



Bern, 12. März 2021

Nichtfossilen Verkehrsträgern im öffentlichen Verkehr auf Strassen zum Durchbruch verhelfen

Bericht des Bundesrates
in Erfüllung des Postulates 19.3000 KVF-NR
vom 15. Januar 2019



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung	5
1.1 Ausgangslage und Zielsetzung	5
1.2 Übersicht des Berichts	7
1.3 Das Postulat 19.3000	8
2 Einsatzpotenziale fossilfreier Busse.....	10
2.1 Vorgehen für die Abschätzung des Einsatzpotenzials	10
2.2 Bestandsanalyse Dieselbuslinien.....	10
2.3 Fossilfreie Antriebstechnologien	13
2.4 Technische und betriebliche Einsatzpotenziale	17
3 Auswirkungen auf Klima, Umwelt und Kosten	19
3.1 Vorgehen und Methodik	19
3.2 Ökologische Reduktionspotenziale	19
3.3 Umweltvergleich: Öffentlicher Verkehr vs. motorisierter Individualverkehr.....	23
3.4 Auswirkungen auf die Kosten.....	24
3.5 Vermeidungskosten.....	27
3.6 Weitere Kriterien.....	29
3.7 Gesamtbetrachtung Kosten-Nutzen.....	29
4 Regulatorische Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten.....	31
4.1 Bestehende Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten.....	31
4.2 Ausland	37
5 Schweizweites Einsatzpotenzial und Finanzierungsbedarf	39
5.1 Vorgehen	39
5.2 Szenarien (Potenzial)	39
5.3 Zusätzlicher Finanzierungsbedarf und Förderinstrumente	45
6 Anpassung der Rahmenbedingungen und zusätzliche Fördermöglichkeiten	50
6.1 Mittelfristige Abschaffung der Mineralölsteuerrückerstattung	50
6.2 Fokus auf bestehende nationale Instrumente: CO ₂ -Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure und Programm Agglomerationsverkehr (PAV)	50
6.3 Zusätzliche Förderung über die ordentliche Finanzierung des öffentlichen Verkehrs....	51
6.4 Einführung von Umweltzielen.....	51
6.5 Weitere Fördermöglichkeiten	51
6.6 Finanzierungsmöglichkeiten – Kombination der Instrumente	52
7 Fazit	56
8 Quellenverzeichnis	59
9 Abbildungsverzeichnis.....	60
10 Tabellenverzeichnis	62
11 Abkürzungsverzeichnis.....	63

Zusammenfassung

Mit dem Postulat der Kommission für Verkehr und Fernmeldewesen des Nationalrates (KVF-NR) vom 15. Januar 2019 (19.3000 «Nichtfossilen Verkehrsträgern im öffentlichen Verkehr auf Strassen zum Durchbruch verhelfen») wurde der Bundesrat beauftragt zu prüfen, mit welchen Massnahmen die Umstellung von Dieselmussen auf umweltfreundliche, klimaneutrale, nichtfossile Busse (u. a. Elektrobusse) finanziell gefördert werden kann.

Im vorliegenden Bericht werden die kurz-, mittel- und langfristigen Potenziale für die Umstellung von heutigen Dieselmussen auf fossilfreie Antriebstechnologien entlang von drei Szenarien («maximal», «realistisch» und «langsame Umstellung») analysiert, die Reduktionspotenziale für CO₂-Emissionen, Luftschadstoffemissionen und Lärm aufgezeigt und entsprechende Mehrkosten abgeschätzt. Schliesslich wird dargelegt, mit welchen zusätzlichen Instrumenten diese Mehrkosten künftig gedeckt werden können.

Aus einer Gesamtbetrachtung von Kosten und Umweltwirkungen sollen Batteriebusse bereits kurz- oder mittelfristig als fossilfreie Alternative zu den Dieselmussen im Fokus stehen, allerdings nur in wirtschaftlich sinnvollen Einsatzbereichen. Mit den heute bestehenden Gefässen können die ungedeckten Mehrkosten in den allermeisten Fällen noch nicht vollständig gedeckt werden. Eine Koordination und gezielte Ergänzung der Förderung sind daher notwendig.

Der Bericht zeigt auf, welche Fördermöglichkeiten für die Umstellung auf fossilfreie Antriebe im öffentlichen Strassenverkehr bestehen und welche Rahmenbedingungen angepasst werden können:

1. **Eine maximale Ausschöpfung nationaler Förderprogramme ist anzustreben.** Die CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure gemäss dem Bundesgesetz vom 23. Dezember 2011¹ über die Reduktion der CO₂-Emissionen (CO₂-Gesetz)(beispielsweise das Kompensationsprogramm von «myclimate») sowie Beiträge aus dem Agglomerationsprogramm (PAV) sollen maximal ausgeschöpft werden. Damit kann ein Teil der Mehrkosten gedeckt werden, die bei der Neubeschaffung der fossilfreien Fahrzeuge und bei der Ladeinfrastruktur entstehen. Diese Beiträge allein reichen allerdings kurz- und mittelfristig nicht aus, um diese Mehrkosten komplett zu decken.
2. **Mittel aus nicht mehr zurückerstatteter Mineralölsteuer.** Das Parlament hat im Rahmen der Totalrevision des CO₂-Gesetzes (Bundesgesetz vom 25. September 2020² über die Verminderung von Treibhausgasemissionen (nCO₂-Gesetz)) eine gestaffelte Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung für konzessionierte Transportunternehmen beschlossen. Ab 2026 soll die Rückerstattung für den Ortsverkehr wegfallen, ab 2030 jene für den regionalen Personenverkehr. Die eingesparten Mittel werden befristet für die Umstellung von Dieselmussen auf fossilfreie Alternativen eingesetzt.
3. **Mehrkosten im regionalen Personenverkehr:** Der Bundesanteil der geschätzten Mehrkosten im regionalen Personenverkehr kann vom Bund durch die bestehenden, ordentlichen Verpflichtungskredite gedeckt werden (insbesondere während der Periode 2022-2025). Ab 2026 ist dazu eine Erhöhung der Kredite erforderlich. Die Kantone müssen für ihren Anteil an den Mehrkosten selber aufkommen. Die vorgesehenen Investitionen können nur erfolgen, wenn auch die Kantone ihrerseits die dafür notwendigen Mittel bereitstellen.

¹ SR 641.71

² BBl 2020 7847

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

4. **Mehrkosten im Ortsverkehr:** Der Finanzierung des Ortsverkehrs liegt nicht in Bundeskompetenz. Da für die Quantifizierung der Mehrkosten des Ortsverkehrs die zahlreichen zusätzlichen Förderinstrumente auf kantonaler und kommunaler Ebene nicht integral berücksichtigt werden konnten, stellen die ausgewiesenen Mehrkosten im Ortsverkehr eine maximale Obergrenze dar, die im Einzelfall tiefer liegen werden. Die wirtschaftlichen Folgen der Corona-Pandemie stellen die Unternehmen des öffentlichen Verkehrs wie auch die Besteller auf der Ebene der Kantone und Gemeinden längerfristig vor grosse Herausforderungen.
5. **Klimafonds:** Der neu zu schaffende Klimafonds wird Massnahmen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen finanzieren. Die Fonds wird derzeit aufgebaut; sofern das neue CO₂-Gesetz im Rahmen einer allfälligen Referendumsabstimmung angenommen wird, werden die ersten Fondsinstrumente ab 2022 im Vollzug sein. Die Unterstützung der Umstellung von Dieselbuslinien auf fossilfreie Antriebstechnologien mit dem Klimafonds ist nicht ausgeschlossen, auch wenn dieser Fördertatbestand nicht explizit im neuen CO₂-Gesetz erwähnt ist. Für eine solche Unterstützung bieten sich längerfristig allerdings eher die Mehreinnahmen an, die der Bund durch den Wegfall der Rückerstattung der Mineralölsteuer erzielen wird: Diese Mittel wird der Bund zweckgebunden im strassengebundenen öffentlichen Verkehr einsetzen müssen (siehe Kapitel 6.5.1).

Der politische Dialog zwischen den drei Staatsebenen für die konkrete Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen wurde im Rahmen der Arbeiten bereits aufgenommen und soll nach der Veröffentlichung des vorliegenden Postulatsberichts intensiviert werden. Es braucht zudem eine breite Anhörung der involvierten Akteure.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Zielsetzung

Elektrobusse spielen für einen zukunftsfähigen öffentlichen Verkehr der Schweiz auf der Strasse eine zentrale Rolle, da Busse mit alternativen, auf erneuerbaren Energien basierenden Treibstoffen zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen können und damit einen Beitrag zur Erreichung der schweizerischen Energie- und Klimaziele leisten.

Der Verkehr ist heute mit 38 % am Gesamtenergieverbrauch der grösste Energieverbraucher (Abbildung 1). Knapp 70 % des Energieverbrauchs im Verkehr erfolgt durch Benzin und Diesel, rund ein Viertel durch Flugtreibstoffe. Über 94 % des gesamten Energieverbrauchs im Verkehr basiert heute auf fossilen Energieträgern. 2019 wurden inklusive Steuern total rund 12.2 Milliarden Schweizer Franken für Treibstoffe ausgegeben. Die Energieversorgung des Verkehrssektors ist beinahe vollständig vom Ausland abhängig. Aufgrund seines Energieverbrauchs ist der Verkehr ein zentraler Bereich, um die Energie- und Klimaziele des Bundes zu erreichen. Er ist zudem der einzige Sektor, in welchem in den letzten Jahren kein markanter Rückgang des Energieverbrauchs zu verzeichnen war.

Endenergieverbrauch 2019

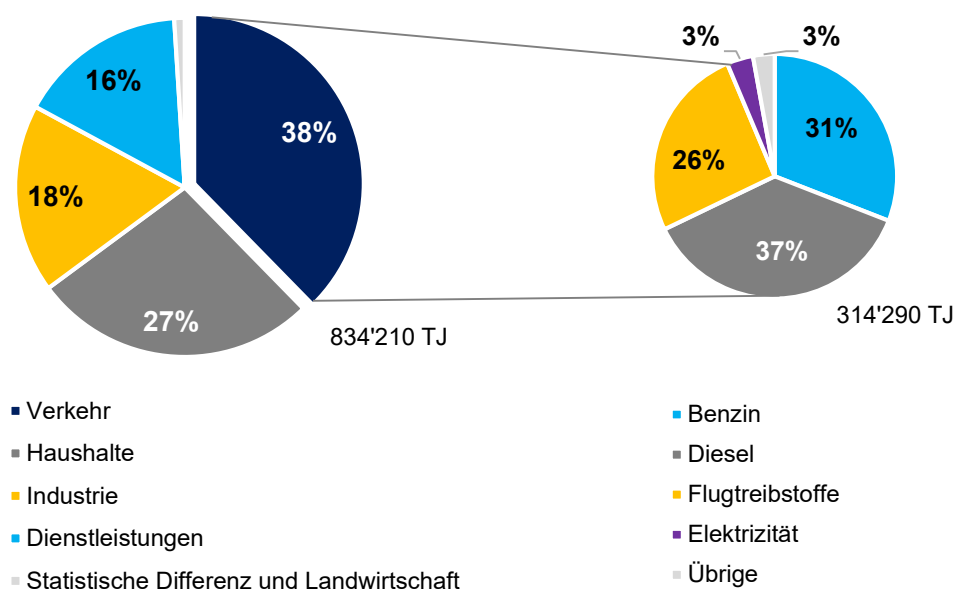


Abbildung 1: Gesamtenergieverbrauch der Schweiz. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BFE 2020.

Der öffentliche Verkehr in der Schweiz ist heute auf der Schiene praktisch vollständig elektrifiziert. Auch im Ortsverkehr spielt die Elektromobilität mit den zahlreichen Tram- und Trolleybuslinien bereits seit vielen Jahren eine wichtige Rolle. Mit der technischen Entwicklung bei der Batterietechnologie sowie im Bereich der Brennstoffzellen und der Wasserstoffproduktion bestehen in Zukunft zusätzliche Potenziale durch den Ersatz von Dieselnissen durch Fahrzeuge mit emissionsarmen Antrieben.

Der öffentliche Verkehr ist im Vergleich zum motorisierten Individualverkehr energieeffizient. Er leistet rund 20 % aller Personenkilometer im Personenverkehr und knapp 40 % der Tonnenkilometer im Güterverkehr. Der Anteil des öffentlichen Verkehrs am gesamten Energieverbrauch des Verkehrssektors beträgt aber lediglich knapp 8 % (BFS 2020a, BFS 2020b und BFE 2019). Mehr als einen Drittel davon geht zu Lasten der Dieselnisse (Abbildung 2). Durch die Nutzung alternativer Antriebe bestehen deshalb erhebliche Potentiale zur Steigerung der Energieeffizienz.

Aufteilung des Energieverbrauchs im öffentlichen Verkehr

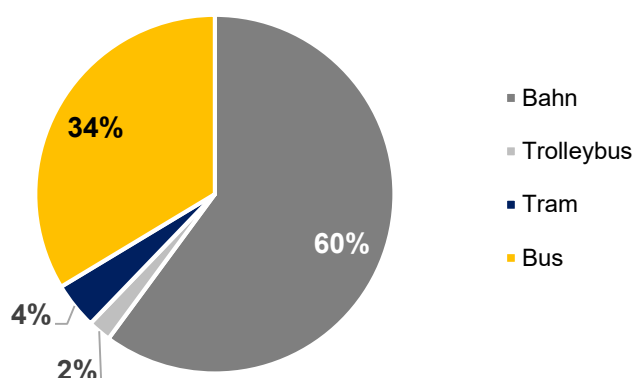


Abbildung 2: Energieverbrauch im öffentlichen Verkehr nach Verkehrsmittel. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BFE 2019.

Der Verkehr ist für knapp 32 % der gesamten CO₂e-Emissionen³ verantwortlich, gefolgt von Gebäuden, Industrie, Landwirtschaft und Abfallverbrennung (Abbildung 3). In dieser Darstellung ist der internationale Luftverkehr mit zusätzlichen 5.4 Mio. Tonnen CO₂e nicht enthalten. Inklusive Luftverkehr beträgt der Anteil des Verkehrs an den Treibhausgasemissionen rund 39 %.

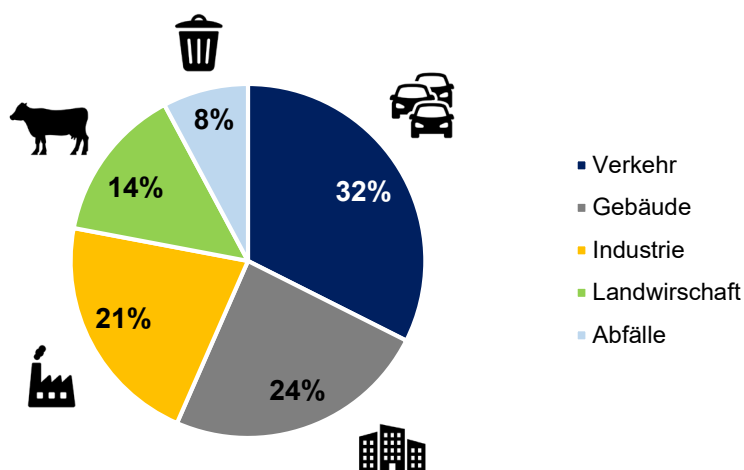


Abbildung 3: CO₂e-Emissionen 2018 nach Sektoren (Treibhausgasemissionen). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BAFU 2020.

Abbildung 4 zeigt auf, dass rund 73 % der vom Verkehr emittierten CO₂-Emissionen in der Schweiz von den Personenwagen verursacht werden, weitere rund 21 % durch den Strassengüterverkehr sowie 3 % von Bussen (BAFU 2020). Insbesondere Busse im öffentlichen Verkehr sind häufig im dicht besiedelten Raum im Einsatz und legen hohe jährliche Fahrleistungen zurück. Innerorts haben Dieselbusse einen schlechten Wirkungsgrad (tiefe Geschwindigkeiten, hohe Anteile an Stop-and-go). Ein beträchtlicher Teil der Bevölkerung ist von Luftschadstoffen und Lärmbelastung betroffen, zudem ist die Aufenthaltsqualität im öffentlichen Raum beeinträchtigt.

³ CO₂-Äquivalente: Neben dem wichtigsten Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) gibt es weitere Treibhausgase wie beispielsweise Methan oder Lachgas. Die verschiedenen Gase tragen nicht in gleichem Masse zum Treibhauseffekt bei und verbleiben über unterschiedlich lange Zeiträume in der Atmosphäre. CO₂-Äquivalente (CO₂e) sind eine Masseinheit zur Vereinheitlichung der Klimawirkung der unterschiedlichen Treibhausgase.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

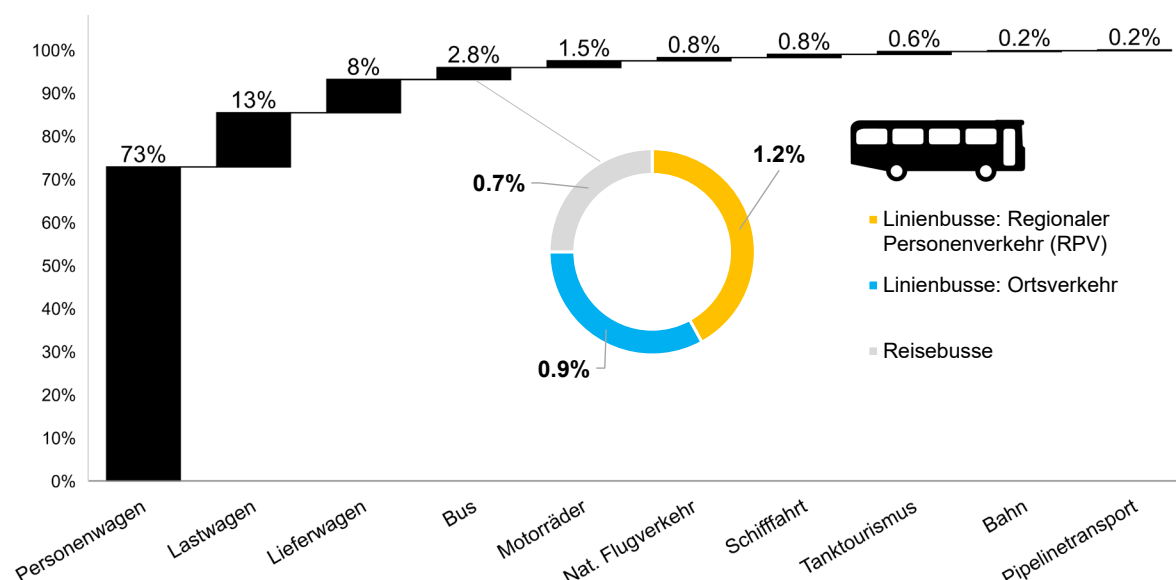


Abbildung 4: Anteil der Verkehrsmittel an den Treibhausgasemissionen des Verkehrs. CO₂e-Emissionen 2018 nach Verkehrsträgern. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BAFU 2020.

Das Ziel des vorliegenden Berichts ist es, eine umfassende Bestandsaufnahme der heutigen und künftigen Einsatz- und Reduktionspotenziale fossilfreier Antriebe als Ersatz für bestehende Dieselantriebe zu liefern. Weiter werden aktuelle und künftige Kosten transparent ausgewiesen und für die gesamte Schweiz aufgrund der Einsatzpotenziale hochgerechnet. Daraus wird der zusätzliche Finanzierungsbedarf abgeleitet und quantifiziert. Zudem werden bestehende regulatorische Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten auf nationaler, kantonaler und kommunaler Ebene dargelegt und aufgezeigt, welche zusätzlichen Mittel für eine Marktdurchdringung von Bund, Kantonen und Gemeinden aufzubringen sind.

1.2 Übersicht des Berichts

Im Kapitel 1 werden die Ausgangslage, die Zielsetzung sowie die Inhalte und Beweggründe des Postulats 19.3000 wiedergegeben. Der Stand des politischen Prozesses wird erklärt und verwandte Geschäfte werden aufgeführt.

Im Kapitel 2 werden die technischen Einsatzpotenziale für fossilfreie Busse in der Schweiz abgeschätzt.

Im Kapitel 3 wird vertieft auf die Auswirkungen der verschiedenen Antriebsoptionen auf Klima, Umwelt und Kosten eingegangen. Ökologische Reduktionspotenziale werden untersucht und aufgezeigt. Die Mehrkosten sowie die CO₂-Vermeidungskosten für die verschiedenen Fallbeispiele im Ortsverkehr und im regionalen Personenverkehr werden für die Periode 2021 bis 2035 abgeschätzt. Das Kapitel enthält zudem eine ganzheitliche Betrachtung von Kosten und Nutzen der verschiedenen Antriebstechnologien.

Im Kapitel 4 wird auf die bestehenden regulatorischen Rahmenbedingungen und auf die nationalen, kantonalen und kommunalen Fördermöglichkeiten eingegangen. Dabei werden die wichtigsten Instrumente anhand ihren jeweiligen Stärken und Schwächen beurteilt.

Im Kapitel 5 wird das technische, betriebliche und wirtschaftliche Einsatzpotenzial anhand von Fallbeispielen für die ganze Schweiz für zwei Umstellungsszenarien abgeschätzt und der resultierende, zusätzliche Finanzierungsbedarf daraus abgeleitet. Verschiedene Varianten der Finanzierung werden dargelegt und die jeweiligen ungedeckten Mehrkosten herausgearbeitet.

Im Kapitel 6 wird aufgezeigt, welche Anpassungen von Rahmenbedingungen und welche bestehenden und neuen Fördermöglichkeiten von Bedeutung sind.

Im Kapitel 7 finden sich die Empfehlungen und Schlussfolgerungen des Berichts.

1.3 Das Postulat 19.3000

1.3.1 Inhalt des Postulats

Die Kommission für Verkehr und Fernmeldewesen des Nationalrates (KVF-NR) reichte das Postulat 19.3000 mit dem Titel «Nichtfossilen Verkehrsträgern im öffentlichen Verkehr auf Strassen zum Durchbruch verhelfen» am 15. Januar 2019 im Nationalrat ein.

Der Inhalt des Postulats wird im Folgenden wiedergegeben:

Eingereichter Text

Der Bundesrat wird gebeten, dem Parlament in einem Prüfbericht Massnahmen aufzuzeigen zur finanziellen Förderung der Umstellung von Dieselnissen auf umweltfreundliche, klimaneutrale, nichtfossile Busse (u. a. Elektrobusse).

Eine Minderheit (Amstutz, Bühler, Hurter, Imark, Pieren, Quadri, Rickli, Rutz) beantragt die Ablehnung des Postulates.

Begründung

Obwohl der Strassen-öV nicht Hauptemittent von CO₂ ist, verursachen auch Dieselnisse relativ viel CO₂-Emissionen. Viele Städte planen deshalb – im Einklang mit der Energiestrategie des Bundes – die mittelfristige Ablösung der Diesel- und Erdgasbusse. Zudem hat in den letzten Jahren die Entwicklung von umweltfreundlichen Bussen, vorab von Elektrobusen mit Batterien, sehr grosse Fortschritte gemacht, namentlich im strassengebundenen öffentlichen Verkehr. Der Grund ist, dass man im öffentlichen Verkehr die maximal geforderte Leistung eines Busses gut kennt und somit die Batterie exakt dimensionieren kann.

Elektrobusse, Biogasbusse und Brennstoffzellenbusse sind leise, stossen keine Schadstoffe aus, haben einen Bruchteil des CO₂-Ausstosses eines Dieselnisses und verbrauchen zwei- bis dreimal weniger Energie als Diesel- oder Erdgasbusse mit Verbrennungsmotor.

Die Entwicklung hat grosse Fortschritte gemacht. Viele Transportunternehmen stehen nun an der Schwelle vom Versuchsbetrieb mit einzelnen Bussen zum Betrieb mit grösseren Flotten. Die grosse Herausforderung besteht nicht primär in der Technik, sondern in der Finanzierung. Da die Technik relativ neu ist und erst kleine Stückzahlen hergestellt werden, sind die Kosten pro Fahrzeug noch sehr viel teurer als die eines Dieselnisses. Zudem braucht es auch neue Ladeinfrastrukturen.

In etlichen Ländern der EU unterstützen die Mitgliedstaaten die Umstellung der Busflotten grosszügig mit namhaften Beiträgen der Staaten. In der Schweiz gibt es bis jetzt keine entsprechende Förderung.

Damit der Strassen-öV auch in der Schweiz künftig eine Vorbildfunktion einnimmt, soll der Bund befristet – im Sinne einer Anschubfinanzierung – einen Teil dieser Mehrkosten übernehmen, um die Durchsetzung von klimaneutralen Bussen in der Fläche zu beschleunigen.

Die Unterstützung soll befristet sein, da mittelfristig bei hohen Stückzahlen die Kosten sinken werden. Zudem muss die Unterstützung neutral gegenüber allen Technologien sein und alle umweltfreundlichen Antriebsarten gleichbehandeln.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

1.3.2 Antwort des Bundesrates

Der Bundesrat hat am 27. Februar 2019 eine Annahme des Postulats beantragt und dazu wie folgt Stellung genommen:

Stellungnahme des Bundesrates vom 27.02.2019

Der Bundesrat erachtet es als richtig, im Rahmen des vom Postulat geforderten Prüfberichtes eine umfassende Kosten-Nutzen-Analyse vorzunehmen sowie auch die bereits bestehenden Fördermassnahmen von Bund, Kantonen und Gemeinden aufzuzeigen. Heute können weder Kosten noch Nutzen einer Förderung von Bussen mit alternativen Antrieben, insbesondere E-Bussen, verlässlich beziffert werden.

Antrag des Bundesrates vom 27.02.2019

Der Bundesrat beantragt die Annahme des Postulates.

1.3.3 Behandlung im Rat

Der Nationalrat hat das Postulat 19.3000 am 11. März 2019 angenommen.

1.3.4 Verwandte Geschäfte

Im Rahmen des Geschäfts zur Reform des regionalen Personenverkehrs soll die Möglichkeit der Innovationsförderung über den regionalen Personenverkehr hinaus geprüft werden. Dadurch könnten innovative Projekte auch bezüglich alternativer Antriebe breiter unterstützt werden.

Im Rahmen der Totalrevision des CO₂-Gesetzes wurde auch der Artikel 48 Absatz 2 des Mineralölsteuergesetzes vom 21. Juni 1996⁴ überarbeitet. Er betrifft die Mineralölsteuerrückerstattung im öffentlichen Verkehr. Ab dem 1. Januar 2026 entfällt die Rückerstattung im Ortsverkehr, ab dem 1. Januar 2030 auch im regionalen Personenverkehr, ausgenommen, wenn eine Umrüstung auf Busse mit CO₂-neutraler, erneuerbarer Antriebstechnologie aus topografischen Gründen nicht möglich ist. Gegen das revidierte CO₂-Gesetz kam ein Referendum zustande, das im Juni 2021 zur Abstimmung kommen wird.

⁴ SR 641.61

2 Einsatzpotenziale fossilfreier Busse

2.1 Vorgehen für die Abschätzung des Einsatzpotenzials

Ausgangspunkt der Analyse bilden die Flotten- und Linienkennzahlen der eingesetzten Busse in der Schweiz. Aufgrund der zukünftigen Entwicklungen und Reduktionspotenziale der Antriebstechnologien werden anschliessend die zu vertiefenden fossilfreien Optionen festgelegt. Darauf basierend werden technische und betriebliche Einsatzpotenziale in der Schweiz abgeleitet.

2.2 Bestandsanalyse Dieselbuslinien

In den statistischen Grundlagen werden nicht alle notwendigen Kennzahlen systematisch erfasst. Für den regionalen Personenverkehr, finanziert durch Bund und Kantone, werden die Linienkennzahlen und Flottenkennzahlen vom Bundesamt für Verkehr (BAV) erhoben. Die Daten für den Ortsverkehr, finanziert durch Städte und Kantone, wurden systematisch und schweizweit im Rahmen einer Umfrage der Transportunternehmen gesammelt.

Aktuell werden in der Schweiz im öffentlichen Strassenverkehr über 5'400 Busse mit Dieselantrieb eingesetzt. Knapp die Hälfte der Flotte vom regionalen Personenverkehr und vom Ortsverkehr entfällt auf Standardbusse (12 m, 70 Sitz- + Stehplätze) und rund ein Drittel auf Gelenkbusse (18 m, 110 Sitz- + Stehplätze). Der Anteil der Midibusse (10 m, 40 Sitz- + Stehplätze) liegt bei 12 %, der Anteil der Kleinbusse (7 m, 25 Sitz- + Stehplätze) bei 6 %. Rund 10 % der Busse werden ausschliesslich im Ortsverkehr eingesetzt, rund 36 % flexibel sowohl im Ortsverkehr als auch im regionalen Personenverkehr, und rund 53 % ausschliesslich im regionalen Personenverkehr (Abbildung 5).

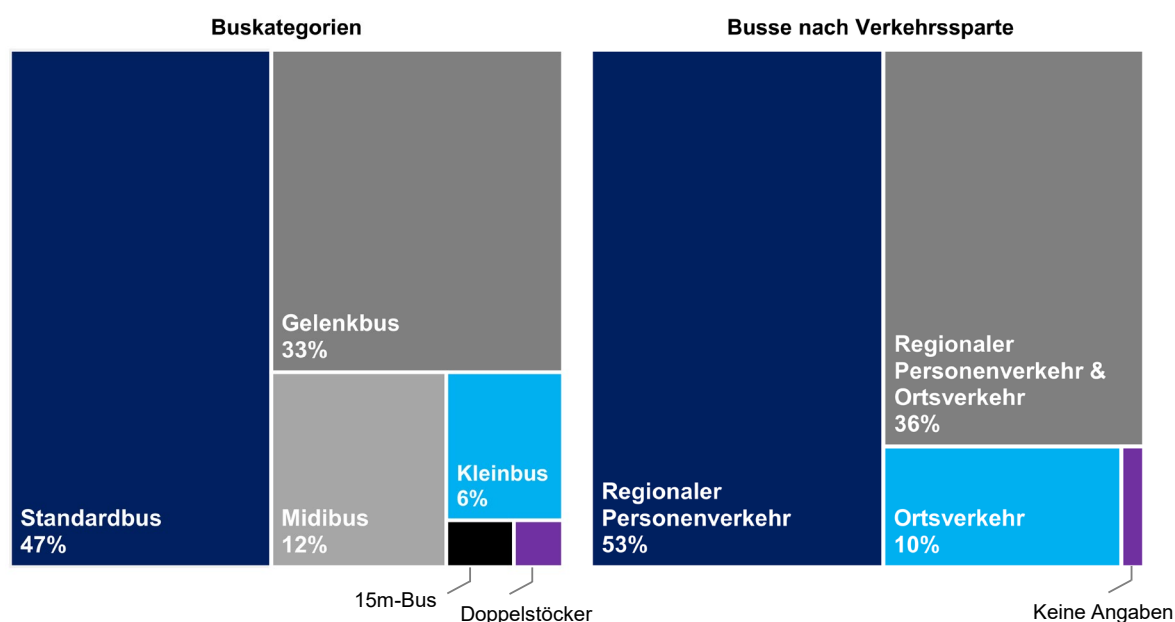


Abbildung 5: Flottenkennzahlen (Bezugsgrosse: 5'271 Busse). Quelle: Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.

Die Analyse der in der Schweiz eingesetzten Busse nach Alter zeigt, dass die Fahrzeuge teilweise auch nach der buchhalterisch definierten Abschreibungsdauer (rund 12 Jahre für Gelenk- und Standardbusse, Midi- und Kleinbusse etwas kürzer) weiterhin im Einsatz stehen (Abbildung 6). Im Hinblick auf die Abgasnormen erfüllen rund die Hälfte der heute eingesetzten Busse die aktuell strengste Abgasnorm Euro 6. Bei rund 40 % handelt es sich um Euro 5 Fahrzeuge. Der Anteil der noch im Einsatz stehenden Busse mit Euro 3 und 4 liegt bei rund 10 %.

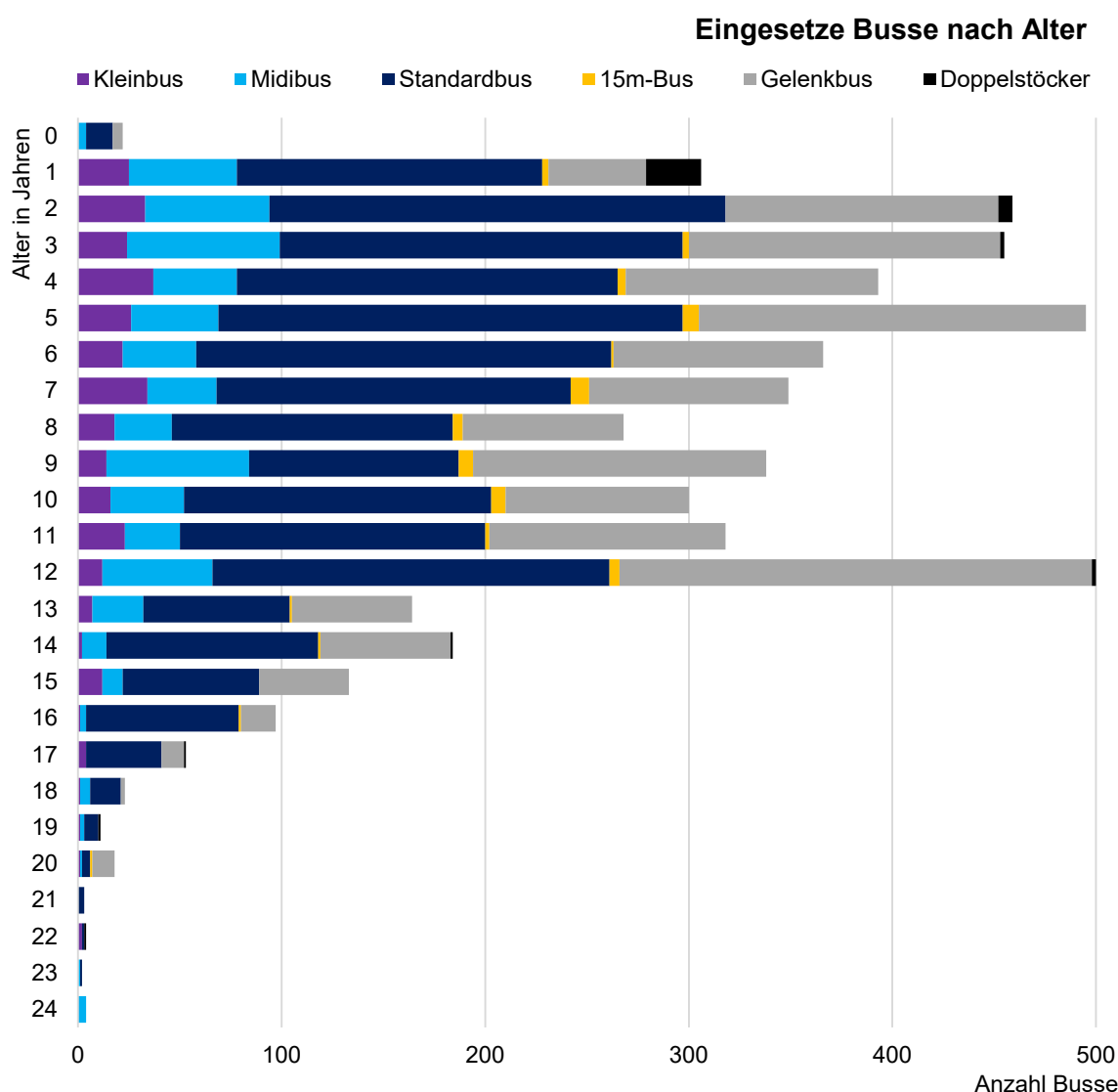


Abbildung 6: Eingesetzte Busse nach Alter im Jahr 2020. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.

Tabelle 1 vergleicht die heutigen Anschaffungskosten der verschiedenen Bustypen je nach Antriebstechnologie. Durchschnittlich sind die Batteriebusse doppelt so teuer wie die Dieselsebusse.

Tabelle 1: Anschaffungskosten je nach Bustyp und Antriebstechnologie (Preis 2020). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020. E-Geleg. = E-Gelegenheitslader. Piktogramme: VBZ

Anschaffungskosten in CHF	Dieselsebus (Referenz)	Biodieselsebus	Biogasbus	Batteriebus (E-Depotlader)	Batteriebus (E-Geleg.)	Trolleybus	Brennstoffzellenbus
Gelenkbus 	500'000	520'000 (+4 %)	545'000 (+9 %)	935'000 (+87 %)	810'000 (+62 %)	1'055'000 (+111 %)	1'300'000 (+160 %)
Standardbus 	350'000	370'000 (+6 %)	395'000 (+13 %)	745'000 (+113 %)	625'000 (+79 %)	825'000 (+136 %)	1'045'000 (+199 %)
Midibus 	330'000	350'000 (+6 %)	375'000 (+14 %)	640'000 (+94 %)	540'000 (+64 %)	–	780'000 (+136 %)
Kleinbus 	100'000	115'000 (+15 %)	135'000 (+35 %)	300'000 (+200 %)	–	–	440'000 (+340 %)

Die Analyse der Linienlängen im Ortsverkehr zeigt auf, dass rund 70 % der Linien kürzer als 10 Kilometer sind (Abbildung 7). Beim Ortsverkehr werden rund die Hälfte (47 %) der Linien mit Standardbussen betrieben. Der Anteil der Linien, die mit Gelenkbussen betrieben werden, liegt bei rund 30 % im Ortsverkehr und für die Midibusse bei 14 %. Der Anteil Linien mit Kleinbussen ist mit Anteilen unter 10 % vergleichsweise klein.

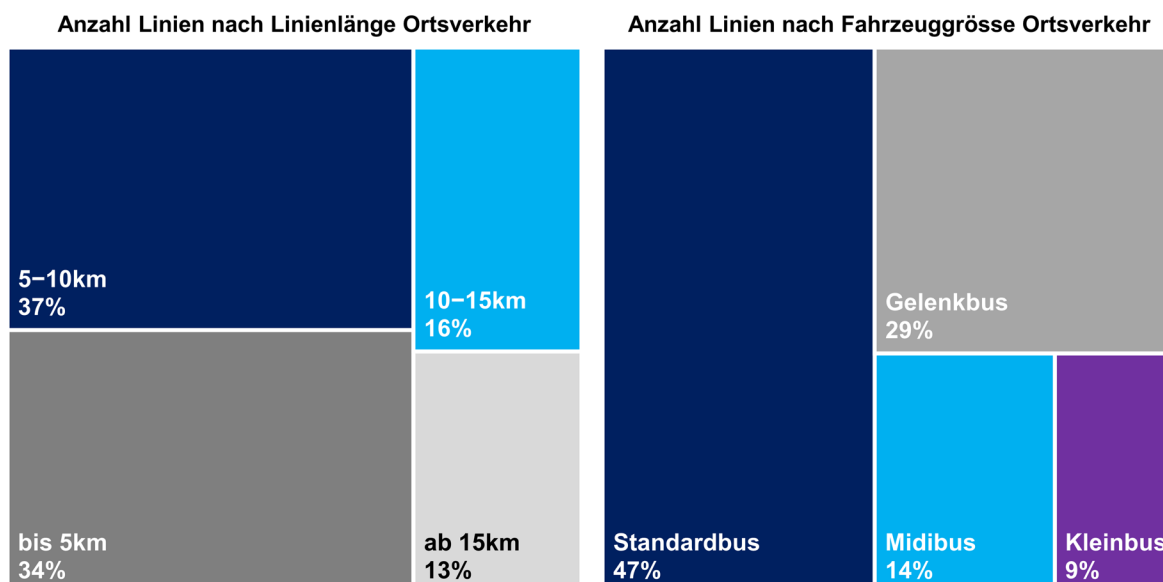


Abbildung 7: Anzahl Linien nach Linienlängen und nach Fahrzeuggrössen für den Ortsverkehr (Bezugsgrösse: 588 Linien, Doppelstöcker und 15m-Busse machen < 1 % aus). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.

Etwas mehr als die Hälfte (55 %) der Linien im regionalen Personenverkehr weisen Linienlänge unter 15 Kilometer auf (Abbildung 8). Rund 14 % der Linien sind mit über 25 Kilometern sehr lang. Rund die Hälfte (53 %) der Linien werden mit Standardbussen betrieben. Der Anteil der Linien, die mit Gelenkbussen betrieben werden, liegt bei 25 % und für die Midibusse bei 18 %. Der Anteil der Linien mit Kleinbussen liegt bei unter 10 %.

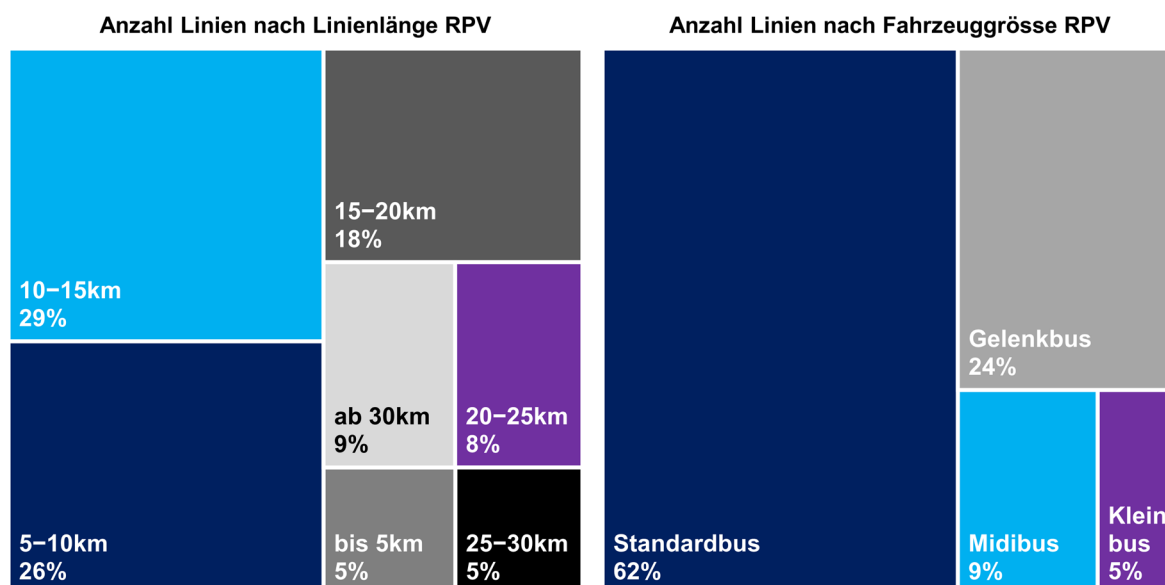


Abbildung 8: Anzahl der Linien nach Linienlängen und nach Fahrzeuggrössen für den regionalen Personenverkehr (RPV) (Bezugsgrösse: 1'104 Linien, Doppelstöcker und 15m-Busse machen <1 % aus). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.

Die Vollkosten⁵ sämtlicher Busleistungen des regionalen Personenverkehrs belaufen sich im Jahr 2019 auf rund 1'200 Millionen Schweizer Franken pro Jahr, die Abgeltungen für die entsprechenden Leistungen liegen bei 620 Millionen Schweizer Franken pro Jahr, wovon je rund die Hälfte durch den Bund und die Kantone finanziert werden (Tabelle 2). Für den Ortsverkehr liegt keine Vollerhebung vor, sondern

⁵ Diese umfassen Fahrzeuginvestitionen und -unterhalt, Energiekosten, Investitionen und Unterhalt der Ladeinfrastrukturen, Fahrpersonal, Verwaltungskosten und weitere Gemeinkosten.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

lediglich eine Stichprobe aus der durchgeführten Umfrage bei den Transportunternehmen. Diese Stichprobe umfasst Dieselsbusleistungen, die Betriebskosten von knapp 900 Millionen Schweizer Franken pro Jahr aufweisen. Die Abgeltungen für die entsprechenden Leistungen liegen bei rund 520 Millionen Schweizer Franken pro Jahr, welche durch die Gemeinden und Kantone finanziert werden. Deren jeweiligen Anteile sind nicht bekannt. Diese Stichprobe entspricht schätzungsweise 70 bis 80 % des gesamten Ortsverkehrs in der Schweiz.

Tabelle 2: Vollkosten und Abgeltungen 2019 für die Linien im regionalen Personenverkehr (RPV) (Vollerhebung, Quelle: BAV, Stand 2020) und Ortslinien (Stichprobe, Quelle: TU-Umfrage BFE/VöV 2020).

	Vollkosten CHF/a	Abgeltungen CHF/a	Anteil Kanton CHF/a	Anteil Bund CHF/a	Kurs-Km km/a	Anzahl Linien Stichprobe
RPV-Linien						
Kleinbus	16'671'149	12'462'273	4'795'421	7'666'852	2'788'676	57
Midibus	66'163'801	41'481'311	17'741'967	23'739'344	8'561'545	100
Standardbus	599'989'456	340'339'342	160'905'032	179'434'310	93'823'392	678
Gelenkbus	496'123'405	219'307'046	120'497'908	98'809'138	71'520'018	262
Doppelstöcker	10'670'514	3'139'663	1'479'537	1'660'126	1'256'806	4
Total	1'189'618'326	616'729'635	305'419'865	311'309'770	177'950'436	1'101
Ortsverkehr-Linien						
Kleinbus	21'485'598	20'206'883	–	–	3'138'837	44
Midibus	62'593'599	52'428'003	–	–	7'989'746	74
Standardbus	249'437'833	150'857'734	–	–	30'434'545	230
15-Meter-Bus	11'584'347	6'603'101	–	–	1'249'580	4
Gelenkbus	542'281'265	291'407'634	–	–	56'893'336	162
Doppelstöcker	8'809'283	5'099'392	–	–	1'223'717	3
Total	896'191'925	526'602'747	–	–	100'929'761	517

2.3 Fossilfreie Antriebstechnologien

Die fossilfreien Antriebsoptionen wurden im Rahmen der Grundlagenstudie mit der Begleitgruppe diskutiert und es wurden Kriterien definiert, um festzulegen, welche fossilfreie Antriebstechnologien vertieft zu analysieren sind.

2.3.1 Definition von fossilfreien Antriebstechnologien

Die Technologien bzw. Technologiefamilien, die als fossilfreien Antriebstechnologien betrachtet werden, sind in Abbildung 9 definiert.

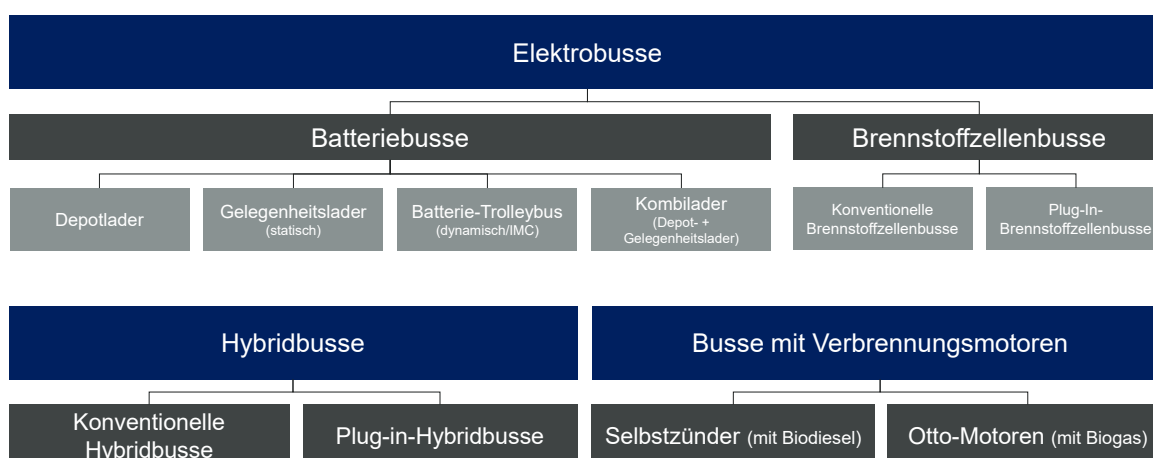


Abbildung 9: Definition der fossilfreien Antriebstechnologien (IMC = in motion charging, deutsch: Laden während des Fahrens). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Die **Elektrobusse** werden ausschliesslich durch einen Elektromotor angetrieben. Zu diesen Fahrzeugen gehören Batteriebusse und Brennstoffzellenbusse.

Batteriebusse decken den Energiebedarf für die Fahrt aus einer Batterie, die am Stromnetz geladen wird. Dazu gehören:

- *Depotlader*, die typischerweise über Nacht während mehreren Stunden geladen werden.
- *Gelegenheitslader*, die im Stillstand, typischerweise an Endhaltestellen bzw. unterwegs an bestimmten Stationen, kurzzeitig bzw. während mehreren Minuten geladen werden.
- *Batterie-Trolleybusse*, auch IMC (in motion charging) genannt, die teilweise am Oberleitungsnetz fahren und während dieser Zeit eine Batterie laden, die auch fahrleistungsloses Fahren ermöglicht.
- *Kombilader* sind Busse mit einer relativ grossen Batterie, die sowohl im Depot als auch bei Gelegenheit unterwegs geladen werden.

Brennstoffzellenbusse sind Elektrobusse, deren Energiebedarf für die Fahrt aus einer Batterie gedeckt wird, die durch eine mitgeführte Brennstoffzelle geladen wird. Hier sind zwei Varianten denkbar. Konventionelle Brennstoffzellenbusse haben eine relativ kleine Batterie, die zur Deckung der Leistungsspitzen und nicht als eigentlicher Energiespeicher eingesetzt wird. Plug-In-Brennstoffzellenbusse weisen eine grössere Batterie auf, die in der Regel am Stromnetz geladen wird, aber auch durch ein Brennstoffzellensystem an Bord nachgeladen wird. Die Reichweite von Brennstoffzellenbussen beträgt in Zukunft ca. 400 bis 800 km, so dass einmal tägliches Betanken ausreichen sollte. Wie bei Batteriebussen kann auch bei Brennstoffzellenbussen rund 70% der Energie von der Batterie in Bewegung umgesetzt werden. Ein erheblicher Energieverlust erfolgt hingegen bei der Umwandlung von Strom zu Wasserstoff bei der Elektrolyse sowie von Wasserstoff zu Strom in der Brennstoffzelle im Fahrzeug. Zwar wird bei der Effizienz der Brennstoffzelle eine kontinuierliche Verbesserung erwartet, trotzdem wird der Energieverbrauch von Brennstoffzellenbussen immer deutlich über dem von Batteriebussen liegen. Die Anschaffung von Brennstoffzellenbussen würde voraussetzen, dass mindestens eine Wasserstofftankstelle in der Nähe der Busdepots verfügbar ist bzw. gebaut wird. Die Nutzung öffentlicher Wasserstofftankstellen ist aus betrieblichen Gründen und dem hohen Bedarf nur im Ausnahmefall praktikabel. Der Wasserstoff selbst könnte zugekauft oder direkt vor Ort produziert werden. Brennstoffzellenbusse wurden in einigen Pilotprojekten getestet. Die Kosten der Wasserstoffproduktion und der Brennstoffzelle selbst, vor allem auch im Zusammenhang mit der noch ziemlich kurzen Lebensdauer, waren bisher das vielleicht grösste Hindernis für einen breiteren Einsatz. Zusätzliche Informationen zu den Brennstoffzellen und zur Produktion von Wasserstoff sind in der Grundlagestudie von INFRAS (2020, Annex A2 und A3.2) zusammengestellt.

Hybridbusse verfügen sowohl über einen elektrischen Motor mit Batterie als auch über einen Verbrennungsmotor. Der Verbrennungsmotor kann direkt als Antriebsmotor eingesetzt werden oder einen Generator antreiben, der wiederum die Batterie lädt. Es sind auch Mischformen denkbar. Bei Hybridbussen gibt es konventionelle Hybridbusse, deren Batterie nicht am Stromnetz geladen wird und Plug-in-Hybridbusse, deren Batterie unter anderem am Stromnetz geladen wird. Da Hybridbusse effiziente Verbrennungsmotoren darstellen, sind diese im Sinne einer Übergangstechnologie zu verstehen. Fossilfrei sind sie nur, falls Biodiesel oder Biogas verwendet wird. Sie machen langfristig nur bei fehlenden emissionsfreien Alternativen Sinn. Zudem ist die Verfügbarkeit an geeignetem Biodiesel begrenzt.

Bei den **Busen mit Verbrennungsmotor** wird unterschieden zwischen Selbstzündern, üblicherweise mit Diesel betrieben, und Ottomotoren, die typischerweise für den Betrieb mit Methan (Compressed Natural Gas, CNG oder Liquefied Natural Gas, LNG) ausgelegt sind. Fossilfrei sind diese Busse ausschliesslich, falls sie mit biogenen Treibstoffen⁶ betrieben werden.

⁶ Biogas wird hier gemäss Mineralölsteuer-Befreiung und Umweltschutzgesetz gemeint. Im Rahmen der Totalrevision des CO₂-Gesetzes sind Änderungen im Umweltschutzgesetz zu erwarten, welche zukünftig strengere Anforderungen an die in der Schweiz eingesetzten Gase stellt.

2.3.2 Auswahl der zu betrachtenden Antriebstechnologien

Die Auslegeordnung aller Kombinationen von Antriebsoptionen und Treibstoffen, die im öffentlichen Busverkehr heute und in Zukunft in Frage kommen, erfolgte anhand der Kriterien «energieeffizient – erneuerbar – emissionsarm», die im Folgenden kurz erläutert werden:

- **Kriterium «energieeffizient»:** Betrachtet wird sowohl die Effizienz der Energieumwandlung in den Fahrzeugen als auch die Effizienz der Umwandlung des Primärenergieträgers⁷ in die zum Betrieb eines Busses benötigte Energie.⁸
- **Kriterium «erneuerbar»:** Die Stromproduktion gilt als erneuerbar, wenn die Energie, die in Strom umgewandelt wird, aus einer erneuerbaren Quelle stammt. Treibstoffe gelten als erneuerbar, wenn sie aus Biomasse oder aus erneuerbarem Strom hergestellt wurden.
- **Kriterium «emissionsarm»:** Dies bedeutet tiefe Treibhausgasemissionen im Lebenszyklus (von der Produktion bis zur Entsorgung), sowie tiefe Schadstoff- und Lärmemissionen im Betrieb.

Aufgrund einer groben Bewertung wurden zuerst jene Optionen ausgeschlossen, welche die Kriterien «erneuerbar», «energieeffizient» und «emissionsarm» nicht oder nur ungenügend erfüllen. Aus den verbleibenden Optionen wurden diejenigen für eine vertiefte Betrachtung ausgewählt, welche die drei Kriterien erfüllen sowie hinsichtlich betrieblicher Aspekte und Kosten gut abschneiden (Tabelle 3). Die Auswahl wurde im Rahmen der Grundlagestudie mit der Begleitgruppe abgestimmt.

Tabelle 3: Übersicht und Auswahl der Antriebsoptionen und Treibstoffe (CCS: Carbon Capture and Storage).
Quelle: Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Auswahl Vertiefung Antriebstechnologien			Diesel			Methan			Wasserstoff			Strom	
			fossil	Bio	Power-to-Liquid (erneuerbarer Strom)	fossil	Bio	Power-to-Liquid (erneuerbarer Strom)	Dampfreformierung ohne CCS	Dampfreformierung mit CCS	Elektrolyse (erneuerbarer Strom)	nicht erneuerbar	erneuerbar
Elektrobusse	Batteriebusse	Depotlader											
		Gelegenheitslader (statisch)											
		Gelegenheitslad. (dynamisch)											
	Brennstoffzellenbusse	Kombilader											
		Konventionell											
Hybride	Selbstzünder	Plug-In											
		Konventionell											
	Otto	Plug-In											
		Konventionell											
Verbrennungsmotorbusse	Selbstzünder	Diesel											
		Benzin											
		Gas (Methan)											
	Otto	Gas (Methan)											
		Benzin											

technisch keine Option

nicht erneuerbar

nicht effizient

Referenz

soll im Detail betrachtet werden

⁷ Primäre Energie: Energieinhalt des Energieträgers nach dem ersten Schritt im technischen Gewinnungsprozess, z.B. Brennwert von Rohöl, Brennwert von Holz oder Abfall, Strom direkt ab der Solarzelle oder mechanische Energie am Rotor des Wasser- oder Windkraftwerks.

⁸ Traktion und Strom, Kälte und Wärme für Nebenverbraucher.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Die folgenden nicht fossilen Antriebsoptionen, die die Kriterien erneuerbar, energieeffizient und emissionsarm gesamthaft gut erfüllen, wurden in der Folge weiter vertieft:

- Elektrobus mit Depotladung (sog. Depotlader)
- Elektrobus mit Gelegenheitsladung statisch entlang Strecke (sog. Gelegenheitslader)
- Elektrobus als Kombilader
- Batterie-Trolleybus
- Elektrobus mit Brennstoffzelle konventionell oder als Plug-In
- Biodiesel-Hybrid-Bus konventionell oder Plug-In
- Biogas-Hybrid-Bus konventionell

2.3.3 Entwicklung von Energiedichte und Anschaffungskosten

Depotlader-Batterien sind energieoptimiert. Sie können pro Batteriegewicht möglichst viel Energie speichern, während Gelegenheitslader-Batterien leistungsoptimiert sind. Diese können hohe Energie pro Zeiteinheit aufnehmen oder abgeben. Aufgrund der weiterlaufenden technologischen Entwicklung ist von einer deutlichen Zunahme der Energiedichte auszugehen. Die Verbesserung der Energiedichte führt künftig zu deutlich höheren Reichweiten bei Depotladern (Abbildung 10).

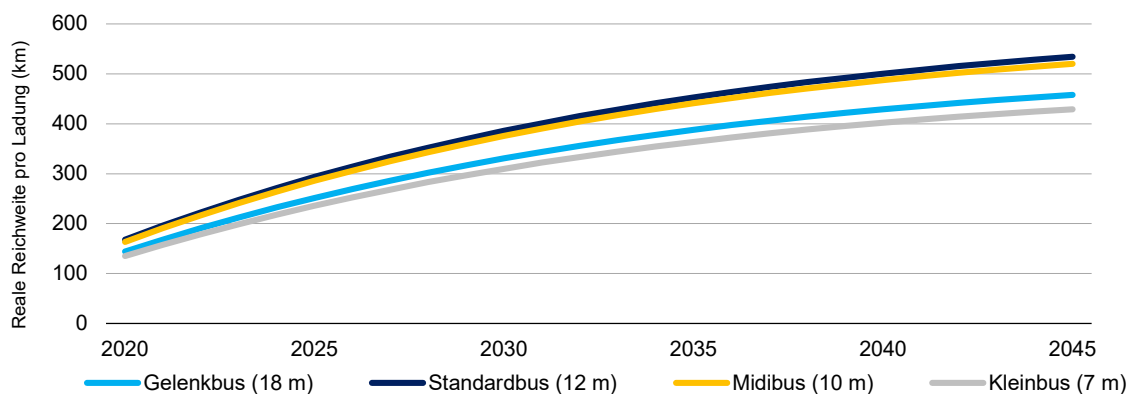


Abbildung 10: Entwicklung der realen Reichweite von Batteriebusen mit Depotladekonzept. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Batterien für Busse sind deutlich teurer als Batterien für Elektroautos. Dies aufgrund hoher Anforderungen bezüglich der Anzahl Ladezyklen, im Vergleich zu Personenwagen weit höheren täglichen Fahrleistungen, geringeren Skaleneffekten, aufwändiger Kühlung und dem Batteriemanagement bei grossen Bus-Batterien. Durch weitere technologische Entwicklung, neuen Batteriezusammensetzungen und höheren Stückzahlen ist bei den Batterien von Elektrobusen künftig mit einer starken Absenkung der Kosten auszugehen. Dies führt zu niedrigen Anschaffungskosten von Elektrobusen, bei denen die Batteriekosten einen bedeutenden Kostenfaktor darstellen. Abbildung 11 zeigt am Beispiel eines Gelenkbuses, wie sich die Anschaffungskosten der unterschiedlichen Technologien entwickeln. Beim Depotlader ist ein leichter Anstieg der Kosten bis 2025 zu beobachten. Das hat damit zu tun, dass bei Depotladern davon ausgegangen wird, dass sich die Batteriekapazität aufgrund der erwarteten Entwicklungen bis 2025 noch weiter erhöht.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

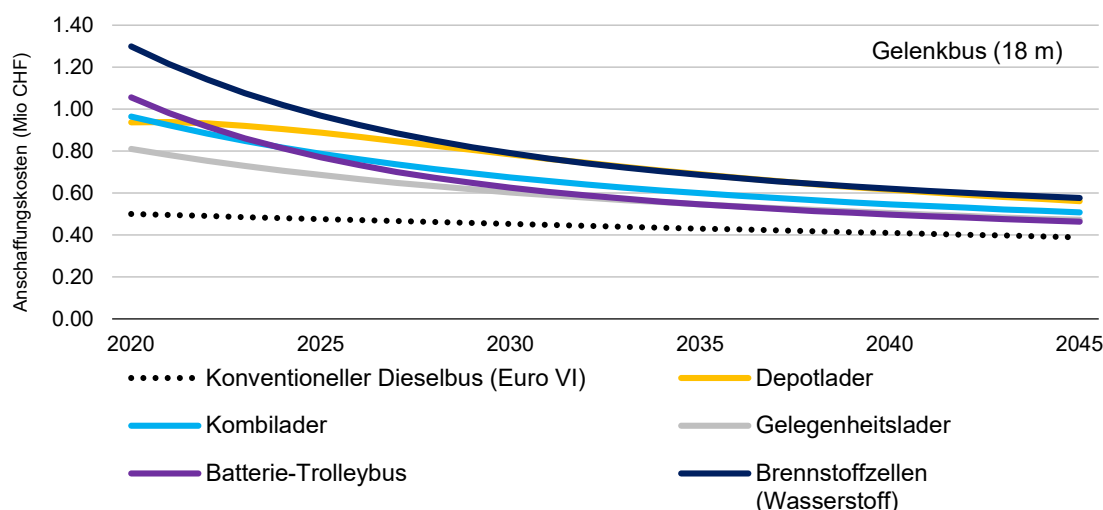


Abbildung 11: Anschaffungskosten der Antriebsoptionen im Zeitverlauf. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

2.4 Technische und betriebliche Einsatzpotenziale

Rein technisch ist der Einsatz aller fossilfreien Antriebsoptionen in der Schweiz sowohl im regionalen Personenverkehr als auch im Ortsverkehr heute möglich (Tabelle 4). Allerdings sind Batterie-Trolleybusse im Regionalverkehr weniger geeignet, falls kein entsprechendes Oberleitungsnetz zur Verfügung steht. Dieses wäre für einzelne Regionallinien aufgrund der hohen Investitionen kaum wirtschaftlich. Für Agglomerationslinien, welche aus Städten mit bestehendem Trolleybusnetz hinausfahren, stellt der Batterie-Trolleybus jedoch eine Option dar.

Tabelle 4: Einschätzung der Antriebsoptionen aus technischer und betrieblicher Sicht.

	Tauglich für Einsatz im			
	Ortsverkehr		Regionalverkehr	
	technisch	betriebllich	technisch	betriebllich
Depotlader	✓	✓ Abhängig von Reichweite; kurz-/mittelfristig Potenzial noch beschränkt	✓	✓ Abhängig von Reichweite; kurz-/mittelfristig Potenzial noch beschränkt
Gelegenheitslader	✓	(✓) Voraussetzung sind genügende Wendezeiten	✓	(✓) Voraussetzung sind genügende Wendezeiten
Kombilader	✓	(✓) Spezifische Situation muss gegeben sein	✓	(✓) Spezifische Situation muss gegeben sein
Batterie-Trolleybus	✓	✓	✗	✗
Brennstoffzellenbus (Wasserstoff)	✓	✓	✓	✓
Biodiesel	✓	✓	✓	✓
Biogas	✓	✓	✓	✓

Legende: ✓ geeignet, (✓) teilweise geeignet, ✗ nicht geeignet

Betrachtet man das **betriebliche Einsatzpotenzial**, lässt sich Folgendes aussagen:

- Die Einsatzmöglichkeiten des Elektrobusses mit Depotladung sind abhängig von der geforderten Tageslaufleistung. Hier ist das kurz- oder mittelfristige Einsatzpotenzial teilweise noch beschränkt. Langfristig wird der Depotlader jedoch Reichweiten von 350 bis 400 Kilometer ohne Nachladen abdecken können.
- Die Einsatztauglichkeit des Elektrobusses mit Gelegenheitsladung an den Endhaltestellen hängt von den spezifischen Gegebenheiten einer Linie ab. Da in der Regel nicht genügend Wendezeiten zum Nachladen vorhanden sind, ohne die Fahrplanstabilität der Linie zu gefährden, sind die Einsatzmöglichkeiten beschränkt. Diese Antriebsoption löst zusätzliche Fahrzeugumläufe und damit zusätzliche Fahrzeug- und vor allem Fahrpersonalkosten aus. Diese machen in der Regel 50 bis 60 % der Linienkosten aus. Zukünftig ist daher eine optimierte Planung der Fahrzeugumläufe und Wendezeiten nötig. Weiter soll für den statischen Gelegenheitslader auch berücksichtigt werden, dass aufgrund der beschränkten Reichweiten der kleinen Batterien kaum Sondereinsätze ausserhalb des Fahrplanbetriebs möglich sind.
- Ähnliches gilt für den Kombilader in Bezug auf die spezifischen Gegebenheiten, die für den zweckmässigen Einsatz gegeben sein müssen. Dank der grösseren Batterie ist er jedoch flexibler ausserhalb des Fahrplanangebots einsetzbar.
- Brennstoffzellen-Busse wie auch Biodiesel- oder Biogasbusse sind in Bezug auf den betrieblichen Einsatz vergleichbar mit dem Dieselbus.

3 Auswirkungen auf Klima, Umwelt und Kosten

3.1 Vorgehen und Methodik

Die CO₂-Reduktionspotenziale, weitere ökologische Auswirkungen sowie die Auswirkungen auf die Kosten werden anhand von Fallbeispielen, die unterschiedliche Einsatzfelder in der Schweiz repräsentieren (Tabelle 5), vertieft untersucht und aufgezeigt. Dabei wird der Dieselbus mit den alternativen fossilfreien Fahrzeugtypen verglichen. Ergänzend werden weitere Kriterien für die verschiedenen Antriebsoptionen bewertet. Schliesslich wird eine gesamte Beurteilung der Kosten und Nutzen für die fossilfreien Antriebsoptionen aufgezeigt.

Tabelle 5: Untersuchte Fallbeispiele. HVZ: Hauptverkehrszeit.

Linientyp	Busgrösse	Taktstruktur
Orts-/Agglomerationslinie	Gelenkbus	Integral
	Standardbus	mit HVZ-Verdichtung
Regionallinie Mittelland	Gelenkbus	Integral
		mit HVZ-Verdichtung
	Standardbus	Integral
		mit HVZ-Verdichtung
Regionallinien Berggebiet	Midibus	Integral
	Standardbus	Integral
	Kleinbus	Integral

3.2 Ökologische Reduktionspotenziale

Die ökologischen Auswirkungen wurden mit einem vereinfachten Ökobilanz- bzw. Lebenszyklusansatz ermittelt. Neben dem Betrieb der Fahrzeuge wird zur Berechnung von Energiebedarf und Klimawirkung auch die Fahrzeug- und Batterieherstellung inklusive Entsorgung sowie die Energiebereitstellung berücksichtigt. Die Elektrifizierung von Fahrzeugen macht einen relevanten Teil der gesamten Umweltbelastung in der Herstellung, Entsorgung und Energiebereitstellung aus. Für die lokal relevanten Luftschadstoffemissionen wird nur die Betriebsphase berücksichtigt. Als Ergebnis lassen sich die Reduktionspotenziale von nicht fossilen Antriebskonzepten gegenüber der Referenztechnologie (Dieselbus Euro 6) abschätzen.

3.2.1 Treibhausgasemissionen

Die Abbildung 12 zeigt das Treibhausgasreduktionspotenzial der nicht fossilen Antriebsoptionen gegenüber dem Dieselbus am Beispiel einer Ortsverkehrslinie mit Gelenkbussen. Dieses Potenzial liegt sowohl für den Orts- als auch den Regionalverkehr in derselben Grössenordnung. Gleiches gilt auch für die übrigen Fallbeispiele.

Treibhausgasemissionen über 12 Jahre (Gelenkbus im Ortsverkehr)

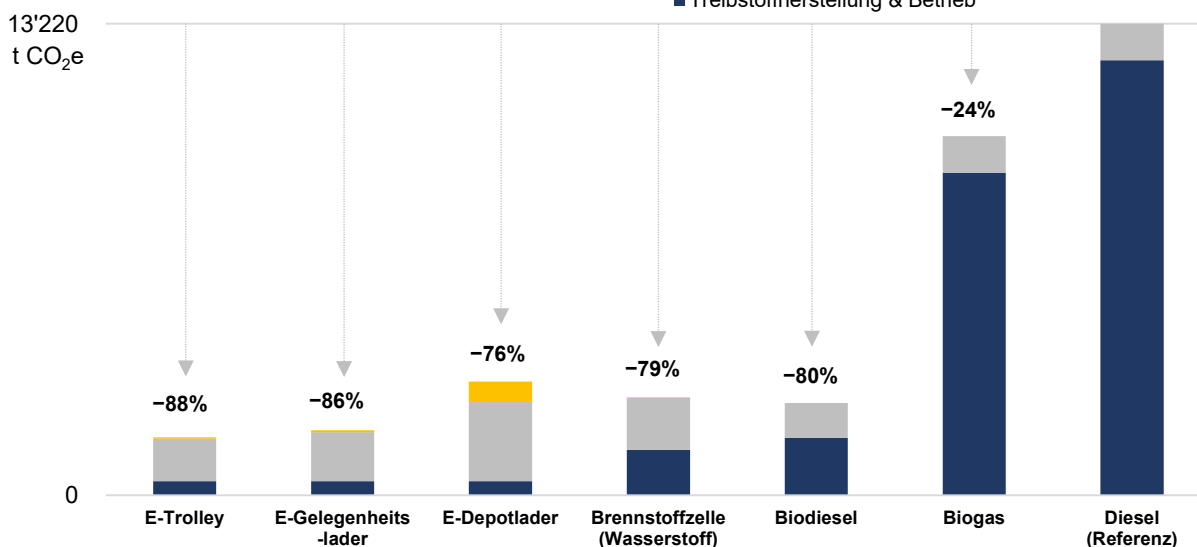


Abbildung 12: Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Antriebstechnologien über 12 Jahre (Stand: 2020), Gelenkbus im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Zu den verschiedenen Antriebsoptionen kann Folgendes festgestellt werden:

- Das Treibhausgasreduktionspotenzial der mit erneuerbarem Strom betriebenen Elektrobusse liegt zwischen 75 und 90 %.
- Innerhalb der Batteriebusse schneiden die Gelegenheitslader mit den kleineren Batterien leicht besser ab (Reduktion um 85 bis 90 %) als der Depotlader mit grossen Batterien (Reduktion um 75 bis 80 %), welche bei der Herstellung höhere Treibhausgasemissionen aufweisen.
- Der Brennstoffzellenbus hat trotz kleinerer Batterie ähnlich hohe Treibhausgasemissionen wie der Depotlader, weil auch die Herstellung der Brennstoffzelle und die Wasserstoffproduktion entsprechende Treibhausgasemissionen emittieren.
- Das Reduktionspotenzial des Biodieselbusses ist vergleichbar mit demjenigen des Depotladers und der Brennstoffzelle, unter der Annahme, dass Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl hergestellt wird. Dieser Treibstoff wird bei weitem nicht für alle Busse im öffentlichen Verkehr der Schweiz ausreichen, kann aber auf einzelnen Linien durchaus eine Option sein.
- Mit Biogas betriebene Busse haben verglichen mit den übrigen Optionen nur ein geringes Treibhausgasreduktionspotential von rund 20 %. Der Grund liegt beim sogenannten Methanschlupf⁹ bei der Biogasherstellung. Eine aktuelle, noch nicht publizierte Studie im Auftrag des Verbands der Schweizerischen Gasindustrie VSG deutet darauf hin, dass neuere Anlagen die Problematik des Methanschlupfs besser beherrschen und zu deutlich tieferen Methanemissionen führen können. Dadurch könnte sich mittelfristig das CO₂-Reduktionspotenzial von Biogas erhöhen.

3.2.2 Primärenergieverbrauch

Die Abbildung 13 zeigt den Primärenergieverbrauch der nicht fossilen Antriebsoptionen gegenüber dem Dieseldieselbus am Beispiel einer Ortsverkehrslinie mit Gelenkbussen. Der Primärenergiebedarf liegt sowohl für den Ortsverkehr als auch den Regionalverkehr in derselben Grössenordnung. Gleiches gilt für die übrigen Fallbeispiele.

⁹ Definition Methanschlupf: das Entweichen von Methan in die Atmosphäre, z. B. bei Biogasanlagen und Gasmotoren. Das Problem besteht nicht nur in einem Verlust an nutzbarer Energie, sondern vor allem darin, dass Methan in der Atmosphäre eine sehr starke Treibhausgaswirkung hat.

Primärenergieverbrauch über 12 Jahre (Gelenkbus im Ortsverkehr)

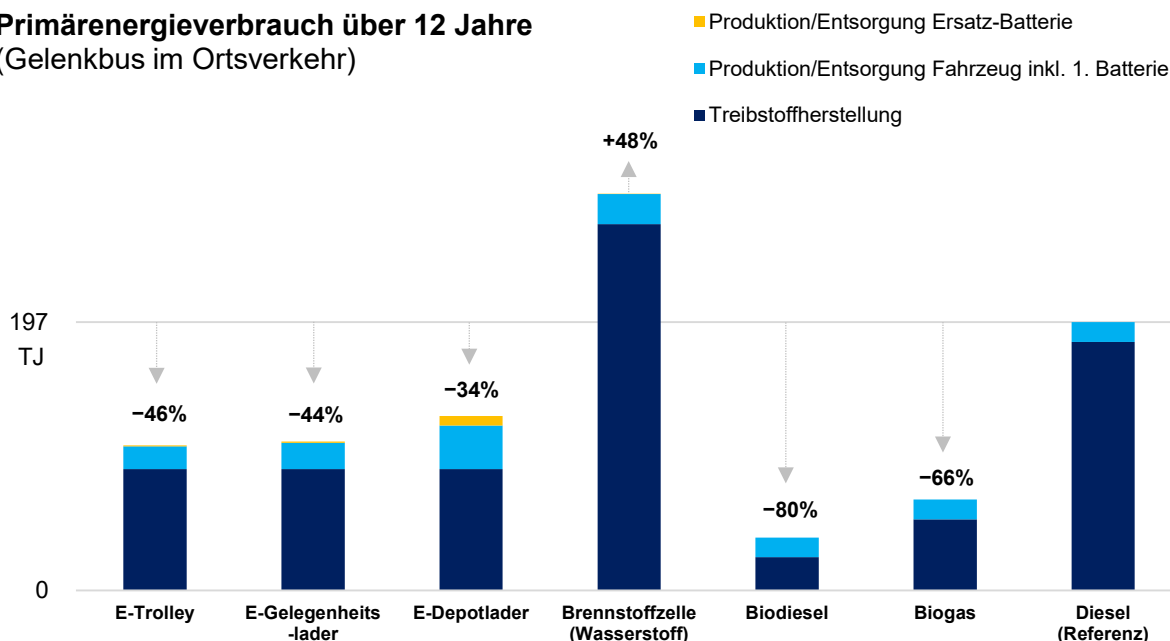


Abbildung 13: Primärenergieverbrauch fossilfreier Antriebsoptionen gegenüber Dieselbus (= 100 %). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Wichtigste Einflussparameter des Primärenergiebedarfs:

- Generell resultiert der grösste Anteil aus der Herstellung des Treibstoffs bzw. des Stroms. Die Bandbreite reicht von einem Anteil von 70 % beim Depotlader bis 95 % beim Biodiesel. Der Anteil aus der Herstellung des Fahrzeugs und der Batterie bzw. Brennstoffzelle ist entsprechende gering.
- Die drei Batteriebus-Optionen reduzieren den Primärenergiebedarf gegenüber dem Dieselbus um 40 bis 50 %. Dabei schneiden die beiden Gelegenheitslader wegen der kleineren Batterie tendenziell etwas besser ab als der Depotlader mit grosser Batterie.
- Demgegenüber führt die Option Brennstoffzelle zu einem Mehrbedarf an Primärenergie gegenüber dem Dieselbus von 40 bis 50 %. Der Grund liegt bei der energieintensiven Herstellung von Wasserstoff und den Umwandlungsverlusten in der Brennstoffzelle.
- Die Optionen Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl und Biogas reduzieren den Primärenergiebedarf gegenüber dem Dieselbus noch stärker als die Batteriebusse, nämlich um über 60 %. Hierbei ist die unterstellte Systemgrenze zu beachten. Hier ist nur der letzte Schritt der Aufbereitung von Biodiesel (Veresterung) und Biogas (Vergärung des Klärschlamms) enthalten. Es handelt sich um die sogenannte «cut-off»-Methodik bezüglich der Systemgrenzen von Recycling- und Abfallprodukten. Das bedeutet im Zusammenhang mit der Ermittlung des Primärenergiebedarfs von Biodiesel und -gas, dass der Energieinhalt der Rohstoffe nicht den Biotreibstoffen zugeschlagen werden, sondern den vorgelagerten Prozessen.

3.2.3 Luftschadstoffemissionen

Die Abbildung 14 zeigt die Auswirkungen auf die lokalen Luftschadstoffe der nicht fossilen Antriebsoptionen gegenüber dem Dieselbus am Beispiel einer Ortsverkehrslinie mit Gelenkbussen. Bei den elektrischen Antrieben können die Stickoxidemissionen komplett eliminiert werden und auch bei den Partikelemmissionen eine deutliche Reduktion erzielt werden.

Luftschadstoff-Emissionen im Betrieb über 12 Jahre (Gelenkbus im Ortsverkehr)

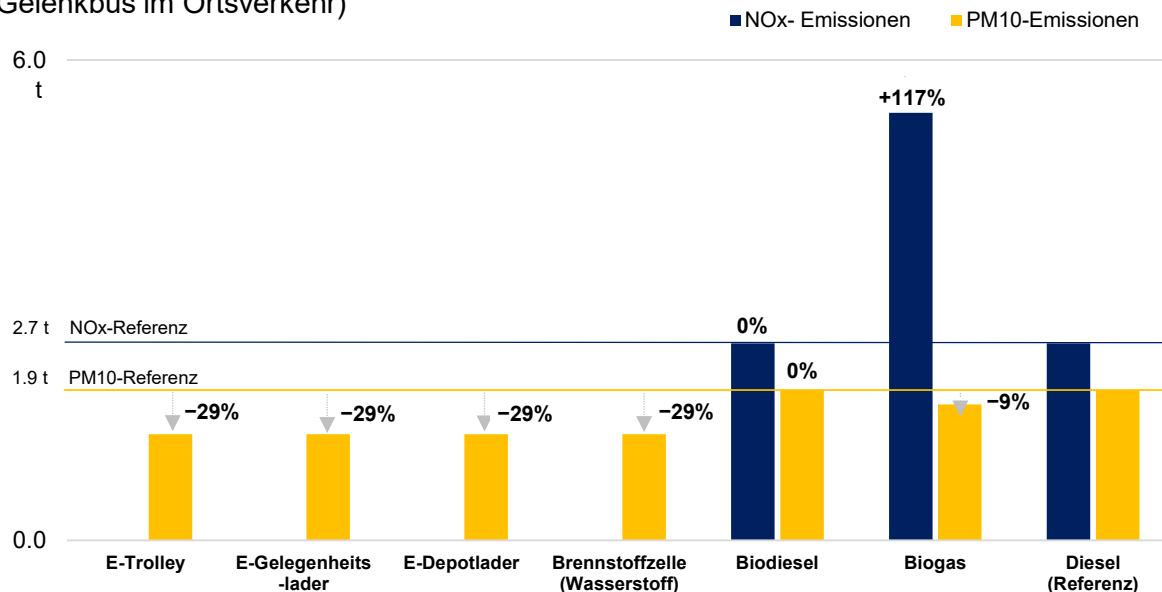


Abbildung 14: Stickoxidemissionen (NO_x)- und Feinstaubemissionen (PM₁₀-Emissionen) fossilfreier Antriebsoptionen im Betrieb gegenüber Dieselbus für einen Gelenkbus im Ortsverkehr.
Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Betreffend Reduktion von Luftschadstoffemissionen kann zu den verschiedenen Antriebsoptionen folgendes festgestellt werden:

- Die Batterie- und Brennstoffzellenbusse haben im Betrieb keine Stickoxidemissionen. Der Biodieselbus ist hier vergleichbar mit dem konventionellen Dieselbus. Biogas hingegen führt zu zusätzlichen Stickoxidemissionen.¹⁰
- Bei den Feinstaubemissionen ist zu unterscheiden nach Emissionen aus den Abgasen und Emissionen aus «Nicht-Abgasen», d.h. aus Aufwirbelungen und dem Bremsen- und Reifenabrieb. Bei den Elektrobussen gibt es keine Feinstaubemissionen aus Abgasen. Die Emissionen aus dem Bremsabrieb sind aufgrund der Rekuperationsmöglichkeit nur halb so gross wie bei einem Bus mit Verbrennungsmotor. Reifen- und Strassenabrieb bzw. Aufwirbelung sind hingegen vergleichbar. Bei E-Bussen kann möglicherweise ein etwas höheren Reifenabrieb entstehen, weil beim Anfahren ein grösseres Drehmoment an den Rädern zur Verfügung steht und rascher beschleunigt werden kann. Insgesamt reduzieren die Elektrobusse die Feinstaubemissionen um rund 30 % gegenüber dem Dieselbus.

Aus Sicht der lokalen Luftschadstoffemissionen liegen die Effekte für den Orts- und Regionalverkehr in ähnlichen Grössenordnungen. Immissionsseitig bzw. aus Sicht der Betroffenheit der Bevölkerung sind die Effekte im Ortsverkehr grösser als im Regionalverkehr, weil aufgrund der dichteren Siedlungsgebiete mehr Personen profitieren bzw. im Fall von Biogas mehr Personen von den erhöhten Stickoxiden betroffen sind.

3.2.4 Lärmemissionen

Lärm von Bussen wirken einerseits auf die Passagiere und andererseits auf die Personen, die ausserhalb des Busses dem Lärm ausgesetzt sind. Für Personen ausserhalb des Busses sind der Fahrlärm und der Standlärm der Busse an den Haltestellen inklusive dem Lärm von Ladestationen oder Ladevorgängen zu unterscheiden.

¹⁰ Basiert auf Messungen der TU Graz für CNG (Compressed Natural Gas) und Diesel-Busse, die in das Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA 4.1) eingeflossen sind.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Befragungen von Passagieren von Elektrobussen haben gezeigt, dass diese als ruhiger und komfortabler eingeschätzt werden als Dieselbusse. Dies deckt sich mit dem Umstand, dass der Motorenlärm, der im Fahrzeug zu hören ist, bei E-Bussen praktisch nicht wahrgenommen wird.

Während der Fahrt ist der Motorenlärm von Elektromotoren deutlich geringer als von Verbrennungsmotoren. Der ist besonders deutlich bei geringem Tempo (Anfahren und Stadtverkehr) sowie bei Bergfahrten. Bei höheren Geschwindigkeiten überwiegt der Anteil des Rolllärms, der für Diesel- und E-Busse praktisch gleich ist. Der Ersatz von Dieselbussen durch E-Busse in Quartieren, auf wenig befahrenen, leiseren Strassen und in den Randstunden hat bezüglich Reduktion des Lärmes eine besonders grosse Wirkung.

Beim kurzzeitigen Warten an den Haltestellen sind E-Busse deutlich ruhiger als Dieselbusse mit laufendem Motor. Geräusche werden gegebenenfalls durch die Klimaanlage bzw. Lüftung verursacht. Bei Gelegenheitsladern kann es durch die Kühlung der Ladeinfrastruktur zu lästigen Lärmemissionen kommen. In diesen Fällen ist auf eine gute Schallisolation der Kühlanlagen zu achten.

3.3 Umweltvergleich: Öffentlicher Verkehr vs. motorisierter Individualverkehr

In der Schweiz ist ein wesentlicher Teil des öffentlichen Verkehrs bereits elektrifiziert (Bahn, Trams und Trolleybus). Aus diesem Grund sind die spezifischen, durchschnittlichen CO₂-Emissionen des öffentlichen Verkehrs je Personenkilometer deutlich tiefer (– 87 %) als beim motorisierte Individualverkehr¹¹ (Abbildung 15). Die heutigen Dieselbusse weisen mit einer durchschnittlichen täglichen Auslastung von 17 % immer noch 25 % tiefere CO₂-Emissionen auf im Vergleich zum Personenwagen. In urbanen Gebieten schneidet während den Stosszeiten (Auslastung der Busse 35 % und Personenwagen 1.1 Person pro Wagen) der Dieselbus deutlich besser ab (– 77 %). Die Auslastung ist ein entscheidender Parameter. Je höher die Auslastung im öffentlichen Verkehr ist, desto grösser sind dessen Umweltvorteile.

Somit wäre eine Verlagerung vom motorisierten Individualverkehr in Richtung öffentlichen Verkehr auch im heutigen Zustand unabhängig von der Antriebstechnologie ein wichtiger Beitrag zur CO₂-Reduktion des Verkehrs. Die Voraussetzung dafür ist ein attraktives und kundenorientiertes Angebot im öffentlichen Verkehr.

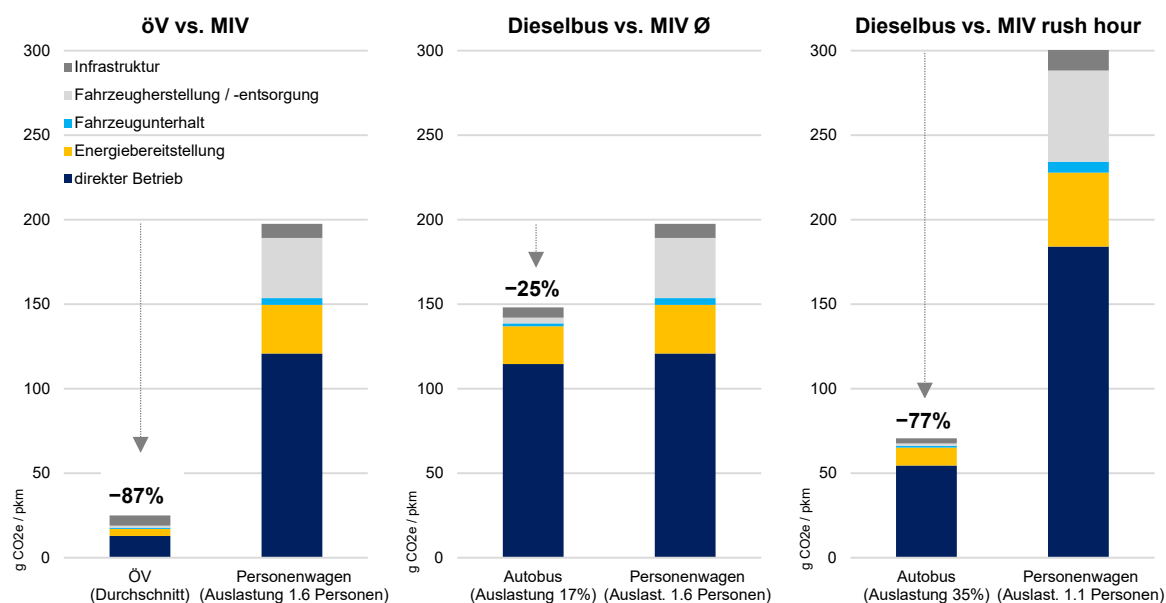


Abbildung 15: Umweltvergleich öffentlichen Verkehr und Personenwagen. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf mobitool.ch.

¹¹ Der motorisierte Individualverkehr wird hier durch einen durchschnittlichen Personenwagen repräsentiert.

3.4 Auswirkungen auf die Kosten

3.4.1 Methodik

Die Auswirkungen auf die Kosten wurden mittels dynamischer Wirtschaftlichkeitsrechnung nach der Netobarwert-Methode abgeschätzt. Diese Methode berücksichtigt sämtliche Kostenströme über einen definierten Zeitraum (z. B. während einer Fahrzeuggeneration), also auch Ersatzbeschaffungen von einzelnen Komponenten wie beispielsweise der Batterien in den Fahrzeugen. Die Wirtschaftlichkeitsrechnung berücksichtigt folgende Kostenkategorien:

- Infrastruktur entlang den Linien und in den Depot- oder Werkstatthanlagen: Investitions- und Wartungs- bzw. Unterhaltskosten.
- Fahrzeuge inklusive Batterie: Beschaffungs- und Unterhaltskosten.
- Energiekosten.
- Zusätzliche Fahrpersonalkosten bedingt durch die betrieblichen Auswirkungen der jeweiligen Option (z. B. zusätzliche Fahrzeugumläufe infolge Ladevorgänge).

Im Detail analysiert werden diejenigen Kostenblöcke, die sich massgebend zwischen den untersuchten Optionen unterscheiden (Fahrzeuginvestitionen, Fahrzeugunterhalt, Energiekosten, Investitionen und Unterhalt der Ladeinfrastrukturen sowie zusätzliche Fahrpersonalkosten aufgrund von Ladevorgängen). Die daraus eruierten absoluten Mehrkosten werden in den Kontext der Vollkosten (inklusive Fahrpersonal, Verwaltungskosten und weitere Gemeinkosten) eines Busses bzw. einer Linie gestellt. Die Aussagen zu den daraus resultierenden relativen Mehrkosten beziehen sich immer auf die Vollkosten. Für den Ortsverkehr, den regionalen Personenverkehr im Mittelland und im Berggebiet werden die relativen Mehrkosten der verschiedenen fossilfreien Antriebsoptionen für die Jahre 2021 bzw. 2035 den Kosten der Referenztechnologie Dieselbus Euro 6 gegenübergestellt.

3.4.2 Ortsverkehr

Für den Ortsverkehr sind in Abbildung 16 die relativen Mehrkosten für einen Gelenkbus aufgezeigt. Gelenkbusse stellen im Ortsverkehr die bedeutendste Fahrzeugkategorie dar, die heute über einen Dieselantrieb verfügt.

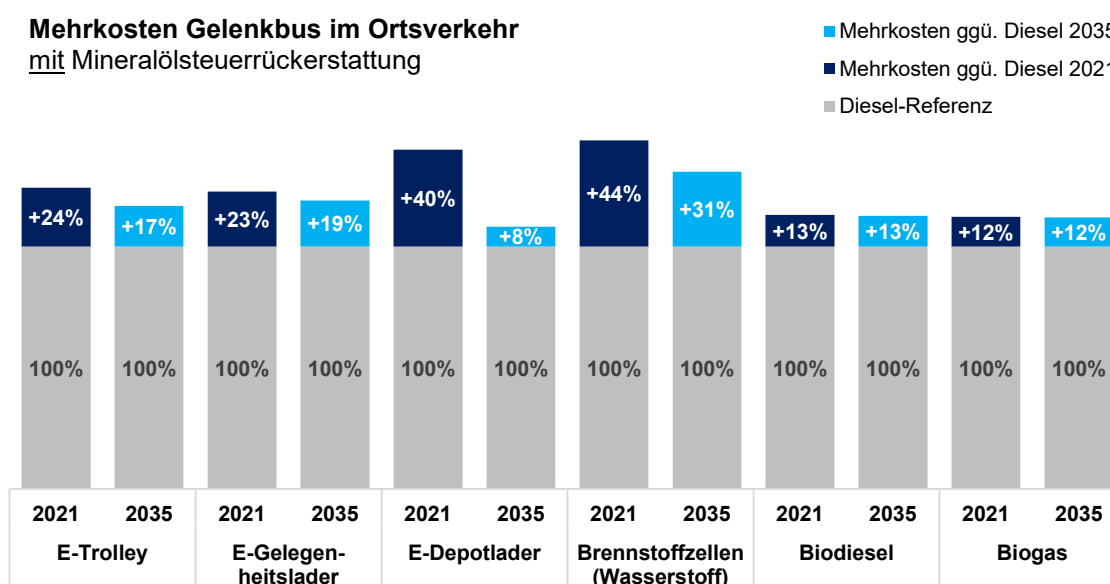


Abbildung 16: Mehrkosten im Orts- oder Agglomerationsverkehr gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) mit Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Die günstigsten fossilfreien Antriebsoptionen im Ortsverkehr sind kurzfristig Busse mit Biotreibstoffen oder der Batteriebus mit statischer Gelegenheitsladung auf der Strecke, sofern keine zusätzlichen Fahrzeugumläufe erforderlich sind. Sie lösen Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus von 12 bis 13 % bzw. 23 % (Gelegenheitslader) aus. Ebenfalls eine gute Option (+ 24 %) stellt der Batterietrolleybus dar, falls nur wenige zusätzliche Oberleitungen benötigt werden.

Im Zeithorizont bis 2035 bleiben die Mehrkosten der günstigsten Optionen in einer ähnlichen Grössenordnung. Interessant wird aber auch der Depotlader, sofern die Reichweiten ausreichen und kein Fahrzeugmehrbedarf resultiert. Die Mehrkosten dieser Batteriebusse sinken dann unter 10 % und schneiden besser ab als die Optionen mit Biotreibstoffen.

Eine wichtige Rolle bei den Berechnungen spielt die Mineralölsteuerrückerstattung¹². Mit der Aufhebung derselben ab dem 1. Januar 2026 für die konzessionierten Transportunternehmen im Ortsverkehr verteuert sich die Referenzvariante Dieselbus. Entsprechend geringer werden die Mehrkosten der fossilfreien Antriebsoptionen. Wie die Abbildung 17 zeigt, verringern sich die Mehrkosten der Batteriebusse kurzfristig um 30 bis 40 % und längerfristig teils deutlich stärker, insbesondere beim Depotlader. Dieser weist längerfristig kaum noch Mehrkosten zum Dieselbus auf (+ 2 %). Bei den Biotreibstoffen werden die Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus mehr als halbiert.

Mehrkosten Gelenkbus im Ortsverkehr ohne Mineralölsteuerrückerstattung

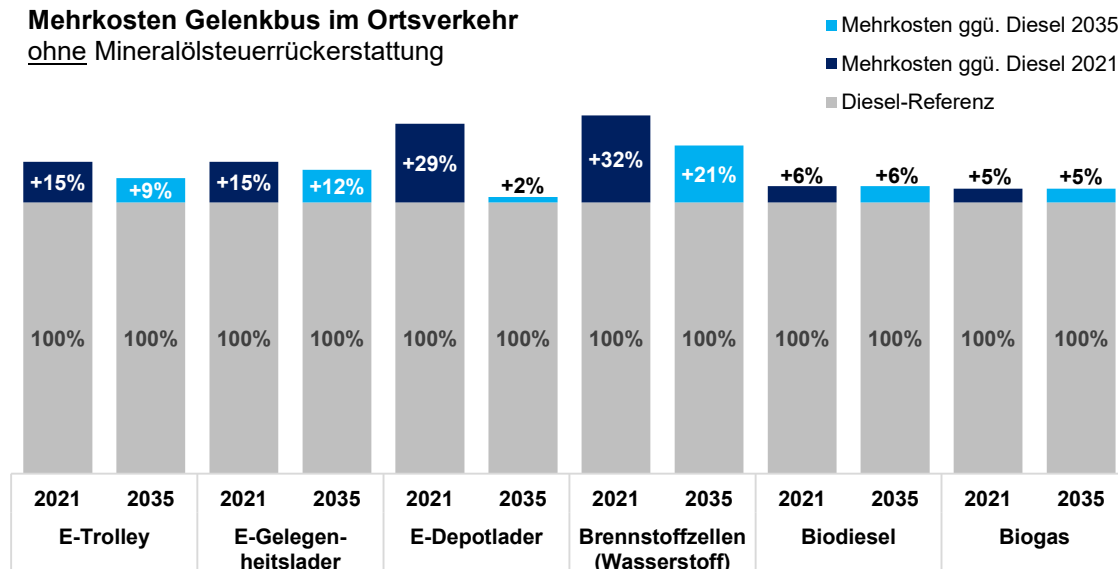


Abbildung 17: Mehrkosten im Orts- oder Agglomerationsverkehr gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) ohne Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Wird eine längere Batterie Lebensdauer von 12 statt 6 Jahren angenommen, werden vor allem die Depotlader mit grossen und entsprechend teuren Batterien finanziell interessanter. Kurz- bzw. mittelfristig verringern sich die Mehrkosten um 20 bis 30 %, längerfristig im Zeithorizont 2035 um über 60 %. Für die Gelegenheitslader mit den kleineren, günstigeren Batterien ist der Effekt entsprechend kleiner. Mit der vorgesehenen Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung wird der Batteriebus langfristig günstiger als der Dieselbus.

3.4.3 Regionaler Personenverkehr im Mittelland

Für den regionalen Personenverkehr sind in Abbildung 18 die relativen Mehrkosten der verschiedenen fossilfreien Antriebsoptionen für einen Standardbus aufgezeigt. Standardbusse stellen im regionalen Personenverkehr im Mittelland die bedeutendste Fahrzeugkategorie dar, die heute über einen Dieselantrieb verfügt.

¹² Aktuell: 60.05 Rappen pro Liter Diesel für Busse mit Partikelfilter oder gleichwertigem System, 31.46 Rappen für Busse ohne Partikelfilter oder gleichwertiges System Bis Ende 2020: 58.59 bzw. 30.00 Rappen pro Liter Diesel.

Mehrkosten Standardbus im RPV mit Mineralölsteuerrückerstattung

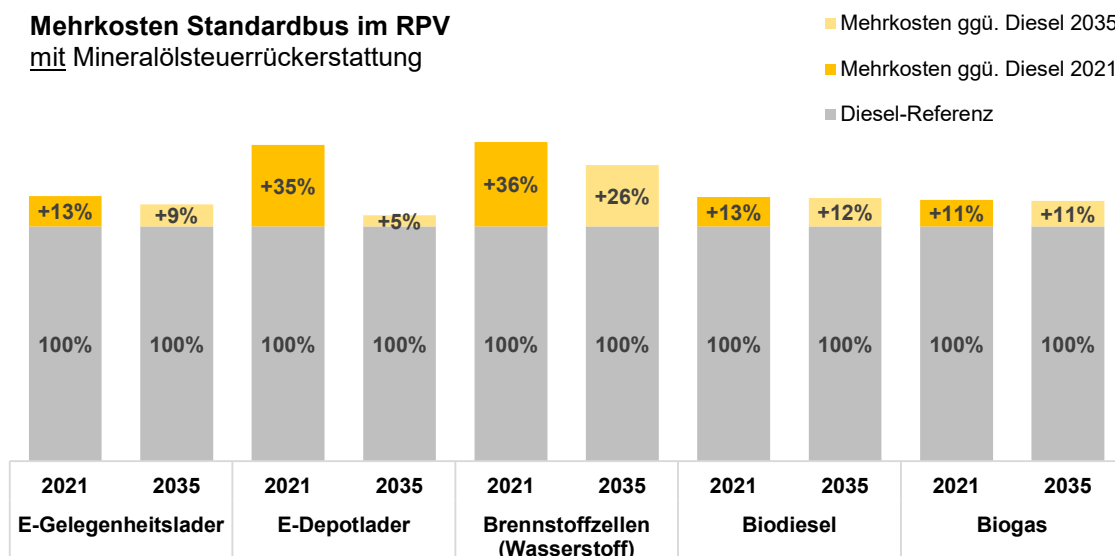


Abbildung 18: Mehrkosten im regionalen Personenverkehr im Mittelland gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) mit Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INF-RAS 2020.

Die günstigsten fossilfreien Antriebsoptionen im Regionalverkehr sind kurzfristig Busse mit Biotreibstoffen sowie der Batteriebus mit statischer Gelegenheitsladung auf der Strecke, sofern keine zusätzlichen Fahrzeugumläufe erforderlich werden. Sie lösen jeweils Mehrkosten gegenüber dem Dieselbus zwischen 10 und 15 % aus.

Längerfristig im Zeithorizont bis 2035 sind die Mehrkosten sämtlicher alternativer Antriebsoptionen Optionen in einer ähnlichen Grössenordnung. Ganz besonders stellt der Depotlader, sofern die Reichweiten ausreichen und kein Fahrzeugmehrbedarf resultiert, eine valable Option dar (+ 5 %). Die Mehrkosten der Batteriebusse unter günstigen Einsatzbedingungen sinken unter 10 % und schneiden besser ab als die Optionen mit Biotreibstoffen. Für die Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung (Abbildung 19) gelten die gleichen Aussagen wie beim Ortsverkehr, jedoch ist diese hier erst ab dem 1. Januar 2030 vorgesehen (Kap. 3.4.2). Auch hier erreicht der Depotlader nahezu das gleiche Kostenniveau wie die Dieselreferenz.

Mehrkosten Standardbus im RPV ohne Mineralölsteuerrückerstattung

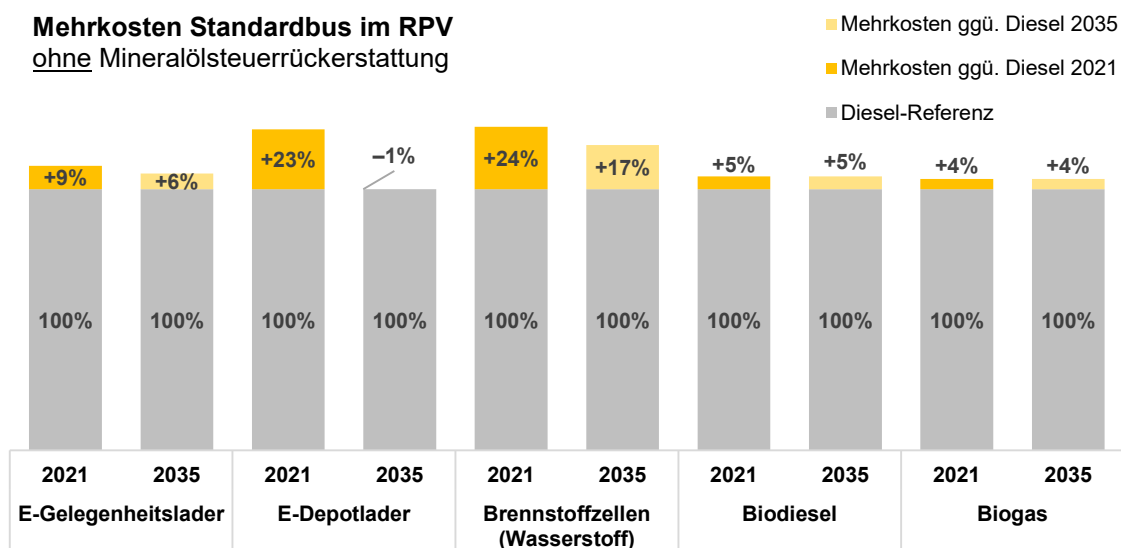


Abbildung 19: Mehrkosten im regionalen Personenverkehr im Mittelland gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) ohne Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

3.4.4 Regionaler Personenverkehr im Berggebiet

Die günstigsten fossilfreien Antriebsoptionen im Regionalverkehr im Berggebiet sind kurzfristig Busse mit Biotreibstoffen und der Batteriebus mit statischer Gelegenheitsladung auf der Strecke, sofern keine zusätzlichen Fahrzeugumläufe erforderlich. Sie führen zu Mehrkosten gegenüber dem Dieselsebus von 10 bis 15 %.

Auch längerfristig im Zeithorizont bis 2035 bleiben die Mehrkosten der günstigsten Optionen in einer ähnlichen Grössenordnung. Nun stellt aber auch der Depotlader, sofern die Reichweiten ausreichen und kein Fahrzeugmehrbedarf resultiert, eine günstige Option dar. Die Mehrkosten der Batteriebusse unter günstigen Einsatzbedingungen sinken sogar unter 10 %. Sie sind damit günstiger als die Optionen mit Biotreibstoffen.

Zum Verzicht auf die Mineralölsteuerrückerstattung gelten die gleichen Aussagen wie beim Ortsverkehr, jedoch ist diese hier erst ab dem 1. Januar 2030 vorgesehen (Kap. 3.4.2).

3.5 Vermeidungskosten

Bezieht man die Mehrkosten fossilfreier Antriebstechnologien ausschliesslich auf die reduzierte Menge an CO₂, resultieren die nachfolgenden diskutierten Vermeidungskosten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Umstellung auf fossilfreie Antriebe mithilft, weitere externe Kosten in den Bereichen Lärm und Luftschadstoffe zu reduzieren.

Die **kurzfristig** günstigsten fossilfreien Antriebsoptionen weisen Reduktionskosten in der Grössenordnung von 500 Schweizer Franken pro Tonne CO₂e auf, bei heutigen Rahmenbedingungen mit Mineralölsteuerrückerstattung im öffentlichen Verkehr. Dies gilt für den Biodieselsebus, den Batteriebus mit statischer Gelegenheitsladung, sofern keine zusätzlichen Fahrzeugumläufe notwendig sind, und den Kombilader bei entsprechenden Rahmenbedingungen.

Auch beim Batterie-Trolleybus sind Reduktionskosten in der Grössenordnung von 500 Schweizer Franken pro Tonne CO₂e bereits kurzfristig möglich, sofern keine oder nur wenige zusätzliche neue Oberleitungen erforderlich sind. Zum Vergleich: das Programm «Elektro- und Hybridbusse» von «myclimate» im Rahmen der CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure basiert auf einem aktuellen Förderbeitrag von 112 Schweizer Franken pro Tonne CO₂e.¹³ Ab dem Jahr 2021 soll der Förderbetrag für Elektrobusse auf 200 CHF pro Tonne CO₂e deutlich erhöht werden. In anderen Sektoren wie beispielsweise im Gebäudebereich werden für Einzelmassnahmen Vermeidungskosten von rund 140 Schweizer Franken pro Tonne CO₂e ausgewiesen.¹⁴

Längerfristig, im Zeithorizont bis 2035, sind mit dem Depotlader in Einsatzfeldern, in welchen Reichweiten von rund 350 Kilometer pro Ladung ausreichen werden, sowie mit den Gelegenheitsladern unter idealen Einsatzbedingungen Vermeidungskosten unter 200 Schweizer Franken pro Tonne CO₂e und damit auch deutlich unter dem Biodiesel möglich. Mit der vorgesehenen Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung sind die Batteriebusse im Zeithorizont bis 2035 nicht mehr teurer als die Dieselsebusse. Die Vermeidungskosten sinken gegen Null (Abbildung 20).

¹³ CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure / Stiftung KLIK.

¹⁴ Quelle: Ecoplan 2012.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

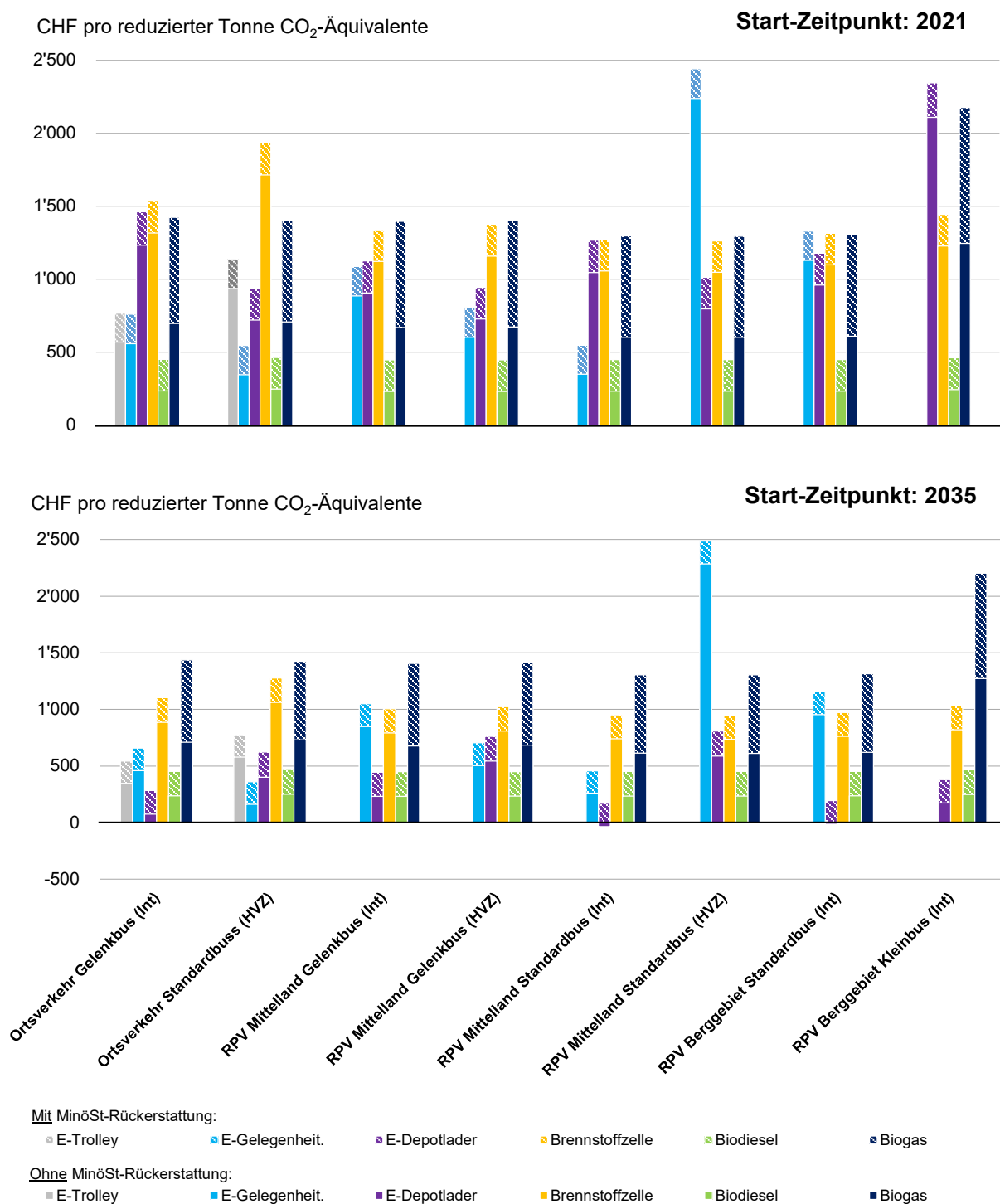


Abbildung 20: Reduktionskosten pro Tonne CO₂e kurz oder langfristig, mit oder ohne Mineralölsteuerrückerstattung (Int: integraler Takt, HVZ: Taktfahrplan mit Verstärkungen in den Hauptverkehrszeiten).
Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

3.6 Weitere Kriterien

Neben den untersuchten Reduktionspotenzialen und Mehrkosten sollten zusätzlich weitere Kriterien berücksichtigt werden, insbesondere zu betrieblichen und angebotsplanerischen Aspekten, sowie zu Stadtraum, Komfort und Genehmigungsverfahren. Tabelle 6 zeigt die Resultate der qualitativen Bewertung für die verschiedenen Antriebsoptionen.

Tabelle 6: Qualitative Bewertung weiterer Kriterien. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

	Qualitative Bewertung gegenüber Dieselbus					
	Batterie-Trolleybus	E-Gelegenheitslader	E-Depotlader	E-Brennstoffzellbus	Biodieselbus	Biogasbus
Betrieb/Angebot						
Flexibilität Fahrzeug-Gesamtflotte			*			
Interventionen bei Betriebsstörungen						
Personaleinsatz/Dienstplanung						
Angebotsplanung/Flexibilität			*			
24h-Betrieb						
Einsatz von Doppelgelenkbussen						
Anpassungen Garagen/Werkstätten						
Stadtraum						
Fahrgastkomfort						
Umsetzungs-/Genehmigungsverfahren						
Legende	schlechter	leicht schlechter	wie Diesel	leicht besser	besser	

* Bei genügend Reichweite

3.7 Gesamtbetrachtung Kosten-Nutzen

Die gesamte Betrachtung von Kosten und Nutzen berücksichtigt ökologische Reduktionspotenziale, Mehrkosten und qualitative Kriterien. Abbildung 21 zeigt das Ergebnis der Auswirkungsanalyse in Form von Bewertungsprofilen der untersuchten fossilfreien Antriebsoptionen als Alternativen zum Dieselbus.

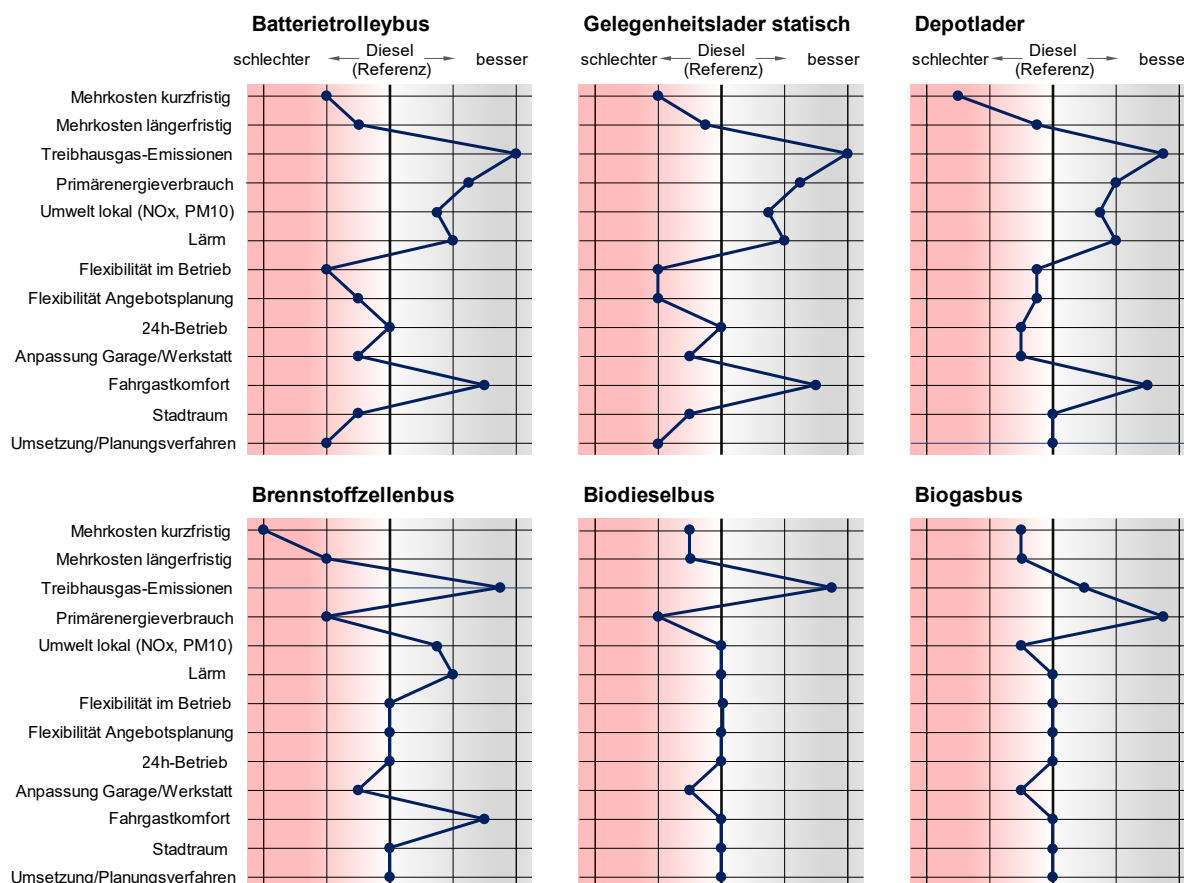


Abbildung 21: Bewertungsprofile der untersuchten fossilfreien Antriebsoptionen. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Aus **ökologischer Sicht** weisen die Batterie-Busse klare Vorteile auf, sowohl bei den Treibhausgasemissionen und dem Primärenergiebedarf als auch bei den lokalen Luftschadstoffen und beim Lärm in den Quartieren. Emissionsseitig bewegen sich die positiven Effekte bei den lokalen Umweltbelastungen im Orts- und Regionalverkehr in ähnlichen Grössenordnungen. Immissionsseitig bzw. aus Sicht der Betroffenen sind jedoch die Effekte beim Ortsverkehr grösser als beim Regionalverkehr, weil aufgrund der dichter Siedlungsgebiete auch mehr Personen von Entlastungen profitieren.

Elektrobusse, insbesondere Depotlader mit grossen Batterien, benötigen im Vergleich zu Dieselnissen potenziell mehr **kritische Materialien**. Die relevantesten sind Lithium, Kobalt, Graphit und Seltene Erden. Die ersten drei sind vor allem in den Batterien enthalten, seltene Erden vorwiegend in den Elektromotoren. Mit den heute bekannten Recyclingverfahren können diese Materialien zu fast 100 % zurückgewonnen werden. Bei Busbatterien darf aufgrund des in der Batterie gespeicherten Materialwerts davon ausgegangen werden, dass ein Recycling am Lebensende tatsächlich stattfinden wird.

Die **Biotreibstoffe** weisen unter Anwendung der sogenannten «cut-off»-Methodik bezüglich der Systemgrenzen von Recycling- und Abfallprodukten einen geringeren Primärenergiebedarf als alle anderen Optionen auf. Sie haben aber ein geringeres Treibhausgas-Reduktionspotenzial (Biogas) als Elektrobusse und bringen gegenüber Dieselnissen keine massgebenden Verbesserungen bei den lokalen Luftschadstoffemissionen und beim Lärm (Biogas und Biodiesel).

Der **Brennstoffzellenbus** schneidet bezüglich Treibhausgasemissionen und lokaler Luftschadstoffe praktisch gleich ab wie die Batteriebusse, weist aber einen sehr hohen Primärenergiebedarf und damit eine geringe Energieeffizienz auf, bedingt durch die Umwandlungsverluste bei der Herstellung des Wasserstoffs sowie bei der Umwandlung von Wasserstoff in Strom in der Brennstoffzelle.

Kurzfristig sind die Batteriebusse **kostenmässig** noch vergleichsweise teuer und die Einsatzpotenziale für zweckmässige Einsätze noch beschränkt. Längerfristig haben die Batteriebusse jedoch das Potenzial, je nach Einsatzbedingungen die kostengünstigsten Optionen zu sein. Die vorgesehene Aufhebung der **Mineralölsteuerrückerstattung** wirkt sich auf die Batteriebusse besonders positiv aus.

Kurzfristig stellen die Biotreibstoffe die günstigsten Alternativen dar. Hierzu stellt sich jedoch die Frage, ob in einer Übergangsphase, bis die Vorteile der Batteriebusse voll zum Tragen kommen, auf diese Optionen umgeschwenkt werden soll. Damit verbunden wäre die Errichtung von Biodiesel- oder Biogastankstellen, Werkstattanpassung und Personalumschulungen. Problematisch bei Biotreibstoffen ist auch die beschränkte Verfügbarkeit für in der Schweiz hergestellte Biotreibstoffe. Schweizer Biodiesel aus gebrauchtem Speiseöl dürfte nicht für alle Busse im öffentlichen Verkehr ausreichen und könnte somit höchstens auf einzelnen Linien eine Option darstellen. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, ob eine Verwendung in Bereichen im Vordergrund stehen soll, wo Alternativen für eine Reduktion der Treibhausgasemissionen zurzeit noch fehlen. Dies ist bei den Langstrecken-LKWs, bei Hochseeschiffen, im Flugverkehr oder in der Landwirtschaft der Fall.

Aus einer Gesamtbetrachtung von Kosten und Nutzen **können bereits heute Batteriebusse als fossilfreie Alternative zu den Dieselnissen zweckmässig sein**, allerdings abhängig von den spezifischen betrieblichen und finanziellen Rahmenbedingungen.

Längerfristig wird sich aufgrund der absehbaren Entwicklungen bei den Batteriebussen sowohl in technischer Hinsicht als auch bezüglich Kosten das Potenzial für zweckmässige Einsätze stark erweitern. Die CO₂-Vermeidungskosten der Elektrobusse sinken dann deutlich auf Werte unter 200 Schweizer Franken pro Tonne CO₂. Mit der Aufhebung der **Mineralölsteuerrückerstattung** sinken sie unter idealen Einsatzbedingungen sogar gegen Null. Im Zusammenhang mit den noch hohen CO₂-Vermeidungskosten ist zu berücksichtigen, dass Elektrobusse helfen, weitere externe Kosten in den Bereichen Lärm und Luftschadstoffe zu vermeiden, dies im Gegensatz zu mit Biotreibstoffen angetriebenen Bussen. Die Mehrkosten sollen daher nicht nur in Bezug zur CO₂-Reduktion betrachtet werden. Welche Option der Batteriebusse – Batterietrolleybus, Depotlader, statischer Gelegenheitslader oder gar Brennstoffzellenbus – im konkreten Fall im Vordergrund steht, hängt von den spezifischen Umfeld- und Einsatzbedingungen einer Linie oder eines Liniennetzes ab.

4 Regulatorische Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten

4.1 Bestehende Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten

4.1.1 Übersicht

Im Rahmen der ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs unterstützt der Bund zusammen mit den Kantonen den regionalen Personenverkehr, währenddessen der Ortsverkehr von Kantonen und Gemeinden gemeinsam finanziert wird.

Tabelle 7: Finanzierung öffentlicher Verkehr¹⁵ durch die öffentliche Hand. Quelle: Litra 2019.

Marktbereich	Körperschaft	Finanzielle Mittel (Mio. CHF)		Anteil %
Regionalverkehr	Bund	969	969	26%
	Kantone	977		
			1'940	51%
Ortsverkehr	Kantone	963		
	Gemeinden	855	855	23%

Förderprogramme auf kantonaler und kommunaler Ebene fokussieren heute primär auf die Unterstützung einer Ladeinfrastruktur. Die bereits heute auf Elektrobusse umgestellten Linien wurden mehrheitlich durch kantonale oder städtische Fördermittel sowie innerhalb des Instruments der CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure durch das Programm «Hybrid- und E-Busse» von «myclimate» unterstützt.

4.1.2 Bestehende nationale Fördermassnahmen

Die verschiedenen bereits bestehenden nationalen Fördermassnahmen und die ordentliche Finanzierung des öffentlichen Verkehrs decken alle Phasen der Technologieeinführung ab (Abbildung 22). Kantonale und kommunale Fördermassnahmen zusätzlich zur ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs sind eher die Ausnahme.

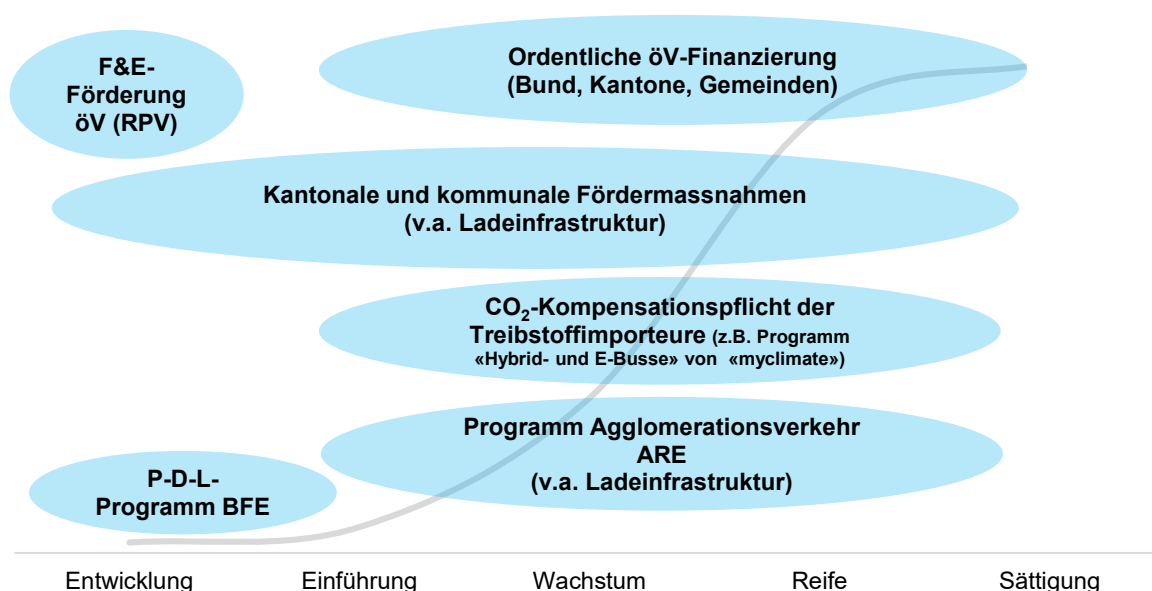


Abbildung 22: Einordnung der Finanzierungsmöglichkeiten. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

¹⁵ Die Tabelle zeigt nur den Teil Verkehr ohne Infrastruktur. Da im RPV auch Eisenbahnlinien finanziert werden, fehlt entsprechend bei der Finanzierung durch den Bund die Finanzierung der Bahninfrastruktur.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Das Kompensationsprogramm «Hybrid- und E-Busse» von «myclimate» dürfte bis zur Phase der Marktdurchdringung von Elektro- und Hybridbussen von Bedeutung sein. Ist die Marktdurchdringung erfolgt, fällt das per Gesetz erforderliche Kriterium der fehlenden Wirtschaftlichkeit weg und entsprechend können Minderemissionen nicht mehr geltend gemacht bzw. Bescheinigungen dafür beantragt werden.

Zuständigkeiten, Förderumfang und Geltungsbereich variieren bei den bestehenden Finanzierungsmöglichkeiten und Fördermassnahmen (Tabelle 8). Auch die Prozesse folgen unterschiedlichen Gesetzmässigkeiten. Die ordentliche Finanzierung des öffentlichen Verkehrs und das Programm «Agglomerationsverkehr (PAV)» sind regelmässig laufende Prozesse, wobei diese in der Regel alle zwei bzw. vier Jahre neu beginnen. In der ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs sind alle drei Ebenen der Gebietskörperschaften involviert, wobei den Kantonen eine zentrale Rolle zukommt. Zusätzliche Fördermassnahmen auf kantonaler und kommunaler existieren nur in einzelnen Fällen.

Tabelle 8: Übersicht bestehender Finanzierung im öffentlichen Verkehr und Fördermassnahmen.

Finanzierungs-/Fördermöglichkeit	Zuständigkeit	Fahrzeuge		Ladeinfrastruktur		Marktbereich		
		Inv./ Abschr.	BK	Inv./ Abschr.	BK	OV	RPV	FV
Ordentliche öV-Finanzierung (Bund, Kantone, Gemeinden)	Bund, Kantone, Gemeinden	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
F&E sowie Innovationen im öV aus RPV-Kredit (ab 2020)	Bund (BAV)	✓		✓		(✓)***	✓	(✓)***
P-D-L-Programm	Bund (BFE)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Programm Agglomerationsverkehr (PAV)*	Bund (ARE)	(✓)		✓		✓	(✓)	
CO ₂ -Kompensationspflicht Treibstoffimporteure, myclimate Programm «Elektro- und Hybridbusse»**	myclimate / KliK Bund (BAFU/BFE)	✓				✓	✓	✓
Kantonales Förderprogramm Ladeinfrastruktur (Bsp. Bern)	Kanton			✓		✓	✓	
Kommunale Förderung Ladeinfrastruktur (Bsp. Ökofonds/ewb)	Gemeinde			✓		✓	(✓)	
Kommunale Förderung Fahrzeug + Ladeinfrastruktur (Bsp. Stromsparmünds/ewz)	Gemeinde	✓		✓		✓	(✓)	

Legende: ✓ ja / (✓) unter gewissen Bedingungen möglich

Inv.: Investitionen, Abschr.: Abschreibung, BK: Betriebskosten, OV: Ortsverkehr, RPV: Regionaler Personenverkehr, FV: Fernverkehr

* Mitfinanzierung von Mehrkosten für die Beschaffung von Fahrzeugen (v.a. E-Fahrzeuge als Gelegenheits-/Depotlader), sofern diese zu Einsparungen der Infrastrukturkosten für Oberleitungen für Trolleybusse führen, möglich (Art. 17a Abs. 2^{bis} MinVG)

** Neu auch Hybrid-Trolleybusse

*** F&E (Forschung und Entwicklung)

Fördermassnahmen zusätzlich zur ordentlichen Finanzierung fokussieren hauptsächlich auf elektrisch angetriebene Fahrzeuge (Tabelle 9). Biodiesel- und Biogas-Busse werden heute insbesondere im Rahmen der Bestellung des öffentlichen Verkehrs finanziert. Neuartige Lösungen und Innovationen im Sinne der Forschung und Entwicklung sowie Innovationen im öffentlichen Verkehr (Bundesamt für Verkehr, BAV) und das Pilot-, Demonstration- und Leuchtturmprogramm (Bundesamt für Energie, BFE) sind im Hinblick auf die Marktdurchdringung nicht relevant. Das Programm für den Agglomerationsverkehr (Bundesamt für Raumentwicklung, ARE) finanziert hauptsächlich infrastrukturseitige Massnahmen und nur in Spezialfällen die Beschaffung von Fahrzeugen.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Das Kompensationsprogramm «Elektro- und Hybridbusse» ist zurzeit das einzige ergänzende Programm auf nationaler Ebene, welches zusätzlich zur Finanzierung des öffentlichen Verkehrs die fossil-freien oder -armen Antriebstechnologien durch Teilfinanzierung der Mehrkosten fördert, wobei die Zusätzlichkeit¹⁶ erfüllt sein muss und sich das Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs die CO₂-Reduktion im Falle deren Veräusserung an die kompensationspflichtigen Treibstoffimporteure nicht anrechnen lassen kann.

Die Stärken und Schwächen der bestehenden Finanzierungen und Fördermöglichkeiten werden zusammenfassend in Tabelle 10 dargestellt.

Tabelle 9: Finanzierung bzw. Fördermöglichkeiten von Fahrzeugen und Antriebstechnologien.

	E-Depotlader	E-Gelegenheitslader	Batterie-Trolleybus	Brennstoffzellen	Biodiesel	Biogas
Ordentliche öV-Finanzierung	✓	✓	✓	✓	✓	✓
F&E sowie Innovationen im öV aus RPV-Kredit (ab 2020)*	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
P-D-L-Programm*	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)
Programm Agglomerationsverkehr (PAV)**	✓	✓	✓	✓	✓	✓
CO ₂ -Kompensationspflicht Treibstoffimporteure, myclimate Programm «Elektro- und Hybridbusse»	✓	✓	✓			
Kommunale Förderung Fahrzeug + Ladeinfrastruktur (Bsp. Stromsparfonds/ewz)	✓	✓	✓	✓		

* Es werden zwar keine Antriebstechnologien ausgeschlossen, die Fördermöglichkeiten haben jedoch an Bedeutung verloren (fehlender Innovationscharakter von neuen Investitionen).

** Mitfinanzierung von Oberleitungen, Ladestationen und Mehrkosten für die Beschaffung von speziellen Fahrzeugen, sofern diese zu Einsparungen der Infrastrukturkosten führen, möglich (Art. 17a Abs. 2^{bis} MinVG).

Tabelle 10: Stärke und Schwäche der bestehenden Finanzierungen und Fördermöglichkeiten.

Möglichkeiten	Stärken	Schwächen
Ordentliche Finanzierung des öffentlichen Verkehrs	▪ Abgeltung jährlicher Mehrkosten für Fahrzeuge und in der Regel auch Ladeinfrastruktur möglich (Bund sowie fast alle Kantone) ▪ Fortlaufender Prozess (Sicherstellung Grundversorgung) ▪ zusätzlich Investitionskredite (aber nicht durch den Bund) möglich sowie Bundesbürgschaft für Investitionen im regionalen Personenverkehr ▪ Schnittstelle zu Eignerstrategien (z. B. Basel-Stadt)	▪ an Budgetprozess gebunden (jährlich), in der Regel Zusicherung für 2 Jahre. Verpflichtungskredit des Bundes und einzelne kantonale Kredite vierjährlich. ▪ Orientierung in der Regel am letzten Jahresbudget, finanzielle Ergiebigkeit fraglich (Mittelkonkurrenz bzw. Priorität Aufrechterhaltung bestehendes Angebot) ▪ Keine Berücksichtigung von Umweltzielen im regionalen Personenverkehr (Qualitätsmanagementsystem). Bei der Bestellung gemäss Art. 31a dem

¹⁶ Der Grundsatz der Zusätzlichkeit ist die zentrale Anforderung für alle Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland. Dabei werden nur für Emissionsverminderungen aus Projekten und Programmen, die ohne den Erlös aus den Bescheinigungen von CO₂-Reduktionen nicht erzielt worden wären, entsprechende Bescheinigungen ausgestellt. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn das Projekt oder Programm nur dank dem Verkauf von Bescheinigungen wirtschaftlich ist und Massnahmen vorsieht, die über die Referenzentwicklung hinausgehen.

		Bundesgesetz vom 20. März 2009¹⁷ über die Personenbeförderung (Personenbeförderungsgesetz, PBG) dagegen schon möglich. ▪ Unterschiedliche Rahmenbedingungen im regionalen Personenverkehr und Ortsverkehr sowie zwischen den Kantonen ▪ Verfügbarkeit finanzieller Mittel bei Bund, Kantonen und Gemeinden sehr unterschiedlich
Forschung und Entwicklung sowie Innovationen im öffentlichen Verkehr aus dem Kredit für den regionalen Personenverkehr (ab 2022)	▪ Entwicklung, Pilotversuche etc. für neuartige Technologien für gesamten öffentlichen Verkehr ▪ Zusätzliche Förderung von Innovationen im regionalen Personenverkehr ▪ Schnittstelle zur ordentlichen Finanzierung öffentlichen Verkehr (regionalen Personenverkehr)	▪ Beschränkung neuartige Lösungen (kein Pilotbetrieb/Markthochlauf), hat dadurch kaum eine Bedeutung ▪ Schwäche, wenn nur der regionale Personenverkehr profitiert ▪ finanzielle Ergiebigkeit (5 Millionen Schweizer pro Jahr) fraglich (z. B. Mehraufwand)
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturm-Programm	▪ Zusätzliche Förderung im Fern-, Regional- und Ortsverkehr von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur (Anschaffung und Betrieb) möglich ▪ Unterstützung der Netzwirkbildung	▪ Fokus auf Erprobung und Demonstration von Innovationen (kein Markthochlauf), verliert entsprechend an Bedeutung ▪ Zusätzliche Schnittstelle zur ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs
Programm «Agglomerationsverkehr (PAV)»	▪ Ergänzende Mitfinanzierung im Agglomerationsverkehr ▪ Mitfinanzierung von Verkehrsinfrastrukturmassnahmen (Oberleitungen Trolleybusse, Ladestationen an Haltestellen oder in Depots inklusive nötiger Elektroinstallationen), wenn eine Gesamtkonzeption vorliegt ▪ Mitfinanzierung des Mehraufwands des Rollmaterials (inklusive Strassenfahrzeuge), wenn erhebliche Infrastrukturkosten eingespart werden können (insbesondere die Mehrkosten neuer Elektrobus-Generationen, welche oberleitungsfrei fahren können)	▪ Keine generelle Förderung der Umstellung von Dieseln auf fossilfreie, energieeffiziente Busse (Mitfinanzierung in Ausnahmefällen) ▪ Verhältnismässig langer Prozessvorlauf
CO₂-Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure, Programm «Elektro- und Hybridbusse» von «myclimate»	▪ Förderung der Neubeschaffung von Hybrid- oder Elektrobusen (unabhängig ob Orts-, Regional- oder Fernverkehr) statt Dieseln sowie neu auch Hybrid-Trolleybusse ▪ Möglichkeit der Vorfinanzierung zum Zeitpunkt der Investition ▪ Keine öffentlichen Mittel und damit nicht an Budgetprozess (politischen Prozess) gebunden, einfacher Anmeldeprozess ▪ Grundsätzlich keine Begrenzung der Anzahl geförderter Busse ▪ Das Instrument ist offen für weitere Programme	▪ Förderbeitrag pro Tonne CO₂ orientiert sich nicht an den Mehrkosten (Verhandlungsergebnis «myclimate»/«KliK»). ▪ Das Programm ist v.a. für Teilnehmer interessant ist, die schon eine hohe Zahlungsbereitschaft für die Umstellung der Flotte zeigen. ▪ Keine Anrechnung der CO₂-Kompensation durch die konzessionierten Transportunternehmen möglich ▪ Keine Förderung von Ladeinfrastruktur
Kantonales Förderprogramm Energie Ladeinfrastruktur (Bsp. Bern)	▪ Zusätzliche Mittel zur ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs im Regional- und Ortsverkehr für Ladeinfrastruktur ▪ Orientierung an den anrechenbaren Investitionskosten	▪ Auf Ladeinfrastruktur begrenzt, keine Förderung zusätzlicher baulicher Massnahmen zur Installation oder elektrischem Anschluss ▪ Keine Anrechnung CO₂-Kompensation durch die konzessionierten Transportunternehmen oder Abtretung an andere Organisation

¹⁷ SR 745.1

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Kommunale Förderung Ladeinfrastruktur (Bsp. Ökofonds/ewb)	■ Zusätzliche Mittel zur ordentlichen Finanzierung der Ladeinfrastruktur des öffentlichen Verkehrs, insbesondere im Ortsverkehr (Ökofonds)	■ Auf Investitionskosten und örtlich beschränkt ■ Finanzielle Ergiebigkeit fraglich ■ Keine Finanzierung von Fahrzeugen
Kommunale Förderung Fahrzeuge + Ladeinfrastruktur (Bsp. Stromsparfonds/ewz)	■ Zusätzliche Mittel zur ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs, insbesondere im Ortsverkehr (Stromsparfonds) ■ Ladeinfrastruktur und Fahrzeuge ■ Orientierung an den anrechenbaren Investitionskosten	■ Auf Investitionskosten und örtlich beschränkt

Da der öffentliche Verkehr öffentlich bestellt und finanziert wird¹⁸, stellt sich die grundsätzliche Frage, inwiefern es zusätzliche Fördermassnahmen braucht oder ob im Rahmen des Bestellprozesses und im Rahmen der strategischen Zielsetzungen der öffentlichen Unternehmen die Umstellung auf fossilfreie, energieeffiziente Fahrzeugen im öffentlichen Verkehr gefördert werden kann. Den Kantonen, die die Bestellung im regionalen Personenverkehr koordinieren und oft im Ortsverkehr mitfinanzieren, kommt hierbei eine wichtige Rolle zu. Kantonale Strategien und Konzepte für einen fossilfreien, energieeffizienten öffentlichen Verkehr können die Durchdringung fördern. Gleichzeitig müssen hierfür aber auch die entsprechenden finanziellen Mittel seitens Bund, Kantonen und Gemeinden zur Verfügung stehen.

Das Bestellverfahren und das Qualitätsmesssystem im regionalen Personenverkehr berücksichtigt heute keine Umweltziele. Die Einführung eines nationalen Benchmarking-Systems für den gesamten bestellten öffentlichen Personenverkehr ist vorgesehen (Reform RPV). In diesem Rahmen könnten Umweltziele und ein entsprechendes Monitoring und Benchmarking aufgebaut werden. Dies würde die Begründung allfälliger Mehrkosten im Rahmen der Bestellung und Beschaffung erleichtern. Hierbei ist jedoch der Trade-off zu den Projekten im Rahmen der CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure zu berücksichtigen. Werden Vorgaben betreffend Umweltstandards der zu beschaffenden Busse seitens der Besteller gemacht, kann der Nachweis der Zusätzlichkeit erschwert werden.

4.1.3 Kantonale und ausgewählte kommunale Fördermassnahmen

Es bestehen unterschiedliche kantonale Rahmenbedingungen, Finanzierungen und Fördermöglichkeiten (Tabelle 11). Rund ein Drittel der Kantone hat aktuell eine Strategie für einen fossilfreien, energieeffizienten öffentlichen Verkehr und in zwei Kantonen ist eine Strategie in Vorbereitung. In fast allen Kantonen können die Mehrkosten für fossilfreie, energieeffiziente Busse im Rahmen der ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs grundsätzlich finanziert werden bzw. wurden bereits mitfinanziert.

Verschiedene Fördermassnahmen auf nationaler Ebene spielten bei den im Folgenden aufgezeigten Beispielen für die Beschaffung und Förderung fossilfreier Busse eine Rolle:

- CO₂-Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure, Programm «Hybrid- und Elektrobusse» von «myclimate»
- Agglomerationsprogramm für Infrastruktur (hauptsächlich Oberleitungen für Trolleybusse, aber auch Ladestationen etc.)
- Pilot-, Demonstration- und Leuchtturmprogramm, z. B. für Genf (Tansports publics genevois, tpg) und Zürich (Verkehrsbetriebe Zürich, VBZ)

Kantonale Fördermassnahmen zusätzlich zur ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs gibt es im Kanton Bern. Aus dem kantonalen Förderprogramm können Ladeinfrastruktur für den öffentlichen Verkehr mitfinanziert werden. Die CO₂-Wirkung wird dem Kanton Bern angerechnet.

¹⁸ Mit Ausnahme vom Fernverkehr und touristischen Angeboten, welche nicht zwingend bestellt und abgegolten werden.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

In einzelnen Gemeinden sind Förderungen hauptsächlich der Ladeinfrastruktur zusätzlich zur ordentlichen Finanzierung möglich. Hervorzuheben sind das Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (Gemeinden in Zürich und Graubünden) mit einem Förderprogramm zur Finanzierung von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur sowie Energie Wasser Bern (Stadt Bern) mit der Förderung von Ladestationen.

Finanzielle Förderungen aus europäischen Fördermassnahmen spielen praktisch keine Rolle.

Tabelle 11: Finanzielle Förderungen für einen fossilfreien öffentlichen Verkehr.

Kanton	Strategie o.ä.	Gesetzliche Grundlage	Finanzierung Mehrkosten aus öV-Budget grundsätzlich möglich	Kantonales Förderprogramm für öV	Fzg-Inv. (Abschr.)	Betriebskosten	Ladeinfrastruktur
Aargau	nein (in Arbeit)	nein	ja	Nein	x		X
Appenzell AI	nein	nein	ja	Nein	x	X	
Appenzell AR	nein	nein	k.A.	Nein		k.A.	
Bern	ja	ja	ja	ja*	x	X	X
Basel-Landschaft	ja	nein	ja	Nein	x	X	X
Basel-Stadt	ja	ja	ja	Nein	x	X	X
Freiburg	ja	ja	ja	Nein		X	X
Genf	ja	ja	ja	Nein	x	X	X
Glarus	nein	ja	ja	Nein	x	X	k.A.
Graubünden	nein	nein	ja	Nein	x	X	X
Jura	nein	nein	ja	Nein	x	X	k.A.
Luzern	ja	nein	ja	Nein	x	X	X
Neuchâtel	nein	nein	ja	Nein	x	X	k.A.
Nidwalden	nein	nein	ja	Nein	x	X	k.A.
Obwalden	nein	nein	ja	Nein	x	X	k.A.
Schaffhausen	nein	nein	RPV: nein, OV: ja	Nein	(x)**	(x)**	(x)**
Solothurn	nein	nein (in Arbeit)	ja	nein (in Arbeit)	x	X	k.A.
St. Gallen	ja	ja	ja	Nein	x	X	X
Schwyz	nein	nein	ja	Nein	x	X	
Thurgau	nein (geplant)	nein	nein	Nein	x		X
Tessin	nein	nein	ja	Nein	x	X	
Uri	nein	nein	ja	Nein		k.A.	
Waadt	nein	nein	ja	Nein	x	X	X
Wallis	nein	ja	ja	Nein		X	
Zug	nein	nein	ja	Nein	x		X
Zürich	ja	nein	ja	Nein	x	X	X

OV: Ortsverkehr, RPV: regionaler Personenverkehr, Fzg-Inv.: Fahrzeuginvestitionen, Abschr.: Abschreibung

* für Ladestationen im Ortsverkehr, ** Finanzierung Stadt Schaffhausen.

4.1.4 Mineralölsteuerrückerstattung für Busse im konzessionierten Verkehr

In der Sparte Verkehr sind die konzessionierten Tätigkeiten von der direkten Bundessteuer befreit, wenn diese bestellt und abgegolten werden (Art. 56 Bst. d DBG, SR 642.11.).

Die Mineralölsteuer wird für Treibstoffe, die durch die vom Bund konzessionierten Transportunternehmen verwendet werden, ganz oder teilweise rückerstattet (Art. 18 Abs. 1^{bis} MinöStG). Der Bundesrat hat festgelegt, dass die Mineralölsteuerrückerstattung für konzessionierten Transportunternehmen aus ökologischen Gründen differenziert wird (Art. 49 MinöStV). Die Verordnung des Eidgenössischen Finanzdepartements über die Steuerbegünstigungen bei der Mineralölsteuer vom 22. November 2013¹⁹ legt die Details fest. Die konzessionierten Transportunternehmen erhielten durchschnittlich Mineralölsteuerrückerstattungen von insgesamt rund 70 Millionen Schweizer Franken pro Jahr. Rund ein Drittel davon entfallen auf die PostAuto AG.²⁰

Tabelle 12: Details Mineralölsteuerrückerstattung.

Fahrzeug	Rückerstattung
Strassenfahrzeuge ohne Partikelfilter oder gleichwertiges System	Mineralölsteuerzuschlag (31.46 Rappen pro Liter Diesel) ²¹
Strassenfahrzeuge mit Partikelfilter oder gleichwertigem System sowie EURO-IV-, EURO-V- und EEV-Fahrzeuge ohne Partikelfilter oder gleichwertiges System, die gemäss Fahrzeugausweis bis zum 31. Dezember 2007 erstmals zum Verkehr zugelassen wurden	Mineralölsteuerzuschlag und teilweise Mineralölsteuer (60.05 Rappen pro Liter Diesel) ²²

EEV: Enhanced environmentally friendly vehicle

Die pauschale Mineralölsteuerrückerstattung begünstigt die Beschaffung und Nutzung von Dieselfahrzeugen und setzt daher einen Fehlanreiz im Hinblick auf die Förderung umweltschonender Fahrzeuge. Im Rahmen der Totalrevision des CO₂-Gesetzes wurde vom Parlament eine Anpassung der Mineralölsteuerrückerstattung für konzessionierten Transportunternehmen beschlossen (Änderung Mineralölsteuergesetz). Die Rückerstattung der Mineralölsteuer entfällt ab 2026 für Fahrzeuge im Ortsverkehr und ab 2030 für die im regionalen Personenverkehr eingesetzten Fahrzeuge, soweit die Umrüstung auf fossilfreie Busse der entsprechenden Linien aus topografischen Gründen möglich ist. Die Mehreinnahmen, die der Bund nach Wegfall dieser Rückerstattung erzielt, sollen eingesetzt werden, um alternative Antriebe zu fördern.²³

Grundsätzlich ist zu beachten, dass die Abschaffung der Mineralölsteuerrückerstattung zur Beseitigung dieses Fehlanreizes zu einer Reduktion der Mehrkosten fossilfreier Busse gegenüber den Dieselfahrzeugen führt, d. h. die Dieselfahrzeuge werden teurer und somit die fossilfreien Busse attraktiver. Gleichzeitig steigen dadurch – unter der Annahme gleichbleibender Tarife und damit Einnahmen der Transportunternehmen – aber auch die Abgeltungen der Besteller. Die Mehreinnahmen nach dem neuen Art. 48 Abs. 2^{bis} MinöStG sind zweckgebunden zur Förderung CO₂-neutraler, erneuerbarer Antriebstechnologien im strassengebundenen öffentlichen Verkehr zu verwenden.

4.2 Ausland

Die gewählten Fallstudien (Deutschland, Frankreich, England, Niederlande und Österreich) zeigen, dass die finanziellen Fördermassnahmen sehr unterschiedlich ausgestaltet sind und sich die nationalen Förderstrategien unterscheiden (Tabelle 13). Beim Vergleich mit dem Ausland sind die Fördermassnahmen

¹⁹ SR 641.612

²⁰ 19.3375 Interpellation NR Grossen Rückerstattung der Mineralölsteuer. Ist das zukunftsweisend? (<https://www.parlament.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaefte?AffairId=20193375>).

²¹ Bis Ende 2020: 30 Rappen pro Liter Diesel.

²² Bis Ende 2020: 58.59 Rappen pro Liter Diesel.

²³ Revidiertes CO₂-Gesetz: <https://www.admin.ch/opc/de/federal-gazette/2020/7847.pdf>.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

jeweils vor dem Hintergrund der regulatorischen Rahmenbedingungen und Finanzierungsverantwortlichkeiten im öffentlichen Personenverkehr sowie allfälligen ergänzenden Massnahmen zu betrachten.

Gemäss Europäischen Rechtsrahmen («Clean Vehicle Directive»)²⁴ wird die Förderung alternativ angetriebener Fahrzeuge durch Beschaffungsvorgaben durch die Festlegung von Mindestanteilen sauberer Fahrzeugen an den gesamthaft beschafften Fahrzeugen ergänzt mit entsprechenden finanziellen Fördermassnahmen angestrebt. Die angepasste Richtlinie wurde bisher in Frankreich in nationales Recht implementiert.

In Deutschland und Grossbritannien werden im Rahmen von nationalen Förderprogrammen die Marktdurchdringung mit fossilfreien Bussen massgeblich finanziell gefördert. Vor allem zu Beginn werden sehr hohe Förderquoten in Bezug auf die Investitionsmehrkosten finanziert und können – wie in England – sukzessive gesenkt werden. Aktuell beträgt die Förderquote in Deutschland 40 % (Plug-in-Hybrid-Busse und Ladeinfrastruktur) bzw. 80 % (Elektrobus) der Investitionsmehrkosten. In England orientiert sich der Förderbeitrag inzwischen sowohl an den Investitionsmehrkosten als auch der reduzierten Menge CO₂.

Sektorspezifische Ziele gelten in den Niederlanden und in Frankreich. Mit Mindestvorgaben für die Beschaffung neuer Fahrzeuge wird die Marktdurchdringung gesetzlich festgelegt. Ordnungspolitische Massnahmen (Umweltzonen für Busse) wie in Frankreich und Grossbritannien können die Marktdurchdringung ergänzend fördern.

Tabelle 13: Überblick Fallstudien Ausland.

Land	Nationale Förderprogramme	Beispiele	Sonstiges
Deutschland	▪ Sofortprogramm Saubere Luft 2017–2020 ▪ Innovationsprogramm Wasserstoff- und Brennstoffzellentechnologie (NIP II)	Strategie der BVG (Berliner Verkehrsbetriebe)	Stromsteuer: Verminderte Stromsteuer für die Ladung von Elektrobusen
Frankreich	MoéBUS	Busse im öffentlichen Personenverkehr in Paris: Komplette Umstellung der 4'700 Busse auf Elektro- und Biogasbusse (Finanzierung durch Green Bonds)	▪ Stromabgabe: Stark reduziert für Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs ▪ Einführung <i>zones à circulation restreinte</i> (ZCR)
England	▪ Green Bus Fund (2009–2015) ▪ Low Emission Bus Scheme (2015–2017) ▪ Ultra-Low Emission Bus Scheme (2018–2021)	Auszahlung von 6 Pennies pro gefahrenem Kilometer von klimaschonenden Bussen (Bonus)	Definition von <i>Low Emission Bus Zones</i>
Niederlande	▪ MIA (Environmental investment allowance) und Vamil (Random depreciation of environmental investments scheme) ▪ Förderprogramm «DKTI-Verkehr 2019»	Nationales Abkommen zur Beschaffung emissionsfreier Busse (Bestuursakkoord Zero Emissie Regionaal Openbaar Vervoer Per Bus)	Grosse Unterstützung durch EU-Förderprogramme
Österreich	▪ Klimaschutzinitiative klimaktiv mobil ▪ Förderprogramm Zero Emission Mobility	Holding Graz: move2zero	

²⁴ Richtlinie (EU) 2019/1161 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge, ABl. L 188 vom 12.7.2019, S. 116.

5 Schweizweites Einsatzpotenzial und Finanzierungsbedarf

5.1 Vorgehen

Batteriebusse stehen als fossilfreie Antriebsoptionen für den Ersatz der Dieselsebusse aus einer Gesamt-sicht bezüglich Kosten und Umweltnutzen im Vordergrund (Kap. 3.7). Nachstehend wird das gesamte Potenzial für die Umstellung von Dieselsebusen auf Batteriebusse dargestellt. Es wurde aus der Bestandsanalyse zu den Busflotten im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr der Schweiz hergeleitet. Daraus abgeleitet werden die CO₂-Reduktionspotenziale sowie die generierten, heutigen und künftigen Mehrkosten für die ganze Schweiz hochgerechnet. Daraus kann der zusätzliche Finanzierungsbedarf mit Berücksichtigung der aktuellen, nationalen Fördermöglichkeiten abgeleitet werden.

5.2 Szenarien (Potenzial)

In den folgenden Kapiteln werden die kurz-, mittel- und langfristigen Potenziale für die Umstellung auf fossilfreie Antriebstechnologien entlang von drei Szenarien («maximal», «realistisch» und «langsame Umstellung») aufgezeigt und der entsprechende Finanzierungsbedarf abgeschätzt. Die Szenarien zeigen mögliche Pfade und eine Bandbreite des Anspruchsniveaus für die Umstellung von Diesel- auf fossilfreie Busse auf. Das Szenario «maximal» stellt das maximale Potenzial dar, d.h. sämtliche Dieselsebusse werden ab 2023 durch Batteriebusse ersetzt. Das «realistische» Szenario entspricht einem ambitionierten Umstellungspfad. Das Szenario «langsame Umstellung» berücksichtigt einen längerfristigen Zeithorizont für die Umstellung.

5.2.1 Anzahl zu ersetzende Dieselsebusse – Szenario «maximal»

In den nächsten rund 15 Jahren wird ein maximales Potenzial für Batteriebusse im Regionalverkehr von rund 3'700 Fahrzeugen (bis zu 400 Busse pro Jahr) und im Ortsverkehr von ca. 1'800 Fahrzeugen (100 – 200 Busse pro Jahr) erwartet (Abbildung 23).

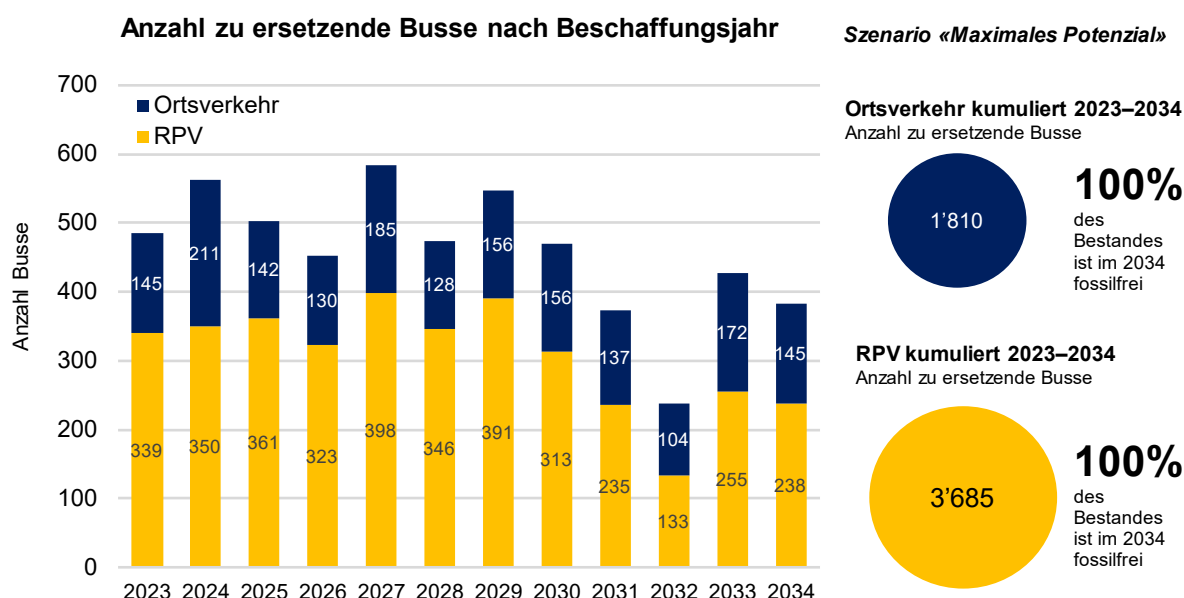


Abbildung 23: Maximales Potenzial für Dieselsebusersatz durch Batteriebusse im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Rein technisch wäre es möglich, das gesamte Potenzial zu realisieren. Wie die Auswirkungsanalyse zu den Fallbeispielen zeigt, sind allerdings die Batteriebusoptionen technisch-betrieblich oft noch schwierig umzusetzen und vergleichsweise teuer. Sie werden deshalb kurzfristig noch in verschiedenen Einsatzfeldern als nicht zweckmässig beurteilt, weil die Fahrzeuge und Batterien generell viel teurer sind als Dieselsebusse und aus betrieblichen Gründen aufgrund zu geringer Reichweiten zusätzliche Fahrzeuge erforderlich wären oder zusätzliche Fahrpersonalkosten aufgrund ungenügender Wendezeiten am Liniennende zum Nachladen entstehen würden. Auch aus ökologischer Sicht wäre die Beschaffung von

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

zusätzlichen Elektrobussen für die Einhaltung des Fahrplans von Nachteil, da für die Herstellung dieser Busse und insbesondere der Batterien ein hoher Ressourcen- und Energieaufwand nötig ist, der zusätzliche Treibhausgasemissionen verursacht.

5.2.2 Anzahl zu ersetzende Dieselsebusse – Szenario «realistisch»

Weil es primär aus Kostenüberlegungen, aber auch aus Umwelt- und Ressourcensicht kurz- und mittelfristig nicht sinnvoll ist, bei den anstehenden Busersatzbeschaffungen in den nächsten Jahren sämtliche Dieselsebusse durch Batteriebusse zu ersetzen, wurde in Anlehnung an aktuelle Elektrobustategien von Transportunternehmen ein «realistisches» Szenario für die Umstellung von Diesel- auf Batteriebusse definiert. Dieses wurde für den Orts- und Regionalverkehr unterschiedlich angesetzt mit der Überlegung, dass die Umstellung im Ortsverkehr schneller verlaufen wird als im regionalen Personenverkehr, weil im Orts- bzw. Agglomerationsverkehr aufgrund kürzerer Linien, weniger anspruchsvoller Topographie und teilweise bereits bestehender Oberleitungsinfrastruktur bessere Voraussetzungen für eine Umstellung auf Elektrobusse bestehen. Dies ermöglicht es auch, die rasche technologische Entwicklung im Bereich der Batterietechnologie zu berücksichtigen, die zukünftig zu tieferen Batteriekosten, einer höheren Energiedichte und daraus resultierend zu höheren Reichweiten führen wird. Beim Ortsverkehr wird bereits kurzfristig von Anteilen zwischen 25 bis 50 % ausgegangen, beim regionalen Personenverkehr von 10 bis 30 %. Dabei handelt es sich um ein ambitioniertes Szenario, insbesondere für kleinere Transportunternehmen, welche sich bisher noch nicht gross mit Elektrobussen auseinandergesetzt haben. Beim Ortsverkehr werden in diesem Szenario ab 2030 sämtliche Ersatzbeschaffungen durch Batteriebusse erfolgen, beim Regionalverkehr zwei Jahre später im Jahr 2032 (Abbildung 24).

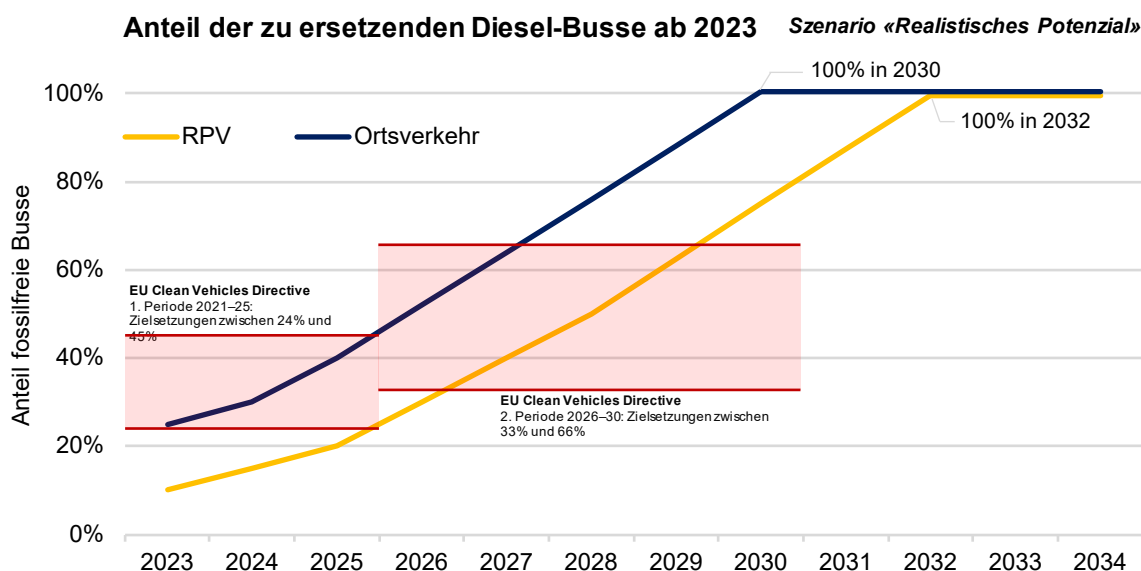


Abbildung 24: Anteil fossilfreie Busse am Total zu ersetzender Diesel-Busse je Jahr im «realistischen» Szenario. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020. EU Clean Vehicles Directive: Die roten Flächen entsprechen der Bandbreite der Zielsetzungen der Mitgliedsstaaten für die Jahre 2025 und 2030²⁵.

Zwischen 2023 und 2034 wären im regionalen Personenverkehr 1'900 bzw. rund 50 % der Dieselsebusse durch Batteriebusse zu ersetzen, im Ortsverkehr 1'300 bzw. rund 70 % (Abbildung 25).

²⁵ Quelle: Richtlinie (EU) 2019/1161 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge, ABl. L 188 vom 12.7.2019, S. 116 (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj>).

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

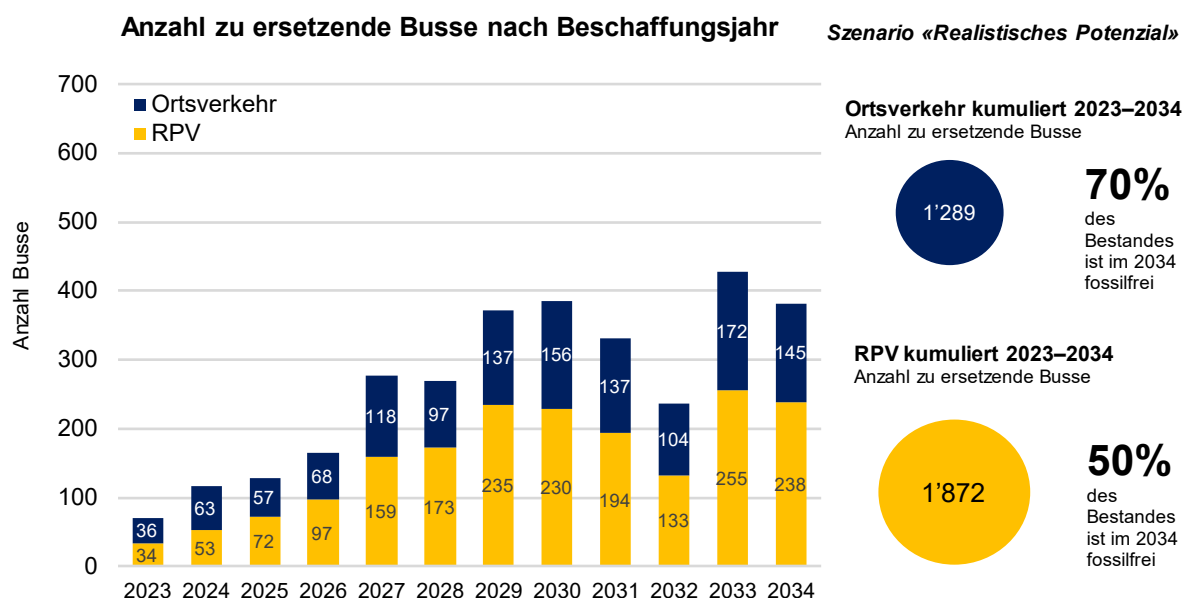


Abbildung 25: Realistisches Potenzial für Batteriebusse im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

5.2.3 Anzahl zu ersetzende Dieselbusse – Szenario «langsame Umstellung»

Die wirtschaftlichen Folgen der Corona-Pandemie stellen die Unternehmen des öffentlichen Verkehrs wie auch die Besteller auf der Ebene von Bund, Kantonen und Gemeinden längerfristig vor grosse Herausforderungen. Aus diesem Grund wurde ein weiteres Szenario mit einer langsamen Umstellung und einem längeren Zeithorizont analysiert.

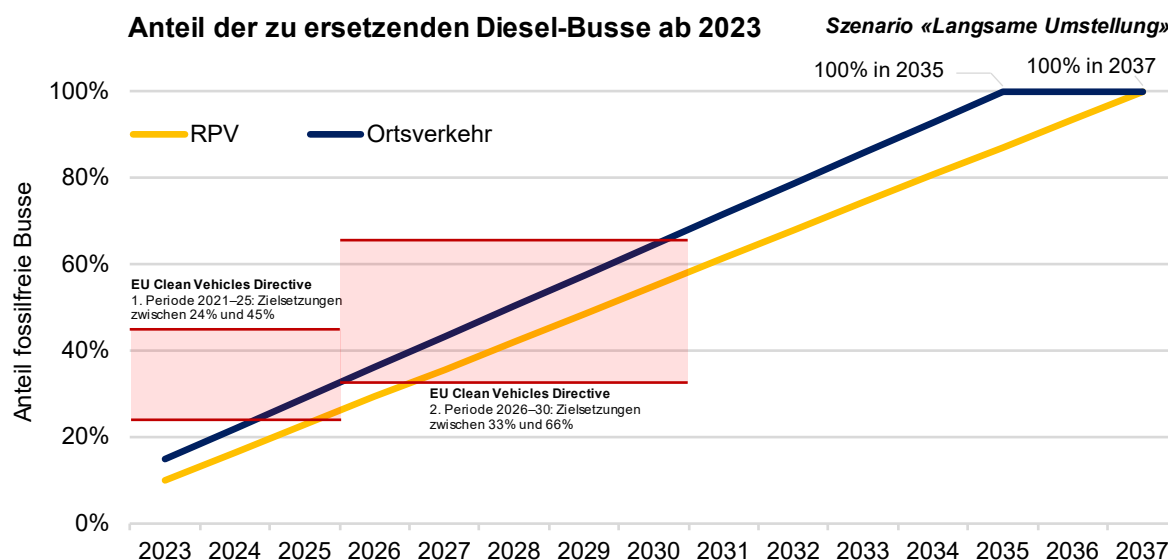


Abbildung 26: Anteil fossilfreie Busse am Total zu ersetzender Diesel-Busse je Jahr im Szenario «langsame Umstellung». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020. EU Clean Vehicles Directive: Die roten Flächen entsprechen die Bandbreite der Zielsetzungen der Mitgliedsstaaten für die Jahre 2025 und 2030²⁶.

Abbildung 26 zeigt den Anteil der zu ersetzenden Dieselbusse für das Szenario «langsame Umstellung» (100 % der fossilfreien Neubeschaffungen werden im regionalen Personenverkehr 2035, im Ortsverkehr 2037 erreicht). Zwischen 2023 und 2034 wären im regionalen Personenverkehr 1'500 bzw. rund 40

²⁶ Quelle: Richtlinie (EU) 2019/1161 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Juni 2019 zur Änderung der Richtlinie 2009/33/EG über die Förderung sauberer und energieeffizienter Straßenfahrzeuge, ABl. L 188 vom 12.7.2019, S. 116 (<https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2019/1161/oj>).

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

% der Dieselsebusse durch Batteriebusse zu ersetzen, im Ortsverkehr 1'000 bzw. rund 55 % (Abbildung 27). Insgesamt werden die Zusatzkosten tiefer liegen, da durch die längere Übergangsfrist Unternehmen wie Besteller von den laufend weiter sinkenden Anschaffungs- und Systemkosten der Busse profitieren.

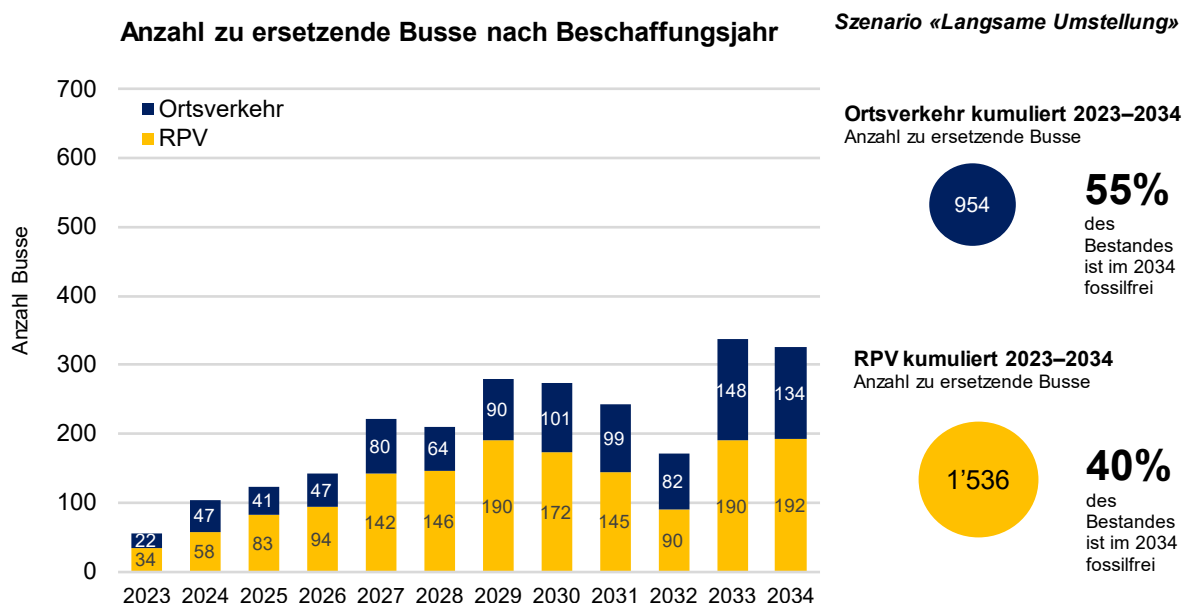


Abbildung 27: Potenzial für Batteriebusse im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr im Szenario «langsame Umstellung». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

5.2.4 Abgeleitete Mehrkosten gegenüber Dieselreferenz

Für die verschiedenen Batteriebusoptionen (Batterietrolleybus, statischem Gelegenheitslader und Depotlader) werden Annahmen getroffen, wie viele Busse durch welche Option ersetzt werden. Beim Szenario «maximales Potenzial» wird in Kauf genommen, dass kurz- und mittelfristig ein gewisser Teil der Fahrzeuge unter noch nicht idealen Voraussetzungen zum Einsatz kommen. Beim Batterietrolleybus ist ein grösserer Anteil neuer Oberleitung, beim statischen Gelegenheitslader sind zusätzliche Umläufe und beim Depotlader zusätzliche Busse nötig. Das Szenario «realistisches Potenzial» geht von idealen Einsatzbedingungen aus, welche sich positiv auf die Kosten und auf den Ressourcenverbrauch auswirken. Das Szenario «langsame Umstellung» weist eine um 5 Jahre längere Laufzeit im Vergleich zum «realistischen Szenario» auf.

Die für den regionalen Personenverkehr resultierenden jährlichen Mehrkosten für das Szenario «maximal» steigen von 23 Millionen Schweizer Franken im Jahr 2023 bis auf 209 Millionen Schweizer Franken im Jahr 2034 und von 22 auf 200 Millionen Schweizer Franken für den Ortsverkehr. Im «realistischen» Szenario sind Mehrkosten zwischen 1 und 55 Millionen Schweizer Franken für den regionalen Personenverkehr und zwischen 4 und 101 Millionen Schweizer Franken für den Ortsverkehr (Abbildung 28) zu erwarten, jeweils für die Jahre 2023 bzw. 2034. Im Szenario «langsame Umstellung» liegen die jährlichen Mehrkosten zwischen 1 und 45 Millionen Schweizer Franken für den regionalen Personenverkehr und 3 bis 73 Millionen Schweizer Franken für den Ortsverkehr. Die kumulierten Mehrkosten für den regionalen Personenverkehr sinken von rund 620 Millionen Schweizer Franken im «realistischen» Szenario auf 430 Millionen Schweizer Franken im Szenario «langsame Umstellung». Im Ortsverkehr von rund 300 Millionen Schweizer Franken auf 260 Millionen Schweizer Franken. Mit der Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung, reduziert sich die Kostendifferenz von alternativen Antrieben gegenüber Verbrennungsmotoren im «maximalen» Szenario um rund 45 bis 50 % und im «realistischen» Szenario sogar um 70 bis 90 %. Zu beachten ist, dass die Kosten der Elektrobusse durch die Verteuerung der Referenz (Dieselbusse) nicht sinken, diese müssen zusätzlich finanziert werden. Für die Kantone und Gemeinden ergibt sich keine Reduktion der Mehrkosten. Beim Bund fallen zusätzliche Einnahmen durch

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

die nicht mehr zurückerstattete Mineralölsteuer an, die gemäss Wunsch des Parlaments gezielt für die Förderung alternativer Antriebe eingesetzt werden sollen.

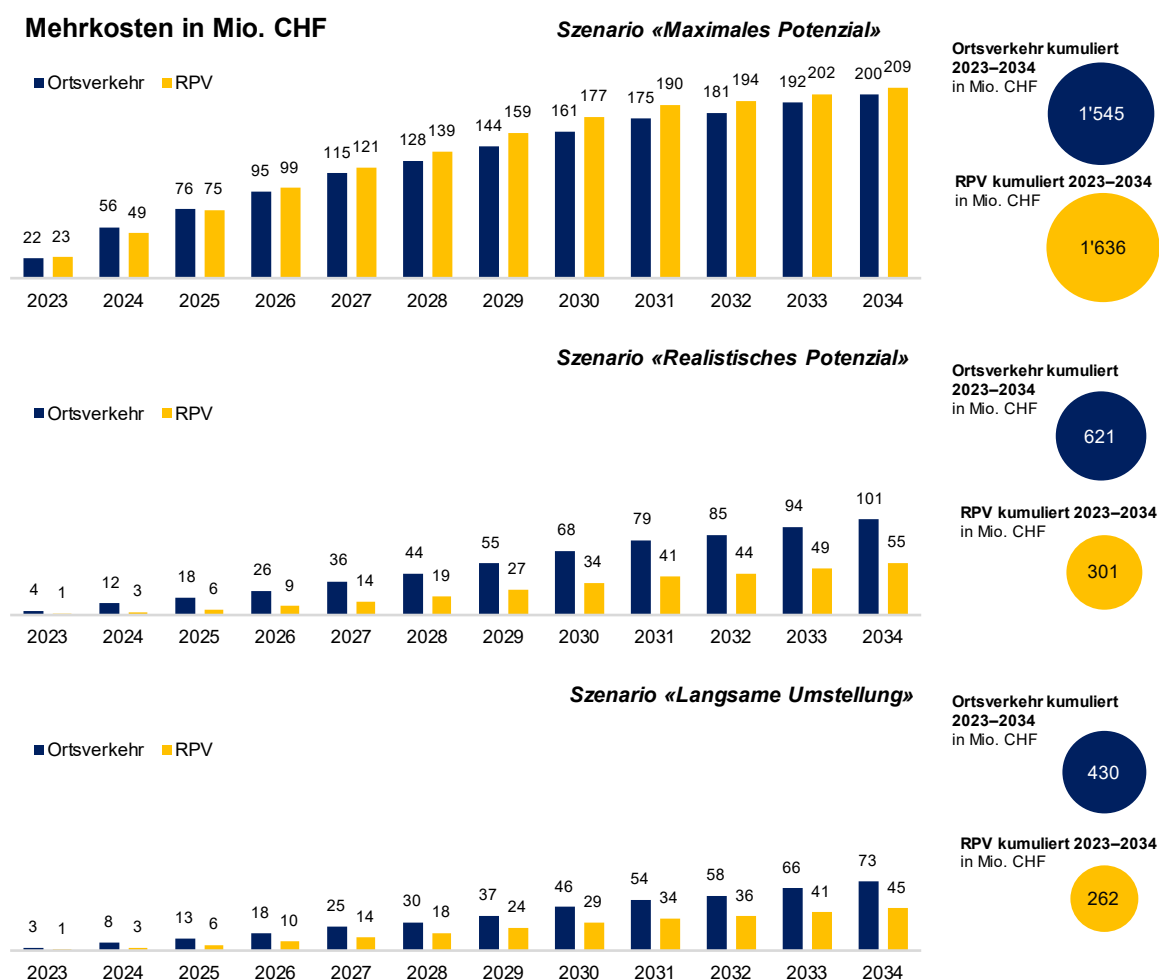


Abbildung 28: Grobgeschätzte Mehrkosten bei der Umstellung von Dieselmotoren auf Batteriebusse – Basisrechnung mit 12 Jahren Lebensdauer pro Fahrzeuge (alle Antriebsoptionen) und 6 Jahre Lebensdauer für die Batterien. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Unter sehr optimistischen Annahmen für die Lebensdauer der Batterien (Sensitivität «Lebensdauer Elektrobusse 12 Jahre / Lebensdauer Batterien 12 Jahre») verringern sich im regionalen Personenverkehr wie auch im Ortsverkehr die Mehrkosten gegenüber Dieselmotoren vor allem bei den Depotladerbussen mit grossen, teuren Batterien erheblich. Diese Annahme unterstellt, dass die Batterie-Lebensdauer derjenigen der Fahrzeuge entspricht, also im Laufe eines Fahrzeuglebens kein Batterieaustausch notwendig wird.

Unter der Annahme, dass die Lebensdauer von Elektrobusen 20 Jahre beträgt und die Batterie nur einmal ausgetauscht werden muss (Sensitivität «Lebensdauer Elektrobusse 20 Jahre / Lebensdauer Batterien 10 Jahre») reduzieren sich in der Tendenz die Mehrkosten gegenüber den Dieselmotoren noch stärker als bei der Sensitivität «Lebensdauer Elektrobusse 12 Jahre / Lebensdauer Batterien 12 Jahre». Bei dieser Sensitivität ist jedoch zu beachten, dass keine höheren Unterhaltskosten mit zunehmendem Alter der Fahrzeuge sowie auch keinerlei Refit-Massnahmen im Innern der Fahrzeuge zur Aufrechterhaltung des Fahrgastkomforts unterstellt sind. Beide Aspekte werden jedoch bei einer Lebensdauer von 20 Jahren relevant.

5.2.5 Erwarteter Umweltnutzen – CO₂-Reduktionspotenzial

Das Reduktionspotenzial bei den CO₂-Emissionen im öffentlichen Strassenverkehr ist in beiden Szenarien beträchtlich. Abbildung 29 zeigt das CO₂-Reduktionspotenzial im Regional- und Ortsverkehr für die drei Szenarien. Im «maximalen» Szenario können im Jahre 2034, wenn sämtliche Dieselmotoren auf

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Batteriebusse umgestellt sind, die CO₂-Emissionen um 80 bis 85 % gesenkt werden. Beim «realistischen» Szenario liegt im Regionalverkehr das Reduktionspotenzial im Jahr 2034, wenn rund die Hälfte der Dieselbusse auf fossilfreie Busse umgestellt sind, bei 40 bis 45 %. Im Ortsverkehr sind im Jahr 2034 rund 70 % der Dieselbusse auf Batteriebusse umgestellt. Das entsprechende CO₂-Reduktionspotenzial liegt in der Grössenordnung von 60 %. Im Szenario «langsame Umstellung» sind im Jahr 2034 im regionalen Personenverkehr rund 55 % und im Ortsverkehr rund 40 % der Diesel-Busse auf fossilfreie Busse umgestellt. Das entsprechende CO₂-Reduktionspotenzial liegt in der Grössenordnung von 35 % im regionalen Personenverkehr respektive 45 % im Ortsverkehr. Insgesamt ergeben sich im Jahr 2034 CO₂-Reduktionen von rund 255'000 Tonnen CO₂ im «maximalen» Szenario, 155'000 Tonnen CO₂ im «realistischen» Szenario bzw. 120'000 Tonnen CO₂ im Szenario «langsame Umstellung».

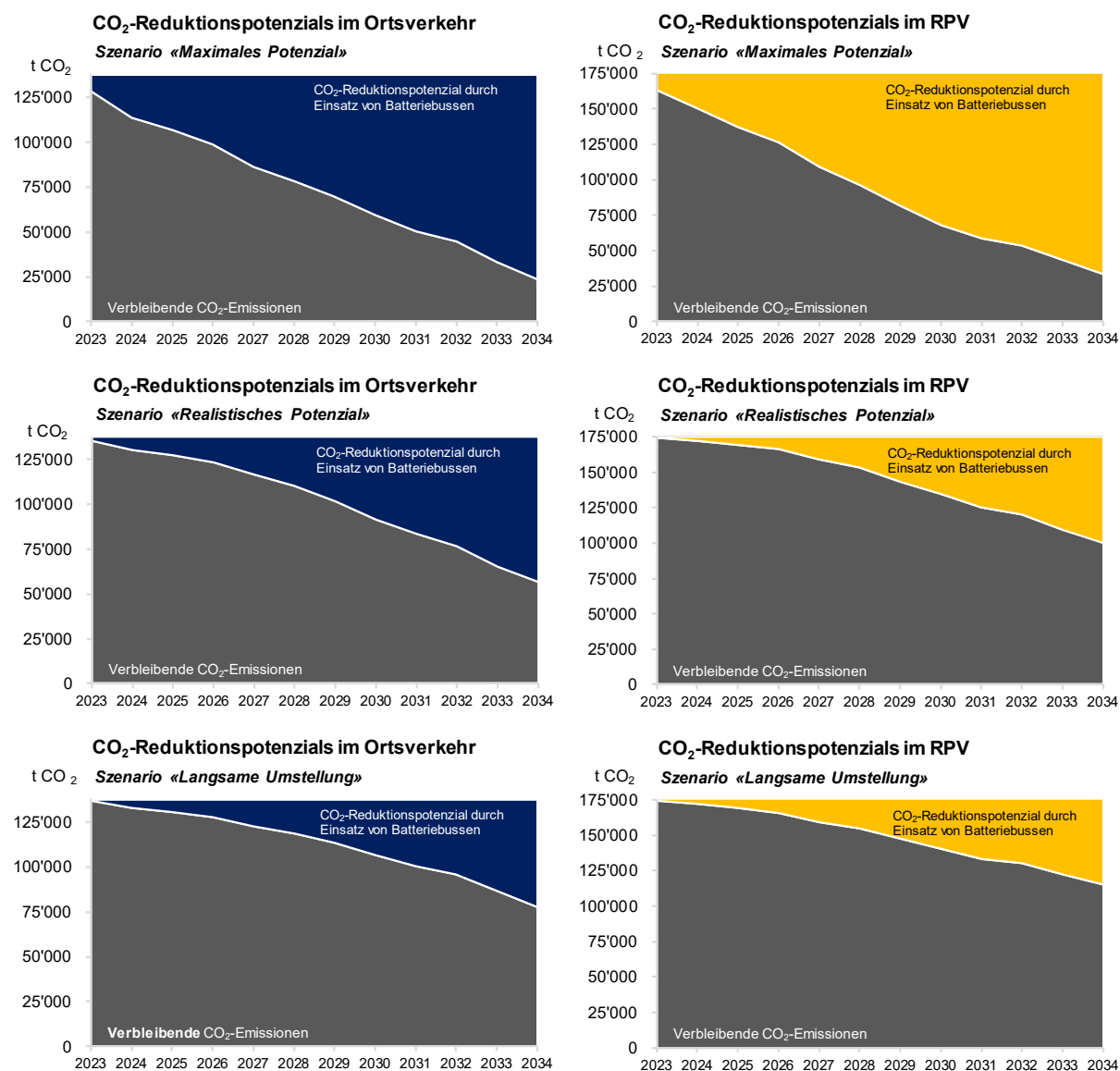


Abbildung 29: CO₂-Reduktionspotenzial einer Umstellung von Dieselbussen auf Batteriebusse.

Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

5.3 Zusätzlicher Finanzierungsbedarf und Förderinstrumente

5.3.1 Vorgehen

Zur Abschätzung des finanziellen Mehrbedarfs für die Schweiz für den regionalen Personenverkehr und den Ortsverkehr werden die potenziellen finanziellen Mittel der bestehenden Finanzierungs- bzw. Förderinstrumente auf nationaler Ebene geschätzt und von den ausgewiesenen jährlichen Mehrkosten abgezogen, um den verbleibenden Finanzierungsbedarf pro Jahr auszuweisen. Die bestehenden Finanzierungs- bzw. Förderinstrumente auf nationaler Ebene umfassen einerseits die zu erwarteten finanziellen Mittel, welche aus der CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure stammen. Beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) wurde bisher ein Programm im Bereich öffentlicher Verkehr registriert, nämlich das Kompensationsprogramm von «myclimate». Andererseits werden die jährlichen Bundesbeiträge aus dem Programm «Agglomerationsverkehr (PAV)» grob geschätzt.

Kantonale und kommunale Fördermassnahmen wurden nicht berücksichtigt, da auch diese einen Teil der Mehrkosten decken können, eine Abschätzung auf nationaler Ebene aber nicht möglich ist. Sie wären grundsätzlich einzubeziehen. Der so ausgewiesene verbleibende ungedeckte Mehrbedarf ist daher als maximale Obergrenze zu betrachten, der im Einzelfall beim Vorhandensein kantonaler oder kommunaler Fördermöglichkeiten auch deutlich tiefer liegen kann.

Es wird weiter davon ausgegangen, dass im Rahmen der ordentlichen Finanzierung aktuell keine zusätzlichen Mittel zur Finanzierung der Mehrkosten bei Bund, Kantonen und Gemeinden eingeplant sind. Das Wachstum des Verpflichtungskredits des Bundes für den regionalen Personenverkehr für die Jahre 2022 bis 2025 für generelle Kostensteigerungen und allfälligen Mehrbedarf beläuft sich auf 2 % pro Jahr (rund 20 Millionen Schweizer Franken). Ein Prozentpunkt des Wachstums entfällt auf allgemeine Kostensteigerungen, damit können auch Mehrkosten für Elektrobussen im regionalen Personenverkehr finanziert werden. Die Verwendung dieser Mittel ist jedoch nicht im Voraus definiert.

5.3.2 CO₂-Kompensationspflicht Treibstoffimporteure – Programm von «myclimate»

Das Kompensationsprogramm von «myclimate» basiert auf dem geschätzten, kumulierten CO₂-Reduktionspotenzial pro Jahr. Die Stiftung «KliK» zahlt einen fixen Preis pro Bescheinigung, davon gehen wie geplant ab 2021 200 Schweizer Franken pro Bescheinigung für eine Tonne CO₂ an die Teilnehmer des Programms (bis 2020 waren es 112 Schweizer Franken pro Tonne CO₂). Allfällige Vorauszahlungen werden in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt, da die Mehrkosten auf Basis der heutigen Vollkosten aus Sicht der Besteller ausgewiesen werden. Würde davon ausgegangen, dass sämtliche Beschaffungen von elektrisch angetriebenen Bussen ohne jegliche finanzielle Einschränkungen durch das Programm gefördert werden, ergäbe sich für den gesamten Zeitraum 2023 bis 2034²⁷ theoretisch ein maximales finanzielles Potenzial von insgesamt knapp 125 Millionen Schweizer Franken im Szenario «langsame Umstellung», rund 160 Millionen Schweizer Franken im «realistischen» Szenario, bis knapp 350 Millionen Schweizer Franken im «maximalen» Szenario (Abbildung 30, oben, «maximales Potenzial»). Dies würde einer Förderquote von 9 bis 20 % entsprechen, d. h. nur ein Teil der Mehrkosten gegenüber einem Dieselbus könnten dadurch gedeckt werden (unter Annahme einer weiterhin erfolgenden Mineralölsteuerrückerstattung).

Vor dem Hintergrund der bereits bestehenden gesetzlichen Vorgaben ist davon auszugehen, dass nur ein Teil der Mehrkosten durch das Programm tatsächlich finanziell unterstützt werden kann und das maximale finanzielle Potenzial nicht ausgeschöpft wird. Mit zunehmender Marktdurchdringung fossilfreier Busse verliert das Programm von «myclimate» für die Förderung von Hybrid- und Elektrobussen sukzessive an Bedeutung, weil die Umstellung von Diesel- auf fossilfreie Busse auch im Rahmen der ordentlichen Finanzierung und vereinzelt ergänzend durch kantonale oder kommunale Förderprogramme finanziert wird. Die Hochrechnung des tatsächlichen (realistischen) finanziellen Potenzials für die gesamte Schweiz ist mit Unsicherheiten behaftet. Das Kompensationsprogramm ist grundsätzlich unbefristet, aber aktuell nur bis Juni 2026 zugelassen.

²⁷ Unter der Voraussetzung, dass das Instrument der CO₂-Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure nach 2030 weitergeführt wird.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Für die vorliegenden Abschätzungen wird davon ausgegangen, dass der Anteil der Mehrkosten, für die ein finanzieller Beitrag aus dem Kompensationsprogramm gezahlt wird, sukzessive sinkt (– 2.5 Prozentpunkte pro Jahr). Für den gesamten Zeitraum von 2023 bis 2034 ergäbe dies insgesamt rund 84 Millionen Schweizer im «langsame Umstellung», 109 Millionen Schweizer Franken im «realistischen» Szenario, bis 241 Millionen Schweizer Franken im «maximalen» Szenario (Abbildung 30, unten).

Unter den beschriebenen Annahmen würde der Anteil der jährlichen Mehrkosten, der durch das Kompensationsprogramm finanziell gefördert wird, durchschnittlich rund 10 % betragen.

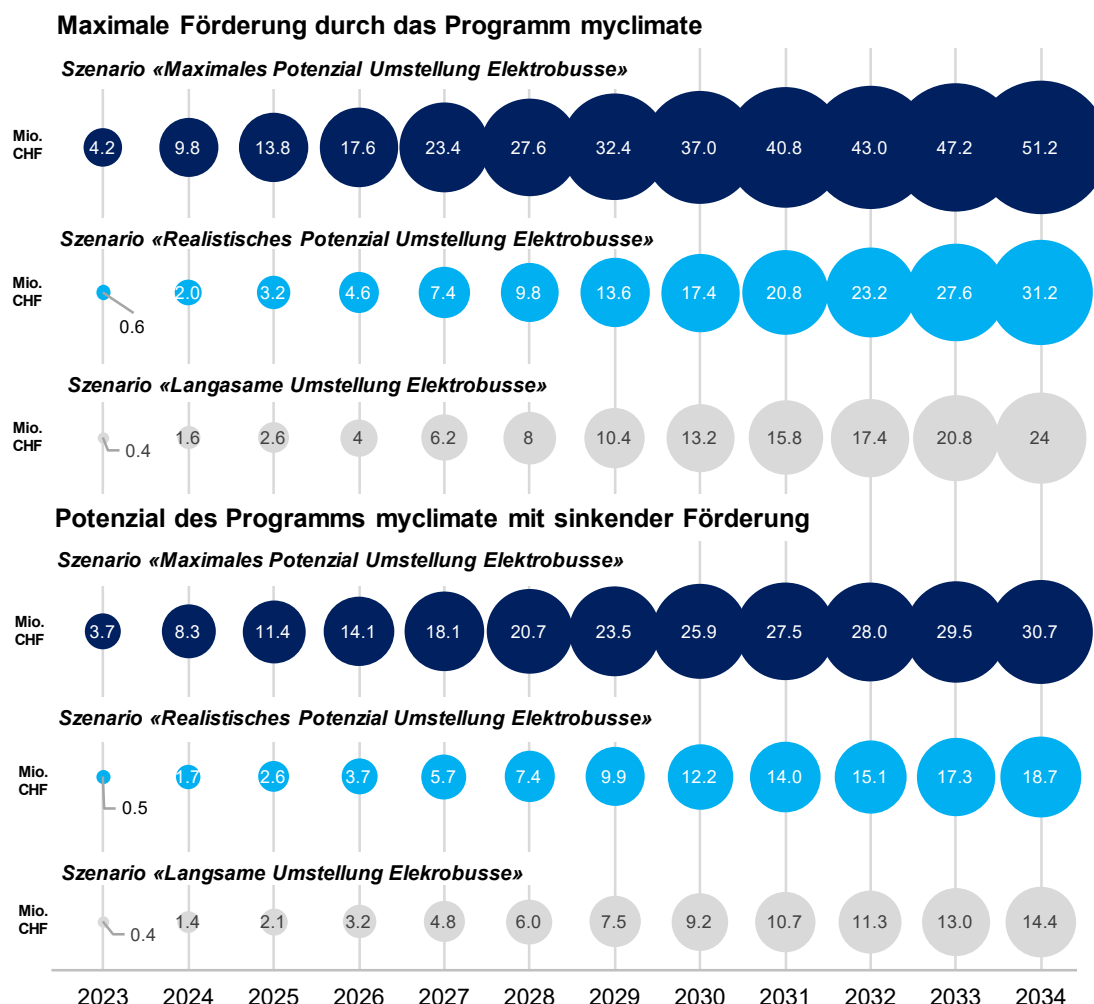


Abbildung 30: Finanzielles Potenzial des Programms «myclimate» im regionalen Personenverkehr und Ortsverkehr pro Jahr bei einem Beitrag von 200 Schweizer Franken pro Tonne CO₂. Oben: Maximales theoretisches finanzielles Potenzial ohne jegliche Einschränkungen. Unten: Geschätztes realistisches finanzielles Potenzial. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Die Höhe der Förderbeiträge sind Gegenstand von Verhandlungen zwischen «myclimate» und «KliK» vor dem Hintergrund der regulatorischen Rahmenbedingungen. Ab dem Jahr 2021 soll der Förderbetrag für Elektrobusse auf 200 Schweizer Franken pro Tonne CO₂ deutlich erhöht werden. Ausserdem könnten weitere Kompensationsprojekte oder -programme im Bereich öffentlicher Verkehr beim Bundesamt für Umwelt (BAFU) zur Registrierung angemeldet werden, die anders ausgestaltet sind. Gemäss Beschluss des Parlaments im Rahmen der Totalrevision des CO₂-Gesetzes werden die Treibstoffimporteure verpflichtet, einen namhaften Teil der verkehrsbedingten Emissionen über Projekte und Programme zur Elektrifizierung des Strassenverkehrs, über den Einsatz alternativer Antriebskonzepte sowie der Gewinnung CO₂-neutraler, nachhaltiger Antriebsenergie zu kompensieren. Dies führt dazu, dass die kompensationspflichtigen Treibstoffimporteure voraussichtlich vermehrt im Verkehrsbereich aktiv werden müssen.

5.3.3 Programm «Agglomerationsverkehr (PAV)»

Im Programm «Agglomerationsverkehr» können die Mehrkosten der Ladeinfrastrukturen für Busse durch den Bund mitfinanziert werden. Die Bundesbeiträge sind einmalige Investitionsbeiträge an die anrechenbaren Investitionskosten einer Massnahme. Für die vorliegenden Abschätzungen (Abbildung 31) wird vereinfachend davon ausgegangen, dass die Bundesbeiträge aus dem Programm über die gesamte Lebensdauer der Anlagen finanziert werden.

Es wird von einem durchschnittlichen Anteil des Bundes an den Mehrkosten von 40 % ausgegangen. Dieser Anteil liegt etwas höher als der Durchschnitt von 35 %. Dieser höhere Anteil wurde gewählt, um potenzielle Finanzierungsbeiträge des Bundes an die Mehrkosten von Fahrzeugen ebenfalls zu berücksichtigen. Im Rahmen des Programms werden auch Mehrkosten für Fahrzeuge aufgrund der Einsparung von Infrastrukturkosten durch den Bund mitfinanziert. Abschätzungen hierzu sind schwierig. Zudem stellt sich die Frage, wie diese von den Mehrkosten von Ladeinfrastrukturen abzugrenzen sind. Zudem wird davon ausgegangen, dass der Bund lediglich Massnahmen an den Ortsverkehr mitfinanziert, da der regionale Personenverkehr durch den Bund bereits mitbestellt und mitfinanziert wird.

Geschätztes finanzielles Potenzial der Bundesbeiträge aus dem PAV

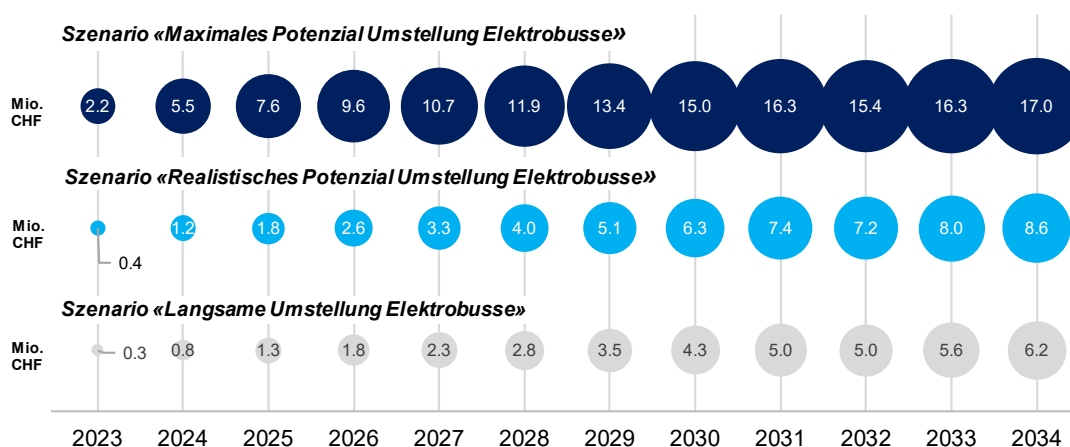


Abbildung 31: Geschätztes finanzielles Potenzial der Bundesbeiträge aus dem Programm «Agglomerationsverkehr (PAV)» im Ortsverkehr pro Jahr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

5.3.4 Zusätzlicher Finanzierungsbedarf

Unter Berücksichtigung der bestehenden, nationalen Finanzierungs- bzw. Förderinstrumente wird der resultierende Finanzierungsbedarf aufgrund der geschätzten Mehrkosten im regionalen Personenverkehr und Ortsverkehr ausgewiesen. Der Anteil der durch bestehende, nationale Förderbeiträge gedeckten jährlichen Mehrkosten im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr beträgt rund 16 bis 18 % (Szenario «langsame Umstellung»), 17 bis 19 % («realistisches» Szenario) bzw. rund 12 bis 13 % («maximales» Szenario). In Abbildung 32 sind die Beiträge aus den bestehenden nationalen Förderungen und dem ungedeckten Finanzierungsbedarf für beide Szenarien dargestellt.

Wird die heutige Aufteilung der Finanzierungsverantwortung im Rahmen der ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs beibehalten und werden zudem die bisherigen Finanzierungsanteile von Bund, Kantonen und Gemeinden zugrunde gelegt, ergibt sich der in Abbildung 33 geschätzte jährliche Finanzierungsbedarf im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr aus Sicht der Besteller. Der jährliche Mehrbedarf würde sich von rund 3 Millionen Schweizer Franken im Szenario «langsame Umstellung», 5 Millionen Schweizer Franken im «realistischen» Szenario bzw. rund 40 Millionen Schweizer Franken im «maximalen» Szenario im Jahr 2023 auf rund 97 Millionen Schweizer Franken, 129 Millionen Schweizer Franken bzw. 361 Millionen Schweizer Franken im Jahr 2034 erhöhen.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

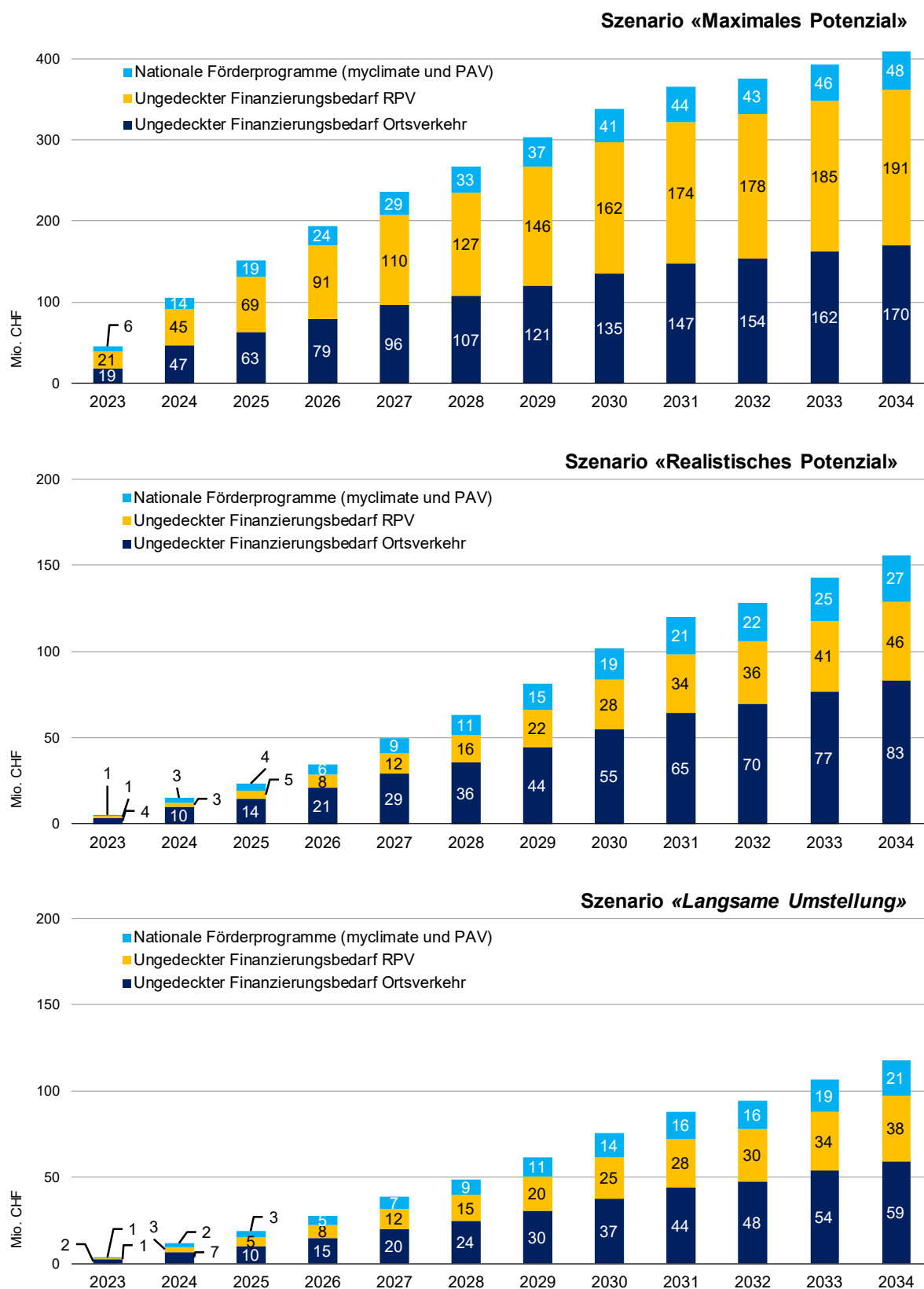


Abbildung 32: Entwicklung der Förderbeiträge (Programm myclimate + PAV) und des ungedeckten Finanzierungsbedarfs für RPV und Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Würden die jährlichen Mehrkosten unter diesen Annahmen im Rahmen der Bestellung des öffentlichen Verkehrs finanziert, würde dies im «realistischen» Szenario für den Zeitraum von 2023 bis 2034 kumulativ einen finanziellen Mehrbedarf von rund 125 Millionen Schweizer Franken für den Bund, 394 Millionen Schweizer Franken für die Kantone und rund 238 Millionen Schweizer Franken für die Gemeinden bedeuten. Im Szenario «langsame Umstellung» würde ein Mehrbedarf von rund 109 Millionen Schweizer Franken für den Bund, 295 Millionen Schweizer Franken für die Kantone und rund 165 Millionen Schweizer Franken für die Gemeinden entstehen.

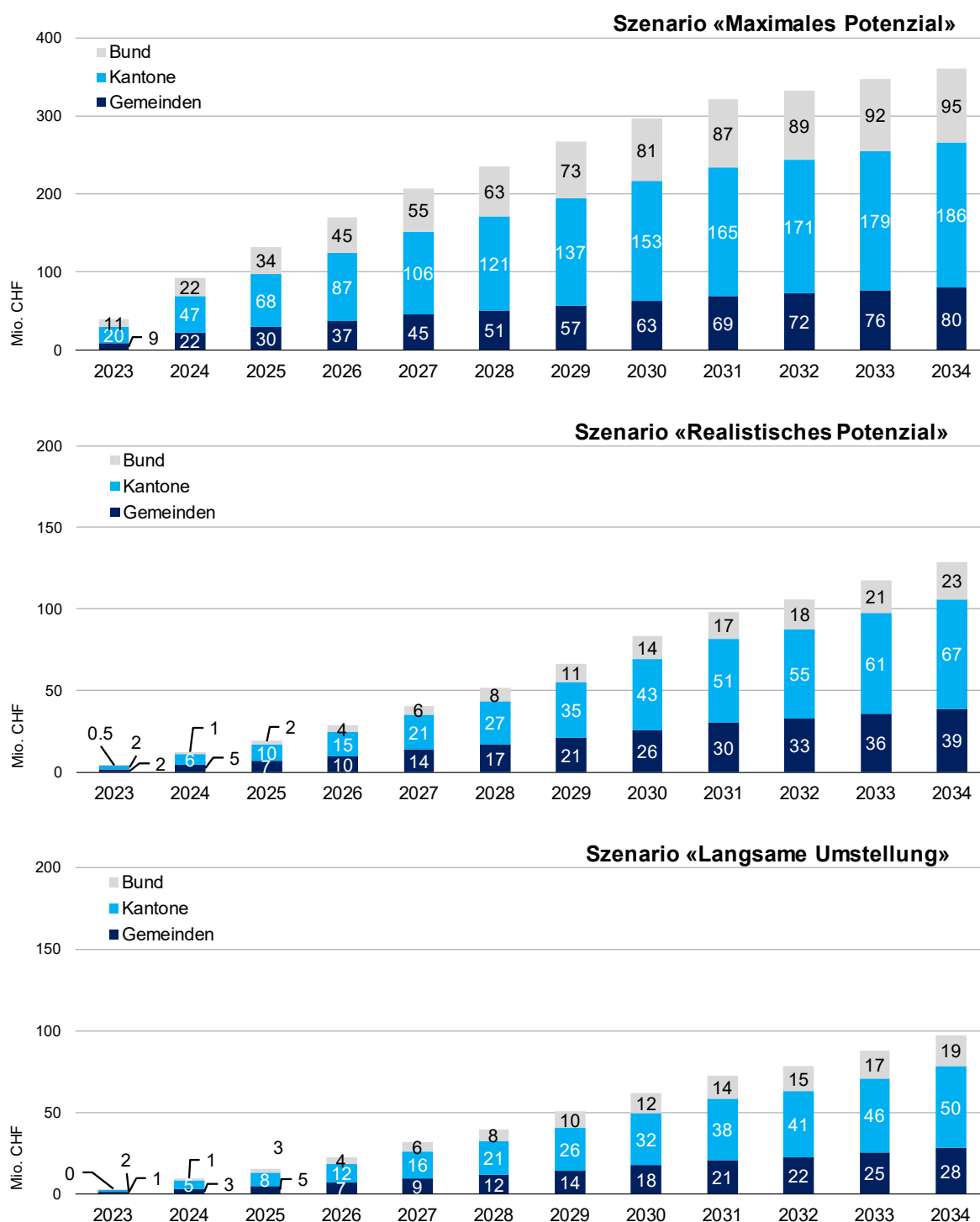


Abbildung 33: Mögliche Aufteilung des ungedeckten Finanzierungsbedarf gemäss der ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs (regionaler Personenverkehr und Ortsverkehr). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

6 Anpassung der Rahmenbedingungen und zusätzliche Fördermöglichkeiten

Die bestehenden nationalen Finanzierungsmöglichkeiten sind aktuell nicht ausreichend, um den prognostizierten, zusätzlichen Finanzierungsbedarf für eine Umstellung auf fossilfreien Busse zu tragen.

Eine sinnvolle Koordination der Förderinstrumente mit unterschiedlichen Verantwortlichkeiten (regionaler Personenverkehr oder Ortsverkehr) und Staatsebenen (Bund, Kantone und Gemeinden) sowie eine gezielte Ergänzung der aktuellen Förderung sind in diesem Zusammenhang vordringlich.

6.1 Mittelfristige Abschaffung der Mineralölsteuerrückerstattung

Werden die Mehrkosten fossilfreier Busse gegenüber den Dieselnissen mit und ohne Mineralölsteuerrückerstattung für konzessionierte Transportunternehmen ausgewiesen, so zeigt sich eine grosse Differenz. Die Mineralölsteuerrückerstattung für konzessionierte Transportunternehmen stellt einen finanziell bedeutsamen Fehlanreiz für die Umstellung auf fossilfreie Busse dar und benachteiligt bei Ersatzbeschaffungen alternative, fossilfreie Antriebe massiv.

Eine Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung würde zwar die Kostendifferenz von Dieselnissen zu fossilfreien Bussen bei allfälligen Ausschreibungen reduzieren, jedoch bei gleichbleibenden Tarifen im öffentlichen Verkehr und gleichbleibendem Angebot den ordentlichen finanziellen Bedarf zur Finanzierung des öffentlichen Verkehrs aus Sicht der Transportunternehmen und der Besteller des öffentlichen Verkehrs (Bund, Kantone, Gemeinden) erhöhen. Sie würde aber Anreize für eine Durchdringung mit fossilfreien Fahrzeugen schaffen, da die Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung die Kostendifferenz eines Batteriebusses gegenüber einem Dieselniss deutlich reduzieren würde.

Das Parlament hat im Rahmen der Debatte zum totalrevidierten CO₂-Gesetz eine gestaffelte Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung beschlossen. Ab 2026 soll die Rückerstattung für den Ortsverkehr wegfallen, ab 2030 jene für den regionalen Personenverkehr, sofern die Umrüstung auf fossilfreie Busse der entsprechenden Linien aus topografischen Gründen möglich ist. Zudem sollen die so zusätzlich generierten Mittel befristet für die Finanzierung von fossilfreien Bussen im öffentlichen Strassenverkehr eingesetzt werden. Die vom Parlament beschlossene Aufhebung der Rückerstattung der Mineralölsteuer bedingt die Schaffung von Rechtsgrundlagen bzw. die Etablierung eines neuen Förderinstrumentes, das jedoch erst nach 2026 Mittel bereitstellen kann. Im Vordergrund stehen dabei Investitionsbeiträge an die Träger des öffentlichen Verkehrs auf der Strasse. Gegen das revidierte CO₂-Gesetz kam ein Referendum zustande, das im Juni 2021 zur Abstimmung kommen wird.

6.2 Fokus auf bestehende nationale Instrumente: CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure und Programm Agglomerationsverkehr (PAV)

Mit der Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure (Art. 5 CO₂-VO) und die dadurch möglichen Kompensationsprojekte und -programme im Inland besteht heute bereits ein Instrument, um auch den öffentlichen fossilfreien Busverkehr zu fördern. Das Programm «Elektro- und Hybridbusse» von «myclimate» innerhalb der CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure ist das erste registrierte Programm, welches sowohl den Unternehmen des Orts- wie auch des regionalen Personenverkehrs für die Neubeschaffung zur Verfügung steht. Ergänzend können im Programm Agglomerationsverkehr (PAV) des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE) die Mehrkosten der Ladeinfrastrukturen durch den Bund mitfinanziert werden. Die Bundesbeiträge des Programms Agglomerationsverkehr (PAV) sind einmalige Investitionsbeiträge an die anrechenbaren Investitionskosten einer Massnahme.

Mit den beiden Förderinstrumenten kann heute ein verhältnismässig kleiner Teil des zusätzlichen Finanzierungsbedarfs gedeckt werden. Hierbei sind Wechselwirkungen zwischen den Förderprogrammen und der ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs durch Bund, Kantone und Gemeinden zu berücksichtigen. Das Kompensationsprogramm von «myclimate» beispielsweise fördert die Umstellung auf Hybrid- und Elektrobusse, wenn diese nicht ohnehin vorgegeben ist (z.B. gesetzlicher Vorgaben) und nicht anderweitig massgeblich gefördert wird, d. h. solange eine anderweitige Förderung die Beschaf-

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

fung nicht wirtschaftlich macht und die Emissionsreduktionen nicht beansprucht werden. Bundesbeiträge aus dem Programm Agglomerationsverkehr (PAV) werden nur an Massnahmen gezahlt, die nicht ohnehin vom Bund mitfinanziert werden, beispielsweise im Ortsverkehr.

Im Rahmen der Totalrevision des CO₂-Gesetzes wurde das Instrument der CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure gestärkt durch eine Erhöhung der Pönale. Dies kann ab dem voraussichtlichen Inkrafttreten 2022 entsprechende Programme stärken und in Abhängigkeit des Verhandlungsergebnisses zwischen den Programmeignern und der Stiftung «KliK» allenfalls zu höheren Kompensationsbeträgen führen. Weiter wurden Vorgaben eingeführt, um einen Teil der Mittel für die Elektrifizierung des Strassenverkehrs einzusetzen. Die Treibstoffimporteure sollen somit 3 % ihrer CO₂-Kompensationspflicht im Bereich alternativer Antriebe kompensieren. Davon profitieren könnte auch die öffentliche Hand und Transportunternehmungen bzw. alternative Antriebe bei öffentlichen Verkehrsmittel beispielsweise durch Programme, welche die Wertschöpfungskette im Bereich alternativer Antriebe im Verkehrsbereich abdecken.

6.3 Zusätzliche Förderung über die ordentliche Finanzierung des öffentlichen Verkehrs

Eine weitere Möglichkeit ist die Finanzierung des Mehrbedarfs über die ordentliche Finanzierung des öffentlichen Verkehrs, beispielsweise auch kombiniert mit Flotten- oder Umweltzielen. In diesem Fall wären die Mehrkosten insbesondere von Kantonen und Gemeinden bzw. deren Förderprogrammen zu tragen, da sie sowohl den regionalen Personenverkehr als auch den Ortsverkehr mitfinanzieren. Aufgrund der wirtschaftlichen Folgen der Corona-Pandemie stellt sich jedoch die Frage, ob die zusätzlichen finanziellen Mittel ab 2024 zur Verfügung gestellt werden können, um die geschätzten Mehrkosten zu finanzieren. Zahlreiche Städte haben im Rahmen der Klimadiskussion die Elektrifizierung der bestehenden Dieselbusflotten angekündigt bzw. ehrgeizige Dekarbonisierungsziele formuliert. Teilweise werden dabei eigene, neue Fördertöpfe etabliert, aus denen die Umstellung finanziell unterstützt werden kann. Diese Entwicklungen sind zu begrüßen. Es liegt jedoch an den entsprechenden Gebietskörperschaften, die ehrgeizigen Pläne bei der Elektrifizierung der Dieselflotte auch mit entsprechenden finanziellen Mitteln auszustatten.

Der Bund spielt in diesem Zusammenhang nur bei der Finanzierung im regionalen Personenverkehr eine Rolle. Die Finanzierung des Ortsverkehrs liegt nicht in Bundeskompetenz. Im Ortsverkehr kann sich der Bund nur im Bereich der Innovationsförderung engagieren, nicht aber beim Markthochlauf.

6.4 Einführung von Umweltzielen

Die Einführung eines nationalen Benchmarking-Systems für den gesamten bestellten öffentlichen Personenverkehr ist vorgesehen (Reform RPV). In diesem Rahmen könnten Umweltziele und ein entsprechendes Monitoring und Benchmarking aufgebaut werden. Diese würde die Begründung allfälliger Mehrkosten im Rahmen der Bestellung und Beschaffung erleichtern. Hierbei ist jedoch der Trade-off zu den Projekten im Rahmen der CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure zu berücksichtigen. Werden Vorgaben betreffend Umweltstandards der zu beschaffenden Busse seitens der Besteller gemacht, könnte der Nachweis der Zusätzlichkeit (d. h. der Nachweis, dass die Umstellung auf Elektrobusse ohne Förderung aus dem Kompensationsprogramm nicht stattgefunden hätte) erschwert werden.

6.5 Weitere Fördermöglichkeiten

6.5.1 Klimafonds

Das Parlament hat im Rahmen der Beratung der Totalrevision des CO₂-Gesetzes beschlossen, auf Bundesebene einen Klimafonds einzuführen (Art. 53 bis 61 im revidierten CO₂-Gesetz). Ein Teil der zur Verfügung stehenden Mittel muss der Bund zur Verminderung der Treibhausgasemissionen einsetzen, ein anderer Teil für Massnahmen zur Vermeidung von Schäden, die sich als Folge der erhöhten Treibhausgaskonzentration in der Atmosphäre ergeben können (Klimaanpassung). Bei der Verwendung der Gelder ist eine angemessene Forschungs- und Innovationsförderung, insbesondere im Bereich der Luftfahrt, zu gewährleisten (Art. 53 Abs. 4).

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Für Massnahmen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen stehen folgende Mittel zur Verfügung: Ein Drittel des Ertrags aus der CO₂-Abgabe (höchstens aber 450 Millionen Franken pro Jahr) sowie weniger als die Hälfte des Ertrags aus der Flugticketabgabe und aus der Abgabe Allgemeine Luftfahrt. Das Gesetz konkretisiert die Verwendung dieser Gelder wie folgt:

- Artikel 55: Das bereits bekannte Gebäudeprogramm wird in den Klimafonds integriert. Zusätzlich soll der Bund weitere (neue) Massnahmen finanzieren, die in die Bereiche Gebäude und Wärme fallen.
- Artikel 56: Integration des bereits bestehenden Technologiefonds in den Klimafonds.
- Artikel 57: Aus dem Klimafonds kann der Bund weitere Massnahmen finanzieren, die die Zielerreichung des Gesetzes unterstützen (auch im Ausland). Mittel können zudem für Massnahmen zur verbindlichen, wirksamen, innovativen und direkten Verminderung der Klimawirkung des Luftverkehrs eingesetzt werden. Begrenzte Beträge sind möglich für Projekte von Kantonen und Gemeinden und zur Förderung des grenzüberschreitenden Schienenpersonenverkehrs, einschliesslich Nachtzüge.

Für die Vermeidung von Schäden (Klimaanpassung) können folgende Mittel eingesetzt werden: Erträge aus Ersatzleistungen, die im neuen CO₂-Gesetz geregelt sind (Sanktionen), und Erträge aus den Versteigerung von Emissionsrechten. Die gesetzlichen Bestimmungen zum Klimafonds sehen nicht explizit die Finanzierung von Massnahmen für die Umstellung von Dieselnissen vor. Einige Verwendungszwecke sind aber sehr offen formuliert, weshalb eine solche Finanzierung nicht ausgeschlossen ist.

Sofern das Gesetz eine allfällige Referendumsabstimmung übersteht, sollte es per 1.1.2022 in Kraft treten. Die ersten Fondsinstrumente werden gleichzeitig mit Inkrafttreten des Gesetzes den Vollzug starten. Andere Instrumente werden mehr Zeit beanspruchen und in den darauffolgenden Jahren folgen. Der Fonds wird im Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) verwaltet.

6.5.2 Erhöhung der Tarife

Soll die Marktdurchdringung von Batteriebusen entsprechend des «realistischen» Szenarios erfolgen, wären die finanziellen Mittel der konzessionierten Transportunternehmen zu erhöhen. Die konzessionierten Transportunternehmen könnten zur Finanzierung der Mehrkosten die Tarife und damit die Einnahmen erhöhen. Tarifierhöhungen können jedoch unerwünschte modale Verlagerungen zur Folge haben. Klima- und verkehrspolitisch ist dies nicht erwünscht.

6.6 Finanzierungsmöglichkeiten – Kombination der Instrumente

Die dargelegten Finanzierungsmöglichkeiten sind in verschiedenen Varianten kombinierbar. Aus Sicht des Bundes ist folgendes Vorgehen anzustreben:

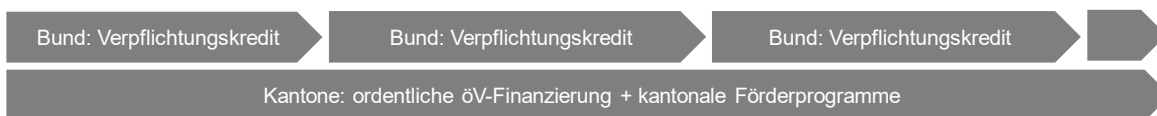
- Maximale Ausschöpfung der bestehenden nationalen Förderprogramme CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure (Stiftung KliK) und Programm Agglomerationsverkehr (PAV)
- MinöSt-Förderung: Verwendung der Mittel aus nicht mehr zurückerstatteter Mineralölsteuer (CO₂-Gesetz)
- Nur die verbleibenden Mehrkosten sind über die ordentliche öV-Finanzierung abgeltungsberechtigt.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Abbildung 34 und Abbildung 35 zeigen die verschiedenen Finanzierungsmöglichkeiten sowie deren mögliche Konfliktpotenziale im regionalen Personenverkehr respektive im Ortsverkehr auf.

Finanzierungsmöglichkeiten im regionalen Personenverkehr

Ordentliche öV-Finanzierung



Nationale Förderprogramme



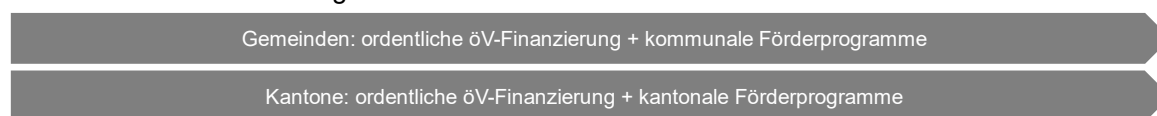
CO₂-Gesetz



Abbildung 34: Darstellung der Finanzierungsmöglichkeiten und der möglichen Konflikten im regionalen Personenverkehr. Quelle: BFE-Darstellung.

Finanzierungsmöglichkeiten im Ortsverkehr

Ordentliche öV-Finanzierung



Nationale Förderprogramme



CO₂-Gesetz

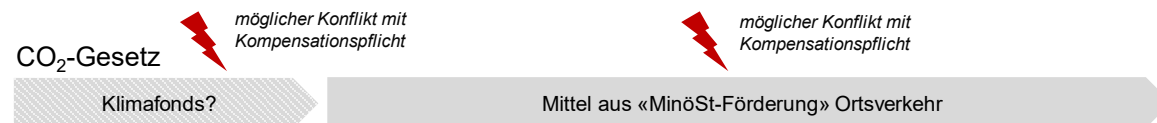


Abbildung 35: Darstellung der Finanzierungsmöglichkeiten und der möglichen Konflikten im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Im Folgenden wird der maximale Finanzierungsbedarf für Bund, Kantone und Gemeinden mit der vorgeschlagenen Kombination der Instrumente bis 2034 für den regionalen Personenverkehr (Abbildung 36) und den Ortsverkehr (Abbildung 37) aufgezeigt («realistisches Szenario»). Abbildung 38 und Abbildung 39 zeigen den maximalen Finanzierungsbedarf für das Szenario «langsame Umstellung» auf. Die nicht-zurückerstattete Mineralölsteuer wird beim Finanzierungsbedarf im Ortsverkehr ab 2026 und im regionalen Personenverkehr ab 2030 hinzugerechnet.

Finanzierungsbedarf im RPV in Mio. CHF Szenario «Realistisches Potenzial»

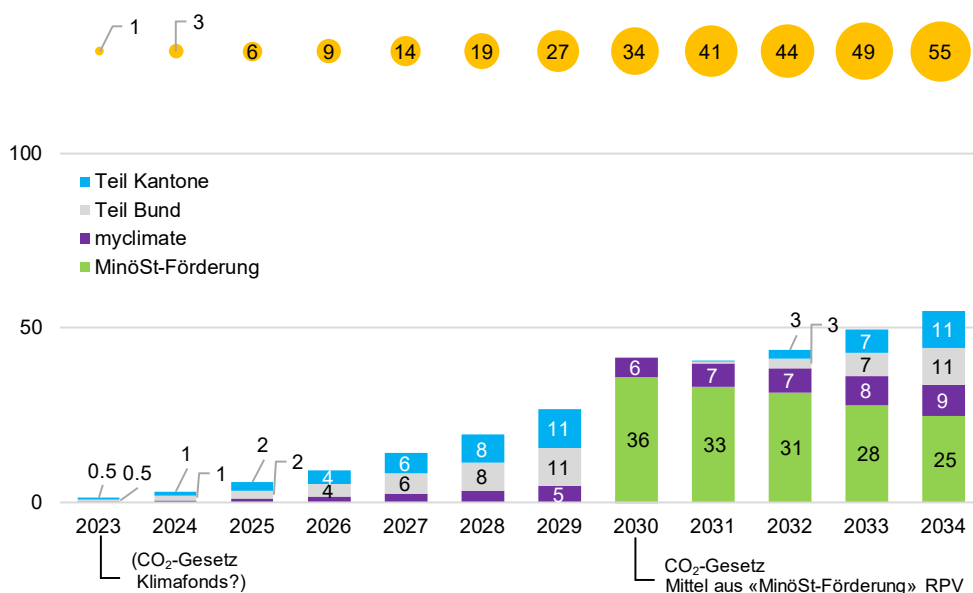


Abbildung 36: Maximaler Finanzierungsbedarf im regionalen Personenverkehr für das Szenario «Realistisches Potenzial». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Finanzierungsbedarf im Ortsverkehr in Mio. CHF Szenario «Realistisches Potenzial»

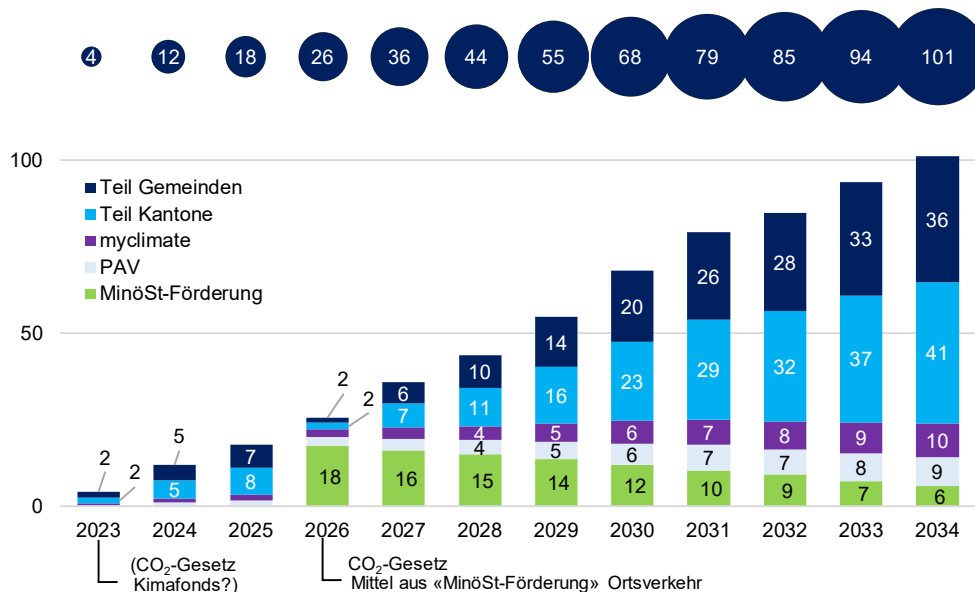


Abbildung 37: Maximaler Finanzierungsbedarf im Ortsverkehr für das Szenario «Realistisches Potenzial». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

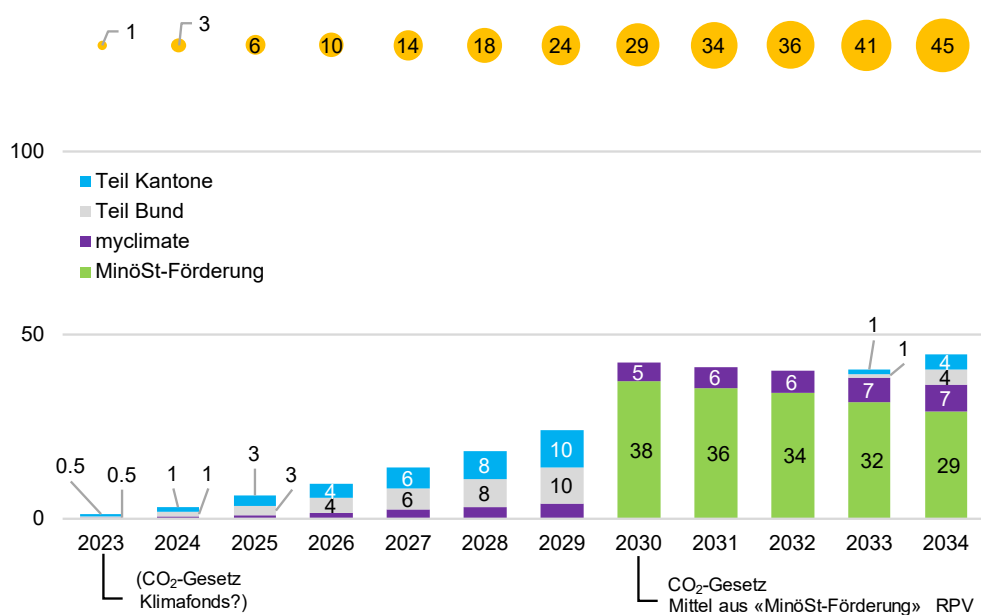
Finanzierungsbedarf im RPV in Mio. CHF**Szenario «Langsame Umstellung»**

Abbildung 38: Maximaler Finanzierungsbedarf im regionalen Personenverkehr für das Szenario «langsame Umstellung». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

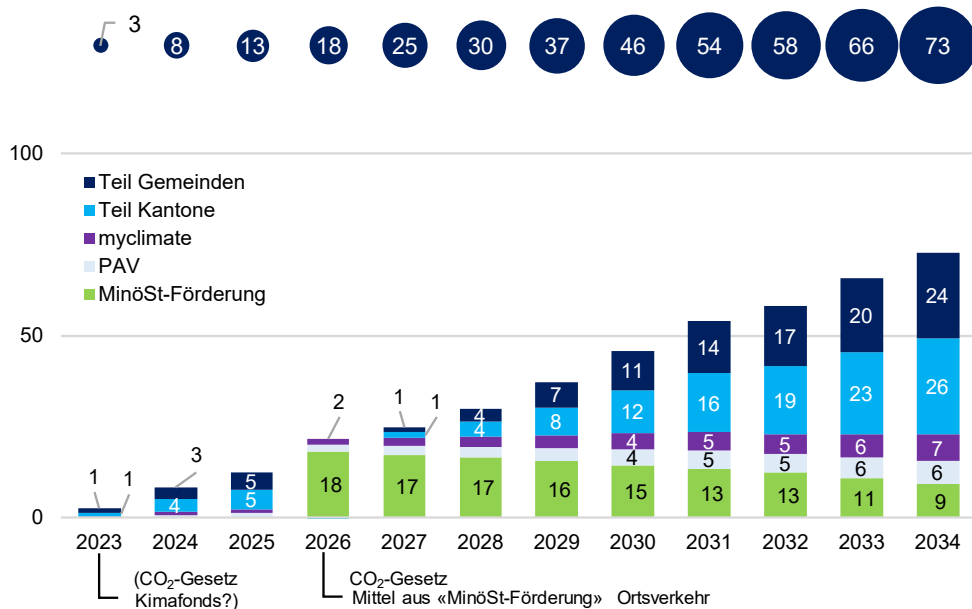
Finanzierungsbedarf im Ortsverkehr in Mio. CHF Szenario «Langsame Umstellung»

Abbildung 39: Maximaler Finanzierungsbedarf im Ortsverkehr für das Szenario «langsame Umstellung». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.

7 Fazit

Ein Ersatz der heutigen Dieselbusse mit fossilfreien Antriebstechnologien, insbesondere Batteriebusen, kann zu einer substantiellen Reduktion von Treibhausgas-, Luftschadstoff- und Lärmemissionen führen. Der Nutzen wird in dicht besiedelten Gebieten noch dadurch verstärkt, dass ein höherer Anteil der Bevölkerung heute Emissionen von Dieselbussen ausgesetzt ist.

Aufgrund geringerer Linienlängen, wenig anspruchsvoller Topographie und teilweise bereits bestehender Oberleitungsinfrastruktur besteht vor allem im Ortsverkehr sowie in grösseren Agglomerationen kurzfristig ein Einsatzpotenzial von Bussen mit fossilfreien Antrieben (vornehmlich verschiedenen Arten von Elektrobussen). Die technologische Entwicklung insbesondere bei Batterien erhöht das technische Einsatzpotenzial von Elektrobussen mittel- bis längerfristig erheblich; damit werden vermehrt für längere Linien im ländlichen Raum alternative Antriebe wirtschaftlich einsetzbar.

In einer Vollkostenbetrachtung kosten Elektrobusse im Vergleich zu Dieselbussen noch wesentlich mehr, vor allem auch weil letztere heute von der Rückerstattung der Mineralölsteuer profitieren. Mehrkosten ergeben sich insbesondere wegen zusätzlicher Ladeinfrastruktur (Trolley, aber auch Gelegenheits- und Depotlader, Wasserstofftankstelle), zusätzlichem Fahrzeugbedarf (wenn für eine Linie zusätzliche Fahrzeuge benötigt werden, da einzelne davon während des Tages wieder aufgeladen werden müssen) und höheren Systemkosten wegen derzeit noch kleiner Stückzahlen und vergleichsweise teuren Batterien, die noch dazu während eines Fahrzeuglebens einmal ersetzt werden müssen.

Aus einer Gesamtbetrachtung von Kosten und Umweltwirkungen sollen Batteriebusse als fossilfreie Alternative zu den Dieselbussen im Fokus stehen, dies bereits kurz- und mittelfristig, allerdings nur für wirtschaftlich sinnvolle Einsatzbereiche. Die technische Entwicklung insbesondere bei den Batterien (höhere Energiedichte und damit grössere Reichweiten bzw. längere Lebensdauer und tiefere Anschaffungskosten) reduzieren die Mehrkosten längerfristig zwar deutlich, jedoch bleiben die durchschnittlichen Mehrkosten der fossilfreien Antriebstechnologien auch im Jahr 2035 höher als die Referenz.

Brennstoffzellenbusse schneiden bezüglich Treibhausgasemissionen und lokaler Luftschadstoffe praktisch gleich ab wie die Batteriebusse, weisen jedoch eine deutlich geringere Energieeffizienz und auch längerfristig höhere Mehrkosten als Dieselbusse auf. In bergigen Regionen mit anspruchsvoller Topographie und schwer zu elektrifizierenden Linien stellt jedoch oft diese Antriebstechnologie die einzige realistische, fossilfreie Option dar. Auch Biodieselbusse ermöglichen erhebliche Reduktionen von Treibhausgasen, stossen aber weiterhin Luftschadstoffe aus und sind deutlich lauter. Biodieselbusse weisen gegenüber Dieselbusse nur leichte Mehrkosten auf und können kurzfristig als Übergangstechnologie für die Umstellung von anspruchsvollen Linien eingesetzt werden. Der Biodiesel ist jedoch nur beschränkt verfügbar.

Aufgrund der grossen Bandbreite der Mehrkosten soll die Umstellung auf fossilfreie Technologien zuerst bei Linien vorangetrieben werden, welche mit den heutigen Technologien einfach elektrifiziert werden können. Umstellungen, welche den Einsatz von zusätzlichen Bussen benötigen sind weder wirtschaftlich noch ökologisch sinnvoll. In diesem Zusammenhang sind unterschiedliche Ansätze und Technologien je nach Linien- und Netztyp und örtlichen Gegebenheiten nötig.

Bezieht man die Mehrkosten fossilfreier Antriebstechnologien ausschliesslich auf die reduzierte Menge an CO₂, resultieren somit die Vermeidungskosten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Umstellung auf fossilfreie Antriebe hilft, weitere externe Kosten in den Bereichen Lärm und Luftschadstoffe zu reduzieren. Zudem soll die öffentliche Hand eine Vorbildfunktion für emissionsarme und umweltfreundliche Mobilität wahrnehmen. Die Investition in eine Umstellung auf Elektrobusse darf aber nicht dazu führen, dass das ÖV-Angebot kannibalisiert wird. Die investierten Mittel müssen zusätzlich zur bestehenden Finanzierung des öffentlichen Verkehrs eingesetzt werden.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

Mit dem «realistischen» Szenario liessen sich im Zeitraum von 2023 bis 2034 im regionalen Personenverkehr rund 50 % der heutigen Dieselsebusse oder rund 1'900 Fahrzeuge durch Batteriebusse ersetzen. Im Ortsverkehr könnten im selben Zeitraum rund 70 % oder 1'300 Fahrzeuge auf fossilfreie Elektrobusse umgestellt werden. Im Szenario «langsame Umstellung» würden im gleichen Zeitraum im regionalen Personenverkehr 40 % oder rund 1'500 Fahrzeuge und im Ortsverkehr 55 % oder rund 1'000 Fahrzeuge auf fossilfreie Elektrobusse umgestellt werden.

Der kumulierte, maximale Finanzierungsbedarf für den Zeitraum von 2023 bis 2034 im «realistischen» Szenario (inkl. Mitteln nicht mehr zurückerstatteter Mineralölsteuer) liegt bei rund 53 Millionen Schweizer Franken für den Bund, 265 Millionen Schweizer Franken für die Kantone und 188 Millionen Schweizer Franken für die Gemeinden. Im Szenario «langsame Umstellung» würde ein kumulierter Mehrbedarf von rund 37 Millionen Schweizer Franken für den Bund, 155 Millionen Schweizer Franken für die Kantone und rund 104 Millionen Schweizer Franken für die Gemeinden entstehen. Somit ergeben sich Einsparungen im Szenario «langsame Umstellung» von 16 Millionen Schweizer Franken für den Bund, 110 Millionen Schweizer Franken für die Kantone und 84 Millionen Schweizer Franken für die Gemeinden.

Empfehlungen für die Umstellung auf fossilfreie Busse:

Eine sinnvolle Koordination und gezielte Ergänzung der Förderung sind heute notwendig. Dadurch kann die Umstellung auf fossilfreie Antriebssysteme im öffentlichen Strassenverkehr unterstützt werden. Folgende Fördermöglichkeiten sind zur Deckung der Mehrkosten berücksichtigen:

1. **Eine maximale Ausschöpfung nationaler Förderprogramme ist anzustreben.** Die CO₂-Kompensationspflicht der Treibstoffimporteure gemäss dem neuen CO₂-Gesetz (beispielsweise das Kompensationsprogramm von «myclimate») sowie Beiträge aus dem Agglomerationsprogramm (PAV) sollen maximal ausgeschöpft werden. Damit kann ein Teil der Mehrkosten gedeckt werden, die bei der Neubeschaffung der fossilfreien Fahrzeuge und bei der Ladeinfrastruktur entstehen. Diese Beiträge allein reichen allerdings kurz- und mittelfristig nicht aus, um diese Mehrkosten komplett zu decken.
2. **Mittel aus nicht mehr zurückerstatteter Mineralölsteuer.** Das Parlament hat im Rahmen der Totalrevision des CO₂-Gesetzes eine gestaffelte Aufhebung der Mineralölsteuerrückerstattung für konzessionierte Transportunternehmen beschlossen. Ab 2026 soll die Rückerstattung für den Ortsverkehr wegfallen, ab 2030 jene für den regionalen Personenverkehr. Die eingesparten Mittel werden befristet für die Umstellung von Dieselsebuslinien auf fossilfreie Alternativen eingesetzt.
3. **Mehrkosten im regionalen Personenverkehr:** Der Bundesanteil der geschätzten Mehrkosten im regionalen Personenverkehr kann vom Bund durch die bestehenden, ordentlichen Verpflichtungskredite gedeckt werden (insbesondere während der Periode 2022-2025). Ab 2026 ist dazu eine Erhöhung der Kredite erforderlich. Die Kantone müssen für ihren Anteil an den Mehrkosten selber aufkommen. Die vorgesehenen Investitionen können nur erfolgen, wenn auch die Kantone ihrerseits die dafür notwendigen Mittel bereitstellen.
4. **Mehrkosten im Ortsverkehr:** Der Finanzierung des Ortsverkehrs liegt nicht in Bundeskompetenz. Da für die Quantifizierung der Mehrkosten des Ortsverkehrs die zahlreichen zusätzlichen Förderinstrumente auf kantonaler und kommunaler Ebene nicht integral berücksichtigt werden konnten, stellen die ausgewiesenen Mehrkosten im Ortsverkehr eine maximale Obergrenze dar, die im Einzelfall tiefer liegen werden. Die wirtschaftlichen Folgen der Corona-Pandemie stellen die Unternehmen des öffentlichen Verkehrs wie auch die Besteller auf der Ebene der Kantone und Gemeinden längerfristig vor grosse Herausforderungen.
5. **Klimafonds:** Der neu zu schaffende Klimafonds wird Massnahmen zur Verminderung von Treibhausgasemissionen finanzieren. Die Fonds wird derzeit aufgebaut; sofern das neue CO₂-Gesetz eine allfällige Referendumsabstimmung übersteht, werden die ersten Fondsinstrumente ab 2022

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

im Vollzug sein. Die Unterstützung der Umstellung von Dieselbuslinien auf fossilfreie Antriebstechnologien mit dem Klimafonds ist nicht ausgeschlossen, auch wenn dieser Fördertatbestand nicht explizit im neuen CO₂-Gesetz erwähnt ist. Für eine solche Unterstützung bieten sich längerfristig allerdings eher die Mehreinnahmen an, die der Bund durch den Wegfall der Rückerstattung der Mineralölsteuer erzielen wird: Diese Mittel wird der Bund zweckgebunden im strassengebundenen öffentlichen Verkehr einsetzen müssen (siehe Kapitel 6.5.1).

Der politische Dialog zwischen den drei Staatsebenen für die konkrete Umsetzung der vorgeschlagenen Massnahmen wurde im Rahmen der Arbeiten bereits aufgenommen und soll nach der Veröffentlichung des vorliegenden Postulatsberichts intensiviert werden. Es braucht zudem eine breite Anhörung der involvierten Akteure.

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

8 Quellenverzeichnis

BAFU 2020. Bundesamt für Umwelt. Treibhausgasemissionen gemäss CO₂-Gesetz und Kyoto-Protokoll, aufgeteilt nach Sektoren, Stand: April 2020. Bern.

BFE 2020. Bundesamt für Energie. Gesamtenergiestatistik 2019. Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019, veröffentlicht am 9. Juli 2020. Bern.

BFE 2019. Bundesamt für Energie. Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000–2018 nach Verwendungszwecken. Oktober 2019. Bern.

BFE/VöV 2020. Bundesamt für Energie / Verband öffentlicher Verkehr. Konzessionierte Transportunternehmen in der Schweiz – Umfrage zur Finanzierung Busse mit alternativen Antrieben und Daten zum Ortsverkehr. Bern.

BFS 2020a. Bundesamt für Statistik. Leistungen des Personenverkehrs (PV-L), Statistik des öffentlichen Verkehrs (OeV). Juli 2020. Neuchâtel.

BFS 2020b. Bundesamt für Statistik. Gütertransportstatistik (GTS), Statistik des öffentlichen Verkehrs (OeV); Erdölvereinigung – Jahresbericht. Juli 2020. Neuchâtel.

Ecoplan 2012. THG-Vermeidungskosten und -potenziale in der Schweiz, Literaturanalyse und Konzeption weitere Erhebungen, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU). Schlussbericht. 7. Juni 2012. Bern.

HBEFA 4.1. Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs. Version 4.1. INFRAS. Zürich.

INFRAS 2020. Abschätzung des Einsatz- und CO₂-Reduktionspotenzials durch Busse mit nicht fossilen Antriebstechnologien und Fördermöglichkeiten. Grundlagestudie und Zusatzstudie im Auftrag des Bundesamtes für Energie. Zürich.

Litra 2019. Verkehrszahlen, Ausgabe 2019, Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr. August 2019. Bern.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gesamtenergieverbrauch der Schweiz. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BFE 2020.....	5
Abbildung 2: Energieverbrauch im öffentlichen Verkehr nach Verkehrsmittel. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BFE 2019.....	6
Abbildung 3: CO ₂ e-Emissionen 2018 nach Sektoren (Treibhausgasemissionen). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BAFU 2020.....	6
Abbildung 4: Anteil der Verkehrsmittel an den Treibhausgasemissionen des Verkehrs. CO ₂ e-Emissionen 2018 nach Verkehrsträgern. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf BAFU 2020.....	7
Abbildung 5: Flottenkennzahlen (Bezuggrösse: 5'271 Busse). Quelle: Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.....	10
Abbildung 6: Eingesetzte Busse nach Alter im Jahr 2020. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.....	11
Abbildung 7: Anzahl Linien nach Linienlängen und nach Fahrzeuggrössen für den Ortsverkehr (Bezugsgrösse: 588 Linien, Doppelstöcker und 15m-Busse machen < 1 % aus). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.....	12
Abbildung 8: Anzahl der Linien nach Linienlängen und nach Fahrzeuggrössen für den regionalen Personenverkehr (RPV) (Bezugsgrösse: 1'104 Linien, Doppelstöcker und 15m-Busse machen <1 % aus). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf TU-Umfrage BFE/VöV 2020.....	12
Abbildung 9: Definition der fossilfreien Antriebstechnologien (IMC = in motion charging, deutsch: Laden während des Fahrens). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	13
Abbildung 10: Entwicklung der realen Reichweite von Batteriebusen mit Depotladekonzept. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	16
Abbildung 11: Anschaffungskosten der Antriebsoptionen im Zeitverlauf. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	17
Abbildung 12: Treibhausgasemissionen unterschiedlicher Antriebstechnologien über 12 Jahre (Stand: 2020), Gelenkbus im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	20
Abbildung 13: Primärenergieverbrauch fossilfreier Antriebsoptionen gegenüber Dieselbus (= 100 %). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	21
Abbildung 14: Stickoxidemissionen (NO _x)- und Feinstaubemissionen (PM ₁₀ -Emissionen) fossilfreier Antriebsoptionen im Betrieb gegenüber Dieselbus für einen Gelenkbus im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	22
Abbildung 15: Umweltvergleich öffentlichen Verkehr und Personenwagen. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf mobitool.ch.....	23
Abbildung 16: Mehrkosten im Orts- oder Agglomerationsverkehr gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) mit Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	24
Abbildung 17: Mehrkosten im Orts- oder Agglomerationsverkehr gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) ohne Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	25
Abbildung 18: Mehrkosten im regionalen Personenverkehr im Mittelland gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) mit Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	26
Abbildung 19: Mehrkosten im regionalen Personenverkehr im Mittelland gegenüber Dieselbus Euro 6 (Vollkostenbetrachtung) ohne Mineralölsteuerrückerstattung. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	26
Abbildung 20: Reduktionskosten pro Tonne CO ₂ e kurz oder langfristig, mit oder ohne Mineralölsteuerrückerstattung (Int: integraler Takt, HVZ: Taktfahrplan mit Verstärkungen in den Hauptverkehrszeiten). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	28
Abbildung 21: Bewertungsprofile der untersuchten fossilfreien Antriebsoptionen. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	29

Abbildung 22: Einordnung der Finanzierungsmöglichkeiten. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	31
Abbildung 23: Maximales Potenzial für Dieselbusersatz durch Batteriebusse im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	39
Abbildung 24: Anteil fossilfreie Busse am Total zu ersetzender Diesel-Busse je Jahr im «realistischen» Szenario. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020. EU Clean Vehicles Directive: Die roten Flächen entsprechen der Bandbreite der Zielsetzungen der Mitgliedsstaaten für die Jahre 2025 und 2030.	40
Abbildung 25: Realistisches Potenzial für Batteriebusse im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	41
Abbildung 26: Anteil fossilfreie Busse am Total zu ersetzender Diesel-Busse je Jahr im «minimalen» Szenario. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020. EU Clean Vehicles Directive: Die roten Flächen entsprechen die Bandbreite der Zielsetzungen der Mitgliedsstaaten für die Jahre 2025 und 2030.	41
Abbildung 27: Minimales Potenzial für Batteriebusse im regionalen Personenverkehr und im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	42
Abbildung 28: Grobgeschätzte Mehrkosten bei der Umstellung von Dieselbussen auf Batteriebusse – Basisrechnung mit 12 Jahren Lebensdauer pro Fahrzeuge (alle Antriebsoptionen) und 6 Jahre Lebensdauer für die Batterien. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	43
Abbildung 29: CO ₂ -Reduktionspotenzial einer Umstellung von Dieselbussen auf Batteriebusse. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	44
Abbildung 30: Finanzielles Potenzial des Programms «myclimate» im regionalen Personenverkehr und Ortsverkehr pro Jahr bei einem Beitrag von 200 Schweizer Franken pro Tonne CO ₂ . Oben: Maximales theoretisches finanzielles Potenzial ohne jegliche Einschränkungen. Unten: Geschätztes realistisches finanzielles Potenzial. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	46
Abbildung 31: Geschätztes finanzielles Potenzial der Bundesbeiträge aus dem Programm «Agglomerationsverkehr (PAV)» im Ortsverkehr pro Jahr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	47
Abbildung 32: Entwicklung der Förderbeiträge (Programm myclimate + PAV) und des ungedeckten Finanzierungsbedarfs für RPV und Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	48
Abbildung 33: Mögliche Aufteilung des ungedeckten Finanzierungsbedarf gemäss der ordentlichen Finanzierung des öffentlichen Verkehrs (regionaler Personenverkehr und Ortsverkehr). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	49
Abbildung 34: Darstellung der Finanzierungsmöglichkeiten und der möglichen Konflikten im regionalen Personenverkehr. Quelle: BFE-Darstellung.	53
Abbildung 35: Darstellung der Finanzierungsmöglichkeiten und der möglichen Konflikten im Ortsverkehr. Quelle: BFE-Darstellung.	53
Abbildung 36: Maximaler Finanzierungsbedarf im regionalen Personenverkehr für das Szenario «Realistisches Potenzial». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	54
Abbildung 37: Maximaler Finanzierungsbedarf im Ortsverkehr für das Szenario «Realistisches Potenzial». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	54
Abbildung 38: Maximaler Finanzierungsbedarf im regionalen Personenverkehr für das Szenario «Minimales Potenzial». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	55
Abbildung 39: Maximaler Finanzierungsbedarf im Ortsverkehr für das Szenario «Minimales Potenzial». Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	55

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anschaftungskosten je nach Bustyp und Antriebstechnologie (Preis 2020). Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020. E-Geleg. = E-Gelegenheitslader. Piktogramme: VBZ..	11
Tabelle 2:	Vollkosten und Abgeltungen 2019 für die Linien im regionalen Personenverkehr (RPV) (Vollerhebung, Quelle: BAV, Stand 2020) und Ortslinien (Stichprobe, Quelle: TU-Umfrage BFE/VöV 2020).....	13
Tabelle 3:	Übersicht und Auswahl der Antriebsoptionen und Treibstoffe (CCS: Carbon Capture and Storage). Quelle: Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.....	15
Tabelle 4:	Einschätzung der Antriebsoptionen aus technischer und betrieblicher Sicht.....	17
Tabelle 5:	Untersuchte Fallbeispiele. HVZ: Hauptverkehrszeit.....	19
Tabelle 6:	Qualitative Bewertung weiterer Kriterien. Quelle: BFE-Darstellung basierend auf INFRAS 2020.	29
Tabelle 7:	Finanzierung öffentlicher Verkehr durch die öffentliche Hand. Quelle: Litra 2019.....	31
Tabelle 8:	Übersicht bestehender Finanzierung im öffentlichen Verkehr und Fördermassnahmen.....	32
Tabelle 9:	Finanzierung bzw. Fördermöglichkeiten von Fahrzeugen und Antriebstechnologien.....	33
Tabelle 10:	Stärke und Schwäche der bestehenden Finanzierungen und Fördermöglichkeiten.....	33
Tabelle 11:	Finanzielle Förderungen für einen fossilfreien öffentlichen Verkehr.....	36
Tabelle 12:	Details Mineralölsteuerrückerstattung.....	37
Tabelle 13:	Überblick Fallstudien Ausland.....	38

Aktenzeichen: BFE-432.1-2/47/34

11 Abkürzungsverzeichnis

BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BFE	Bundesamt für Energie
BöB	Bundesgesetz über das öffentliche Beschaffungswesen
CO ₂ e	CO ₂ -Äquivalente
IVöB	Interkantonale Vereinbarung über das öffentliche Beschaffungswesen
KKDöV	Konferenz der kantonalen Delegierten des öffentlichen Verkehrs
KTU	Konzessionierte Transportunternehmen
MIV	Motorisierter Individualverkehr
öV	Öffentlicher Verkehr
PAV	Programm Agglomerationsverkehr
QMS RPV	Qualitätsmesssystem im regionalen Personenverkehr
RPV	Regionaler Personenverkehr
SuG	Subventionsgesetz
USG	Umweltschutzgesetz
VöV	Verband öffentlicher Verkehr