispiel ist das Gross-Cost-Contract-Modell: Hier tragen die Verkehrsunternehmen die Kosten für Fahrzeuge und Infrastruktur und erhalten eine Förderung pro gefahrenem Kilometer. Dieser Ansatz wird beispielsweise in der indischen Region Ahmedabad genutzt.

Die Fallbeispiele in der Begleituntersuchung zeigen, dass internationale Finanzierungs- und Fördermodelle interessante Einsichten liefern, die auch für Deutschland relevant sein könnten.

4. Den Weg für die nächste E-Bus-Etappe bereiten

Dieses Kapitel plädiert dafür, den Markthochlauf des E-Busses kosteneffizient zu verstetigen, hierzu geeignete Instrumente einzusetzen und den Wissensaustausch für die Antriebswende im straßengebundenen ÖPNV sektorübergreifend fortzuführen, um den politischen Klimazielen näherzukommen.

Der Markt entwickelt sich in eine neue Phase

Über Jahrzehnte dominierte der Dieselmotor den Nahverkehr in Deutschland. Um den Elektrobus aus der Forschung auf die Straße zu holen, bedurfte es externer Impulse, um die Flottentransformation anzustoßen. In der Startphase des E-Bus-Hochlaufs in Deutschland haben die Investitionskostenzuschüsse des Förderprogramms von BMU bzw. BMWK den Markt sehr wirksam stimuliert und erste Impulse für die Elektrifizierung ganzer Linien und Fahrzeugflotten gegeben. Inzwischen befindet sich der Markt dank der Förderung in einer neuen Phase: Es geht nicht länger darum, die Schwelle zur Markteinführung zu überschreiten. Vielmehr ist auf der nächsten Etappe entscheidend, wie der begonnene Hochlauf möglichst kosteneffizient verstetigt werden kann.

Damit stellt sich auch die Frage nach geeigneten Finanzierungsmechanismen der Flottentransformation neu. Sie ordnet sich ein in eine größere Diskussion zur künftigen Rolle des öffentlichen Nahverkehrs in Deutschland – und dessen Finanzierung. In der aktuellen Legislaturperiode wurden die Regionalisierungsmittel des Bundes für den ÖPNV stark erhöht und den für den ÖPNV verantwortlichen Bundesländern zur Verfügung gestellt. Zudem soll ein Ausbau- und Modernisierungspakt für den ÖPNV zwischen Bund, Ländern und Kommunen geschlossen werden. Damit sollen Herausforderungen wie der gewünschte Angebotsausbau in der Fläche, die Dekarbonisierung der Antriebe und der zusätzliche Finanzierungsbedarf für das Deutschlandticket unterstützt werden.

Um die ambitionierten politischen Ziele zu erreichen, braucht es ein gemeinsames Zielbild und eine angemessene Lastenteilung für den weiteren Markthochlauf des E-Busses in Deutschland.

Auch andere politische Ziele und Instrumente, insbesondere die bereits in Kapitel 1 erwähnten verschärften CO₂-Flottengrenzwerte für schwere Nutzfahrzeuge, forcieren mittelfristig den weiteren Markthochlauf. Mit den vorerst noch bestehenden Mehrkosten von E-Bussen im Vergleich zu Dieselmotoren werden zusätzliche finanzielle Belastungen für die Verkehrsunternehmen und die ÖPNV-Aufgabenträger einhergehen. Ohne flankierende Finanzierungs- und Förderinstrumente besteht das Risiko, dass der Umstieg auf E-Busse zu Lasten des ÖPNV-Angebots geht. Dies würde den klimapolitischen Zielsetzungen zuwiderlaufen.

Um Finanzierungslücken zu schließen, sind weitere direkte und indirekte Maßnahmen überlegenswert. Dabei geht es auch um Verkehrsunternehmen, die noch nicht so weit wie andere bei der Transformation sind – und die aufgrund von Finanzierungsschwächen die Umstellungsentscheidung zurückstellen.

Ein gleitender Finanzierungspfad wäre eine Option

So könnte ein degressiver Finanzierungspfad den Markt unterstützen und gleichzeitig den Preisdruck auf die Hersteller stetig erhöhen. Letzteres geschieht zum Teil bereits dadurch, dass ÖPNV-

Betreiber zunehmend Investitionsförderprogramme auf Landesebene nutzen. Diese bieten in der Regel niedrigere Förderquoten als die bisherigen Bundesförderprogramme. Dies erhöht zwar die Effizienz der Förderung, doch gibt es Landesförderprogramme nicht flächendeckend. Denn nicht in allen Bundesländern wurden komplementäre Anstrengungen unternommen, um die Flottenumstellung zu unterstützen, weil manche sich allein auf die initiale Förderung des Bundes verlassen hatten. Doch selbst wenn es Landesförderprogramme gibt, sind sie oft noch nicht so ausgestattet, dass sie die Flottentransformation in Gänze finanzieren könnten.

Eine stufenweise und transparente Absenkung staatlicher Förderquoten würde helfen, Marktrückschläge zu vermeiden, indem der Ausstieg aus der Förderung langfristig planbar erfolgt und Vorreiter weiter belohnt werden. Ein solches Marktumfeld würde auch den Wettbewerb zwischen den Herstellern weiter stimulieren. Auch eine Betriebskostenfinanzierung wäre ein überlegenswertes Modell, um den Klimanutzen der zukünftig eingeflotteten Busse zu maximieren und die Verkehrsunternehmen weiterhin zu unterstützen.

Dagegen können öffentliche Debatten über eine Schwächung existierender Instrumente wie der CO₂-Flottengrenzwerte – oder Debatten über eine stärkere Rolle synthetischer oder biogener Kraftstoffe – das Vertrauen von Verkehrsunternehmen und E-Bus-Herstellern in den Ausbau der Elektromobilität schwächen. Dies würde ihre Investitionsbereitschaft reduzieren und die Dekarbonisierung des ÖPNV verlangsamen und verteuern.

Bei der Antriebswende im Bussektor empfiehlt es sich zudem, nicht nur auf die kurzfristigen Umstellungskosten zu fokussieren. Denn die übergeordnete Langfristperspektive zeigt auch deutliche Chancen auf, die sich durch schnellere Investitionen in dekarbonisierte Systeme ergeben.

Zudem sollte darauf geachtet werden, dass der Zukunftsmarkt Elektromobilität nicht außereuro-

päischen Herstellern überlassen wird und deutsche Hersteller ihre gerade erst erlangte, aussichtsreiche Wettbewerbsposition wieder verlieren. Einige der Verkehrsunternehmen und ihre Trägerkommunen könnten wieder auf kurzfristig günstigere, aber langfristig teurere Übergangstechnologien umschwenken, obwohl deren perspektivischer Klimanutzen und ihre Wettbewerbsfähigkeit fraglich sind.

Wichtig bleibt daher, auch in der nun beginnenden nächsten Phase des Markthochlaufs bei E-Bussen ein gemeinsames Zielbild und eine angemessene Lastenteilung zwischen allen relevanten Akteuren zu erreichen.

Deutschland hat den Markthochlauf des E-Busses im ÖPNV im Sinne des Umwelt- und Klimaschutzes in den vergangenen Jahren erfolgreich angestoßen. Diese Strategie gilt es zu sichern und fortzuführen.

Ein dafür ebenfalls wichtiger Faktor ist die akteurs- und sektorübergreifende Verzahnung der Transformationsprozesse sowie die Berücksichtigung der jeweiligen Interdependenzen. Hier hat der begleitende Aufbau eines Netzwerks und der Wissensaustausch zwischen den Akteuren in der AG Bus bereits wichtige Impulse gesetzt. Auch dieser Austausch muss weitergehen und sektorübergreifend erweitert werden. Denn insbesondere an der Schnittstelle zwischen der Energiewende und der parallel erfolgenden Antriebswende im Verkehr gibt es weiterhin Abstimmungs- und Harmonisierungsbedarf.

Die Antriebswende im straßengebundenen ÖPNV bleibt eine langfristige Aufgabe auf dem Weg zur Treibhausgasneutralität. Und das noch viele Jahre über den Betrachtungszeitraum der Begleitforschung von 2018 bis 2023 hinaus.