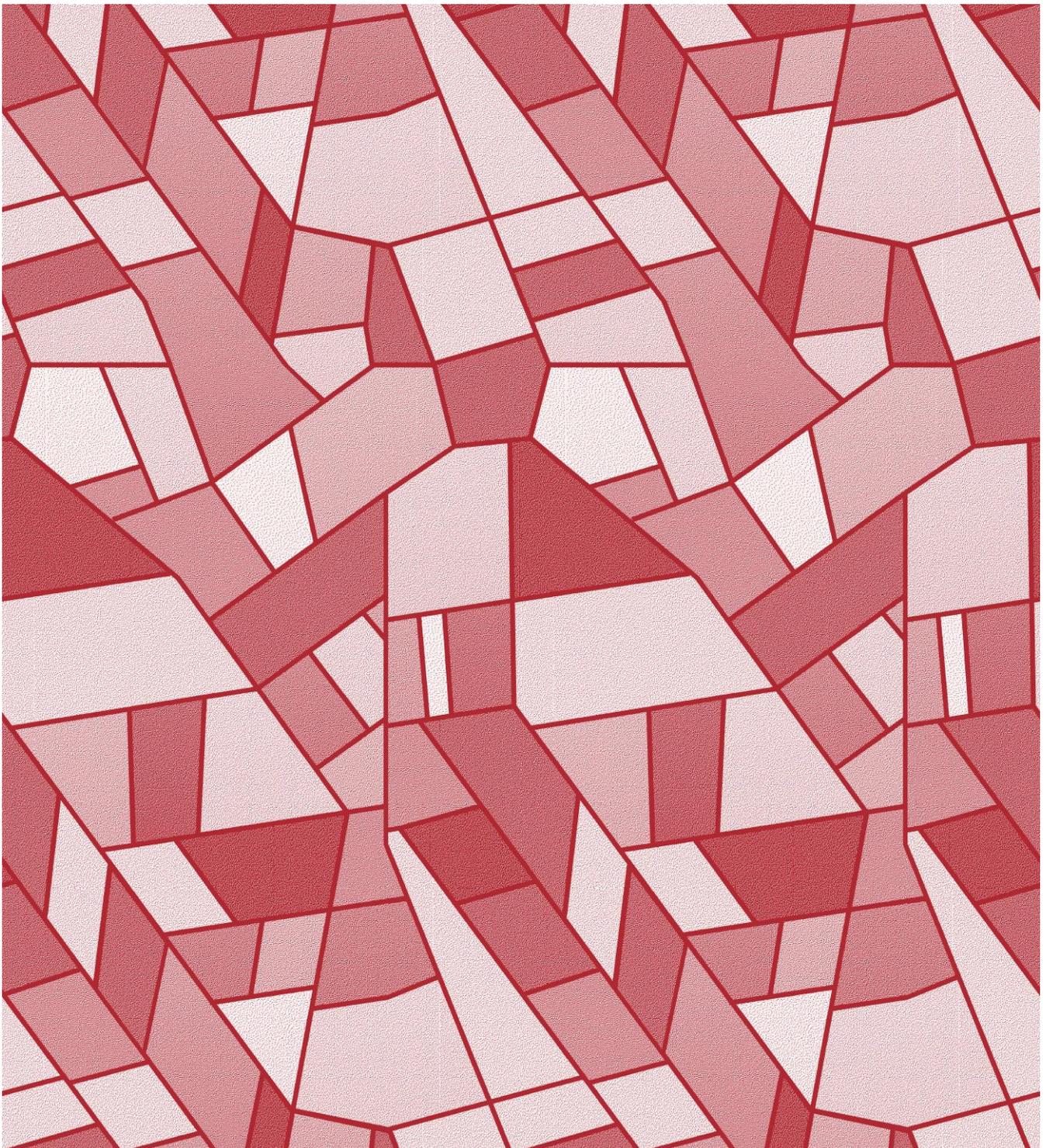


Absenkpfade zur Dekarbonisierung des Geschäftsverkehrs

7. März 2025



Projektteam

Tim Trachsel
Alessio Mina
Ana Alonso Hellweg
Luc Subal
Silvan Rosser
Andy Spörri

Begleitgruppe

Nana von Felten, Abteilung Landschaft und Gewässer
Tess Giacobbo, Abteilung Landschaft und Gewässer
Sabine Reichen, Generalsekretariat BVU
Marc Zurfluh, Abteilung Energie
Michael Wernli, DGS AMB
Philip Gehri, DVI GES
Jürg Zehnder, DVI KAPO
Giuliano Sabato, BVU ATB
Katrín Schönenberger, BVU AVK

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch

7. März 2025

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Definition Netto-Null 2040 für Kantonsfahrzeuge	6
3.	Grundlagen nachhaltige Mobilität	7
4.	Bestandesaufnahme	11
4.1	Ausgangslage Flotte	11
4.2	Ausgangslage Dienstfahrten	15
4.3	Bestehende Grundlagen	16
5.	Absenkpfad: Modellierung der Zielerreichung	17
5.1	Ziel der Modellierung und Definition der Szenarien	17
5.2	Entwicklung der Flotte	17
5.2.1	Annahmen zur Erneuerung der Flotte	17
5.2.2	Annahmen im BAU-Szenario	18
5.2.3	Annahmen im Zielszenario	19
5.2.4	Entwicklung des Antriebsmixes der Flotte	21
5.3	Bilanzierung der Treibhausgasemissionen	24
5.3.1	Vorgehen	24
5.3.2	Resultate	29
5.4	Berechnung der Gesamtkosten	33
5.4.1	Vorgehen	33
5.4.2	Resultate	36
5.5	Schlussfolgerungen	39
6.	Analyse der Dienstfahrten	41
6.1	Vorgehen	41
6.2	Resultate	42
7.	Massnahmen und Ressourcenbedarf für Etappe I bis 2030	44
7.1	Massnahme 1: übergeordnete Beschaffungsstrategie mit Etappenzielen	44
7.2	Massnahme 2: Konzept für den Beschaffungsprozess	47
7.3	Massnahme 3: Mobilitätsmanagement und Lademöglichkeiten für Mitarbeitende	50
7.4	Massnahme 4: Machbarkeitsstudien zur Elektrifizierung	51
8.	Quellen	53

1. Einleitung

Die Anzahl Neuzulassungen von Elektrofahrzeugen ist in den letzten Jahren stark gestiegen. Bei den Neuzulassungen von Personenwagen liegt der Marktanteil der rein batterieelektrischen Autos und Plug-in Hybride aktuell bei über 30%. Im Jahr 2019 betrug dieser Anteil noch 5%.

Der Strassenverkehr ist heute allerdings noch mehrheitlich von fossilen Energieträgern abhängig und für rund einen Drittel der Schweizer Treibhausgasemissionen verantwortlich. Die Elektromobilität gilt als Hoffnungsträger in Sachen Klimaschutz im Strassenverkehr: Sie kann den Energieverbrauch senken und durch den Einsatz von Strom aus erneuerbaren Quellen die Treibhausgasemissionen stark reduzieren.

Das Klima- und Innovationsgesetz (KIG) des Bundes gibt vor, dass die Kantone Netto-Null Ziele bis 2040 für ihre zentralen Verwaltungen anstreben. Die Verwaltung des Kantons Aargau möchte ihre Vorbildrolle unter anderem in Bezug auf den Geschäftsverkehr wahrnehmen und erarbeitet derzeit eine entsprechende Roadmap Netto-Null 2040 für die kantonale Verwaltung. Die vorliegende, von EBP erarbeitete Studie soll die Verwaltung in diesem Prozess für die Fahrzeuge im Besitz der kantonalen Verwaltung unterstützen und dabei als robuste Entscheidungsgrundlage dienen.

Ziel dieser Studie ist es, der Verwaltung des Kantons Aargau Szenarien und Massnahmen für die Dekarbonisierung des Geschäftsverkehrs aufzuzeigen. Hierfür modelliert EBP zwei Szenarien, die sowohl in Hinblick auf die emittierten Treibhausgase (THG) als auch die Kosten für Anschaffung und Betrieb verglichen werden. Auf Grundlage dieser Analyse wird anschliessend eine Auswahl an Massnahmen zur Dekarbonisierung abgeleitet und erarbeitet. Diese Massnahmen sollen anschliessend in die Erarbeitung der Roadmap Netto-Null 2040 einfliessen.

2. Definition Netto-Null 2040 für Kantonsfahrzeuge

Die Verwaltung des Kantons Aargau setzt es sich zum Ziel bis zum Jahr 2040 den Geschäftsverkehr der kantonalen Fahrzeuge klimaneutral zu gestalten. Das bedeutet, dass alle Fahrzeuge der kantonalen Flotte bis zum Jahr 2040 keine Treibhausgasemissionen beim Betrieb mehr ausstossen dürfen. Diese Emissionen entsprechen in der Treibhausgasbilanzierung dem sogenannten Scope 1 und Scope 2. Sie umfassen die direkten Emissionen beim Betrieb der Fahrzeuge, die durch die Verbrennung von fossilen Treibstoffen wie Diesel und Benzin entstehen. Elektro- oder Brennstoffzellenfahrzeuge stossen beim Betrieb hingegen keine Treibhausgasemissionen aus. Die mit der Stromerzeugung verbundenen Emissionen werden im Scope 2 angerechnet und sind Teil der Zieldefinition. Weitere Emissionen entstehen bei der Produktion der Fahrzeuge und allfälligen Ladeinfrastruktur sowie für die Bereitstellung von Energieträgern (Scope 3). Die Emissionen des Scopes 3 sind zwar nicht Teil des Netto-Null-Ziels 2040, werden aber für eine ganzheitliche Betrachtung im Rahmen dieser Studie ebenfalls bilanziert.

Neben dem Geschäftsverkehr der kantonalen Fahrzeuge fallen auch Emissionen durch Dienstfahrten mit privaten Fahrzeugen und Carsharing-Angeboten, wie z.B. Mobility, an. Diese Emissionen sind Teil des Scope 3. Bei Dienstfahrten mit privaten Fahrzeugen sind die Handlungsoptionen seitens kantonalen Verwaltung zur vollständigen Dekarbonisierung allerdings stark eingeschränkt und erstrecken sich primär auf das Setzen von Anreizen. Der Kanton kann hier beispielsweise keinen direkten Einfluss auf die private Fahrzeug-Kaufentscheidung der Mitarbeitenden nehmen. Entsprechend sind die mit den Dienstfahrten verbundenen Emissionen nicht Teil der Netto-Null-Zielsetzung 2040. Im Rahmen der Analyse werden die Dienstfahrten allerdings trotzdem betrachtet und sowohl die Treibhausgasemissionen sowie die Kosten abgeschätzt.

3. Grundlagen nachhaltige Mobilität

Die Elektromobilität ist ein wesentlicher Grundpfeiler bei der Dekarbonisierung des Strassenverkehrs. Sie leistet einen fundamentalen Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz des Gesamtverkehrs sowie zur Reduktion der Treibhausgasemissionen und der Belastung des Verkehrs für Bevölkerung und Umwelt. Sie ist aber nur eine Teillösung eines nachhaltigen Verkehrssystems. Eine nachhaltige Mobilitätsstrategie basiert auf vier Säulen: Vermeidung, Verlagerung, Vernetzung und Verbesserung. Dabei gilt es, die Potenziale neuer Technologien und gesellschaftlicher Entwicklungen zu nutzen.

Vermeidung

Basis eines umweltfreundlichen Verkehrssystems sind Siedlungs- und Verkehrsstrukturen, die durch kurze Wege die Nahmobilität fördern und damit die Verkehrsleistung reduzieren. Eine effiziente Raum- und Strassenplanung ist für diese Säule zentral.

Verlagerung

Der nicht-vermeidbare Verkehr sollte auf möglichst umweltfreundliche und effiziente Verkehrsmittel verlagert werden. Hier steht primär die Verlagerung des motorisierten Individualverkehrs auf den öffentlichen Verkehr und auf den Fuss- und Veloverkehr im Vordergrund.

Vernetzung

Die Verkehrsmittel müssen gut verbunden sein. Ausserdem muss die digitale Vernetzung der Verkehrsmittel und Infrastrukturen sichergestellt werden. Die involvierten Elemente des Verkehrsnetzes müssen miteinander kommunizieren und Daten teilen. Eine gute Vernetzung ermöglicht funktionierende Sharing- und Pooling-Konzepte und damit eine geringere Zahl an Fahrzeugen auf der Strasse durch höhere Belegung sowie die Bündelung von Warentransporten.

Verbesserung

Der verbleibende motorisierte Verkehr, der sich nicht vermeiden und verlagern lässt, wird verbessert bzw. umweltverträglicher gemacht, damit die Emissionen reduziert werden können:

- Kleinere, leichtere, sauberere und leisere Fahrzeuge
- Energieeffizientere und erneuerbare Antriebstechnologien

Die Elektromobilität spielt darum für die Verbesserung des Verkehrs eine zentrale Rolle. Die kantonale Verwaltung hat hier bereits erste Schritte gemacht indem batterieelektrische Fahrzeuge beschafft werden und gewisse Richtlinien zum Ausbau der Ladeinfrastruktur erarbeitet wurden.

Batterieelektrische Fahrzeuge

Als batterieelektrische Fahrzeuge werden Fahrzeuge bezeichnet, die rein elektrisch fahren und deren Batterie extern aufladbar ist. Sie sind mit keinem internen Energieumwandler ausgestattet. Die Bezeichnung «Steckerfahrzeuge» hingegen schliesst neben batterieelektrischen Fahrzeugen auch Plug-In Hybride ein, die neben einer extern aufladbaren Batterie auch über

einen Verbrennungsmotor verfügen. Die Energiedichte der Batterien in Steckerfahrzeugen nimmt zwar stetig zu, ist aber noch nicht für alle Einsätze ausreichend. Ausserdem muss die Abnahme der Batteriekapazität mit dem Alter berücksichtigt werden – die Kapazität nimmt bis zum Ende der Lebensdauer je nach Ladeverhalten, Batterietechnologie und Anwendungsprofil des Fahrzeugs um etwa 20% ab (EBP, 2023a).

Ein rasches Wachstum

Die Elektromobilität wird sich in den nächsten Jahren rasant weiterentwickeln (EBP, 2024). Bei Personenwagen, leichten Nutzfahrzeugen und Bussen werden batterie-elektrische Fahrzeuge klar dominieren. 2019 waren 5.6 % der Neuzulassungen von Personenwagen batterieelektrische Fahrzeuge (BEV) oder Plug-in-Hybride (PHEV) (BFE, 2025). 2024 ist dieser Anteil schon auf rund 28 % gestiegen.

Bei den Personenwagen zeigte sich nach Jahren des steilen Wachstums eine leichte Stagnation der Entwicklung der alternativen Antriebe. Eine Begründung dafür findet man in den CO₂-Flottenzielen für Autohersteller. Europaweit und auch in der Schweiz wurden die Emissionsvorschriften für Neuwagen eingehalten. In der Schweiz wurde das Ziel im Jahr 2023 mit einem Marktanteil der Steckerfahrzeuge (BEV+PHEV) von 30% erreicht. Im Jahr 2024 galt nach wie vor der gleiche Zielwert. Von Seiten der Autohersteller und Importeure gibt es entsprechend im Jahr 2024 zumindest von Seiten der Emissionsvorschriften keinen dringenden Handlungsbedarf. Ab 2025 gelten dann EU-weit und auch in der Schweiz verschärfte CO₂-Flottenziele und es müssen wieder mehr Steckerfahrzeuge abgesetzt werden, um die Emissionsvorschriften einzuhalten und Strafzahlungen zu entgehen.

Im Bereich Schwerverkehr waren 8.5 % der neuzugelassenen Lastwagen im Jahr 2023 batterieelektrisch angetrieben. Schliesslich wurden ab Q1-2023 europaweit mehr Elektrobusse als Dieselbusse immatrikuliert (ICCT, 2023a). 2023 lag der Anteil von batterieelektrischen Gelenk-Linienbussen in der Schweiz sogar bei 61 %.

Kundenverhalten und -bewusstsein, neue Regulierungen und technische Fortschritte (vor allem bezüglich der Batterien und ihrer Erstellung) sind als Hauptfaktoren für die sich weiter beschleunigende Marktdurchdringung verantwortlich.

Politische Entwicklungen

Die zukünftigen Marktanteile der batterieelektrischen Fahrzeuge hängen stark von den CO₂-Emissionsvorschriften für neu in Verkehr gesetzte Fahrzeuge ab. Die Schweiz orientiert sich dabei an den Vorgaben der EU. Bisher wurden die entsprechenden Verschärfungen ins CO₂-Gesetz überführt. Selbst wenn die Schweiz die Richtlinien der EU nicht oder nur verzögert übernehmen würde, ist sie davon stark betroffen, da die Schweiz keine eigene Autoindustrie hat und ein Grossteil der Fahrzeuge aus der EU importiert wird.

Im Juni 2023 hat der Bundesrat seinen Bericht zu drei Postulaten über die Elektromobilität verabschiedet (BR, 2023). Der Bericht empfiehlt die

Umstellung auf einen fossilfreien Verkehr bis 2050 grundsätzlich im Gleichschritt und analog zu den Massnahmen der EU umzusetzen.

Im Februar 2023 hat das EU-Parlament endgültig grünes Licht für die neuen CO₂-Standards für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge gegeben: Ab dem Jahr 2035 dürfen neuzugelassene Fahrzeuge dieser Fahrzeugklassen kein CO₂ mehr ausstossen. Es wurde eine Technologieklausel eingeführt: 2026 müssen die technischen Fortschritte überprüft und erneut bewertet werden, um festzustellen, ob diese Grenzwerte erreichbar sind.

Im Mai 2024 hat die EU final entschieden, dass Hersteller von schweren Nutzfahrzeugen und Reisebusse ihre durchschnittlichen Emissionen ab 2040 um 90% senken müssen (CO₂-Emissionen von 2019 gelten als Referenz). Ausserdem müssen bis 2035 die neuzugelassenen Stadtbusse emissionsfrei sein.

Herausforderungen durch die Elektromobilität

Jedoch bringt die Elektromobilität auch Herausforderungen mit sich. Die jüngsten Szenarien (EBP, 2023a) zeigen, dass die schweizweite Elektrifizierung des Strassenverkehrs 9 TWh Strom bis 2035 und 17 TWh bis 2050 benötigt. Ausserdem benötigt die zunehmende Verbreitung von Wärmepumpen zusätzliche elektrische Energie. Der Elektrizitätsbedarf wird von heute 62 TWh auf 80 bis 90 TWh im Jahr 2050 wachsen (VSE, 2022). Dieser zusätzliche Strombedarf muss abgedeckt werden, um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten. Ebenfalls sind Investitionen für die Verstärkung der Stromverteilnetze und für den Aufbau der notwendigen Ladeinfrastruktur notwendig.

Der sogenannte Rebound-Effekt stellt auch ein Risiko der Elektromobilität dar: Da die Betriebskosten pro Kilometer sinken und Elektrofahrzeuge keine direkten Emissionen verursachen, kann es vorkommen, dass die Fahrzeugkilometer pro Kopf steigen. Deshalb ist es unbedingt nötig, nicht nur isoliert die Elektromobilität zu unterstützen, sondern solche Massnahmen in eine breit aufgestellte Mobilitätsstrategie mit Massnahmen zur Vermeidung, Verlagerung und Vernetzung einzubetten.

Brennstoffzellen-Fahrzeuge

Weitere Antriebstechnologien liegen bezüglich der Marktanteile deutlich zurück. Brennstoffzellen-Fahrzeuge (FCEV) werden mit Wasserstoff betankt und repräsentieren im Jahr 2024 weniger als 0.01% der neu zugelassenen Personenwagen (13 von 245'552). Die kantonale Flotte umfasst Stand 2024 zwei FCEV-Personenwagen. Ihr Marktanteil ist entsprechend unbedeutend. FCEV sind technisch komplexer und energetisch weniger effizient als rein batterieelektrische Fahrzeuge. FCEV brauchen pro Fahrzeugkilometer etwa dreimal so viel Elektrizität wie batterieelektrische Fahrzeuge. Während der Strom bei batterieelektrischen Fahrzeugen direkt im Fahrzeug genutzt werden kann, muss für FCEV zuerst erneuerbarer Wasserstoff hergestellt werden, bevor dieser in der Brennstoffzelle im Fahrzeug wiederum zu Strom umgewandelt wird. Diese Umwandlungsschritte sind mit Effizienzverlusten verbunden, wodurch FCEV gegenüber batterieelektrischen Fahrzeugen einen deutlich schlechteren Gesamtwirkungsgrad aufweisen. Zudem sind die Verteilung und Lagerung von Wasserstoff teuer und aufwendig.

Als batteriebetriebene Elektrofahrzeuge noch eine begrenzte Reichweite von weniger als 150 km hatten und das Aufladen einige Stunden dauerte, konzentrierte sich die Diskussion um die Rolle der Brennstoffzelle auf das Marktsegment des Langstreckenverkehrs. Die höhere Energiedichte von komprimiertem Wasserstoff im Vergleich zu batterieelektrischen Fahrzeugen und die Möglichkeit, innerhalb weniger Minuten aufzutanken, liessen Brennstoffzellenfahrzeuge als sehr geeignet für häufige Langstreckenfahrten erscheinen. Dieser angenommene komparative Vorteil der Brennstoffzelle gegenüber dem batterieelektrischen Antrieb hat sich im Bereich der Personewagen, Lieferwagen, Busse und zunehmend auch bei den Lastwagen durch die Entwicklung der Batterie- und Ladetechnik stark relativiert. Batterieelektrische Personewagen bieten heute eine reale Reichweite von meist bis 400 km (mit grösseren Batterien auch bis zu 600 km), und die neueste Generation verwendet 800-V-Batterien, die in etwa 15 Minuten 200 km Reichweite nachladen können. In der kommenden Dekade besteht das Potenzial, durch weiter optimierte Batterietechnologien volumen- und gewichtseinsparende Innovationen voranzutreiben und damit die reale Reichweite weiter stark zu erhöhen. Die jüngsten Studien (Fraunhofer, 2023a,b,c) zeigen, dass der Einsatz von Wasserstoff im Strassenverkehr auch langfristig unwirtschaftlich sein wird.

4. Bestandesaufnahme

4.1 Ausgangslage Flotte

Die Fahrzeugflotte der kantonalen Verwaltung besteht beim Stand der Erhebung Ende Jahr 2024 aus 712 Fahrzeugen inkl. Anhängern. Für die Modellierung und Analyse der Absenkpfade sind Anhänger nicht relevant, da diese nicht motorisiert sind. Weiter wurde die kleine Kategorie der Motorräder (sieben Fahrzeuge, davon drei historische Demonstrationsmodelle) von der Analyse ausgeschlossen. Unter Abzug dieser beiden Kategorien besteht die für die Modellierung relevante Flotte aus 563 Fahrzeugen.

Die Flotte wurde für die Modellierung der Absenkpfade in sechs Kategorien eingeteilt. Die Einteilung wurde auf Grundlage technologischer und anwendungsspezifischer Gesichtspunkte vorgenommen und stellt eine notwendige Vereinfachung dar. Tabelle 1 beschreibt die gewählten Fahrzeugkategorien.

Kategorie	Beschreibung	
Kompaktwagen	Personenwagen der Kompaktklasse und Kleinfahrzeuge Beispiel: VW Golf VII	
Grosse Personenwagen	Personenwagen ab Mittelklasse (inkl. SUV, Geländewagen) Beispiel: BMW 530d xDrive	
Lieferwagen	Fahrzeuge für Personen- oder Gütertransport mit <3.5 t zGG	
Lastwagen	Fahrzeuge für Gütertransport mit >3.5 t zGG Beispiel: Iveco Daily	

Arbeitsmaschine	Sammelgruppe für Kehrmaschinen, Ge- räteträger, Radlader, Walzen, etc. Beispiel: LADOG T 1400	
Traktor	Sammelgruppe für Traktoren Beispiel: John Deere 2036 R	

Tabelle 1: Liste und Beschreibung der Fahrzeugkategorien.

Gewisse Kategorien sind dabei heterogener als andere. So besteht die Kategorie «Lastwagen» aus Fahrzeugen aus mehreren Grössenklassen. Als repräsentatives Fahrzeug wurde hierbei ein Iveco Daily gewählt mit ungefähr 7.2 t zulässigem Gesamtgewicht.

Bei den Arbeitsmaschinen finden sich verschiedene Fahrzeugtypen mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen, wie Kehrmaschinen, Radlader, Geräteträger und Walzen, die für sich genommen einen kleinen Anteil an der Gesamtflotte ausmachen. Damit diese in der Analyse nicht ausgeschlossen werden müssen, wurden sie in einer einzelnen Kategorie zusammengefasst. Hier wurde ein LADOG T 1400 Geräteträger als repräsentatives Fahrzeug für die Analyse gewählt.

Die 563 Fahrzeuge der Flotte wurden auf Basis der Angaben der kantonalen Verwaltung und Experteneinschätzungen seitens EBP in die sechs Kategorien eingeteilt. Abbildung 1 zeigt die Zusammensetzung der Flotte zum Stand der Datenerhebung Ende Jahr 2024.

Zusammensetzung der Flotte nach Kategorie

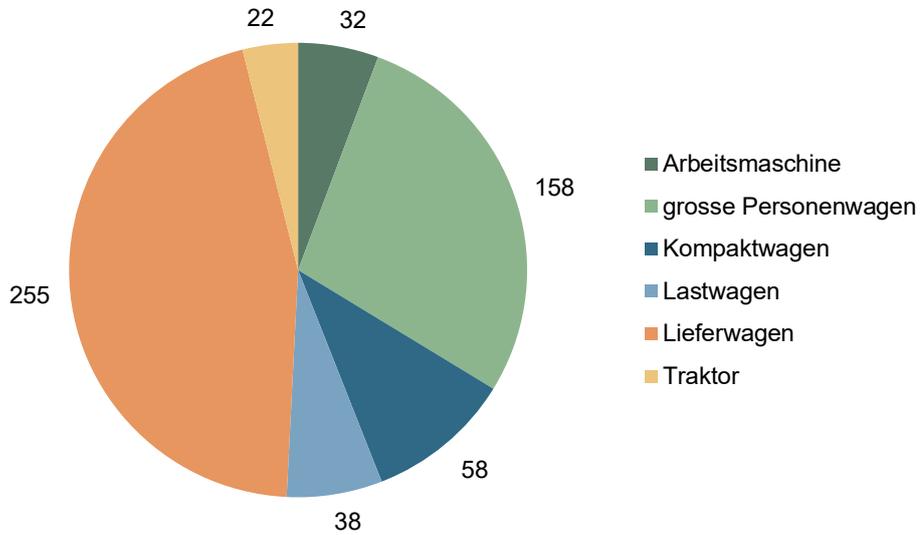


Abbildung 1 Zusammensetzung der heutigen Flotte nach Fahrzeugkategorie.

Der heutige Antriebsmix der Fahrzeugkategorien ist in Abbildung 2 dargestellt. Die überwiegende Mehrheit der Fahrzeuge ist mit einem Dieselantrieb ausgestattet (401 Fahrzeuge), gefolgt Benzinantrieben mit 80 Fahrzeugen. Insgesamt 30 Fahrzeuge sind Hybride, davon vier Plug-in-Hybride (PHEV). Bereits heute sind 49 Fahrzeuge batterieelektrisch. Der Grossteil davon entfällt auf die grossen Personenwagen, gefolgt von den Kompaktwagen. Weiter werden befinden sich derzeit zwei Fahrzeuge mit Wasserstoffantrieb und eines mit Ethanolantrieb in der Flotte. Da Wasserstoffantriebe in Zukunft wohl kaum eine signifikante Rolle im Strassenverkehr spielen werden, wurde diese Antriebsform im Rahmen dieser Studie nicht separat modelliert. Die beiden Wasserstofffahrzeuge wurden für die Analyse entsprechend als BEV behandelt. Das Fahrzeug mit Ethanolantrieb wurde analog dazu als Vereinfachung den Verbrennern zugeordnet und als Benziner kategorisiert.

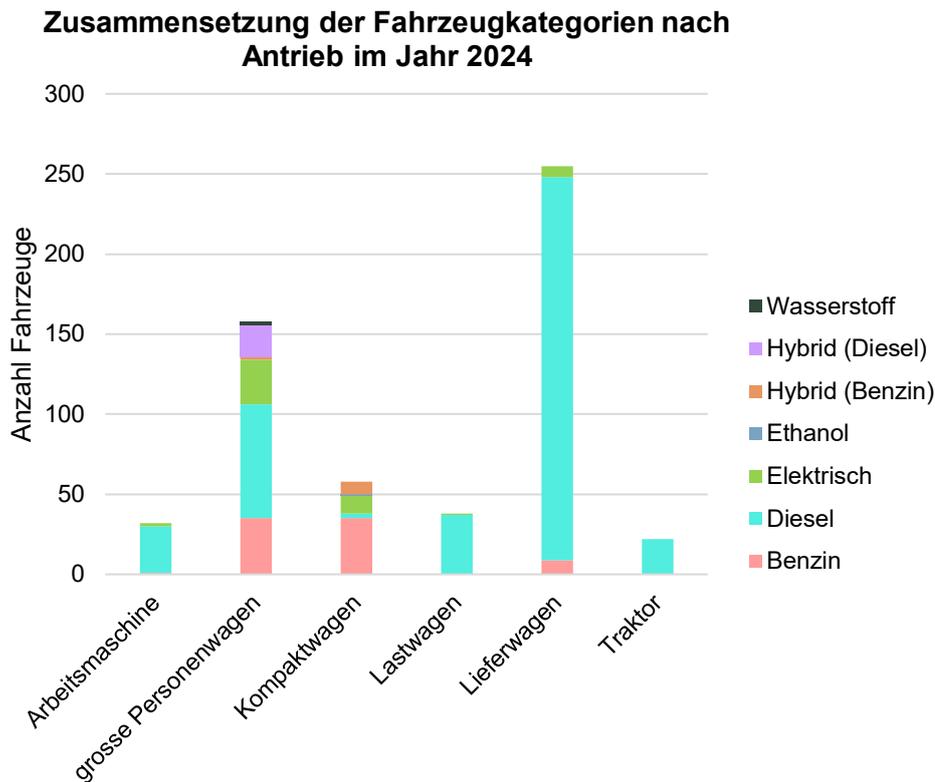


Abbildung 2 Zusammensetzung der Fahrzeugkategorien nach Antrieb heute.

Auf Grundlage der Datenerhebung der kantonalen Verwaltung bei den Departementen bestimmte EBP pro Fahrzeugkategorie und Departement durchschnittliche Jahresfahrleistungen. Diese wurden im Rahmen des Workshops Anfang Januar 2025 mit Vertreterinnen und Vertretern der Departemente abgestimmt. Die Erhebung zeigte, dass jährlich etwa 5.9 Mio. Fahrzeugkilometer mit der kantonalen Flotte zurückgelegt werden. Davon entfallen ca. 64 % auf die Kantonspolizei und 20 % auf das Departement Bau, Verkehr und Umwelt, wovon die Abteilung Tiefbau (ATB) den Grossteil der Fahrleistung zurücklegt (18 % der gesamten Jahresfahrleistung der kantonalen Flotte). Abbildung 3 zeigt die Jahresfahrleistungen der relevanten Kategorien der Kantonspolizei und Abbildung 4 diejenigen der ATB.

KAPO - durchschnittliche Jahresfahrleistung

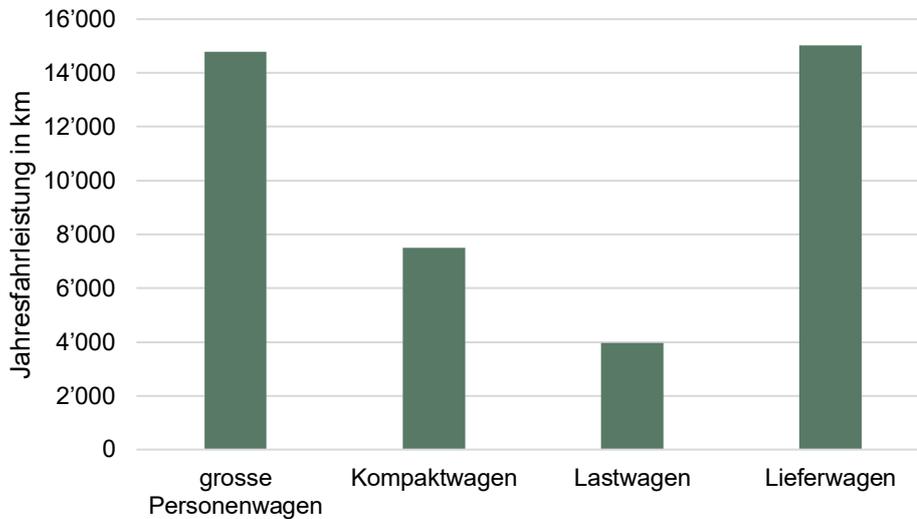


Abbildung 3 Durchschnittliche Jahresfahrleistung der Fahrzeugkategorien der KAPO.

BVU ATB - durchschnittliche Jahresfahrleistung

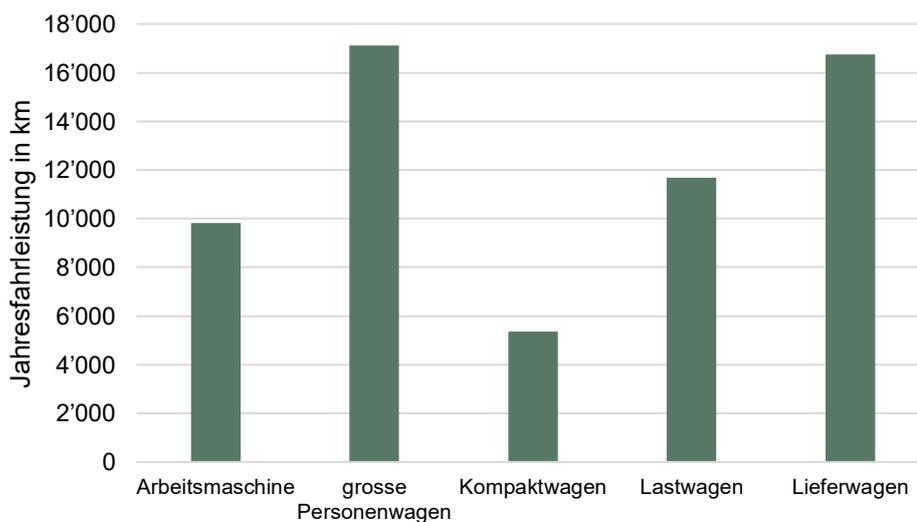


Abbildung 4 Durchschnittliche Jahresfahrleistung der Fahrzeugkategorien der Abteilung Tiefbau (ATB).

4.2 Ausgangslage Dienstfahrten

Neben den Fahrten der kantonalen Flotte werden im Rahmen des Geschäftsverkehrs auch Dienstfahrten mit privaten Fahrzeugen und jenen des Carsharing-Anbieters «Mobility» zurückgelegt. Die Datenerhebung des Kantons zeigte, dass die Dienstfahrten mit Privatfahrzeugen einen signifikanten Teil der gesamten Jahresfahrleistung des Geschäftsverkehrs ausmachen. Über alle Departemente zusammen summiert sich die zurückgelegte Distanz auf rund 1.9 Mio. Fahrzeugkilometer. Dies entspricht rund 24 % der gesamten Jahresfahrleistung. Die Jahresfahrleistung der kantonalen Flotte macht mit 75 % den Grossteil aus, während die Mobility-Fahrten lediglich 1 % der gesamten Jahresfahrleistung des Geschäftsverkehrs entsprechen.

Abbildung 5 zeigt die Jahresfahrleistungen nach Departement zum Stand der Datenerhebung.

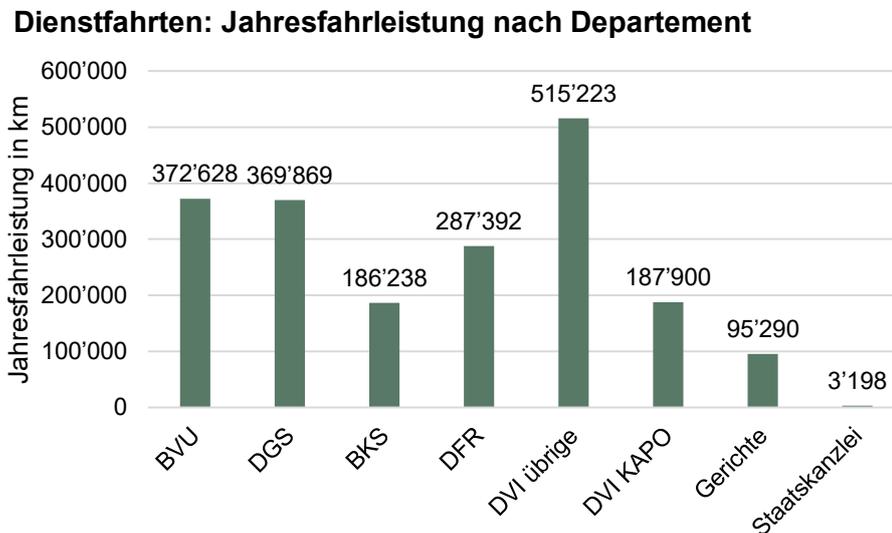


Abbildung 5 Jahresfahrleistung nach Departement der Dienstfahrten mit privaten Fahrzeugen.

4.3 Bestehende Grundlagen

Wie aus dem derzeitigen Stand der Flotte erkenntlich, hat die kantonale Verwaltung bereits erste Schritte Richtung Elektrifizierung unternommen. Der Fortschritt und die aktuelle Praxis bei Neubeschaffungen sind hierbei je nach Departement unterschiedlich. Eine departementsübergreifende Beschaffungsrichtlinie, die die Elektrifizierung des Fahrzeugbestands vorantreibt, fehlt derzeit. Die Departemente gewichten die Beschaffung elektrischer Fahrzeuge unterschiedlich und sind bei der Beschaffung verschieden stark durch teils anspruchsvolle Anforderungsprofile eingeschränkt.

Für die Erstellung der Ladeinfrastruktur für Steckerfahrzeuge bestehen seitens der Immobilien Aargau (IMAG) Richtlinien für den Ausbau. In den Richtlinien «Elektromobilität»¹ sowie «Nachhaltigkeitsgrundsätze Elektro»² definieren die IMAG verschiedene bauliche und technologische Anforderungen an die Ladeinfrastruktur sowie Vorgaben zum Vorgehen bei der Realisierung.

¹ <https://www.ag.ch/media/kanton-aargau/dfr/dokumente/immobilien/projekte/richtlinien-und-standards/231-9-elektromobilit-t.pdf>

² <https://www.ag.ch/media/kanton-aargau/dfr/dokumente/immobilien/projekte/richtlinien-und-standards/nachhaltigkeitsgrunds-tze-elektro.pdf>

5. Absenkpfad: Modellierung der Zielerreichung

5.1 Ziel der Modellierung und Definition der Szenarien

Auf der Grundlage der erhobenen Daten zum heutigen Stand des Geschäftsverkehrs modellierten wir zwei Szenarien der Entwicklung der kantonalen Flotte über einen Beobachtungszeitraum von 2025 bis 2050:

- Das **Zielszenario** zeigt auf, wie sich die Flotte entwickeln muss, um das Netto-Null-Ziel 2040 zu erreichen (s. Kap. 2). In diesem Szenario werden folglich alle Fahrzeuge bis spätestens zum Jahr 2040 batterieelektrisch betrieben.
- Demgegenüber steht das **Business-As-Usual-Szenario (BAU)**, das auf einer Fortschreibung der heute etablierten Praxis basiert. Auch hier wird ein Grossteil der Fahrzeuge bis 2040 elektrifiziert, aber das Netto-Null-Ziel verfehlt.

Ziel der Modellierung dieser Szenarien ist es, aufzuzeigen mit welchen Treibhausgasemissionen und Kosten die Weiterführung der heutigen Praxis und die Erreichung des Klimaziels verbunden sind. Die Modellierung und der Vergleich zwischen den Szenarien zeigen schlussendlich auf, welche Lücken es zu schliessen gilt. Die Resultate der Modellierungen werden im nächsten Schritt ebenfalls zur Ausarbeitung von konkreten Massnahmen herangezogen.

5.2 Entwicklung der Flotte

5.2.1 Annahmen zur Erneuerung der Flotte

Zentral für die Ausgestaltung der Szenarien und die Erreichung des Klimaziels ist die Entwicklung des sogenannten Antriebsmixes der Flotte. Der Antriebsmix gibt an wie sich die Anteile der verschiedenen Antriebsformen (Benziner, Diesel, PHEV, BEV) über den Beobachtungszeitraum entwickeln. **Für eine Zielerreichung 2040 müssen bis dahin folglich 100 % des Fahrzeugbestands batterieelektrisch sein.**

Die heutige Flotte wird hierfür sukzessive elektrifiziert. Jedes Fahrzeug verfügt gemäss Datenerhebung über ein Immatrikulationsjahr und eine für jede Kategorie spezifisch definierte Haltedauer. Sobald die Haltedauer des Fahrzeugs abgelaufen ist, wird das Fahrzeug durch ein neues Modell der gleichen Kategorie ersetzt. Bei diesem Ersatz besteht die Möglichkeit eines Antriebswechsels. Die Wahrscheinlichkeit eines Antriebswechsels hin zu einem batterieelektrischen Fahrzeug variiert je nach Kategorie, Jahr und Szenario. Die Haltedauern wurden auf Grundlage bestehender Studien und Erfahrungen seitens EBP gelegt und mit der Begleitgruppe der kantonalen Verwaltung gespiegelt. Tabelle 2 zeigt die für beide Szenarien unterstellten Haltedauern nach Fahrzeugkategorie.

Bei den unterstellten Haltedauern handelt es sich um Durchschnittswerte, die eine vereinheitlichte Annäherung an die Praxis der kantonalen Verwaltung ermöglicht. In den erhobenen Flottendaten zeigt sich, dass es in den Kategorien mehrere Fahrzeuge gibt, die diese Haltedauern bereits heute

(2025) überschreiten. Es ist allerdings unrealistisch, dass all diese Fahrzeuge auf einmal im ersten Jahr der Modellierung (2025) ersetzt werden, wurde dieser «Nachholbedarf» pro Kategorie über die ersten 3-5 Jahre des Beobachtungszeitraum verteilt.

Kategorie	Haltedauer (Jahre)
Arbeitsmaschine	15
grosse Personenwagen	10
Kompaktwagen	10
Lastwagen	15
Lieferwagen	12
Traktor	20

Tabelle 2 Haltedauer nach Kategorie

Die kantonale Flotte bleibt in ihrer Struktur und Grösse über den Betrachtungszeitraum gleich. In Absprache mit der Begleitgruppe rechnen die meisten Departemente nicht mit einer substanziellen Erweiterung oder Reduktion der Flotte. Auch in der Verteilung der Kategorien konnten keine ausreichend sicheren Aussagen zur Entwicklung gemacht werden. Angesichts der Unsicherheit bezüglich der Entwicklung der Kategorienzusammensetzung und Flottengrösse, unterstellen wir folglich keine Änderungen diesbezüglich.

5.2.2 Annahmen im BAU-Szenario

Im BAU-Szenario orientieren sich der BEV-Anteil an den Neubeschaffungen am Antriebsmix der Neuzulassungen im «Electric and Hydrogen Mobility Scenarios» (EHMS) ZERO-E-Szenario der EBP und techno-ökonomischen Entwicklungen (EBP, 2024). Das ZERO-E-Szenario fusst auf einer Zielerreichung der Schweizer Klimaziele 2050 und umfasst mehrere politische Massnahmen, wie die Übernahme zentraler EU-Regulierungen («Verbrenner-Aus» bis 2035). Entsprechend erreicht der Anteil BEV-Neubeschaffungen bei den Kategorien Kompaktwagen, grosse Personenwagen und Lieferwagen bis 2035 100 %. Die übrigen Kategorien Arbeitsmaschine, Lastwagen und Traktoren zeigen alle eine ähnliche Entwicklung auf und erreichen erst bis 2050 100 % BEV-Anteil bei den Neubeschaffungen, da die technologische Entwicklung in diesen Kategorien noch nicht denselben Reifegrad aufweist wie bei den Personenwagen. Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen beispielhaft den Antriebsmix der Neubeschaffungen für die Kategorien Kompaktwagen und Lastwagen im BAU-Szenario.

Kompaktwagen: Antriebsmix Neubeschaffungen

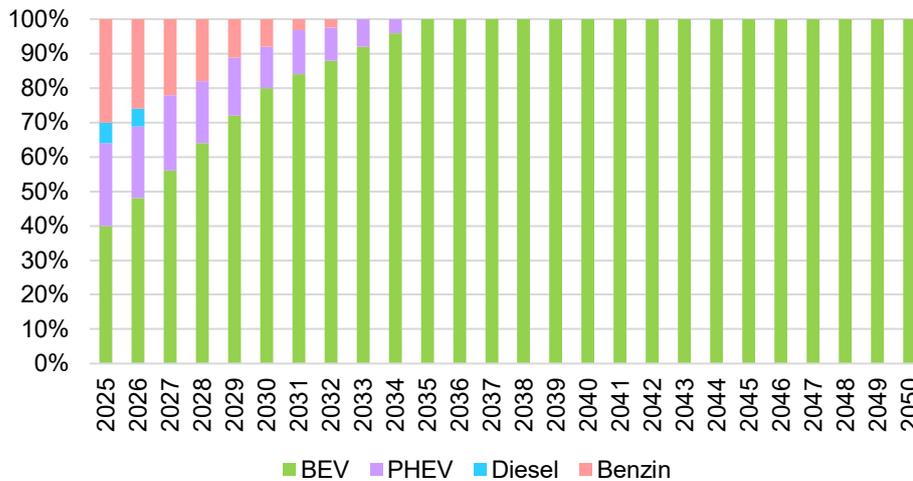


Abbildung 6 Antriebsmix der Neubeschaffungen in der Kategorie Kompaktwagen (BAU-Szenario).

Lastwagen: Antriebsmix Neubeschaffungen

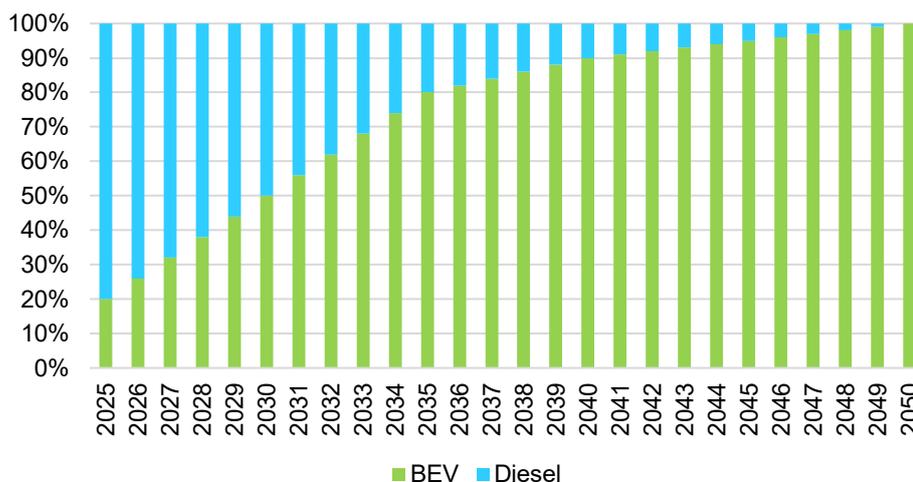


Abbildung 7 Antriebsmix der Neubeschaffungen in der Kategorie Lastwagen (BAU-Szenario).

5.2.3 Annahmen im Zielszenario

Für die Erreichung des Klimaziels 2040 muss die Flotte so erneuert werden, dass der gesamte Bestand bis spätestens 2040 vollständig elektrifiziert ist. Ausgehend von den in Tabelle 2 unterstellten Haltedauern lässt sich somit pro Kategorie das Jahr festlegen, ab welchem nur noch BEV beschafft werden dürften. In den 15 Jahren, die in der Modellierung noch für die Zielerreichung bleiben (2025 bis 2040), müssen folglich bei den Kategorien «Lastwagen» und «Arbeitsmaschinen» alle Fahrzeuge ab heute bereits vollständig elektrisch beschafft werden. Bei den Traktoren übersteigt die Haltedauer von 20 Jahren gar die verbleibende Zeit, das heisst hier kann es auch bei einer ausschliesslich elektrischen Beschaffung ab heute dazu kommen, dass noch einige Verbrenner nach 2040 im Bestand bleiben.

Diese frühe Elektrifizierung ist technologisch in den meisten Fällen grundsätzlich möglich, aber in der Praxis stark abhängig davon, wie die Anforderungsprofile der jeweiligen Fahrzeuge sind. Um diese elektrischen Beschaffungsquoten zu erreichen, könnte es folglich notwendig sein, gewisse Anforderungen abzuschwächen, damit ein BEV-Modell angeschafft werden kann. In den nächsten Jahren erwarten wir ein stetig steigendes Marktangebot an Fahrzeugen in diesen Kategorien, zusammen mit sinkenden Anschaffungspreisen aufgrund technologischer Entwicklung und verstärktem Wettbewerb.

Bei den Personen- und Lieferwagen ist der Spielraum zur Erreichung von 100 % BEV-Neubeschaffungsquote aufgrund der kürzeren Haltedauer etwas grösser. BEV sind in diesen Kategorien allerdings auch heute schon technologisch fortgeschritten und in Bezug auf die Gesamtkosten, je nach Fahrleistung, mehrheitlich kompetitiv mit den Verbrennern. Folglich sollte hier in der Praxis ein mangelndes Marktangebot keine Hürde darstellen.

5.2.4 Entwicklung des Antriebsmixes der Flotte

Die Resultate der Modellierung des Antriebsmixes der Flotte sind für beide Szenarien in Abbildung 8 dargestellt. Die Resultate zeigen für beide Szenarien eine ähnliche Entwicklung auf, mit dem Unterschied einer wesentlich schnelleren Elektrifizierung der Flotte im Zielszenario. Bis zum Zieljahr 2040 sind im Zielszenario praktisch alle Fahrzeuge elektrifiziert, mit Ausnahme von vier Diesel-Traktoren, die aufgrund der langen Haltedauer von 20 Jahren während des Zeitraums 2025-2040 gar nicht ersetzt werden. Im BAU-Szenario erreicht die Flotte lediglich 479 batterieelektrische Fahrzeuge. Tabelle 3 vergleicht die Anzahl Fahrzeuge nach Antrieb im Zieljahr 2040.

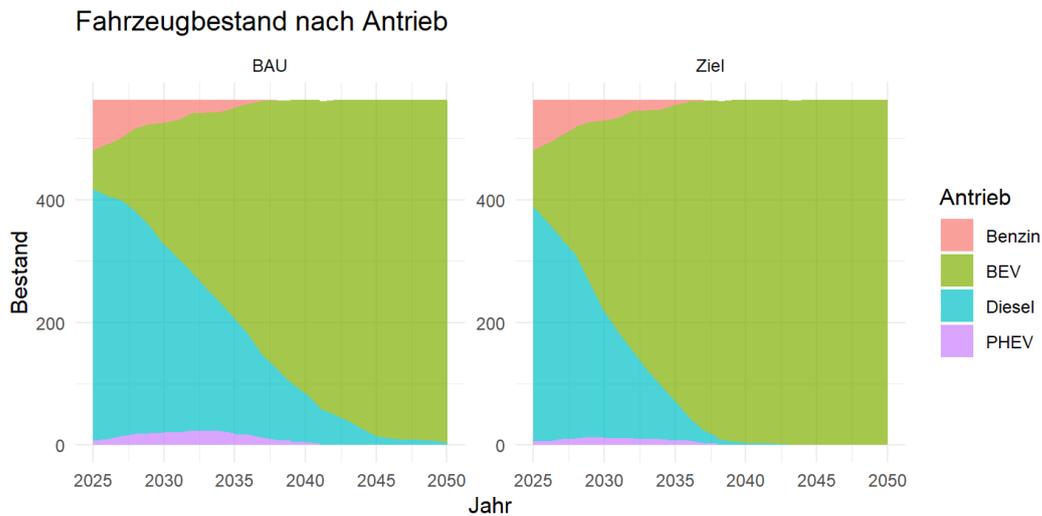


Abbildung 8 Fahrzeugbestand nach Antriebsanteil in beiden Szenarien.

Szenario	Bestand BEV	Bestand übrige Antriebe
BAU	479	79 Diesel, 5 PHEV
Ziel	559	4 Diesel

Tabelle 3: Antriebsmix im Zieljahr 2040.

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die Entwicklung des Antriebsmixes nach Kategorie für das BAU- und Zielszenario. Im BAU-Szenario wird ersichtlich, dass vor allem die Nutzfahrzeuge und Lieferwagen zur Verfehlung der Vollelektrifizierung bis 2040 beitragen. Die grossen Personenwagen und Kompaktwagen hingegen sind bis 2040 auch im BAU-Szenario praktisch vollständig elektrifiziert aufgrund der kürzeren Haltedauer und der fortgeschritteneren technologischen Entwicklung. In diesen beiden Kategorien spielen auch Plug-in-Hybride eine Rolle als typische Übergangstechnologie. Steigende Anteile der heutigen Verbrenner-Neubeschaffungen werden gemäss der Modellierung in den nächsten Jahren durch PHEV ersetzt und anschliessend wieder durch BEV verdrängt.

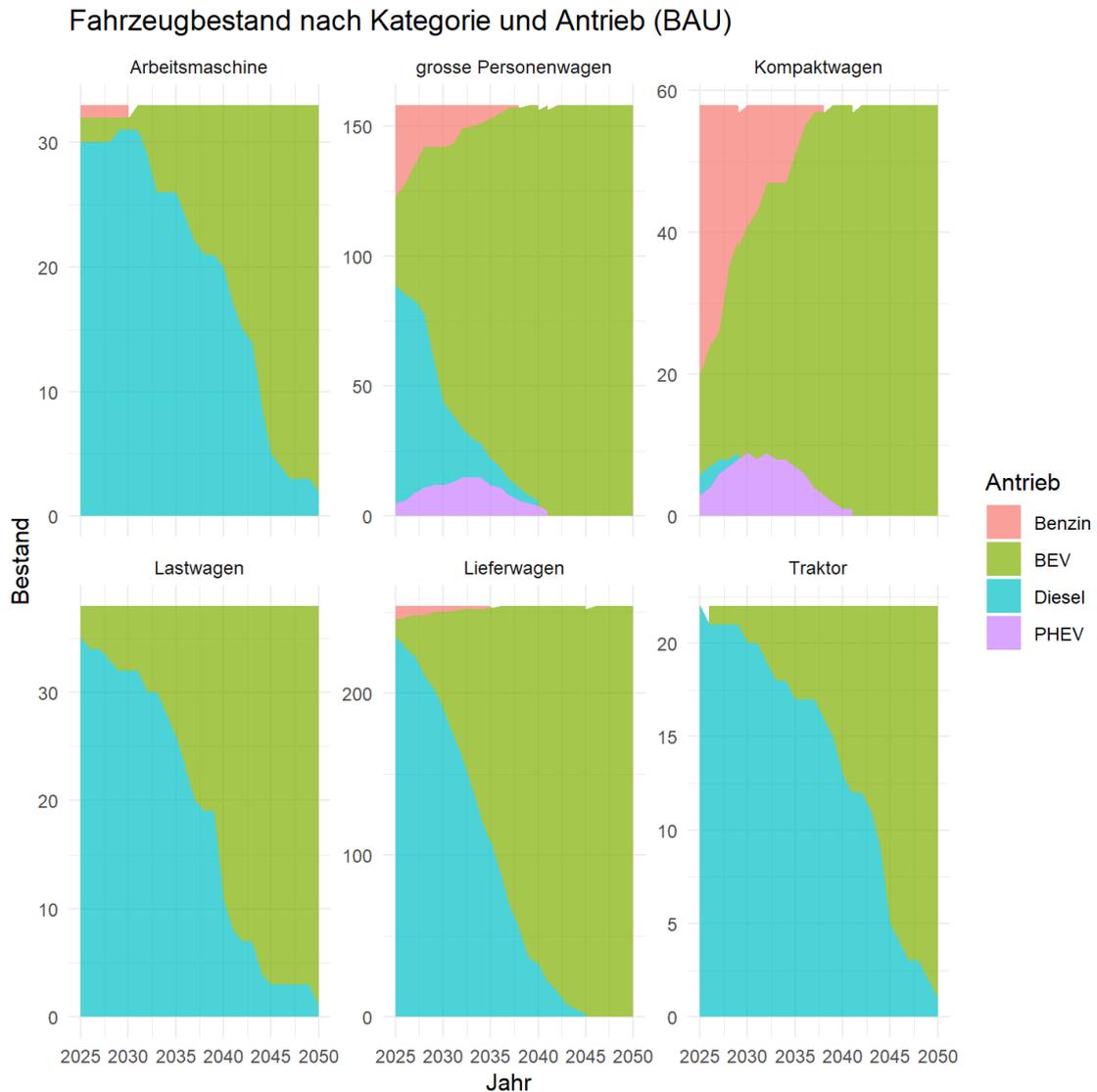


Abbildung 9 Fahrzeugbestand nach Kategorie und Antriebsmix im BAU-Szenario.

Im Zielszenario zeigt sich bei den grossen Personenwagen und Kompaktwagen eine ähnliche, leicht beschleunigte Elektrifizierung im Vergleich zum BAU-Szenario. In den anderen Kategorien hingegen nimmt aufgrund der ambitionierten BEV-Beschaffungsquoten der Anteil der Verbrenner wesentlich schneller ab als im BAU-Szenario. Das führt schliesslich auch dazu, dass in allen Kategorien ausser den Traktoren das Ziel der vollständigen Elektrifizierung bis 2040 erreicht wird. Die vier übrigen Diesel-Traktoren werden wenige Jahre nach dem Zieljahr 2040 schliesslich durch BEV ersetzt. Damit die Konsistenz der Modellierung erhalten bleibt, wurde die Haltedauer dieser Fahrzeuge nicht verringert.

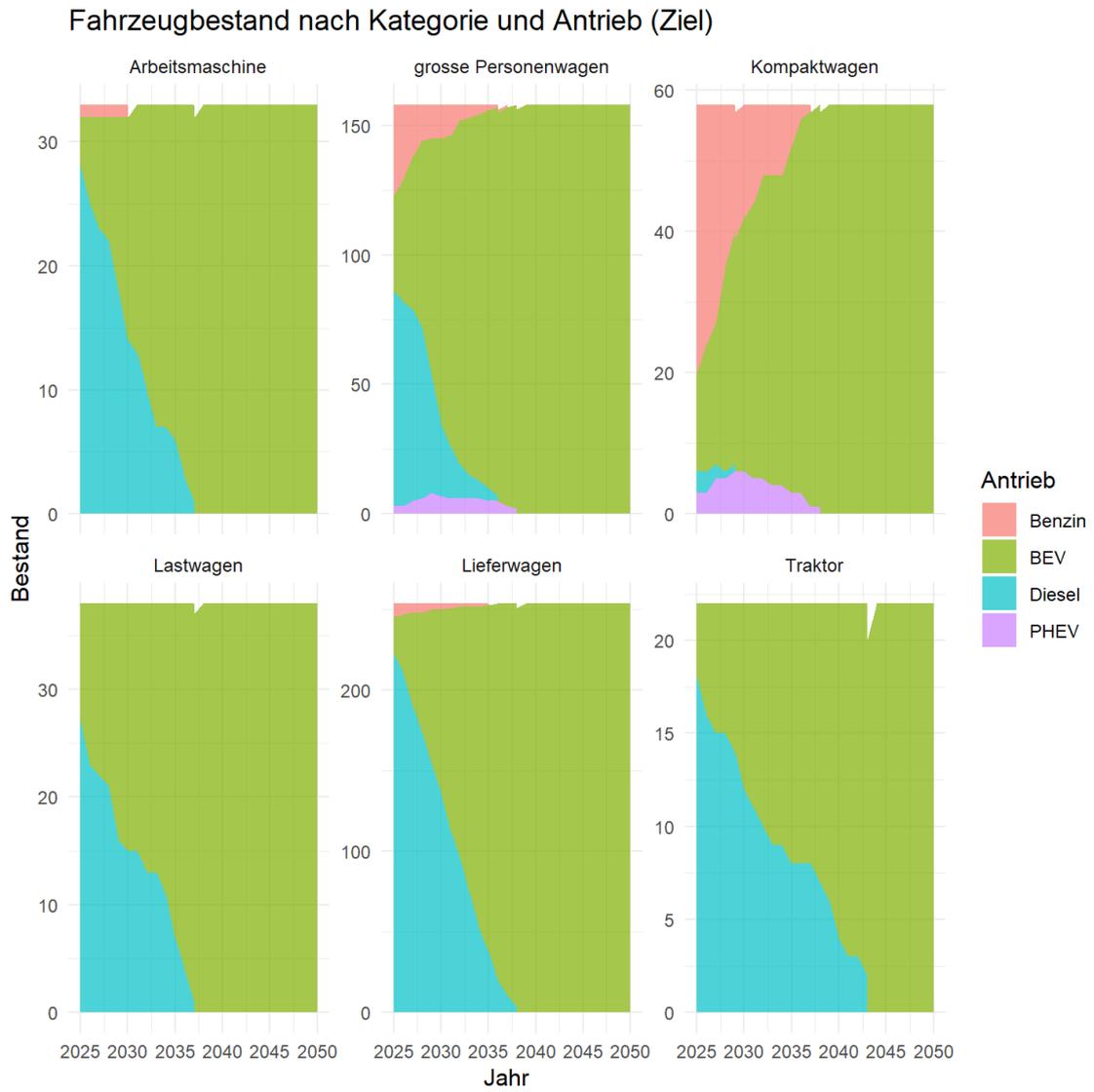


Abbildung 10 Fahrzeugbestand nach Kategorie und Antriebsmix im Zielszenario.

5.3 Bilanzierung der Treibhausgasemissionen

5.3.1 Vorgehen

Festlegung des Untersuchungsrahmens (Systemabgrenzung)

Der mit dem Auftraggeber vereinbarte Untersuchungsrahmen berücksichtigt alle Emissionen von Treibhausgasen (THG), die durch den Geschäftsverkehr entstehen.

Die Bilanzierung orientiert sich an den gängigen internationalen Standards³ zur THG-Bilanzierung von Organisationen und analysiert entsprechend alle drei Scopes, die im Zusammenhang mit den THG-Emissionen des Geschäftsverkehrs relevant sind:

- **Scope 1 «Direkte THG-Emissionen»:** THG-Emissionen aus dem Betrieb von Fahrzeugen, die dem Kanton gehören oder von ihm kontrolliert werden.
- **Scope 2 «Indirekte THG-Emissionen aus dem Energiebezug»:** THG-Emissionen, die bei der vom Kanton eingekauften Energie (Strom) während der Erzeugung beim entsprechenden Anbieter anfallen.
- **Scope 3 «Andere indirekte THG-Emissionen»:** Alle übrigen THG-Emissionen, die mit weiteren Aktivitäten des Kantons bei Dritten verbunden sind (Einkauf von Fahrzeugen, Infrastruktur und Energieträgern, Dienstfahrten).

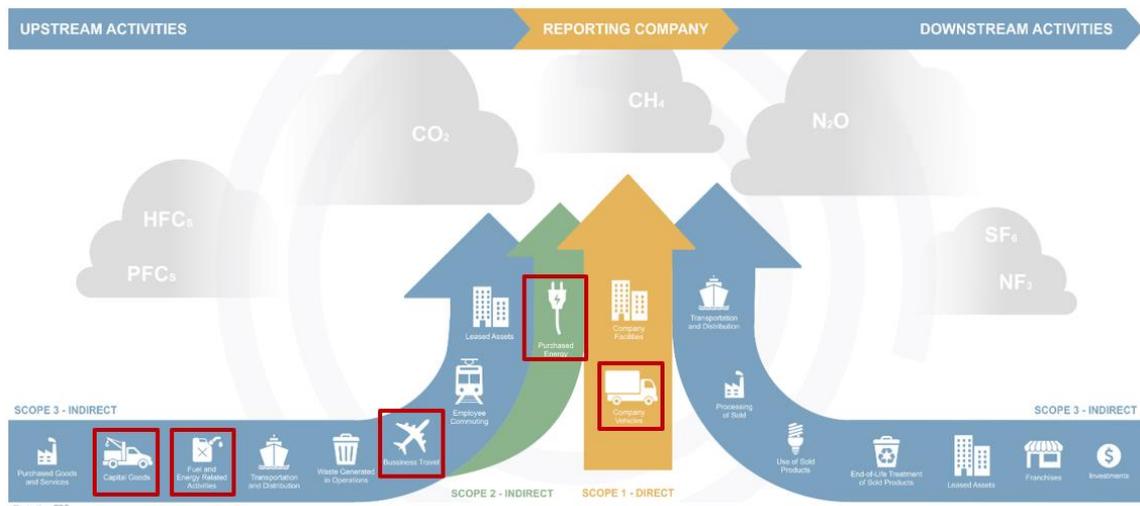


Abbildung 11 Übersicht Scope 1, Scope 2, Scope 3 gemäss GHG-Protocol. (eigene Darstellung)

Grenzen einer THG-Bilanzierung

Eine THG-Bilanzierung macht Aussagen zu den Treibhausgasemissionen eines Unternehmens entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Dabei werden alle emittierten Treibhausgase (neben CO₂ auch Methan, Lachgas, Kohlenwasserstoffe, etc.) mit einer wissenschaftlich fundierten Wirkungsabschätzungsmethode (hier gemäss IPCC 2021 und anhand des Erderwärmungspotenzials) auf eine Zahl in CO₂-Äquivalenzen ausgedrückt.

³ [Greenhouse Gas Protocol Standard](#) des World Resource Institute und World Business Council of Sustainable Development.

Die für die Bilanz verwendeten Daten bringen bedeutende Unsicherheiten mit sich. Einerseits müssen in der Datenerhebung (Primärdaten) gewisse Annahmen und Schätzungen getroffen werden, andererseits repräsentieren die verwendeten Emissionsfaktoren (Hintergrunddaten) Durchschnittswerte. Die Emissionsfaktoren basieren in der Regel auf wissenschaftlichen Herangehensweisen, ohne jedoch eine abschliessende, genau auf das spezifische Unternehmen ausgelegte Aussage, zu gewährleisten.

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass bei einer THG-Bilanzierung weitere Umweltbelastungen wie z.B. Wasser-, Boden oder Luftverschmutzung, Biodiversitätsverluste oder radioaktive Abfälle, nicht berücksichtigt werden. Entsprechend könnten etwaige CO₂-Reduktionsmassnahmen positive Auswirkungen auf die Treibhausgasemissionen, jedoch negative Auswirkungen auf andere Umweltaspekte haben (Beispiel: Nutzung von Atomstrom).

Scope 1

Die Scope 1-Emissionen (direkte Emissionen) umfassen die Emissionen aus der Verbrennung von fossilen Treibstoffen (Diesel und Benzin). Berechnet werden die Emissionen mithilfe der zurückgelegten Kilometer (Fahrleistung) und den Treibstoffverbräuchen der Fahrzeuge. Anschliessend werden die verbrauchten Mengen an Treibstoffen mit den jeweiligen Emissionsfaktoren multipliziert, um die Menge an emittierten CO₂-Äquivalenten zu berechnen. Tabelle 4 zeigt die beiden Emissionsfaktoren der Treibstoffe Benzin und Diesel.

Treibstoff	Emissionsfaktor [kg CO ₂ -äq./Liter]
Benzin	2.328
Diesel	2.550

Tabelle 4: Scope 1-Emissionsfaktoren der Treibstoffe Benzin und Diesel.

Die spezifischen Treibstoffverbräuche wurden für jede Fahrzeugkategorie und jeden Antrieb festgelegt und über den Beobachtungszeitraum nicht variiert. Als Datengrundlage dienten hierfür Sacchi & Bauer (2023) sowie die EBP-Publikation «Gesamtkosten von Personenwagen (TCO)» erarbeitet im Auftrag des BFE (EBP, 2023b). Verbrennermotoren weisen nur noch geringe Potenziale für Effizienzsteigerungen auf. Möglichkeiten zur Senkung der Verbräuche bestehen hier primär in Form von Verkleinerungen von Fahrzeugen und dem Einsatz weniger leistungsstarker Motoren. Bei elektrischen Antrieben bestehen hingegen wahrscheinlich noch mehr Potenziale für Effizienzsteigerungen. Inwiefern und bis wann solche Potenziale erschlossen werden, ist allerdings unsicher. Folglich wurden hier alle Verbräuche über den Betrachtungszeitraum konstant gehalten. Tabelle 5 zeigt die unterstellten Verbräuche für alle relevanten Kombinationen von Antrieben und Kategorien.

Kategorie	Antrieb	Verbrauch Diesel [Liter/100 km]	Verbrauch Benzin [Liter/100 km]	Verbrauch Strom [kWh/100 km]
Kompaktwagen	Diesel	4.1		

grosse Personenwagen	Diesel	6.7	
Lieferwagen	Diesel	8.4	
Lastwagen	Diesel	14.8	
Traktor	Diesel	10.0	
Arbeitsmaschine	Diesel	13.0	
Kompaktwagen	Benzin	4.7	
grosse Personenwagen	Benzin	7.6	
Lieferwagen	Benzin	9.6	
Lastwagen	Benzin	16.9	
Traktor	Benzin	11.4	
Arbeitsmaschine	Benzin	14.9	
Kompaktwagen	PHEV	1.4	15.5
grosse Personenwagen	PHEV	2.0	18.0
Kompaktwagen	BEV		16.1
grosse Personenwagen	BEV		20.7
Lieferwagen	BEV		27.0
Lastwagen	BEV		45.1
Traktor	BEV		27.0
Arbeitsmaschine	BEV		27.0

Tabelle 5: Spezifische Verbräuche der Fahrzeugkategorien nach Antriebsform.

Scope 2

Die Scope 2-Emissionen sind die Emissionen, die durch die Produktion des verbrauchten Stroms entstehen. Für die Berechnung wird die bezogene Strommenge und ein Emissionsfaktor benötigt. Die bezogene Strommenge ergibt sich aus den spezifischen Stromverbräuchen der Fahrzeuge (s. Tabelle 5) und den Fahrleistungen. Beim Emissionsfaktor für den Schweizer Strommix wird angenommen, dass sich dieser aufgrund des Ausbaus der erneuerbaren Energien und dem Wegfall der Atomkraftwerke stark verändern wird (s. Abbildung 12). Die Berechnung der Emissionsfaktoren für den Schweizer Strommix basiert auf den Energieperspektiven 2050+ des BFE (Szenario ZERO Basis) (BFE, 2022). Die hier berechneten Emissionsfaktoren sind tiefer als die derzeit üblich angenommenen Werte des BFE. Der Grund hierfür liegt in der Zusammensetzung des Strommixes der Energieperspektiven, die wesentlich tiefere Anteile an Importstrom annehmen, als heute beobachtet wird. Folglich führt der hier zugrundgelegte Emissionsfaktor eher zu einer Unterschätzung der Emissionen. Mangels aktueller offizieller Daten zur zukünftigen Entwicklung des Strommixes und der assoziierten Emissionen wird auf diese Daten zurückgegriffen.

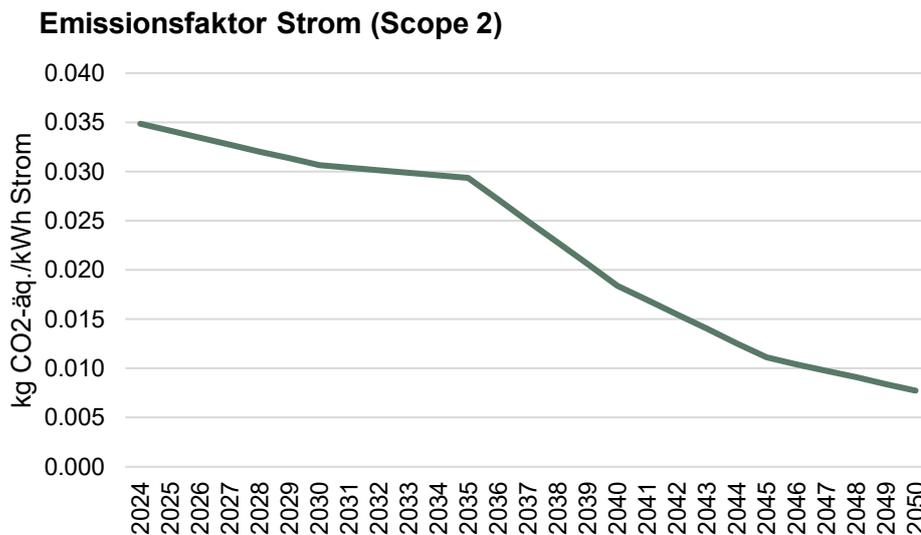


Abbildung 12 Entwicklung des Emissionsfaktors des Schweizer Strommixes (Scope 2).

Scope 3.2

Unter die Emissionen des Scope 3.2 fallen alle vorgelagerten Emissionen, die durch die Produktion der Fahrzeuge und der Ladeinfrastruktur entstehen. Für die Berechnung wird die jährlich angeschaffte Menge an Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur benötigt. Die Emissionsfaktoren der Fahrzeuge werden differenziert nach Kategorie und Antrieb, aber werden über den Beobachtungszeitraum als konstant angenommen, wie auch diejenigen der Ladeinfrastruktur. Angesichts der angestrebten Dekarbonisierung der weltweiten Energieproduktion und des technologischen Fortschritts, ist es wahrscheinlich, dass die Emissionsintensität der Fahrzeugproduktion sinken wird. Dies wird wohl teilweise durch Rebound-Effekte, wie grössere Batterien und Fahrzeuge, kompensiert werden. Allerdings ist die Unsicherheit diesbezüglich erheblich und eine verlässliche Abschätzung ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Durch die konstanten Emissionsfaktoren stellt die Berechnung der Scope 3.2-Emissionen folglich eine konservative Abschätzung dar. Tabelle 6 zeigt die Emissionsfaktoren der Herstellung der Fahrzeuge.

Kategorie	Verbrenner / PHEV [t CO ₂ -äq./Fahrzeug]	BEV [t CO ₂ -äq./Fahrzeug]
Kompaktwagen	5.85	10.23
grosse Personenwagen	8.84	16.33
Lieferwagen	10.63	16.41
Lastwagen	18.68	28.38
Traktor	10.63	18.14
Arbeitsmaschine	10.63	19.86

Tabelle 6: Emissionsfaktoren der Herstellung der Fahrzeuge nach Antrieb (Scope 3.2).

Für die Herstellung der Ladeinfrastruktur fallen ebenfalls Emissionen an, die analog zu dem Fahrzeugemissionen konstant bleiben. Es wird angenommen das jedes BEV 0.8 Ladepunkte benötigt und jedes PHEV 0.1 Ladepunkte.

Es wird angenommen, dass Lastwagen Ladepunkte mit 50 kW DC benötigen werden, während die übrigen Kategorien AC-Ladepunkte mit 11/22 kW Ladeleistung verwenden. Die Emissionsfaktoren für die Ladeinfrastruktur sind in Tabelle 7 dargestellt.

Ladeleistung	Emissionsfaktor [kg CO ₂ -äq./Ladepunkt]	Quelle
11/22 kW AC	91.3	Siemens, 2024a
50 kW DC	483.8	Siemens, 2024b

Tabelle 7: Emissionsfaktoren der Herstellung der Ladeinfrastruktur nach Ladeleistung (Scope 3.2).

Scope 3.3

Die Scope 3.3 Emissionen sind die vorgelagerten Emissionen (z.B. Infrastruktur und Materialien zur Stromerzeugung) von eingekauftem Treibstoff und Strom sowie Netzverluste und Emissionen, die durch die Netznutzung entstehen. Für die Berechnung benötigt es die bezogene Strommenge und Treibstoffmenge. Es wird angenommen, dass alle Emissionsfaktoren in dieser Kategorie konstant bleiben, bis auf den Emissionsfaktor für die vorgelagerten Emissionen des durchschnittlichen Schweizer Strommixes, da sich dieser selbst bis 2050 stark verändern wird, analog zu den Scope 2-Emissionsfaktoren. Hierbei wurden für den Strommix die gleichen Annahmen wie bei Scope 2 getroffen. Abbildung 13 zeigt die Entwicklung des Emissionsfaktors.

Emissionsfaktor Strom vorgelagert (Scope 3.3)

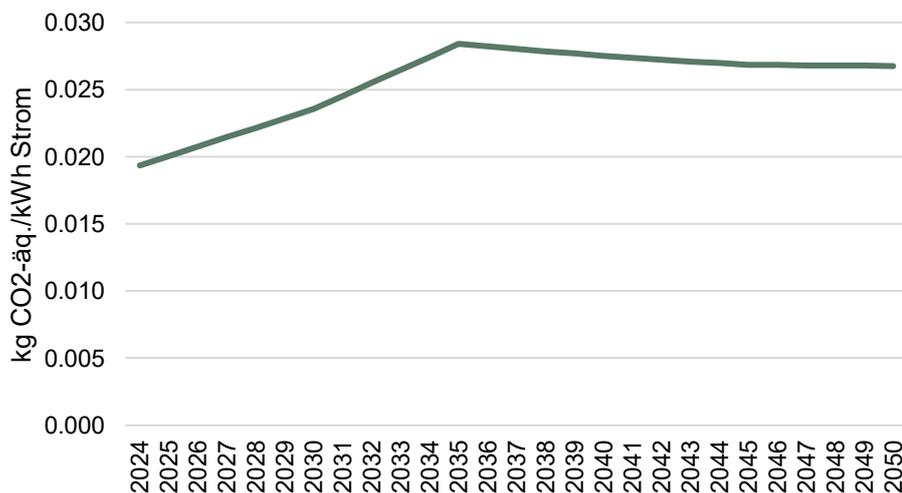


Abbildung 13 Entwicklung des vorgelagerten Emissionsfaktors des Schweizer Strommixes (Scope 3.3).

Neben den vorgelagerten Emissionen des Strommixes fallen im Scope 3.3 auch Emissionen für die Bereitstellung der fossilen Energieträger an. Weiter werden hier Netzverluste von 9.4 % und Emissionen in Zusammenhang mit der Netznutzung bilanziert (s. Tabelle 8).

Bezeichnung	Emissionsfaktor	Quelle
Benzin	0.54 kg CO ₂ -äq./Liter	Sacchi & Bauer (2023)
Diesel	0.62 kg CO ₂ -äq./Liter	Sacchi & Bauer (2023)
Netznutzung	0.005 kg CO ₂ -äq./kWh	intep (2022)

Tabelle 8: Emissionsfaktoren für die Bereitstellung der Energieträger (Scope 3.3).

5.3.2 Resultate

Die THG-Bilanzierung zeigt auf, dass die Emissionen aus dem Scope 1 (Direktemissionen) und Scope 3.2 (Fahrzeugherstellung) die Treibhausgasbilanz dominieren. Im Vergleich zwischen den Szenarien zeigt sich wie erwartet, dass die Scope 1-Emissionen im Zielszenario aufgrund der früheren Elektrifizierung einen kleineren Anteil der Gesamtemissionen ausmachen als im BAU-Szenario. Allerdings führen die höheren spezifischen Emissionen der Fahrzeugherstellung von BEV zu höheren Scope 3.2-Emissionen im Zielszenario. Abbildung 14 zeigt die Anteile der Scopes an den kumulativen THG-Emissionen bis zum Jahr 2040.

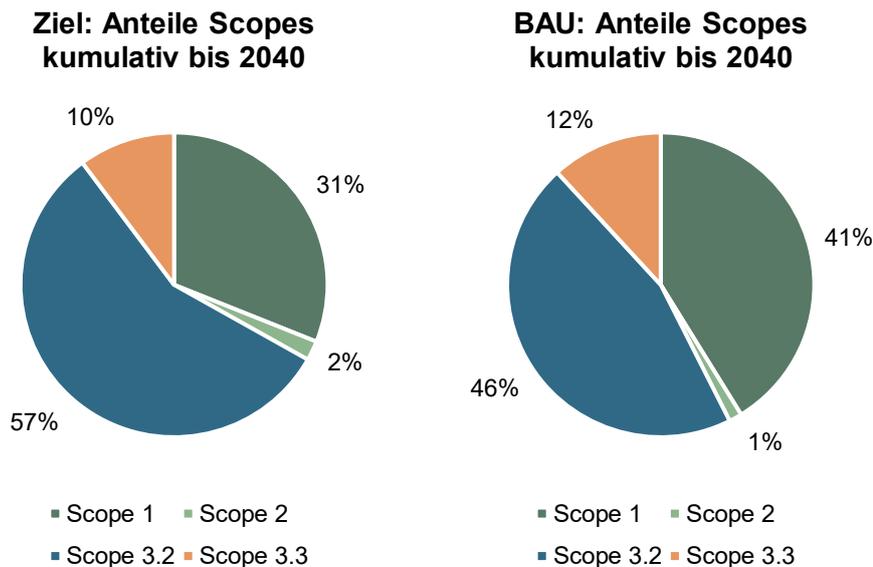


Abbildung 14 Anteile der Scopes an den kumulativen THG-Emissionen bis zum Jahr 2040.

Durch die schnellere Elektrifizierung der Flotte im Zielszenario können kumulativ über alle Scopes hinweg bis 2040 rund 3'287 t CO₂-äq. und bis 2050 rund 3'893 t CO₂-äq. eingespart werden. Wenn man nur die Scope 1 und 2-Emissionen betrachtet, die für die Klimazielerreichung relevant sind, erhöht sich diese kumulative Differenz auf 3'565 t CO₂-äq. und 4'074 t CO₂-äq. für die jeweiligen Jahre. Folglich kompensieren höhere Emissionen aus anderen Scopes im Zielszenario die eingesparten Scope 1-Emissionen teilweise. Abbildung 15 und Abbildung 16 zeigen für die beiden Szenarien die kumulativen Emissionen bis zum Jahr 2040 und 2050 nach Scope auf.

In Abbildung 17 ist ersichtlich, wie sich die kumulativen Emissionen nach Scope zwischen den beiden Szenarien unterscheiden. So zeigt sich, dass im Zielszenario aufgrund der früheren Elektrifizierung Mehremissionen von

1'017 t CO₂-äq. entstehen im Scope 3.2 aufgrund der emissionsintensiveren BEV. Allerdings wird diese Differenz beinahe wieder kompensiert durch Emissionen für die Dieselerstellung im Scope 3.3 (865 t CO₂-äq.).

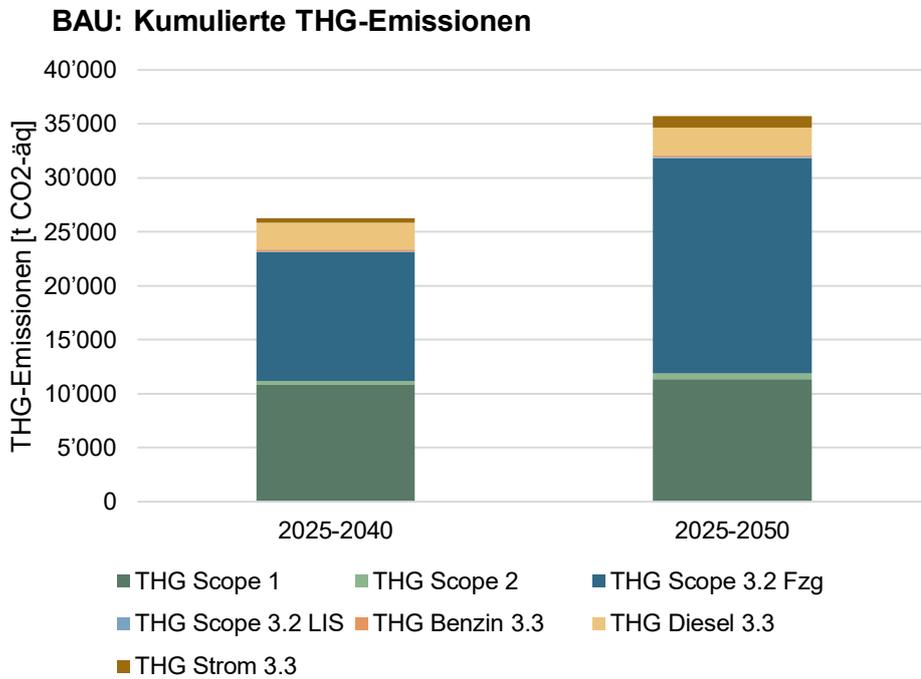


Abbildung 15 Kumulierte THG-Emissionen im BAU-Szenario bis zu den Jahren 2040 und 2050.

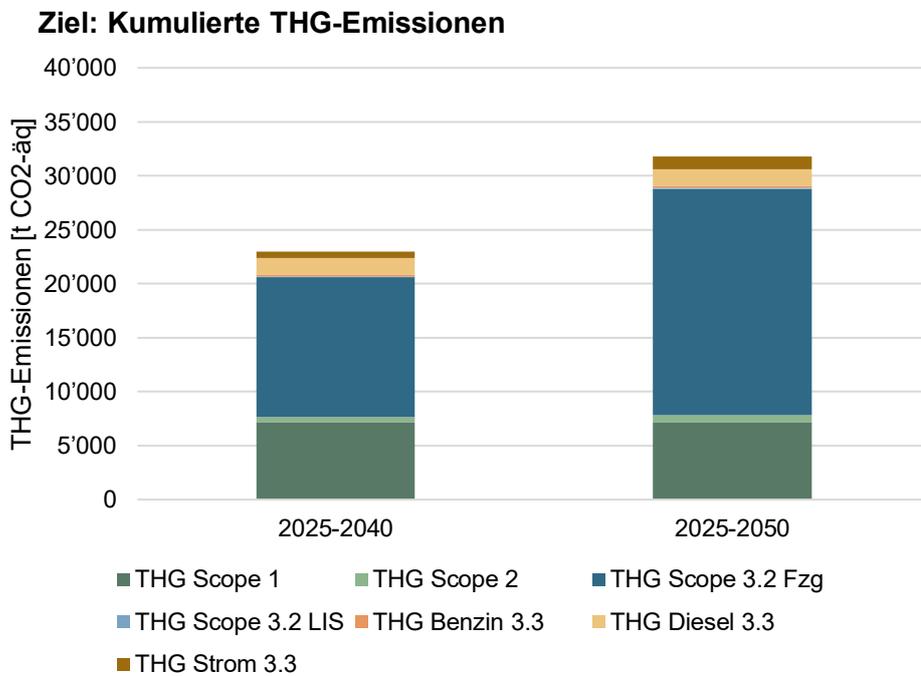


Abbildung 16 Kumulierte THG-Emissionen im Zielszenario bis zu den Jahren 2040 und 2050.

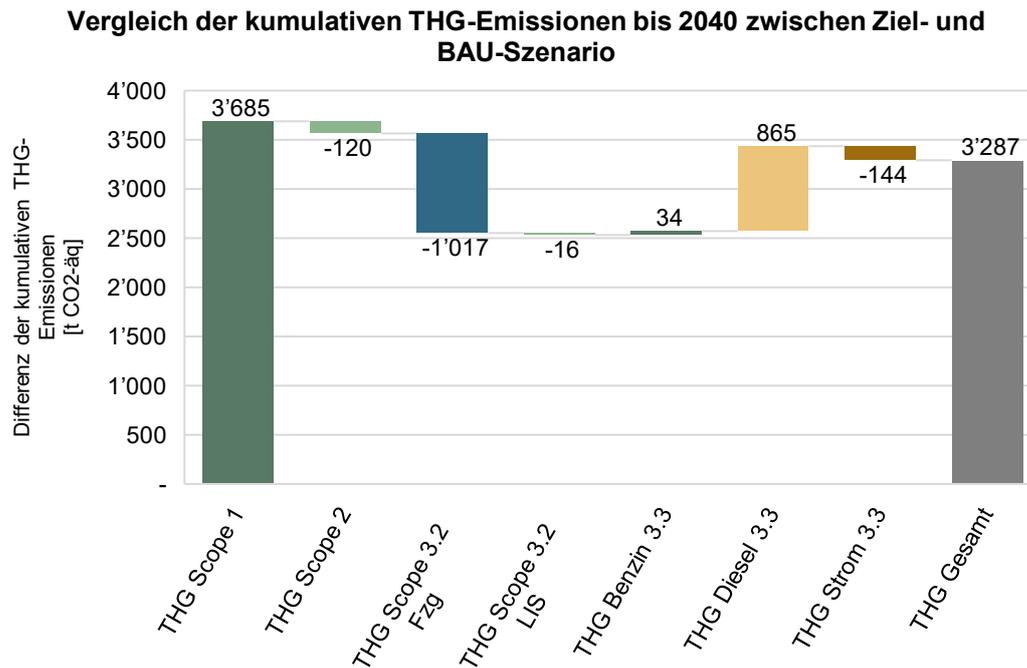


Abbildung 17 Differenz der kumulativen THG-Emissionen nach Scope zwischen dem Ziel- und BAU-Szenario. Positive Werte entsprechen einer Reduktion ggü. dem BAU-Szenario im jeweiligen Scope.

Abbildung 18 und Abbildung 19 zeigen die vollständige Zeitreihe der THG-Bilanz für die jeweiligen Szenarien. Aufgrund der unregelmässigen zeitlichen Verteilung der Fahrzeug-Immatrikulationsjahre, entstehen in gewissen Jahren periodische Neubeschaffungsspitzen, in welchen besonders viele Fahrzeuge neubeschafft werden. Die Anzahl Fahrzeuge in der Flotte variiert aber nicht im Beobachtungszeitraum. Folglich weisen auch die Emissionen, die durch den Betrieb der Flotte entstehen keine solche Spitzen auf. Im Vergleich der zwei Szenarien fällt auf, dass im Zielszenario die Scope 1- Emissionen wesentlich schneller absinken als im BAU-Szenario. Im Zieljahr 2040 fallen im Zielszenario lediglich 8 t CO₂-äq. im Scope 1 an, aufgrund der vier Diesel-Traktoren, die noch einige wenige Jahre in der Flotte bleiben. Im BAU-Szenario hingegen, werden noch 186 t CO₂-äq. im Jahr 2040 im Scope 1 ausgestossen. Um das Netto-Null-Ziel 2040 trotzdem noch zu erreichen, müssten diese Emissionen entsprechend kompensiert werden.

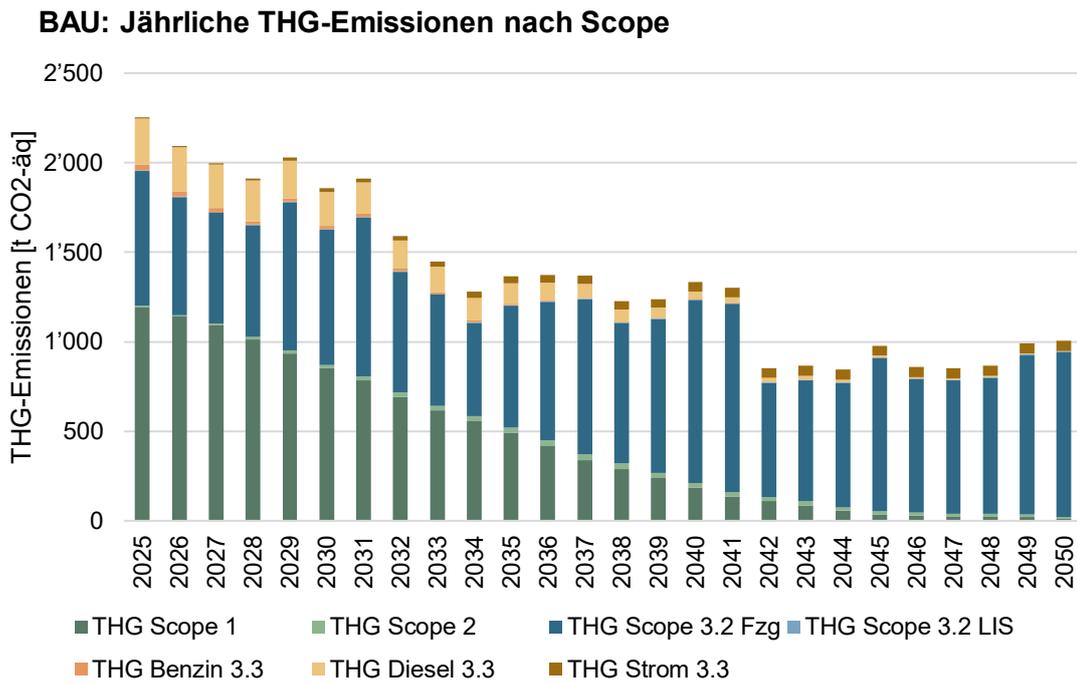


Abbildung 18 Jährliche THG-Emissionen nach Scope im BAU-Szenario von 2025-2050.

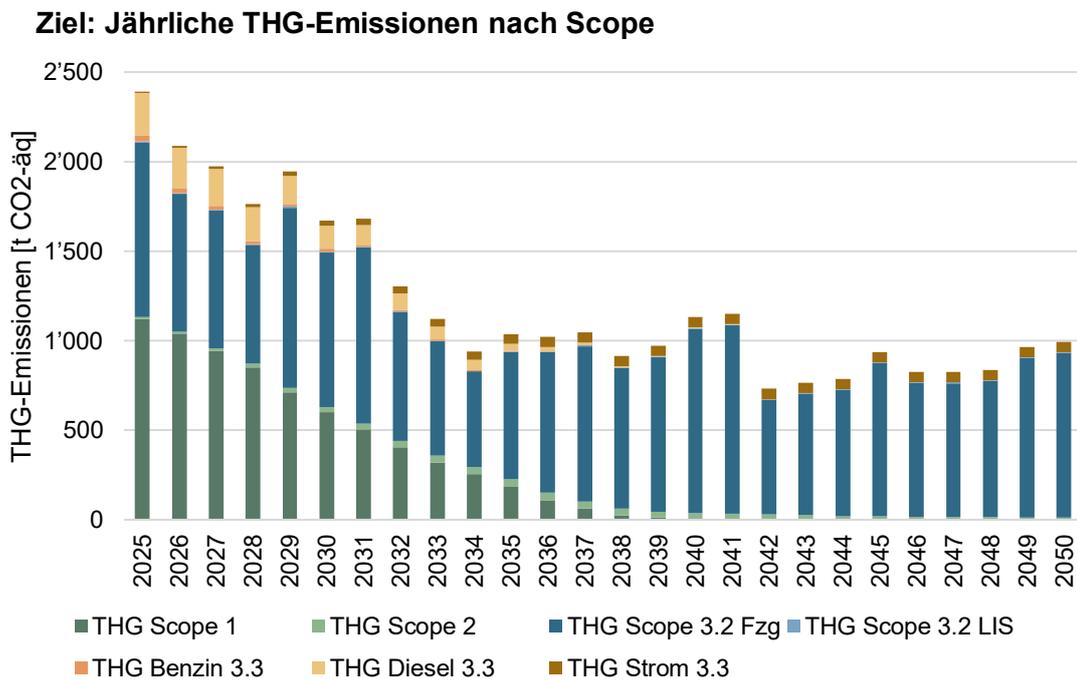


Abbildung 19 Jährliche THG-Emissionen nach Scope im BAU-Szenario von 2025-2050.

5.4 Berechnung der Gesamtkosten

5.4.1 Vorgehen

Die Berechnung der Gesamtkosten (Total Cost of Ownership, TCO) umfasst alle relevanten Kosten, die während der Lebensdauer eines Fahrzeugs typischerweise anfallen. Kostenannahmen wurden pro Kategorie festgelegt und teilweise in die Zukunft fortgeschrieben. Im Folgenden werden die zentralen Kostenannahmen dargelegt.

Beschaffung der Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur

Die Anschaffungskosten der Fahrzeuge wurden pro Kategorie und Antrieb festgelegt und über den Beobachtungszeitraum fortgeschrieben. Als Datengrundlage diente hier die EBP-Publikation «Gesamtkosten von Personewagen (TCO)» (2023b) im Auftrag des BFE und EnergieSchweiz, sowie interne Daten aus vorherigen Projekten.

Die Fortschreibung der Listenpreise der Fahrzeuge wurde für jede Fahrzeugkategorie pro Antrieb differenziert. Angesichts der abnehmenden Absätze an Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor und den strengeren Flotten-Emissionszielen für Hersteller und Importeure, erwarten wir real leicht steigende Listenpreise der Personewagen und Lieferwagen. Auch heute zeigt sich bereits, dass manche Hersteller gezielt ihre Preise bei Verbrennern erhöhen, um die Erreichung der Flottenzielwerte zu unterstützen und die Gewinnmarge bei dieser lukrativen Technologie zu erhöhen. Gleichzeitig zeigt sich bei den BEV aufgrund regulatorischer Zielsetzungen, Wettkampf um Marktanteile und stetigen technologischen Verbesserungen (vor allem bei Batterien) eine stetige Reduktion der realen Listenpreise. Insgesamt führt diese Entwicklung dazu, dass in allen Kategorien ab einem bestimmten Jahr die Listenpreisparität zwischen Verbrennern und BEV erreicht wird. Während dies bei Personen- und Lieferwagen bereits in den nächsten Jahren der Fall ist, wird dieser Punkt bei Lastwagen, Arbeitsmaschinen und Traktoren erst in den 2030er-Jahren erreicht.

Für die Fortschreibung der BEV-Listenpreise wurde eine Batteriekostenprognose modelliert, basierend auf Goldman Sachs (2024) und BNEF (2024). Abbildung 20 zeigt die Entwicklung der realen Batteriepreise bis 2050.

Entwicklung der Batteriepreise

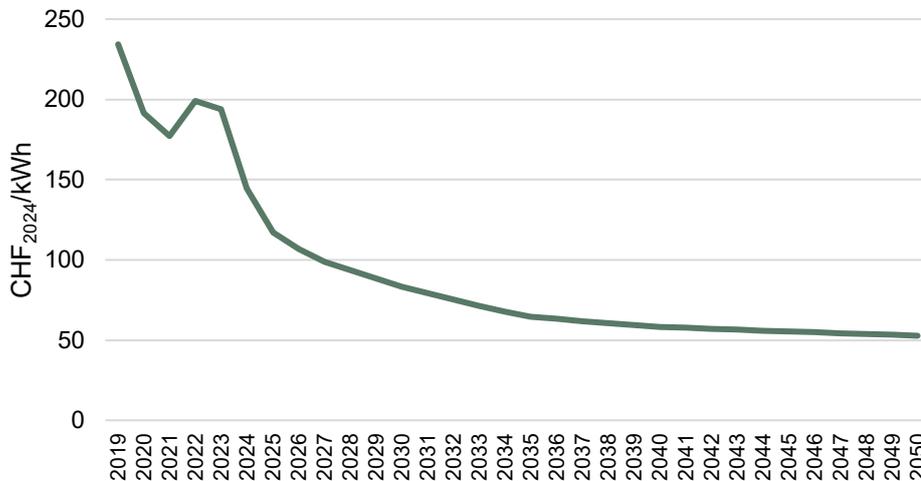


Abbildung 20 Entwicklung der realen Batteriepreise nach Goldman Sachs (2024), BNEF (2024) und eigenen Abschätzungen.

Den sinkenden Batteriepreisen stehen steigende Batteriekapazitäten gegenüber, die den Fahrzeugen eine grössere Reichweite ermöglichen. Das Verbauen von grösseren Batterien kompensiert die Effekte der sinkenden Batteriepreise teilweise. Als Datengrundlage für die Batteriekapazitäten heute wurden EBP (2023b) sowie Fahrzeugdaten herangezogen. Die zukünftige Entwicklung geht von einem Anstieg der Batteriekapazitäten von rund 30% bis 2030 aus, basierend auf APC UK (2022). Die relativen Anstiege der Batteriekapazitäten entwickeln sich in jeder Kategorie gleich. Abbildung 21 zeigt die Entwicklung der Batteriekapazitäten nach Fahrzeugkategorie.

Batteriekapazität nach Kategorie

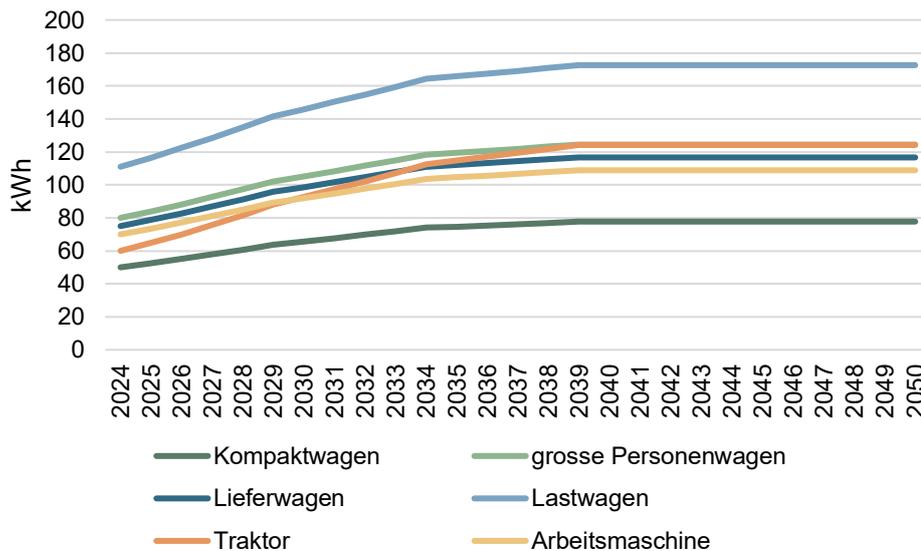


Abbildung 21 Entwicklung der Batteriekapazitäten der BEV nach Fahrzeugkategorie, basierend auf APC UK (2022) und eigenen Abschätzungen.

Neben den reduzierten Batteriepreisen werden bei BEV auch Reduktionen an den Fahrzeugherstellungskosten (exkl. Batterie) unterstellt, aufgrund

Skaleneffekten in der Produktion. Abbildung 22 zeigt exemplarisch die Entwicklung der Listenpreise für grosse Personenwagen, differenziert nach Antrieb. Wie eingangs erwähnt, erreichen in dieser Kategorie die BEV bereits in den nächsten Jahren die Parität bzgl. Listenpreisen.

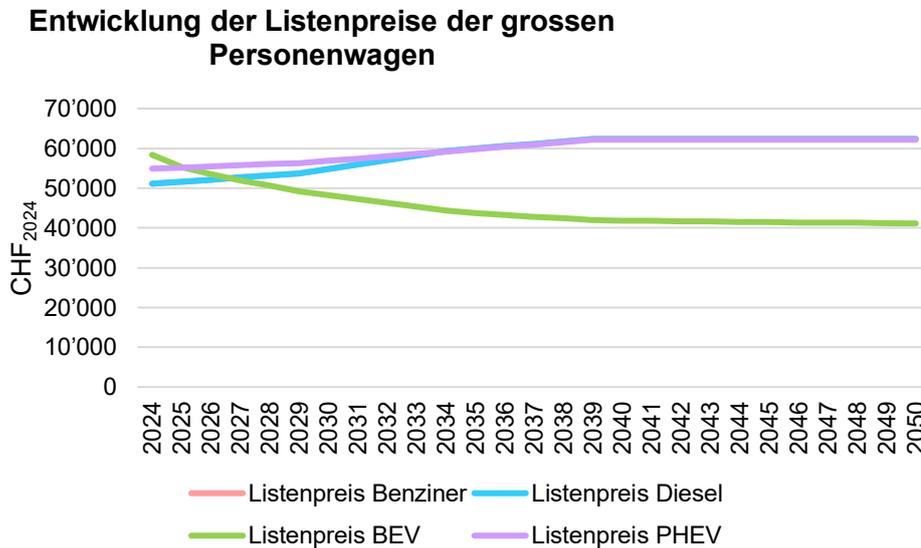


Abbildung 22 Entwicklung der Listenpreise bei den grossen Personenwagen differenziert nach Antrieb.

Bei der Beschaffung von PHEV und BEV fallen zusätzlich zum Fahrzeug auch Anschaffungskosten für die Ladeinfrastruktur an. Die Kosten für Erstellung der Basisinfrastruktur, Installation und Beschaffung der Ladestation belaufen sich hierbei auf 3'200 CHF pro AC-Ladepunkt (11/22 kW Ladeleistung) bzw. 22'000 CHF pro DC-Ladepunkt (50 kW Ladeleistung). Die Ladestationen müssen nach 10-15 Jahren Betrieb ersetzt werden, wobei Ersatzinvestitionen anfallen. Die Basisinfrastruktur verfügt hingegen über eine Lebensdauer von 30-50 Jahren und muss im Betrachtungszeitraum nicht ersetzt werden. Pro BEV wird ein Bedarf von 0.8 Ladepunkten bzw. 0.1 Ladepunkten pro PHEV angenommen. Für BEV-Lastwagen werden DC-Ladestationen mit 50 kW Ladeleistung unterstellt, für alle übrigen Kategorien 11 kW-AC-Ladepunkte. Pro 11 kW-Ladepunkt-Äquivalent wurden des Weiteren jährliche Betriebs- und Wartungskosten von 150 CHF unterstellt.

Energiekosten

Die Energiekosten berechnen sich für jede Kategorie und Antrieb basierend auf der Jahresfahrleistung, dem spezifischen Verbrauch und dem jeweiligen Energieträgerpreis. Die Jahresfahrleistung wurde in Kapitel 4.1 pro Kategorie und Departement bestimmt. Die spezifischen Verbräuche sind in Kapitel 5.3.1 spezifiziert. Für die Berechnung der Energiekosten werden über den Beobachtungszeitraum konstante Energieträgerpreise angenommen, da eine Voraussage mit hoher Unsicherheit verbunden ist. Die Preise für Benzin und Diesel basieren auf dem Jahresmittel 2024 und betragen 1.81 CHF/Liter für Benzin bzw. 1.90 CHF/Liter für Diesel. Die Strompreise basieren auf dem

Durchschnitt für den Kanton Aargau im Jahr 2025 und liegt bei 27.91 Rp./kWh (Kategorie C3, gemäss ECom⁴).

Servicekosten und Steuern

Die Servicekosten der Fahrzeuge wurden über einen spezifischen Kostensatz pro zurückgelegtem Fahrzeugkilometer berechnet. Dieser Kostensatz wurde pro Kategorie und Antrieb bestimmt. Es wurde angenommen, dass sich die spezifischen Servicekosten bei Benzinern, Diesel und PHEV nicht unterscheiden. BEV weisen typischerweise rund 33% geringere Servicekosten auf als Verbrenner. Als Datengrundlage verwendeten wir hierfür EBP (2023b) und ICCT (2022). Tabelle 9 zeigt die spezifischen Servicekostensätze nach Kategorie und Antrieb.

Kategorie	BEV [CHF ₂₀₂₄ /km]	Verbrenner / PHEV [CHF ₂₀₂₄ /km]
Arbeitsmaschine	0.33	0.50
grosse Personenwagen	0.06	0.08
Kompaktwagen	0.04	0.06
Lastwagen	0.10	0.15
Lieferwagen	0.07	0.10
Traktor	0.33	0.50

Tabelle 9: Spezifische Servicekosten pro Fahrzeugkilometer nach Kategorie und Antrieb.

Für die Berechnung der Verkehrssteuer wurde auf den offiziellen Verkehrssteuer-Rechner des Kantons zurückgegriffen. Dabei wurde in der Modellierung miteinbezogen, dass ab 1.1.2026 neue Bemessungsgrundlagen für die Berechnung gelten.

5.4.2 Resultate

Die Resultate der Berechnung der Gesamtkosten zeigen, dass das Zielszenario im Vergleich zum BAU-Szenario bis zum Zieljahr 2040 kumulativ leicht geringere Gesamtkosten aufweist (vgl. Tabelle 10). Trotz der im Zielszenario unterstellten schnellen Dekarbonisierung fallen für die Zielerreichung keine Mehrkosten gegenüber dem BAU-Szenario an.

Zeitraum	Kosten Zielszenario	Kosten BAU	Differenz (Ziel-BAU)
2025-2040	69.2 Mio. CHF ₂₀₂₄	69.4 Mio. CHF ₂₀₂₄	-212'652 CHF ₂₀₂₄
2025-2050	106.1 Mio. CHF ₂₀₂₄	106.6 Mio. CHF ₂₀₂₄	-573'235 CHF ₂₀₂₄

Tabelle 10: Vergleich der kumulativen Gesamtkosten zwischen den Szenarien bis zu den Jahren 2040 und 2050.

Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen die jährlich anfallenden Kosten für das BAU- und Zielszenario aufgeteilt nach Kostenkategorie. Die teils stark schwankenden jährlichen Kosten sind auf die ungleichmässige Beschaffung von Ersatzfahrzeugen zurückzuführen. Nicht jedes Jahr werden gleich viele

⁴ <https://www.strompreis.elcom.admin.ch/canton/19?category=C3>

Fahrzeuge neubeschafft. Im Vergleich der Szenarien zeigt sich, dass das Zielszenario besonders in den Anfangsjahren höhere Kosten aufweist als das BAU-Szenario. Dies liegt daran, dass in dieser Phase noch vergleichsweise teure BEV angeschafft werden, um die Zielerreichung bis 2040 garantieren zu können. Diese Mehrkosten werden aber je länger, desto mehr durch tiefere Betriebskosten kompensiert. Weiter zeigt sich, dass in beiden Szenarien aufgrund der Elektrifizierung der Flotte die Gesamtkosten im Schnitt sinken. Treiber davon ist, dass BEV tiefere Betriebskosten und ab einem gewissen Punkt auch tiefere Anschaffungskosten als die Verbrenner verursachen.

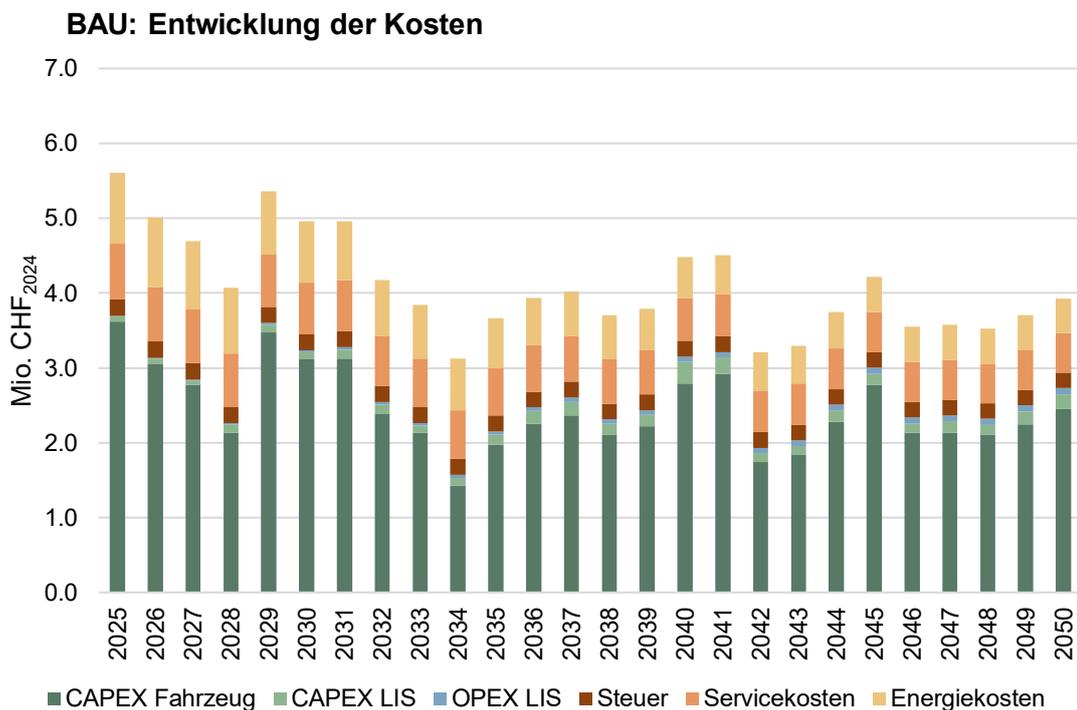


Abbildung 23 Entwicklung der Kosten im BAU-Szenario.

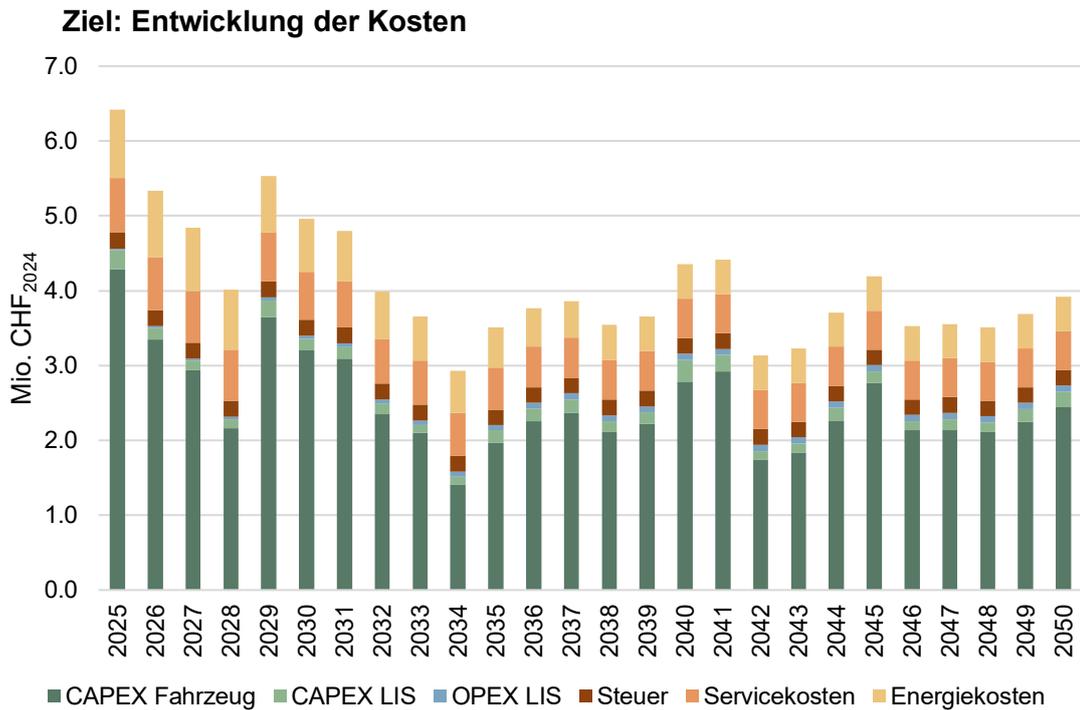


Abbildung 24 Entwicklung der Kosten im Zielszenario.

Abbildung 25 zeigt, wie die Differenz der kumulativen Kosten bis 2040 zwischen den beiden Szenarien zustande kommt. Aufgrund der früheren und vermehrten Beschaffung von BEV und der dafür benötigten Ladeinfrastruktur entstehen im Zielszenario Mehrinvestitionen von ungefähr 1.9 Mio. CHF. Dazu kommen noch rund 300'000 CHF an Mehrkosten für den Betrieb der Ladeinfrastruktur. Diese Mehrkosten werden allerdings kompensiert durch tiefere Betriebskosten. Die tieferen Service- und Energiekosten der BEV stellen einen substantziellen Kostenvorteil gegenüber Verbrennerfahrzeugen dar. Dieser Kostenvorteil vergrössert sich je länger ein Fahrzeug gehalten und je mehr Kilometer mit ihm zurückgelegt werden. Zusätzlich kann die kantonale Verwaltung die Energiekosten der BEV signifikant senken durch Bezug von eigens produziertem PV-Strom. Diese Nutzung erhöht den Eigenverbrauchsgrad des produzierten PV-Stroms und verbessert die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlagen. Durch (virtuelle) Zusammenschlüsse zum Eigenverbrauch (ZEV) und lokale Elektrizitätsgemeinschaften (LEG) kann der Eigenverbrauchsgrad weiter gesteigert und somit die Kosten für den Ladestrom gesenkt werden.

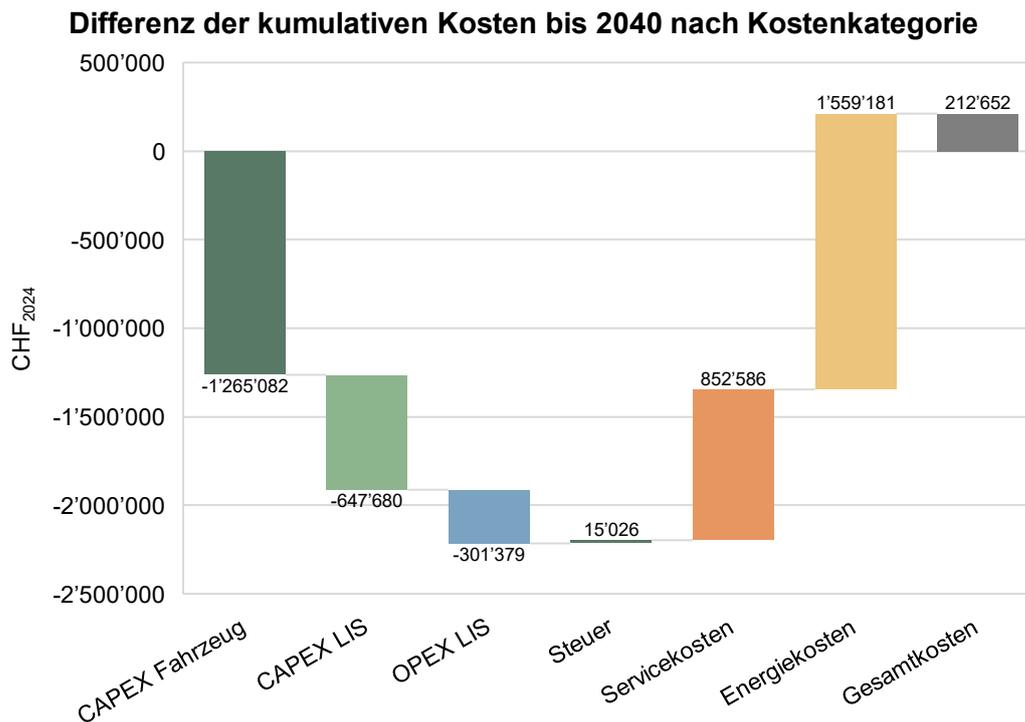


Abbildung 25 Differenz der kumulativen Kosten bis 2040 nach Kostenkategorie. Positive Werte entsprechen einer Kostenersparnis im Zielszenario ggü. dem BAU-Szenario. CAPEX = Capital Expenditures (Investitionskosten), OPEX = Operational Expenditures (Betriebskosten), LIS = Ladeinfrastruktur

Für diese positive Entwicklung spielt auch die Zusammensetzung der Flotte eine wichtige Rolle. Da der Grossteil der Flotte aus Personen- und Lieferwagen besteht, die bereits innert kurzer Zeit die Kostenparität mit Verbrennern erreichen und unterschreiten, werden Mehrkosten für die Elektrifizierung aus Fahrzeugkategorien wie den Arbeitsmaschinen kompensiert. In der Gesamtbetrachtung spielen die eher kostspielig zu elektrifizierenden Fahrzeugkategorien (Arbeitsmaschinen, Traktoren, Lastwagen) eine untergeordnete Rolle.

5.5 Schlussfolgerungen

Die Modellierung der Zielerreichung zeigt auf, dass eine frühzeitige und ambitionierte Elektrifizierung der Flotte doppelt lohnenswert ist. Es können damit bis 2040 rund 3'287 t CO₂-äq. eingespart werden, ohne dass Mehrkosten gegenüber dem BAU entstehen. Im Gegenteil zeigt sich im Zielszenario gar ein leichter Kostenvorteil in der Gesamtbetrachtung. Konkret bedeutet dies, dass die Klimazielerreichung unter den getroffenen Annahmen zu negativen Vermeidungskosten in der Höhe von - 65 CHF₂₀₂₄/t CO₂-äq bis 2040 und - 147 CHF₂₀₂₄/t CO₂-äq bis 2050 führt. Das heisst es wäre ökonomisch rational, den ambitionierten Zielpfad zur Erreichung der Klimaziele einzuschlagen und möglichst bald alle Fahrzeuge zu elektrifizieren. Darüber hinaus können durch eine Verlängerung der Haltedauer der BEV zusätzliche Reduktionen der Kosten und der Scope 3.2-Emissionen erzielt werden.

Neben dem hier skizzierten Vorgehen zur Erneuerung der Flotte nach Ablauf der Haltedauer, wäre es auch denkbar, besonders schwierig zu

dekarbonisierende Fahrzeugkategorien länger zu halten, um sie anschließend erst gegen Ende des nächsten Jahrzehnts durch BEV zu ersetzen. Damit können Lücken in der Marktverfügbarkeit umgangen werden, ohne dass erneut ein neues, langlebiges Verbrennerfahrzeug angeschafft wird. Längere Haltedauern von alten Verbrennerfahrzeugen führen allerdings auch zu höheren Emissionen im Scope 1 und höheren Betriebskosten im Vergleich zu einem BEV.

Die vorliegende Analyse entspricht einer Modellrechnung, die auf Basis notwendiger Vereinfachungen und Annahmen durchgeführt wurde. Wir können somit keine Gewähr für eine allgemeine Gültigkeit der Resultate liefern. Stattdessen sollen die Resultate und Aussagen dieser Studie der kantonalen Verwaltung als Orientierung dienen, damit informierte Entscheidungen zur erfolgreichen Dekarbonisierung des Geschäftsverkehrs getroffen werden können.

6. Analyse der Dienstfahrten

6.1 Vorgehen

Zur Berechnung der Treibhausgasemissionen der Dienstfahrten mit privaten Fahrzeugen werden folgenden Datengrundlagen herangezogen:

- Jahresfahrleistungen nach Departement (vgl. 4.2)
- Antriebsmix der Dienstfahrten nach EHMS ZERO-E
- Emissionsfaktoren pro zurückgelegtem Fahrzeugkilometer (Scope 3.6)

Abbildung 26 zeigt den Antriebsmix der Dienstfahrten über den Beobachtungszeitraum. Dieser wird direkt vom ZERO-E-Szenario der EHMS übernommen und stellt eine optimistische Entwicklung des Antriebsmixes der Personenwagen dar.

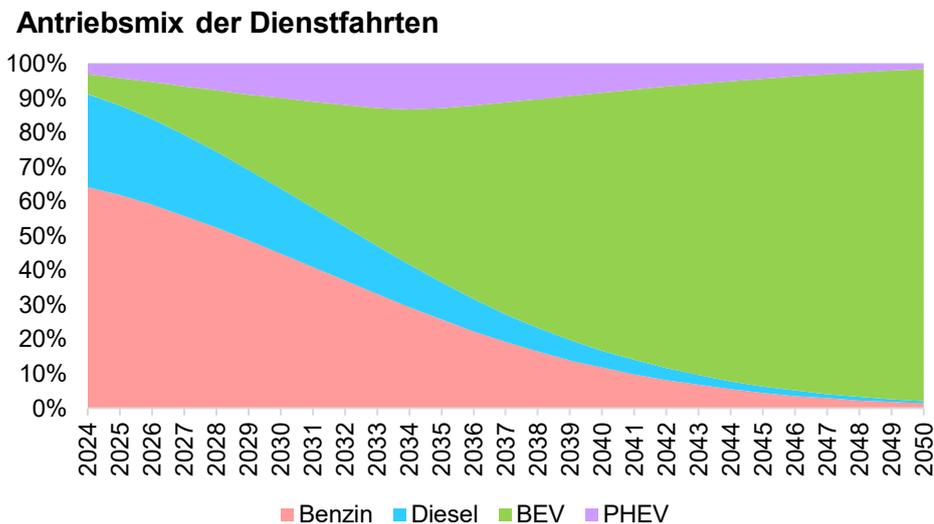


Abbildung 26 Antriebsmix der Dienstfahrten analog zum ZERO-E der EHMS (EBP, 2024).

Für die Berechnung der Treibhausgasemissionen der Mobility-Fahrten wird ein Antriebsmix unterstellt, der bis 2030 komplett elektrisch ist, da dies die offizielle Zielsetzung des Unternehmens ist. Bis dahin wird angenommen, dass sich die Anteile der anderen Antriebe linear auf 0% absenken. Die Fahrleistung der Mobility-Dienstfahrten betrug im Jahr 2023 rund 99'000 km. Es wird angenommen, dass dieser Wert konstant bleibt.

Als Emissionsfaktor werden in diesem Schritt der Bilanzierung (Scope 3.6) nur die direkten Emissionen bilanziert. Folglich werden hier die gleichen Emissionsfaktoren verwendet wie in Scope 1.

6.2 Resultate

Die Resultate der Treibhausgasbilanzierung für die Dienstfahrten mit privaten Fahrzeugen (vgl. Abbildung 27) zeigen, dass zum Zieljahr 2040 noch rund 20% der jährlichen Emissionen des Jahres 2025 ausgestossen werden. Die kumulierten Emissionen steigen bis 2040 auf rund 3.1 kt CO₂-äq., was rund 13% der kumulierten Flottenemissionen im Zielszenario entspricht. Dieser zwar beträchtliche Anteil an den Emissionen, ist allerdings nur schwierig von der kantonalen Verwaltung zu beeinflussen, da die Fahrzeuge und die Kaufentscheidung elektrischer Antriebe schliesslich in privater Hand sind.

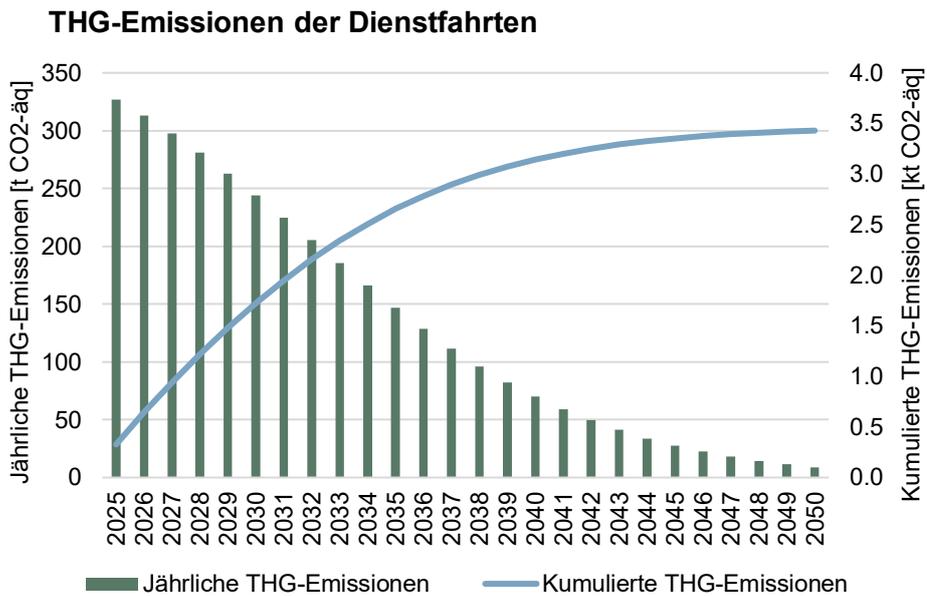


Abbildung 27 THG-Emissionen der Dienstfahrten mit privaten Fahrzeugen (Scope 3.6)

Abbildung 28 zeigt die THG-Emissionen der Mobility-Fahrten. Aufgrund der geringen Jahresfahrleistung und der schnellen Dekarbonisierung der Mobility-Flotte, spielen diese Emissionen kaum eine Rolle in der Gesamtbetrachtung. Da das Mobility-Angebot von alleine dekarbonisiert wird, sind hier auch keine Massnahmen zur Dekarbonisierung seitens kantonalen Verwaltung nötig. Sollte sich Mobility an Standorten der kantonalen Verwaltung einmieten wollen, könnte die Verwaltung jedoch vorteilhafte Bedingungen für die Elektrifizierung schaffen. Denkbar wären hier beispielsweise attraktive Parkplatzmieten für BEV oder Investitionen in die Basisinfrastruktur für Ladestandorte.

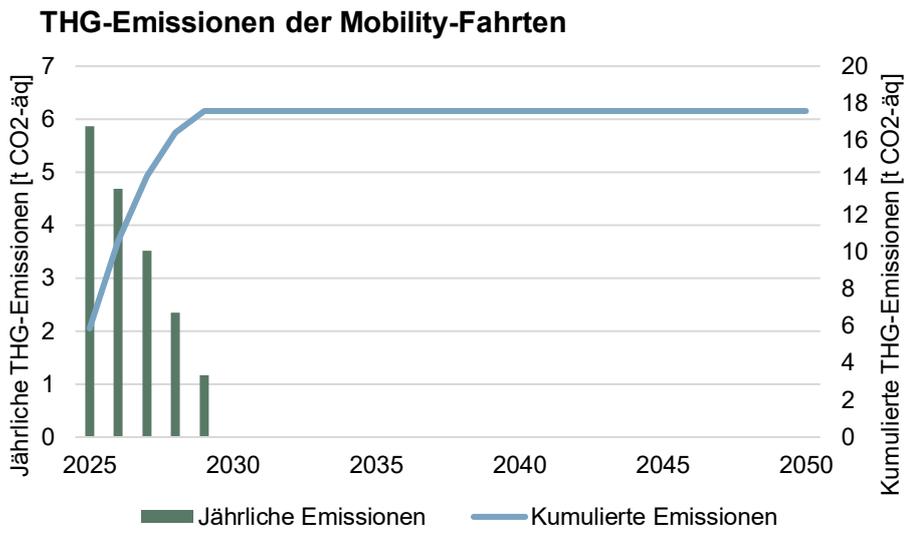


Abbildung 28 THG-Emissionen der Dienstfahrten mit Mobility-Fahrzeugen (Scope 3.6)

7. Massnahmen und Ressourcenbedarf für Etappe I bis 2030

7.1 Massnahme 1: übergeordnete Beschaffungsstrategie mit Etappenzielen

Motivation und Ziel

Die kantonale Verwaltung verfügt derzeit über keine departementsübergeordneten Zielsetzungen und Strategien zur Beschaffung batterieelektrischer Fahrzeuge (BEV). Manche Departemente verfolgen eigene Strategien und streben beispielsweise an, alle Fahrzeuge elektrisch zu beschaffen, solange die Anforderungsprofile erfüllt werden können. Andere Departemente zögern aufgrund fehlender Ladeinfrastruktur und weiteren Hemmnissen noch mit der Beschaffung elektrischer Fahrzeuge.

Eine übergeordnete Beschaffungsstrategie soll festlegen auf welcher Grundlage Entscheide zur Beschaffung von BEV getroffen werden. Zudem liefert die Beschaffungsstrategie klare und überprüfbare Etappenziele zur Dekarbonisierung der Flotte. Die Verantwortlichen in den Departementen können sich an diesen Zielen orientieren und ihren Fortschritt überprüfen. Weiter erlaubt dies den zuständigen Abteilungen eine Zielverfehlung zu antizipieren und frühzeitig Massnahmen einzuleiten, um das Netto-Null-Ziel zu erreichen.

Massnahmenbeschreibung

Die Beschaffungsstrategie legt Grundsätze für die Beschaffung neuer Fahrzeuge fest. Darin soll grundsätzlich die Pflicht der Beschaffung eines klimaneutralen, bevorzugt batterieelektrischen Fahrzeugs bestimmt werden. Dies ist notwendig, um die Dekarbonisierung der Flotte bis 2040 zu erreichen.

In verschiedenen Fällen kann sich aber eine BEV-Beschaffung als schwierig herausstellen. Gründe hierfür können ein mangelndes Marktangebot, ein anspruchsvolles Anforderungsprofil, hohe Kosten oder fehlende Ladeinfrastruktur sein. Besonders Blaulicht-Organisationen sind oft von solchen Problemen betroffen, da die Fahrzeuge hohe Anforderungen bzgl. Einsatzbereitschaft haben.

Ausnahmen von der BEV-Beschaffungspflicht sollten nur in Fällen gelten, wo auch nach erneuter Evaluation des Anforderungsprofils des Fahrzeugs kein batterieelektrisches Fahrzeug gefunden werden konnte. Höhere Anschaffungskosten oder mangelnde Ladeinfrastruktur sind keine abschliessenden Argumente, die gegen eine elektrische Beschaffung sprechen, da beide Aspekte im Handlungsspielraum der kantonalen Verwaltung liegen. Anstatt den Anschaffungskosten sollten bei der Beschaffung primär die Gesamtkosten des Fahrzeugs über die Haltedauer beurteilt werden. BEV können höhere Anschaffungskosten aufgrund tieferer Betriebskosten über die Lebensdauer kompensieren und so sogar geringere Gesamtkosten aufweisen als Verbrenner. Bei einer Ausnahme von der BEV-Beschaffungspflicht, sollte diese begründet werden, damit Hemmnisse identifiziert und gezielt angegangen werden können.

Die Beschaffungsstrategie soll zudem den für die Fahrzeugbeschaffung verantwortlichen Personen in den Departementen aufzeigen, welchen Anteil an Fahrzeugen sie elektrisch beschaffen müssen, damit das Netto-Null-Ziel 2040 erreicht werden kann. Auf Grundlage der Modellierung in Kapitel 5.2 können pro Fahrzeugkategorie und Jahr Richtwerte definiert werden, um zu prüfen, ob sich die Flottenzusammensetzung auf einem Netto-Null-kompatiblen Absenkpfad befindet.

Wie in Kapitel 5.2.3 diskutiert, müssen für die Neubeschaffungen unter den angenommenen Haltedauern bereits heute viele Fahrzeugkategorien vollständig elektrisch beschafft werden, um das Klimaziel 2040 ohne vorzeitigen Ersatz von Fahrzeugen zu erreichen. Tabelle 11 zeigt die empfohlenen Beschaffungsquoten von BEV nach Fahrzeugkategorie.

Jahr	Anteil BEV an Beschaffungen			
	Grosse Personenwagen	Kompaktwagen	Lieferwagen	Arbeitsmaschine / Lastwagen / Traktor
2025	60 %	40 %	50 %	100 %
2026	68 %	52 %	67 %	100 %
2027	76 %	64 %	77 %	100 %
2028	84 %	76 %	100 %	100 %
2029	92 %	88 %	100 %	100 %
2030	100 %	100 %	100 %	100 %

Tabelle 11: Empfohlene Beschaffungsquoten für BEV nach Kategorie.

Der Antriebsmix der Flotte sollte ebenfalls als Zielgrösse für das Monitoring des Fortschritts herangezogen werden. Tabelle 12 zeigt die aus der Modellierung des Zielszenarios abgeleiteten BEV-Anteile an der Flotte für ausgewählte Etappenjahre. Die Betrachtung des Anteils der BEV im Bestand erlaubt es frühzeitig zu reagieren, falls eine Zielverfehlung absehbar ist und entsprechende Massnahmen zu ergreifen. Konkret möglich wären hier beispielsweise die frühzeitige Verschrottung oder Verkauf eines Fahrzeugs und die Neubeschaffung eines BEV-Modells.

Kategorie	Anteil BEV 2028	Anteil BEV 2030	Anteil BEV 2035	Anteil BEV 2040
Arbeitsmaschine	30%	55%	82%	100%
grosse Personenwagen	46%	70%	92%	100%
Kompaktwagen	50%	62%	84%	100%
Lastwagen	45%	61%	82%	100%
Lieferwagen	29%	44%	85%	100%
Traktor	32%	45%	64%	*100%
Gesamt	37%	55%	86%	100%

Tabelle 12: Flottenanteile BEV nach Kategorie für ausgewählte Etappenjahre.

*Ziel nur erreichbar bei Beschaffung vor Ablauf der unterstellten Haltedauer.

Organisation

Die für die Fahrzeugbeschaffung zuständige Abteilung formuliert im Rahmen der Roadmap Netto-Null 2040 die Beschaffungsstrategie und definiert Quoten für die Beschaffung von BEV unterteilt nach Fahrzeugkategorie. In Absprache mit den Departementsvertreterinnen und -vertretern werden diese Zielvorgaben als Leitlinien etabliert und der Fortschritt anschliessend jährlich rapportiert. Die Departemente stellen der zuständigen Abteilung jedes Jahr einen Statusreport zur Verfügung, der die Anzahl batterieelektrischer Neubeschaffungen und den aktuellen Stand der Flotte nach Antrieb aufzeigt. Damit kann überprüft werden, ob die Departemente auf Kurs für die Vollelektrifizierung bis 2040 sind.

Für das Monitoring und die Ergreifung von passenden Massnahmen wäre es hilfreich, wenn die Verantwortlichen der Departemente bei jeder nicht-elektrischen Beschaffung deklarieren müssten, aus welchem Grund diese nicht elektrisch war. Dies erlaubt es Hemmnisse (wie z.B. fehlende Ladeinfrastruktur, hohe Kosten oder unzureichende Marktverfügbarkeit) frühzeitig zu erfassen und entsprechende Massnahmen zu ergreifen.

Erwartete Ergebnisse

Zusammen mit den Massnahmen 2 und 4 (siehe nachfolgende Kapitel) sollte diese Massnahme eine Dynamik entwickeln, die die Zielerreichung 2040 wie in der Modellierung dargestellt, ermöglicht. Erwartete Effekte und Ergebnisse dieser Massnahme sind:

- Etappenweise Zielerreichung der Dekarbonisierung der Flotte
- Generierung jährlicher Monitoringdaten zur Überprüfung des Fortschritts
- Erhöhte Sensibilisierung für die Beschaffung elektrischer Fahrzeuge
- Eine etappenweise Zielsetzung rückt die Problematik näher in die Gegenwart und erhöht den Druck zur Dekarbonisierung.

Grobe Kostenschätzung

Die Massnahme ist grundsätzlich umsetzbar mit den derzeitig vorhandenen Strukturen zur Datenerhebung, die auch für diese Studie verwendet wurden. Für das jährliche Monitoring und die Erhebung der Daten fallen zusätzliche Arbeitsaufwände für die damit beauftragte Stelle an. Da jedoch bereits heute

Fahrzeuglisten von den Departementen geführt werden, dürfte der Aufwand überschaubar sein. Die Evaluation der Monitoringdaten und die allfällige Ausarbeitung von Massnahmen zur Beschleunigung der Dekarbonisierung ist mit wesentlich mehr Aufwand verbunden, aber schwierig abzuschätzen.

7.2 Massnahme 2: Konzept für den Beschaffungsprozess

Motivation und Ziel

Die Anschaffung eines BEV bedingt die vorangehende Realisierung einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur. Im Rahmen der Erarbeitung dieser Studie wurde klar, dass die Abstimmung dieser beiden Beschaffungen noch ein Hindernis für eine schnellere Elektrifizierung der Flotte darstellt.

Ziel dieser Massnahme soll folglich sein, ein übergeordnetes Konzept für einen abgestimmten Beschaffungsprozess der Ladeinfrastruktur und der BEV für die gesamte Verwaltung zu entwickeln. Dieses Konzept zeigt auf wie der Ausbau der Ladeinfrastruktur organisiert wird.

Massnahmenbeschreibung

Um die Beschaffung von BEV in allen Departementen und relevanten Liegenschaften zu ermöglichen, wird ein der Beschaffung kurzfristig vorausgehender Ausbau der Ladeinfrastruktur benötigt. Im Rahmen dieser Massnahme soll hierfür für jede Liegenschaft der Endausbauzustand der Ladeinfrastruktur definiert werden, der bei vollständiger Elektrifizierung (Zieljahr 2040) erreicht wird. Auf Grundlage dieses Endzustands soll anschliessend die Basisinfrastruktur (SIA 2060, Ausbaustufen B-C2) errichtet werden (vgl. Abbildung 29). Bei Liegenschaften mit Spezialfahrzeugen mit hohen Bereitschaftsanforderungen kann es sinnvoll sein, hier zuerst im Rahmen einer Machbarkeitsstudie (vgl. Massnahme 4) zu evaluieren, wie viele Ladepunkte mit welcher Ladeleistung notwendig sind, um die jeweiligen Anforderungen an den Betrieb zu erfüllen (u.a. relevant bei Winterdienstfahrzeugen). Auf dieser Grundlage kann abgeklärt werden, ob eine Verstärkung des Netzan schlusses notwendig ist.

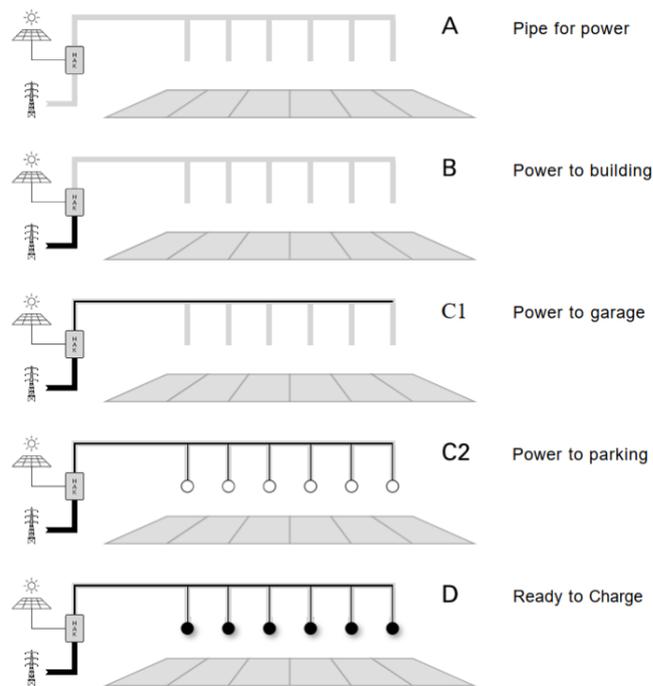


Abbildung 29 Ausbaustufen der Basis- und Ladeinfrastruktur nach SIA 2060.

Die Realisierung der Ladeinfrastruktur in Immobilien des Kantons orientiert sich an der Richtlinie Elektromobilität der IMAG. Diese präzisiert das Vorgehen, Dimensionierung sowie verschiedene Anforderungen an die Realisierung der Ladeinfrastruktur. Des Weiteren gibt die Richtlinie vor, dass der Kanton den Grundsatz «Eigentum vor Miete» in Bezug auf die Beschaffung von Ladeinfrastruktur verfolgt. Der Kanton beschafft die Ladeinfrastruktur mittels Submissionsverfahren selbst und beauftragt für die Abrechnung und Integration den Dienstleister AEW. Die Ladetarifbestimmung unterliegt der Hoheit des Kantons. Bei angemieteten Liegenschaften gelten die Bestimmungen der Richtlinie hingegen nicht.

Damit der Ausbau der Ladeinfrastruktur (Ausbaustufe D nach SIA) bedarfsgerecht etappiert wird, sollte jedes Departement oder Liegenschaftsbetreiber jährlich den eigenen Fuhrpark evaluieren und abschätzen, wie viele zusätzliche BEV in den nächsten drei Folgejahren voraussichtlich beschafft werden. Hierbei sollten sie sich ebenfalls an den in Massnahme 1 detaillierten Beschaffungsquoten orientieren. Auf Grundlage der Richtlinie Elektromobilität und des Anforderungsprofils ermittelt die zuständige Person im jeweiligen Departement die empfohlene Dimensionierung der Ladeinfrastruktur und übermittelt der IMAG den Ausbaubedarf. Die IMAG leitet anschliessend den Ausbau der Ladeinfrastruktur und beauftragt einen externen Dienstleister mit dem Aufbau. Damit genügend Zeit für die Planung und Realisierung der Ladeinfrastruktur bleibt, sollte ungefähr ein Jahr Vorlauf eingeplant werden.

Bei Liegenschaften des Kantons sollten ausserdem Synergien zu bestehenden oder geplanten PV-Anlagen miteinbezogen werden. Ladeinfrastruktur kann den Eigenverbrauchsgrad von PV-Anlagen stark erhöhen und somit zu Kostenersparnissen führen. Der Aufbau von PV-Anlagen kann somit auch

direkt als Anlass genommen werden, um die Basis- und Ladeinfrastruktur zu errichten. Dieser Aspekt kann im Rahmen einer kombinierten Machbarkeitsstudie genauer untersucht werden (s. Massnahme 4).

Für Fahrzeuge, die nicht an Immobilien des Kantons angeschlossen sind, sollte ein analoger Prozess mit dem Vermieter der Liegenschaft angestossen werden. Je nach gewähltem Betreibermodell innerhalb der Liegenschaft kann das Vorgehen hier unterschiedlich gestaltet werden. Der LadenPunkt-Leitfaden «Ladeinfrastruktur in Mietobjekten»⁵ des BFE gibt Antworten auf alle wichtigen Fragen betreffend Betreibermodellen und Vorgehen. Allerdings besteht gesetzlich derzeit kein Anspruch auf eine Ladestation in Mietobjekten und die Vermieterschaft darf ohne Einverständnis der Mieterschaft Änderungen am Mietobjekt vornehmen.

Organisation

- Unter Einbezug der Richtlinie Elektromobilität und allfälligen Machbarkeitsstudien ermitteln die Verantwortlichen der Departemente den Ausbaubedarf der Basisinfrastruktur. Dieser wird der IMAG übermittelt und die Projektierung sowie Realisierung anschliessend durch diese beauftragt.
- Falls die IMAG zu stark ausgelastet sein sollte, kann die Projektierung und Realisierung direkt an Dritte beauftragt werden, solange diese sich an den Richtlinien Elektromobilität orientiert.
- Jährliche Evaluationen des neu entstehenden Ladebedarfs ermöglichen einen rechtzeitigen Ausbau der Ladeinfrastruktur und verhindern Fehlallokationen von Ressourcen.

Erwartete Ergebnisse

- Realisierung der Basisinfrastruktur in allen relevanten Liegenschaften des Kantons innerhalb der nächsten 5 Jahre
- Bedarfsgerechter, effizienter und etappierter Ausbau der Ladeinfrastruktur
- Eliminierung des Hemmnisses «fehlende Ladeinfrastruktur»
- Beschleunigte Elektrifizierung der Flotte

Grobe Kostenschätzung

Gemäss der Modellierung des Zielszenarios belaufen sich die kumulativen Investitionskosten (CAPEX) für die Ladeinfrastruktur bis 2040 auf rund 2.7 Mio. CHF₂₀₂₄. Dabei beinhaltet sind Ersatzinvestitionen in die Ladestation nach Ablauf von 10-15 Jahren Lebensdauer. Die Betriebskosten (OPEX) über den Zeitraum 2025-2040 belaufen sich auf weitere rund 0.9 Mio. CHF₂₀₂₄.

Für die Abschätzung des Ladebedarfs und der Dimensionierung der Ladeinfrastruktur in den Liegenschaften sind unterschiedlich hohe Aufwände zu erwarten, je nach Komplexität des Fuhrparks und der Einsatzanforderungen. Bei eher simplen Ausgangslagen mit Fuhrparks bestehend aus Personewagen ohne speziell hohe Einsatzanforderungen, können direkt die Richtlinien Elektromobilität übernommen werden. Bei anspruchsvolleren

⁵ [Leitfaden «Ladeinfrastruktur in Mietobjekten», LadenPunkt](#)

Situationen empfehlen wir fundierte Machbarkeitsstudien, um die Einsatzbereitschaft garantieren zu können.

7.3 Massnahme 3: Mobilitätsmanagement und Lademöglichkeiten für Mitarbeitende

Motivation und Ziel

Neben den rund 5.9 Mio. Kilometern an Fahrleistung der kantonalen Flotte werden jedes Jahr etwa 1.9 Mio. Kilometer in privaten Fahrzeugen im Rahmen von Dienstfahrten für den Kanton zurückgelegt. Die Dienstfahrten führen kumulativ bis 2040 zu THG-Emissionen in der Höhe von rund 3'100 t CO₂-äq. und entsprechen etwa 13% der Emissionen der Flotte im Zielszenario. Dieser Verkehr soll durch gezielte Anreize verlagert und schneller elektrifiziert werden.

Massnahmenbeschreibung

Die Elektromobilität ist nur eine Teillösung eines nachhaltigen Verkehrssystems. Eine nachhaltige Mobilitätsstrategie basiert auf vier Säulen: Vermeidung, Verlagerung, Vernetzung und Verbesserung. Für die Reduktion der Treibhausgasemissionen der Dienstfahrten sind mehrere anreizbasierte Ansätze denkbar.

Potenziale bestehen zur Verlagerung auf den Langsamverkehr (Velo- und Fussverkehr) sowie hin zu Car-Sharing-Modellen. Derzeit erhalten Mitarbeitende, die Dienstfahrten mit ihrem Velo zurücklegen, keine Vergütung der zurückgelegten Strecke. Zur Schaffung eines Anreizes könnten folglich auch Dienstfahrten mit dem privaten Velo oder E-Bike mit dem pauschalen Spensatz von 70 Rp./km entgolten werden.

Anders als bei der Elektrifizierung der eigenen Flotte hat der Kanton bei den Dienstfahrten mit Privatfahrzeugen relativ wenig Handlungsspielraum, da die Kaufentscheidung bei den Angestellten liegt und Privatsache ist. Dennoch kann die kantonale Verwaltung Anreize schaffen durch attraktive Ladetarife und Lademöglichkeiten. Besonders für Mitarbeitende, die keine private Lademöglichkeit haben, ist ein Ladestandort beim Arbeitgeber zu einem günstigen Tarif ein wichtiger Entscheidungsfaktor und ermöglicht vielen Personen den Zugang zur Elektromobilität. Allerdings können attraktive Ladetarife auch dazu führen, dass gewisse Mitarbeitende diese zum Anlass nehmen, um von umweltfreundlicheren Verkehrsmitteln wie dem ÖV oder dem Velo umzusteigen auf ein BEV. Die bereits tiefen Betriebskosten des BEV werden durch attraktive Ladetarife weiter gesenkt und können folglich in einem Anreiz zu mehr motorisiertem Individualverkehr (MIV) münden.

Eine mögliche Umsetzungsform dieses Anreizes wäre beispielsweise, dass Mitarbeitende jede Woche eine bestimmte Energiemenge gratis oder zu reduzierten Tarifen laden können, bevor sie wieder den üblichen Tarif zahlen. Damit wird verhindert, dass Mitarbeitende das Angebot zu stark ausnutzen.

Organisation

— Die kantonale Verwaltung prüft eine Anpassung des Spesenreglements, sodass Velo- und E-Bike-Dienstfahrten ebenfalls entgolten werden.

- Die IMAG prüft, ob die Umsetzung eines Ladeguthabens technisch möglich ist. Sofern dies der Fall ist, könnte dies in Zusammenarbeit mit dem Ladestationsbetreiber umgesetzt werden.

Erwartete Ergebnisse

- Faire Behandlung der Velofahrenden bzgl. Spesenentschädigung, allerdings wohl nur geringe Klimawirkung
- Anreize fürs Laden beim Arbeitgeber werden verstärkt, Mitarbeitende ohne private Lademöglichkeit haben nun Zugang zur Elektromobilität zu attraktiven Bedingungen
- Eventueller Rebound-Effekt in Form von verstärktem MIV-Aufkommen aufgrund den attraktiven Ladetarifen

Grobe Kostenschätzung

- Velo-Spesen: Abhängig von der Umsetzung der Fahrleistung der Velo-Dienstreisen und dem Spesensatz
- Attraktive Ladetarife: Variiert je nach Strompreis und Ladeaufkommen. Das Ladeaufkommen wird aufgrund der Elektrifizierung in den kommenden Jahren stark steigen, wodurch sich auch die Kosten der Massnahme sukzessive erhöhen.

7.4 Massnahme 4: Machbarkeitsstudien zur Elektrifizierung

Motivation und Ziel

Fahrzeuge mit hohen Anforderungen an die Einsatzbereitschaft, wie Fahrzeuge der Polizei oder des Winterdienstes, sind schwierig zu dekarbonisieren. Durch korrekte Dimensionierung der Ladeinfrastruktur, zusätzliche technische Lösungen wie Batteriespeicher, sowie optimiertes Einsatz- und Lademanagement können solche Hemmnisse abgebaut werden. Machbarkeitsstudien zur Elektrifizierung spezifischer Fahrzeuge oder Fuhrparks können solche konkreten Lösungen aufzeigen und ermöglichen den Stakeholdern die nächsten Schritte der Elektrifizierung anzugehen.

Massnahmenbeschreibung

Hohe Anforderungen an die Einsatzbereitschaft von Fahrzeugen können ein substanzielles Hindernis sein für die Dekarbonisierung der Flotte und die Erreichung des Netto-Null-Ziels. Machbarkeitsstudien zeigen, ob und wie die Anforderungen des Fuhrparks durch BEV derzeit erfüllt werden können und falls nicht, ab wann dies etwa der Fall sein wird. Die Machbarkeitsstudie ermöglicht darüber hinaus eine präzise Dimensionierung und gute Auslastung der Ladeinfrastruktur durch Tools wie Umlauf- und Einsatzanalysen. Damit können Fehlinvestitionen in eine unpassend dimensionierte Ladeinfrastruktur verhindert werden. Die Analyse zeigt schliesslich auch auf, ob der Netzanschluss für die Dimensionierung der Ladeinfrastruktur verstärkt werden muss.

Des Weiteren kann in einer solchen Analyse untersucht werden, ob es prüfungswert ist, eine Abschwächung des Anforderungsprofils eines Fahrzeugs zu erwägen, um das verfügbare Marktangebot besser nutzen zu können. Hierbei werden die Kriterien bei der Fahrzeugbeschaffung nochmals evaluiert und gegebenenfalls zu Gunsten der Elektrifizierung abgeschwächt.

Möglich wäre hierbei auch zu prüfen, ob andere Fahrzeugtypen batterieelektrisch verfügbar sind, die den Fahrzeugzweck ebenfalls erfüllen könnten.

Neben fahrzeugspezifischen Analysen können hier auch Synergien mit PV-Anlagen und Batteriespeichern eruiert werden. Die wirtschaftliche Dimensionierung einer PV-Anlage oder der Einbau von Batteriespeichern hängt stark davon ab, wie viel Eigenverbrauch in der jeweiligen Liegenschaft generiert wird. Eine fundierte Machbarkeitsanalyse ermöglicht die optimale Erschliessung von Synergien zwischen PV und Elektromobilität und erhöht die Wirtschaftlichkeit beider Technologien.

Machbarkeitsstudien sollen im Rahmen dieser Massnahme punktuell zum Einsatz kommen, um besonders anspruchsvoll zu elektrifizierende Fuhrparks wie beispielsweise Blaulichtorganisationen zu analysieren. Damit wird verhindert, dass beispielsweise bei Spezialfahrzeugen mit typischerweise langen Haltedauern ebenso lange Lock-In-Effekte in fossile Energieträger entstehen.

Organisation

- Die kantonale Verwaltung identifiziert die wichtigsten Fuhrparke, deren Dekarbonisierung aufgrund hoher Einsatzanforderungen nur schwierig möglich scheint.
- Die kantonale Verwaltung gibt Machbarkeitsstudien zur Elektrifizierung von Fuhrparks und Spezialfahrzeugen in Auftrag bei einem externen Beratungsbüro. Dieses führt in enger Abstimmung mit den Stakeholdern vor Ort die Studie durch und leitet Empfehlungen ab zur Dekarbonisierung des Fuhrparks und der allfälligen Nutzung von Synergien mit PV/Batteriespeichern.

Erwartete Ergebnisse

- Machbarkeitsstudien mit konkreten Lösungsansätzen zur Dekarbonisierung von Fahrzeugen mit hohen Anforderungen
- Passende Dimensionierung und Etappierung der Ladeinfrastruktur an den jeweiligen Liegenschaften
- Beschleunigte Dekarbonisierung der Flotte und Verhindern von Lock-In-Effekten bei Spezialfahrzeugen
- Optimale Nutzung von Synergien zwischen PV-Anlagen und Elektromobilität

Grobe Kostenschätzung

Für eine Machbarkeitsstudie eines Fuhrparks von ca. 40 Fahrzeugen und 3 Liegenschaften wird mit Kosten von ca. 20'000 CHF gerechnet bei externen Beratungsbüros. Der Arbeitsaufwand beläuft sich auf ca. 14 Arbeitstage.

Gemäss Angaben der KAPO besteht aufgrund der hohen Anforderungen an Einsatzbereitschaft bei praktisch all ihren Fahrzeugen und Liegenschaften ein Bedürfnis für solche vertiefte Abklärungen.

8. Quellen

APC UK. (2022). Future lithium availability for EV batteries continues to be a cause for concern. Advanced Propulsion Centre UK. <https://www.apcuk.co.uk/news-events/news/future-lithium-availability-for-ev-batteries-continues-to-be-a-cause-for-concern/>

BFE. (2022). Energieperspektiven 2050+. Bundesamt für Energie.

BFE. (2025). Kennzahlen zu den alternativen Antrieben bei Personenwagen. Bundesamt für Energie. https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sto-rymaps/MO_Kennzahlen_Fahrzeuge/Personenwagen_AlternativeAn-triebe/?lang=de

BNEF. (2024). Lithium-Ion Battery Pack Prices See Largest Drop Since 2017, Falling to \$115 per Kilowatt-Hour: BloombergNEF (BNEF). <https://about.bnef.com/blog/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>

EBP. (2023a). Verständnis Ladeinfrastruktur 2050. <https://www.laden-punkt.ch/de/werkzeuge/verstaendnis-ladeinfrastruktur-2050/>.

EBP. (2023b). Gesamtkosten von Personenwagen (TCO). Im Auftrag des Bundesamts für Energie und Energie-Schweiz.

EBP. (2024). Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland.

Fraunhofer Institut. (2023a). Preiselastische Wasserstoffnachfrage in-Deutschland. https://www.hypat.de/hypat-wAssets/docs/new/publikationen/HyPAT_Working-Paper-01_2023_Priselastische-Nachfrage.pdf

Fraunhofer Institut. (2023b). Factsheet TCO – Eine Wirtschaftlichkeitsana-lyse der Antriebsarten für Pkw. https://www.now-gmbh.de/wp-content/uplo-ads/2023/03/NOW_Factsheet_Vergleich-Antriebsarten-Pkw.pdf

Fraunhofer Institut. (2023c). Eine kritische Diskussion der beschlossenen Massnahmen zur E-Fuel Förderung im Modernisierungspaket für Klima-schutz und Planungsbeschleunigung.

Goldman Sachs. (2024). Electric vehicle battery prices are expected to fall almost 50% by 2026. <https://www.goldmansachs.com/insights/artic-les/electric-vehicle-battery-prices-are-expected-to-fall-almost-50-percent-by-2025>

ICCT. (2022). Electrifying last-mile delivery - A total cost of ownership com-parison of battery-electric and diesel trucks in Europe. International Council on Clean Transportation. <https://theicct.org/wp-content/up-loads/2022/06/tco-battery-diesel-delivery-trucks-jun2022.pdf>

Intep. (2022). Treibhausgas-Emissionsfaktoren für den Gebäudesektor. https://intep.com/wp-content/uploads/2024/09/Bericht_Treibhausgas-Emis-sionsfaktoren_Gebaeudesektor_KBOB_GHG-Protocol.pdf

Sacchi & Bauer. (2023). Life cycle inventories for on-road vehicles, Paul-Scherrer-Institut, Villigen.

SIA. (2020). Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden (SIA 2060). Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Swiss e-Mobility. (2023). Ladeinfrastruktur in Mietobjekten.

Siemens. (2024a). Environmental Product Declaration – VersiCharge.

Siemens. (2024b). Environmental Product Declaration – Sicharge D 400 kW.

VSE. (2022). Energiezukunft 2050. Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen. <https://www.strom.ch/de/energiezukunft-2050/startseite>