



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech

Schlussbericht vom 15. Dezember 2025

Zukunft des elektrischen Strassengüterverkehrs Schweiz

Szenarien zum Markthochlauf und Ladeinfrastrukturbedarf bis 2050



Quelle: © shutterstock 2024



Datum: 15. Dezember 2025

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Ko-Finanzierung:

Planzer AG
Lerzenstrasse 14
8953 Dietikon
www.planzer.ch

Schöni Transport AG
Neue Industriestrasse 1
4852 Rothrist
www.schoeni.ch

Krummen Kerzers AG
Industriestrasse 20
3210 Kerzers
www.krummen.com

Subventionsempfänger/innen:

Ecoplan AG
Monbijoustrasse 14
3011 Bern
www.ecoplan.ch

Berner Fachhochschule BFH
Energy Storage Research Centre
Aarbergstrasse 46
2503 Biel
www.sipbb.ch

BKW Energie AG
Geschäftsfeld Smart Mobility
Viktorieplatz 2
3013 Bern
www.smart-mobility.ch

**Autor/in:**

Elia Limarzo, Ecoplan AG, elia.limarzo@ecoplan.ch
René Neuenschwander, Ecoplan AG, neuenschwander@ecoplan.ch
Matthias Setz, Ecoplan AG, setz@ecoplan.ch
Simon Steinlin, Ecoplan AG, simon.steinlin@ecoplan
Fabian Kallen, BKW AG, fabian.kallen@bkw.ch
Hossein Sekhavat, Enerpeak, hossein.sekhavat@enerpeak.ch
Andrea Corti, BFH, andrea.corti@bfh.ch
Priscilla Caliandro, BFH, priscilla.caliandro@bfh.ch

BFE-Projektkoordination:

Luca Castiglioni, luca.castiglioni@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/502751-01

Begleitgruppe:

Janis Geissbühler, ASTAG, j.geissbuehler@astag.ch
Hélène Columberg, ASTRA, helena.columberg@astra.admin.ch
Luigi Cescato, auto schweiz, luiji.escato@auto.swiss
Yoann Carnal, BAV, yoann.carnal@bav.admin.ch
Stany Rochat, BAV, stany.rochat@bav.admin.ch
Luca Castiglioni, BFE, luca.castiglioni@bfe.admin.ch
Christoph Schreyer, BFE, christoph.schreyer@bfe.admin.ch
Mirjam Kosch, BFE, mirjam.kosch@outlook.com
Peter Arnet, BKW, peter.ernet@bkw.ch
Jürg Lüthi, Daimler Trucks, juerg.luethi@daimlertruck.com
Niels Ross, Designwerk, niels.ross@designwerk.com
Stephan Walter, eMobility Lab, stephan.walter@emobilitylab.ch
Urs Mathis, Energie 360°, urs.mathis@energie360.ch
Brian Cox, INFRAS, brian.cox@infras.ch
Sabine Krummen, Krummen Kerzers, sabine.krummen@krummen.com
Martina Novak, Planzer, mnovak@planzer.ch
Raphael Hertach, Planzer, rheertach@planzer.ch
Willi Gärtner, Planzer, wgaertner@planzer.ch
Ronald Ramic, Schöni, ronald.ramic@schoeni.ch
Markus Ley, Schöni, markus.ley@schoeni.ch
Marco Wyss, Swiss eMobility, marco.wyss@swiss-emobility.ch
Nicola Bach, Swisscharge, nicola.bach@swisscharge.ch
Olivier Stössel, VSE, olivier.stoessel@strom.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/Autorinnen dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Die Elektrifizierung des Strassengüterverkehrs bietet ein erhebliches Potenzial zur Reduktion der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen und ist zentral für die Erreichung der Klimaziele des Bundes. Damit der Markthochlauf schwerer batterieelektrischer Nutzfahrzeuge (E-SNF) weiter voranschreiten kann, muss eine bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur rechtzeitig bereitstehen. Vor diesem Hintergrund hat das Bundesamt für Energie (BFE) die Thematik im Rahmen des Forschungsprogramms Mobilität ausgeschrieben. Das Forschungskonsortium bestehend aus der Ecoplan AG, dem Energy Storage Research Center der Berner Fachhochschule (BFH) sowie der BKW Engineering / BKW Energie AG erhielt dabei für das Projekt «Zukunft des elektrischen Strassengüterverkehrs Schweiz» (Charging Infrastructure Strategy for Battery Electric Trucks, CIS4BET) den Zuschlag.

Die Studie untersucht den öffentlichen und depotseitigen Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF in der Schweiz bis 2050. Grundlage bildet ein differenziertes bottom-up TCO-Modell, das die Gesamtkosten von 23 repräsentativen Fahrzeugsegmenten (Diesel und elektrisch) im Zeitverlauf vergleicht und als Basis für die Abschätzung des E-SNF-Markthochlaufs sowie des Energie- und Ladeinfrastrukturbedarfs dient. Der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf wird unter Berücksichtigung der E-SNF-Verkehrsbelastungen auf dem Schweizer Nationalstrassennetz mit einem Warteschlangenmodell bestimmt, wodurch die Anzahl erforderlicher Ladepunkte pro identifizierten Standort abgeschätzt werden kann.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Elektrifizierung des Schwerverkehrs technisch möglich und wirtschaftlich machbar ist. Die zentralen Einflussfaktoren auf den Markthochlauf von E-SNF sind die Batteriepreise, die Energiepreise (Strom und Diesel), die Kosten der Ladeinfrastruktur sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen – insbesondere die LSVA und eine mögliche Abgabe auf Elektrofahrzeuge (als Ersatz für die Mineralölsteuern auf fossilen Treibstoffen). Unter heutigen Rahmenbedingungen, also ohne LSVA und Ersatzabgabe, weisen E-SNF in den meisten Segmenten tiefere TCO auf als Dieselfahrzeuge. Mit der Einführung der LSVA für E-SNF sinkt jedoch ihre Wettbewerbsfähigkeit. Dies ist insbesondere bei Fahrzeugen mit tiefer Fahrleistung der Fall, während schwere Fahrzeuge mit hoher Fahrleistung weiterhin einen Kostenvorteil haben – selbst unter Einbezug der Depot-Ladeinfrastrukturkosten. Eine zusätzliche Einführung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge würde die Kostenbelastung der E-SNF weiter erhöhen und somit die Wettbewerbsfähigkeit bzw. Vorteile weiter verringern. Dem wirken CO₂-Emissionsvorschriften für Neufahrzeuge sowie Förderbeiträge zur Unterstützung der Realisierung von Depot-Ladeinfrastruktur entgegen. Diese Instrumente dürften die negativen Kosteneffekte der LSVA und der Abgabe zumindest teilweise kompensieren und damit den wirtschaftlichen Umstieg auf E-SNF wiederum begünstigen.

Die Studie zeigt, dass langfristig das Depotladen die dominierende Ladeform sein wird. Kurzfristig sind 5 bis 7 % der inländischen Fahrzeuge noch auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen, da einige Depots heute noch nicht elektrifiziert sind. Mit zunehmender Elektrifizierung der Logistikstandorte und steigenden Batteriekapazitäten wird der Anteil des öffentlichen Ladens jedoch kontinuierlich auf unter 5% abnehmen.



Dieser Trend wird durch Depot-Sharing-Modelle, bei denen Logistikunternehmen ihre Ladeinfrastruktur gegenseitig nutzen, weiter verstkt werden.

Mit dem zunehmenden Anteil elektrischer Fahrzeuge in der ausländischen Flotte wchszt auch deren Einfluss auf den öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf in der Schweiz. Wrend dieser Bedarf im Jahr 2030 noch mehrheitlich durch inländische Fahrzeuge geprägt ist, wird er bis 2050 zunehmend von ausländischen Fahrzeugen bestimmt. Wie stark die ausländische Flotte tatsächlich auf öffentliche Ladeinfrastruktur in der Schweiz angewiesen sein wird, hängt wesentlich davon ab, welcher Anteil der in der Schweiz verbrauchten Energie auch in der Schweiz geladen wird.

Mit der kontinuierlich steigenden installierten Leistung gewinnt der Netzausbau zunehmend an Bedeutung. Die BKW hat den entsprechenden Bedarf für ihr Versorgungsgebiet in einer Fallstudie vertieft untersucht. Dabei zeigt sich, dass sich durch den kombinierten Einsatz von PV und stationären Speichersystemen nicht nur den Netzausbaubedarf, sondern auch die Stromkosten wesentlich reduzieren lassen.

Die Studie quantifiziert die genannten Effekte umfassend und leitet daraus Entscheidungsgrundlagen sowie Empfehlungen für eine schrittweise, effiziente und auf die Bedürfnisse der Logistikunternehmen ausgerichtete Realisierung von Ladeinfrastruktur für E-SNF in der Schweiz ab.



Résumé

L'électrification du transport routier de marchandises offre un potentiel considérable de réduction des émissions de CO₂ liées au trafic et constitue un élément central pour l'atteinte des objectifs climatiques de la Confédération. Pour que l'essor de la part de marché des poids lourds électriques (E-PL) puisse se poursuivre, une infrastructure de recharge adaptée aux besoins doit être disponible en temps utile. C'est dans ce contexte que l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) a lancé un appel d'offres dans le cadre du programme de recherche consacré à la mobilité. Le consortium, composé d'Ecoplan AG, du Energy Storage Research Center de la Haute école spécialisée bernoise (BFH) ainsi que de BKW Engineering / BKW Energie AG, a été retenu pour réaliser le projet « L'avenir du transport routier de marchandises électrique en Suisse » (Charging Infrastructure Strategy for Battery Electric Trucks, CIS4BET).

L'étude analyse les besoins en infrastructures de recharge - publiques et en dépôt - pour les E-PL en Suisse à l'horizon 2050. Elle s'appuie sur un modèle TCO (Total Cost of Ownership) détaillé de type « bottom-up », comparant l'évolution des coûts totaux de 23 segments représentatifs de véhicules diesel et électriques. Ces résultats constituent la base pour estimer l'essor de la part de marché des E-PL, ainsi que les besoins énergétiques associés et la demande en infrastructures de recharge. Les besoins en infrastructures de recharge publiques sont déterminés à l'aide d'un modèle de files d'attente prenant en compte la charge de trafic des E-PL sur le réseau des routes nationales. Ceci permet d'estimer le nombre de points de recharge nécessaires par site identifié.

Les résultats montrent que l'électrification du trafic lourd est techniquement réalisable et économiquement viable. Les principaux déterminants de l'essor de la part de marché des E-PL sont les prix des batteries, les prix de l'énergie (électricité et diesel), les coûts des infrastructures de recharge et les conditions-cadres réglementaires — en particulier la Redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations (RPLP) et une éventuelle redevance sur les véhicules électriques (en remplacement des taxes sur les huiles minérales applicables aux carburants fossiles). Dans les conditions actuelles — c'est-à-dire sans RPLP pour les E-PL et sans redevance de remplacement pour la taxe sur les huiles minérales — les E-PL présentent des TCO inférieurs à ceux des véhicules diesel dans la plupart des segments. Cependant, l'introduction de la RPLP pour les E-PL réduit leur compétitivité. Cela vaut en particulier pour les véhicules à faible kilométrage, tandis que les véhicules lourds à kilométrage élevé continuent de bénéficier d'un avantage en termes de coûts, même en tenant compte des coûts pour l'infrastructure de recharge dans les dépôts. L'introduction d'une taxe supplémentaire sur les véhicules électriques augmenterait encore la charge financière pesant sur les E-PL et réduirait ainsi davantage leur compétitivité et leurs avantages. Les prescriptions en matière d'émissions de CO₂ pour les véhicules neufs et les subventions destinées à soutenir la mise en place d'une infrastructure de recharge dans les dépôts permettent de contrer cet effet. Ces instruments devraient compenser au moins en partie les effets négatifs de la RPLP et de la taxe, et favoriser ainsi une transition économiquement viable vers les E-PL.



L'étude montre qu'à long terme, la recharge dans les dépôts sera la forme de recharge dominante. À court terme, 5 à 7 % des véhicules nationaux dépendent encore des infrastructures de recharge publiques, car certains dépôts ne sont pas encore électrifiés à l'heure actuelle. Cependant, avec l'électrification croissante des sites logistiques et l'augmentation des capacités des batteries, la part des recharges publiques continuera de diminuer pour passer sous la barre des 5 %. Cette tendance sera encore renforcée par les modèles de partage de dépôts (« Depot-Sharing »), dans lesquels les entreprises logistiques utilisent mutuellement leurs infrastructures de recharge.

Avec l'électrification croissante des flottes européennes, l'influence des véhicules étrangers sur la demande de recharge publique en Suisse augmentera également. Alors qu'en 2030, la majorité de cette demande provient encore de véhicules suisses, elle sera, en 2050, principalement générée par des véhicules étrangers. L'ampleur de cette demande dépendra largement de la part de l'énergie consommée sur le territoire qui sera effectivement rechargée en Suisse.

L'augmentation progressive de la puissance installée rend par ailleurs l'extension du réseau électrique toujours plus importante. Une étude de cas menée par BKW pour son territoire de desserte montre que le recours combiné au photovoltaïque et au stockage stationnaire permettrait non seulement de réduire substantiellement les besoins d'extension du réseau, mais aussi de diminuer les coûts d'électricité pour la recharge en dépôt.

L'étude quantifie l'ensemble des effets mentionnés et formule des bases décisionnelles et des recommandations pour la mise en place progressive et efficiente d'une infrastructure de recharge pour E-PL en Suisse adapté aux besoins des entreprises logistiques.



Summary

The electrification of road freight transport offers substantial potential for reducing transport-related CO₂ emissions and is essential for achieving the Swiss Federal Government's climate targets. To ensure that the market uptake of heavy battery-electric vehicles (E-HDVs) can continue to progress, an adequate charging infrastructure must be deployed in a timely and demand-driven manner. Against this backdrop, the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) issued a call for research proposals within its Mobility research programme. The project «Future of Electric Road Freight Transport in Switzerland» (originally «Charging Infrastructure Strategy for Battery Electric Trucks», CIS4BET) was awarded to a research consortium consisting of Ecoplan AG, the Energy Storage Research Center of the Bern University of Applied Sciences (BFH), and BKW Engineering / BKW Energie AG.

The study assesses the required public and depot charging infrastructure for E-HDVs in Switzerland through 2050. Its analytical foundation is a detailed bottom-up total cost of ownership (TCO) model comparing 23 representative vehicle segments (diesel and electric) over time. The model provides the basis for estimating the market uptake of E-HDVs, their resulting energy demand, and the associated infrastructure needs. The public charging requirements are evaluated using a queuing model informed by E-HDV traffic flows on the Swiss national road network, enabling an estimation of the number of charging points needed per identified location.

The results show that the electrification of heavy-duty transport is both technically feasible and economically viable. Key determinants of E-HDV adoption include battery prices, electricity and diesel prices, charging infrastructure costs, and regulatory frameworks—particularly the heavy-vehicle fee (LSVA) and a potential usage-based levy on electric vehicles (as a replacement for fuel tax revenues). Under current conditions, i.e., without LSVA and without an additional levy, E-HDVs exhibit lower TCO than diesel vehicles in most segments. However, the introduction of the LSVA reduces their competitiveness, especially for vehicles with low annual mileage. High-mileage heavy vehicles retain a cost advantage even when depot charging infrastructure is accounted for. An additional levy on electric vehicles would further erode the competitive position of E-HDVs. Offsetting these effects are the forthcoming CO₂ emission standards for new heavy vehicles and potential subsidies for depot charging infrastructure, both of which may partially compensate for the added cost burden and support the economic viability of E-HDVs.

The study further shows that depot charging will become the dominant charging mode in the long term. In the short term, 5–7% of domestic E-HDVs still depend on public charging due to non-electrified depots. As depot electrification and battery capacities increase, the share of public charging will steadily decline to below 5%. This trend will be reinforced by depot-sharing models that enable logistics operators to jointly use charging infrastructure.

The growing share of electric vehicles in foreign fleets increases their influence on Switzerland's public charging demand. While public charging in 2030 is still mainly driven by domestic vehicles, foreign E-HDVs increasingly dominate demand by 2050.



The extent to which foreign vehicles rely on Swiss public charging infrastructure will depend strongly on the share of their energy consumption that is recharged within Switzerland – a factor shaped by relative electricity prices across borders.

With increasing installed charging capacity, grid integration becomes a significant challenge. A dedicated BKW case study for its supply area shows that combining photovoltaic systems with stationary storage can substantially reduce both the required grid reinforcement and overall electricity costs.

The study quantifies these effects comprehensively and derives decision-relevant insights as well as recommendations for the phased, efficient, and logistics-oriented rollout of E-HDV charging infrastructure in Switzerland.



Wichtigste Ergebnisse und Erkenntnisse

Im Rahmen der Studie konnten folgende zentrale Erkenntnisse gewonnen werden:

- **TCO-Vorteile der E-SNF bestimmen Markthochlauf und Ladeinfrastrukturbedarf:** Der Bedarf an Ladeinfrastruktur für inländische elektrische schwere Nutzfahrzeuge (E-SNF) hängt direkt von der Geschwindigkeit des Markthochlaufs ab. Der Markthochlauf wird massgeblich durch die Gesamtkosten (Total Cost of Ownership, TCO) im Vergleich zu Diesel-SNF (D-SNF) beeinflusst. Die wichtigsten Kostenfaktoren, die die TCO-Differenz zwischen E- und D-SNF bestimmen, sind die Batteriekosten, die Strom- und Dieselpreise, die Kosten der Ladeinfrastruktur sowie die regulatorischen Rahmenbedingungen und Anreizsysteme. Zu diesen Rahmenbedingungen gehören die LSVA (leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe), eine allfällige Abgabe auf Elektrofahrzeuge, CO₂-Emissionsvorschriften und mögliche Förderbeiträge. Die Analyse zeigt, dass der zu erwartende Markthochlauf damit von Faktoren abhängt, deren zukünftige Ausprägung mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist. Insbesondere eine frühzeitige Klärung der regulatorischen Rahmenbedingungen ist entscheidend, um sowohl Planungssicherheit für Logistikunternehmen zu schaffen als auch den bedarfsgerechten und wirtschaftlichen Ausbau der Ladeinfrastruktur sicherzustellen.
- **TCO-Vorteil der E-SNF im Jahr 2025 – Wettbewerbsfähigkeit trotz LSVA und Abgabe auch langfristig möglich:** Die TCO von E-SNF sind im Jahr 2025 in fast allen Segmenten tiefer als jene von D-SNF. Grund dafür ist die aktuelle LSVA-Befreiung sowie das Ausbleiben einer Ersatzabgabe für die Mineralölsteuer, die frühestens ab 2030 eingeführt werden soll. Die Kostenvorteile steigen mit Fahrzeuggewicht und Jahresfahrleistung. Unter Berücksichtigung einer künftigen LSVA-Erhebung und einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge – welche die fehlenden Einnahmen aus der Mineralölsteuer kompensieren soll – ergeben sich jedoch selbst für schwere Fahrzeuge mit hoher Fahrleistung wirtschaftliche Herausforderungen, insbesondere wenn anteilige Depot-Ladeinfrastrukturkosten berücksichtigt werden. Ohne kompensatorische Massnahmen ist für diesen Fall mit einer deutlichen Verlangsamung des Markthochlaufs von E-SNF in den 30er Jahren zu rechnen. Langfristig wird sich dieser Effekt abschwächen, da D-SNF durch die Einstufung in strengere LSVA-Kategorien und die weiter sinkenden Batteriekosten im Vergleich zu E-SNF an Wettbewerbsfähigkeit verlieren werden. Zudem können die negativen Effekte von LSVA und Ersatzabgabe zumindest teilweise durch die CO₂-Emissionsvorschriften für Neufahrzeuge sowie durch Förderbeiträge für Ladeinfrastruktur kompensiert werden, sodass der Markthochlauf weniger stark gebremst werden dürfte. Unter Berücksichtigung weiter sinkender Stromkosten im Depot – etwa durch die Integration von PV und stationären Speichern – sowie steigender Dieselpreise infolge der Einbindung des Schweizer Treibstoffmarkts in das Emissionshandelssystem der EU, dürfte der Markthochlauf der E-SNF zudem weiter gestützt werden.
- **Energiebedarf der E-SNF in der Schweiz steigt bis 2050 auf rund 2.8 TWh:** Der Markthochlauf der inländischen E-SNF-Flotte geht bis 2030 mit einem Energiebedarf von rund 450 – 700 GWh und bis 2050 mit 2'100 – 2'300 GWh pro Jahr einher. Parallel dazu erfolgt auch in der EU eine zunehmende Elektrifizierung des Schwerverkehrs, wodurch künftig mehr ausländische E-SNF durch die Schweiz fahren werden – diese sind stärker auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen.



Der Energiebedarf der ausländischen Fahrzeuge liegt bei rund 24 GWh im Jahr 2030 und steigt bis 2050 auf etwa 520 GWh pro Jahr. Insgesamt ergibt sich daraus ein Gesamtenergiebedarf der E-SNF in der Schweiz von bis zu 2.8 TWh im Jahr 2050.

- **Öffentlicher Ladebedarf der inländischen Fahrzeuge ist gering – im Zentrum steht das Laden im Depot:** Der Anteil öffentlichen Ladens der inländischen E-SNF nimmt aufgrund steigender Batteriekapazitäten und zunehmend elektrifizierter Depots kontinuierlich ab. Im Jahr 2030 liegt der Anteil des öffentlichen Ladens bei 5 – 7 %, bis 2050 sinkt er auf 2.5 – 4 %. Kurzfristig dürfte der effektive Anteil am oberen Ende dieser Bandbreite liegen, da die Elektrifizierung der eigenen Depots zeitintensiv ist und die Unsicherheiten bzgl. Reichweiten und Lademöglichkeiten noch höher sind. Langfristig könnte der Anteil eher am unteren Ende der Bandbreite liegen, da Depot-Sharing zwischen Logistikunternehmen zunehmend an Bedeutung gewinnen wird.
- **Öffentliche Ladeinfrastruktur ist langfristig vor allem für ausländische E-SNF relevant:** Der Bedarf an öffentlichem Laden der ausländischen Fahrzeuge ist im Jahr 2030 aufgrund des noch geringen Elektrifizierungsgrades und des entsprechend tieferen Energiebedarfs vergleichsweise niedrig. Der Anteil der ausländischen Fahrzeuge am öffentlichen Gesamtladebedarf liegt zu diesem Zeitpunkt bei rund 25 – 40 %. Bis 2050 steigt dieser Anteil jedoch kontinuierlich auf 75 – 82 %, da die Elektrifizierung der europäischen Schwerverkehrsflotten zunimmt und immer mehr ausländische E-SNF durch die Schweiz fahren. Der effektive öffentliche Ladebedarf der ausländischen Fahrzeuge hängt dabei stark davon ab, welcher Anteil ihres Energieverbrauchs tatsächlich in der Schweiz nachgeladen wird – ein Faktor, der massgeblich von den Strompreisen an öffentlichen Ladestationen im Vergleich zu den Preisen im angrenzenden Ausland bestimmt wird.
- **Flächendeckende öffentlichen Ladeinfrastruktur durch 75 km Abstand zwischen Standorten entlang der Transitrouten:** Der öffentliche Energiebedarf konzentriert sich in erster Linie entlang der wichtigsten Nationalstrassen und Transitkorridore. Diese Routen stehen somit im Zentrum der Planung und Realisierung öffentlicher Ladeinfrastruktur. Für einen ausgewogenen Kompromiss zwischen flächendeckender Abdeckung und hoher Netzauslastung bieten sich durchschnittliche Standortabstände von rund 75 km entlang dieser Achsen an. Dadurch entstehen kleine bis mittelgrosse Ladeparks pro Fahrtrichtung, ergänzt durch einzelne grössere Standorte an Punkten mit besonders hoher Verkehrsbelastung.
- **Geringer Bedarf an öffentlichen Megawatt-Ladepunkten, Schwerpunkt liegt auf 400-kW-Schnellladern:** Megawattladepunkte sind vor allem für den Transitverkehr wichtig, der während der gesetzlich vorgeschriebenen 45-Minuten-Pause möglichst viel Energie nachladen muss. Für den Binnenverkehr sowie den Import-/Exportverkehr genügt hingegen der Einsatz von Schnellladepunkten mit bis zu 400 kW. Insgesamt ergibt sich ein Bedarf von rund 110 – 130 öffentlichen Ladepunkten im Jahr 2030 und 400 – 530 öffentlichen Ladepunkten bis 2050 verteilt auf jeweils rund 18 Standorte pro Fahrtrichtung. Der Anteil der Megawattladepunkte liegt dabei langfristig bei 18 – 23 %. Die daraus resultierende installierte öffentliche Ladeleistung steigt von 60 – 65 MW im Jahr 2030 auf rund 215 – 270 MW im Jahr 2050.



- **Stetig wachsender Depotladeinfrastrukturbedarf:** Der Markthochlauf der inländischen E-SNF geht mit einem steigenden Bedarf an Depotladeinfrastruktur einher. Im Jahr 2030 werden rund 2'450 – 2'900 Ladepunkte benötigt, bis 2050 steigt dieser Wert auf 13'000 – 19'000 Ladepunkte, jeweils mit einer durchschnittlichen Ladeleistung von 100 kW pro Ladepunkt. Damit ergibt sich eine installierte Depotladeleistung von 245 – 290 MW im Jahr 2030 und 1'300 – 1'900 MW im Jahr 2050. In der Praxis kann die effektive Anzahl benötigter Ladepunkte jedoch höher liegen, wenn die durchschnittlich abgegebene Ladeleistung pro Ladepunkt sinkt. Die Ergebnisse zeigen, dass oft bereits geringere durchschnittliche Ladeleistungen pro Ladepunkt ausreichen, um den Energiebedarf im Depot zu decken – insbesondere bei Einsatz von Lastmanagementsystemen.
- **Steigende netzseitige Anforderungen durch zunehmenden E-SNF-Anteil – PV und stationäre Speichersysteme reduzieren Netzausbaubedarf:** Die Analysen im Rahmen der BKW-Fallstudie zeigen, dass durch das Depotladen von E-SNF bis zum Jahr 2050 Spitzenlasten von bis zu 256 MW im BKW-Verteilnetz zu erwarten sind. Rund die Hälfte der betrachteten 80 kVA-Netzanschlüsse können nur mit einem zusätzlichen Netzausbau ausreichend versorgt werden. Insgesamt werden Investitionen von etwa 145 Mio. Franken erforderlich sein, wobei sich die Kosten etwa hälftig auf lokale Trafostationen und Mittelspannungsleitungen verteilen. Diese lokalen Netzausbaukosten lassen sich mit einem kombinierten Einsatz von Photovoltaik und stationären Speichersystemen allerdings um 25 – 55 % reduzieren. Mit der gezielten Förderung und Umsetzung von netzdienlichem Laden (intelligentes und bidirektionales Laden) kann der Netzausbaubedarf noch weiter begrenzt und die Integration der durch das Laden von E-SNF entstehenden Leistung erleichtert werden.
- **Gezielter Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur und weitere Unterstützung für Depot-Ladeinfrastruktur sind zentral:** Damit die Ladeinfrastruktur nicht zu einem Hemmnis des Markthochlaufs der inländischen E-SNF-Flotte wird, sollte das öffentliche Ladenetz kurz- bis mittelfristig – solange viele Logistikdepots noch nicht vollständig elektrifiziert sind – gezielt und effizient ausgebaut werden. Standorte entlang der wichtigsten Haupt- und Transitachsen sind dabei zu priorisieren. Allerdings ist zu beachten, dass der langfristige öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf gemäss den vorliegenden Studienergebnissen tiefer liegt als bisher erwartet wurde, da vor allem die inländischen Fahrzeuge überwiegend im Depot zu tieferen Strompreisen laden werden. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, eine Verlängerung oder Ausweitung des Förderrahmens für Depot-Ladeinfrastruktur gemäss Klima- und Innovationsgesetz (KIG) zu prüfen. Eine solche Anpassung könnte helfen, die kostensteigernden Effekte der LSVA und einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge abzufedern und damit den Umstieg auf E-SNF zusätzlich zu unterstützen.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	4
Résumé	6
Summary	8
Wichtigste Ergebnisse und Erkenntnisse	10
Inhaltsverzeichnis	13
Abkürzungsverzeichnis	15
1 Einleitung und Projektüberblick.....	17
1.1 Hintergrund	17
1.2 Problemstellung und Forschungsfragen	18
1.3 Stand der Forschung und Forschungslücke	21
2 Vorgehen und Methode.....	24
2.1 Übergeordnete Vorgehensweise	24
2.2 Methodik, Annahmen und Daten	26
2.2.1 AP1: Zukünftige Entwicklung des Strassengüterverkehrs	26
2.2.2 AP2: Zukünftige Entwicklung Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur	29
2.2.3 AP3: Fallstudien zum Ladeinfrastrukturbedarf im Depot.....	31
2.2.4 AP4: Politische Instrumente und Anreizsysteme.....	33
2.2.5 AP5: Modellansatz.....	34
2.2.6 AP6: Fallstudie zum Einfluss des Ladens auf das Stromnetz.....	40
2.2.7 AP7: Ausbaustrategie für eine E-SNF Ladeinfrastruktur in der Schweiz	41
2.3 Abgrenzung der Studie	42
3 Grundlagen.....	43
3.1 Zukünftige Entwicklung des Strassengüterverkehrs.....	43
3.2 Technologische Entwicklung Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur	47
3.2.1 Fahrzeuge: Batterietechnologien- und Kosten	47
3.2.2 Ladeinfrastruktursysteme	54
3.3 Fallstudien «Depot-Ladeinfrastrukturbedarf»	56
3.3.1 Fahrzeugeinsätze und Elektrifizierbarkeit	56
3.3.2 Ladeinfrastrukturbedarf	59
3.3.3 Energiebeschaffung und Reduktion von Energiekosten	59
3.4 Politische Instrumente und Anreizsysteme.....	61
3.4.1 Weiterentwicklung der LSVA.....	62
3.4.2 Abgabe auf Elektrofahrzeuge	68
3.4.3 Weitere Instrumente mit Wirkung auf die Energiepreise	72
3.4.4 CO ₂ -Emissionsvorschriften für SNF	76
3.4.5 Förderinstrumente	78



3.4.6	Roadmap Elektromobilität 2030	79
3.4.7	Entwicklungen in der EU	80
3.4.8	Fazit	86
4	Ergebnisse.....	88
4.1	Hauptszenarien: «Basis», «Optimistisch» und «Pessimistisch»	88
4.2	TCO und E-SNF-Markthochlauf.....	90
4.2.1	TCO: E-SNF vs. D-SNF.....	90
4.2.2	E-SNF-Markthochlauf.....	96
4.2.3	CO ₂ -Emissionen der D-SNF in der Schweiz	102
4.2.4	Auswirkungen der Abgabe auf Elektrofahrzeuge (Variante «Fahrleistung») 104	
4.3	Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF.....	112
4.3.1	Energiebedarf der E-SNF	113
4.3.2	Räumliche Verteilung der öffentlichen Ladeinfrastruktur und Anzahl Ladepunkte	118
4.3.3	Installierte Leistung.....	126
4.4	Fallstudie «Einfluss des Depot-Ladens auf das BKW-Verteilnetz»	129
5	Diskussion und Empfehlungen	132
5.1	Diskussion der Ergebnisse	132
5.1.1	TCO und E-SNF Markthochlauf	132
5.1.2	Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF	136
5.1.3	Einfluss des Depot-Ladens auf das Stromnetz	139
5.2	Empfehlungen für den Ausbau einer öffentlichen E-SNF- Ladeinfrastruktur in der Schweiz.....	140
6	Schlussbetrachtung und Ausblick.....	143
7	Anhang A: Modellansatz im Detail	145
8	Anhang B: Technologische Entwicklung Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur ...	160
9	Anhang C: TCO und E-SNF-Markthochlauf.....	168
10	Anhang D: Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF	174
	Literaturverzeichnis	183



Abkürzungsverzeichnis

AC	Alternating Current (Wechselstrom)
AFIR	Alternative Fuels Infrastructure Regulation
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BESS	Battery Energy Storage System
BFE	Bundesamt für Energie
BFH	Berner Fachhochschule
BKW	Berner Kraftwerke
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DC	Direct Current (Gleichstrom)
EHS	Emissionshandelssystem
EnAW	Energie-Agentur der Wirtschaft
E-SNF	Elektrisches schweres Nutzfahrzeug
Fz	Fahrzeug
Fzkm	Fahrzeugkilometer
HoLa	Hochleistungsladen im Lkw-Fernverkehr
IVZ	Informationssystem Verkehrszulassung
KIG	Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (Klima- und Innovationsgesetz)
KliK	Stiftung Klimaschutz und CO ₂ -Kompensation
KIV	Klimaschutz-Verordnung
KPI	Key Performance Indicator
kW / kWh	Kilowatt / Kilowattstunde
LIB	Lithium-Ionen-Batterie
LFP	Lithium-Eisenphosphat
LP	Ladepunkte
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
LTO	Lithium-Titanat-Oxid
MCS	Megawatt Charging System
MIB	Magnesium-Ionen-Batterie
Mio.	Millionen
Mrd.	Milliarden
NAF	Nationalstrassen- und Agglomerationsverkehrs-Fonds
NMC	Nickel-Mangan-Kobalt
NCA	Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid
PSVA	Pauschale Schwerverkehrsabgabe
PV	Photovoltaik
SASVZ	Schweizerischen automatischen Strassenverkehrszählung
SNF	Schweres Nutzfahrzeug



SoC	State of Charge
SoH	State of Health
SVAG	Bundesgesetz über eine leistungsabhängige Schwererverkehrsabgabe
SVAV	Schwererverkehrsabgabeverordnung
SFSV	Spezialfinanzierung Strassenverkehr
TCO	Total Cost of Ownership
Tkm	Tonnenkilometer
UVEK	Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation
VDC	Volts of Direct Current (Volt bei Gleichstrom)
VP	Verkehrsperspektiven
V2B	Vehicle to Building
V2G	Vehicle to Grid
Wh	Wattstunde



1 Einleitung und Projektüberblick

1.1 Hintergrund

Im Jahr 2023 waren schwere Nutzfahrzeuge¹ (SNF) wie Lastwagen und Sattelschlepper für ungefähr 11% der Treibhausgasemissionen des Verkehrs verantwortlich.² Die Elektrifizierung des Strassengüterverkehrs bietet somit ein erhebliches Potenzial zur Reduktion der verkehrsbedingten CO₂-Emissionen und damit zur Erreichung der Klimaziele des Bundes.

Mit insgesamt 561 von 4'953 neuzugelassenen SNF sind die Verkäufe von batterieelektrischen SNF (E-SNF) im Jahr 2024 gegenüber dem Vorjahr weiter angestiegen (+176 im Vgl. zu 2023). Der Marktanteil bei den Neuzulassungen betrug somit gut 11%. Im europäischen Vergleich entwickelt sich der Schweizer Markt damit überdurchschnittlich schnell – nicht zuletzt aufgrund günstiger regulatorischer Rahmenbedingungen: Insbesondere sind E-SNF derzeit von der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) befreit.

Damit der Markthochlauf weiterhin voranschreiten kann, muss der Aufbau einer bedarfsgerechten Ladeinfrastruktur sichergestellt werden. Während in der EU mit der Verordnung über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) der Ausbau der Ladeinfrastruktur gesetzlich verankert ist, fehlt in der Schweiz ein entsprechender Rahmen. Umso wichtiger sind fundierte Grundlagen, die eine koordinierte und bedarfsgerechte Planung des öffentlichen Ladenetzes ermöglichen. **Zentral ist dabei die Frage, wann, wo und wie viel Ladeinfrastruktur für E-SNF in der Schweiz benötigt wird.**

Vor diesem Hintergrund wurde die Thematik Markthochlauf und Ladeinfrastrukturbedarf von E-SNF vom Bundesamt für Energie (BFE) im Rahmen des Forschungsprogramms Mobilität ausgeschrieben. Das Forschungskonsortium bestehend aus der Ecoplan AG (Projektleitung), dem Energy Storage Research Center der Berner Fachhochschule (BFH) sowie der BKW Engineering / BKW Energie AG erhielt dabei für das Projekt CIS4BET (Charging infrastructure strategy for battery electric trucks in Switzerland) den Zuschlag. Das Projekt – neu unter dem Titel «Zukunft des elektrischen Strassengüterverkehrs Schweiz» laufend – wird neben dem BFE auch von den drei Logistikunternehmen Planzer, Schöni und Krummen Kerzers finanziell unterstützt. Ziel des Projekts ist die Entwicklung einer robusten Ausbaustrategie für die öffentliche Ladeinfrastruktur für E-SNF in der Schweiz, dies unter Berücksichtigung künftiger Treiber und Hemmnisse der Elektrifizierung des Strassengüterverkehrs sowie der Auswirkungen des Ladens auf das Stromnetz.

¹ SNF sind gemäss VTS Art. 11 schwere Motorwagen zum Sachentransport (Klassen N2 Motorwagen zum Sachentransport mit einem Garantiegewicht von über 3.50 t bis höchstens 12.00 t oder N3 Motorwagen zum Sachentransport mit einem Garantiegewicht von über 12.00 t) mit höchstens neun Sitzplätzen einschliesslich Führer oder Führerin.

² Bundesamt für Umwelt BAFU (2025)



1.2 Problemstellung und Forschungsfragen

Um die Klimaziele des Bundes zu erreichen, braucht es unter anderem eine rasche Elektrifizierung des Strassengüterverkehrs. Für Logistikunternehmen ist der Umstieg auf E-SNF jedoch mit erheblichen Unsicherheiten und Herausforderungen verbunden.

Einerseits geht ein Umstieg auf E-SNF für Logistikunternehmen unweigerlich mit Investitionen in Depotladeinfrastruktur einher. Deren Realisierung ist ein aufwändiges und kostspieliges Unterfangen, das mit zahlreichen offenen Fragen verbunden ist: Wie viele Ladepunkte werden benötigt bzw. wie viele Fahrzeuge können sich einen Ladepunkt teilen, ohne dass der Betrieb durch Rangieren beeinträchtigt wird? Wie viele Fahrzeuge sollten gleichzeitig laden können und mit welchen Ladeleistungen? Welche Lastspitzen entstehen dadurch – und lohnt es sich eher, den Netzanschluss auszubauen oder den Ladebetrieb zu optimieren? Im Kern gilt es, Design der Depotladeinfrastruktur, Einsatzplanung und betriebliche Flexibilität in Einklang zu bringen. Da dazu nur wenige Erfahrungen vorliegen, die zudem auch nicht einfach von einem Logistikunternehmen auf das andere übertragbar sind, stellt dies eine grosse Herausforderung, aber auch eine grosse Chance dar. Denn die Optimierung des Depotladeinfrastrukturdesigns kann erhebliche Kostensenkungen ermöglichen.

Der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur für E-SNF steht noch am Anfang – dabei wird sie gerade jetzt benötigt, da viele Logistikunternehmen ihre Depots noch nicht elektrifiziert haben. Allerdings birgt ein vorschneller Ausbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur ohne fundierte Abschätzung des künftigen und langfristigen Bedarfs das Risiko von Fehlinvestitionen. In dieser frühen Marktphase stellt die fehlende Ladeinfrastruktur sowohl in Depots als auch an öffentlichen Standorten somit ein Hemmnis für den Markthochlauf dar. Diesem Befund versuchen Bund und Kantone mit Förderprogrammen für Depotladeinfrastruktur entgegenzuwirken.

Auf der anderen Seite wurde der E-SNF-Markthochlauf in der Schweiz in den vergangenen Jahren stark durch die Befreiung von der LSVA begünstigt. Die Unsicherheiten für die Logistikbranche sind jedoch auch hier gross: Möglicherweise ab 2029 wird die LSVA auf E-SNF ausgeweitet – mit potenziell erheblichem Einfluss auf die Betriebskosten der Fahrzeuge. Hinzu kommen weitere regulatorische Herausforderungen: So dürften sich mit der geplanten Einführung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge, zu der Ende September 2025 die Vernehmlassung eröffnet wurde, die Kosten für E-SNF zusätzlich erhöhen. Parallel dazu bestehen erhebliche Unsicherheiten auf den Energiemarkten hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Strompreise, sowie bezüglich der Fahrzeugkosten, die stark von den Batteriepreisen getrieben sind.

All diese Faktoren wirken letztlich auf die Gesamtkosten über die Betriebsdauer der Fahrzeuge - die sogenannten Total-Cost-of-Ownership (TCO). Damit Logistikunternehmen auf E-SNF umsteigen, müssen die TCO im stark kostengetriebenen Umfeld der Logistikbranche im Vergleich zu Diesel-SNF (D-SNF) konkurrenzfähig sein. Andernfalls findet kein Umstieg statt – und folglich entsteht auch kein Ladeinfrastrukturbedarf.

Die Zusammenhänge sind dabei allerdings komplex: Der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur hängt direkt vom Umfang des Depotladens ab – und umgekehrt. Dabei spielen zahlreiche Kostenkomponenten eine Rolle, die sich wiederum auf die Gesamtkosten auswirken:



- Ist es günstiger, auf eigene Depotladeinfrastruktur zu verzichten, kleinere Batterien einzusetzen und trotz höherer Strompreise häufiger öffentlich zu laden, steigt der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur.
- Umgekehrt kann es attraktiver sein, in Depotladeinfrastruktur zu investieren, diese zusätzlich mit Photovoltaik und stationären Speichern zu ergänzen und grössere Batterien einzusetzen, um öffentliches Laden möglichst zu vermeiden. In diesem Fall wäre der Anteil des Depotladens höher und der Bedarf an öffentlicher Infrastruktur geringer.

Darüber hinaus ist zu berücksichtigen, dass nicht nur die inländische Flotte, sondern vor allem auch ausländische Fahrzeuge im Transit- sowie im Import- und Exportverkehr auf öffentliche Ladeinfrastruktur in der Schweiz angewiesen sein werden.

Eine Ladeinfrastrukturausbaustrategie kann zudem nicht ohne die Perspektive des Stromnetzes gedacht werden. Abhängig von Flottenentwicklung, Ladeortwahl und erforderlichen Ladeleistungen entstehen sehr unterschiedliche Anforderungen: Während beim öffentlichen Laden tendenziell kürzere Ladevorgänge mit hohen Leistungen dominieren und dadurch Spitzenlasten entstehen, führt ein höherer Anteil Depotladen zu einer höheren Grundlast, insbesondere während der Nachtstunden.

Zusammenfassend besteht die zentrale Herausforderung somit darin, die komplexen Abhängigkeiten der TCO von den verschiedenen Ladestrategien (öffentliche vs. Depot), technologischen Entwicklungen (Batterien und Ladeinfrastruktur), dem regulatorischen Umfeld (LSVA, Abgabe auf Elektrofahrzeuge u.a.) und den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (Energiepreise, Nachfrage des Strassengüterverkehrs) gesamtheitlich abzubilden. Unter Berücksichtigung der Bedürfnisse aller Akteure sowie der netzseitigen Limitierungen gilt es darauf aufbauend, den Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur in der Schweiz verlässlich abzuschätzen sowie eine robuste Ausbaustrategie zu entwickeln.

Vor diesem Hintergrund stellen sich folgende aufeinander aufbauende Forschungsfragen:

1. **Wie entwickelt sich die E-SNF-Flotte in der Schweiz im Zeitverlauf?**
 - a. Wie entwickelt sich die Nachfrage des Strassengüterverkehrs in der Schweiz?
 - b. Wie entwickeln sich die TCO für D- und E-SNF sowie Depotladeinfrastruktur und welche technologischen Fortschritte sind zu erwarten?
 - c. Wie werden SNF eingesetzt und welcher Ladeinfrastrukturbedarf ergibt sich daraus im Depot aus Sicht der Fahrzeugnutzung?
 - d. Wie verändern sich die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen?



- 2. Wie gross ist der Ladeinfrastrukturbedarf an öffentlichen Standorten?**
 - a. Wo sollte öffentliche Ladeinfrastruktur realisiert werden?
 - b. Wie viele Ladepunkte mit welcher Leistung werden pro Standort im Zeitverlauf benötigt?
- 3. Welche Auswirkungen hat das Ladeverhalten von E-SNF auf das Stromnetz?**
 - a. Wie entwickelt sich die installierte Gesamtleistung aller Ladestationen (Depot und öffentlich) im Zeitverlauf?
 - b. Welche Netzlasten durch das Depot-Laden von E-SNF sind bis 2050 im BKW-Versorgungsgebiet zu erwarten?
 - c. Welche Investitionen in den Netzausbau sind dabei erforderlich?



1.3 Stand der Forschung und Forschungslücke

Verschiedene Studien haben sich bereits mit dem Ladeinfrastrukturbedarf des elektrischen Strassengüterverkehrs befasst.

Aktuelle Studienlage für die Schweiz

Für die Schweiz liegt bislang eine Studie von EBP vor.³ Die Studie schätzt den Energiebedarf von E-SNF im Szenario mit einem Flottenanteil von 15 % bis 2030 auf rund 490 GWh. Bis 2040, wenn gemäss der Szenarien 50 % des Bestands elektrifiziert sind, steigt dieser Bedarf auf rund 2'000 GWh. Die Ergebnisse zeigen zudem, dass E-SNF primär im Depot über Nacht laden und diese Ladevorgänge für die meisten Tageseinsätze ausreichend sind. Ergänzend wird jedoch auch ein signifikanter Bedarf an öffentlicher Schnellladeinfrastruktur ausgewiesen: Für 2030 modelliert die Studie einen Energiebedarf von über 130 GWh an Schnellladehubs, wovon rund 60 % auf inländische und 40 % auf ausländische E-SNF entfallen. Daraus ergibt sich ein erforderlicher Ausbau von Schnellladehubs mit einer Gesamtleistung von rund 140 MW, was ungefähr einer Leistung von 3.8 MW pro 60 km Nationalstrasse entspricht. Punkto Anzahl Ladepunkte wird bis 2030 ein Bedarf von 125 Ladepunkten mit einer Leistung von 1'000 kW sowie 55 Ladepunkten mit bis zu 400 kW ausgewiesen, also insgesamt 180 Ladepunkten an öffentlichen Standorten. Langfristig geht die Studie bis 2050 von einem Bedarf von 15 Schnellladehubs in der Schweiz aus.

Eine weitere aktuelle Untersuchung ist die Studie «Swiss e-Cargo» von INFRAS, die – wie auch die vorliegende Arbeit – im Rahmen des Forschungsprogramms Mobilität des BFE erarbeitet wurde.⁴ Sie analysiert die spezifischen Anforderungen an die Elektrifizierung von SNF in der Schweiz und leitet daraus Entscheidungsgrundlagen für die Flottenelektrifizierung ab. Ein Bestandteil ist dabei die Abschätzung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs auf nationaler Ebene. Gemäss den Szenarien der Studie liegt der Ladebedarf der bis 2030 erwarteten 13 % E-SNF im Bestand bei rund 500 GWh. Im Referenzszenario zeigt sich zudem, dass der Transitverkehr für rund 70 % des öffentlichen Ladebedarfs verantwortlich sein wird. Hinsichtlich der Ladeinfrastruktur wird für 2030 ein Bedarf von rund 200 öffentlichen Ladepunkten ausgewiesen. Bis 2035 steigt dieser Wert auf etwa 520 Ladepunkte, wovon 84 % Schnellladepunkte bis 400 kW und 16 % Megawattladepunkte bis 1'000 kW umfassen.

Die Ergebnisse der Studien von EBP und INFRAS zeigen damit insgesamt eine hohe Konsistenz in Bezug auf die Grössenordnungen des erwarteten Energie- und Ladeinfrastrukturbedarfs bis 2030. Beide kommen auf einen Bedarf von rund 500 GWh und etwa 180 – 200 öffentlichen Ladepunkten, was ungefähr 8 – 9 Ladepunkten pro 100 km Nationalstrasse entspricht. Unterschiede bestehen insbesondere beim resultierenden Anteil an Megawattladepunkten, der in der EBP-Studie deutlich höher ausfällt als bei INFRAS.

³ Rosser; Chamberlin; De Haan (2023)

⁴ Bianchetti; Cox; Zwankhuizen; u. a. (2025)



Internationale Studien, Fokus Deutschland und EU

Auch auf internationaler Ebene liegen bereits verschiedene Untersuchungen zum Ladeinfrastrukturbedarf von E-SNF vor. Besonders umfangreich ist die Studienlage für Deutschland. Dort wurde mit der Nationalen Leitstelle Ladeinfrastruktur eine Organisation geschaffen, die im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr (BMV) den Aufbau einer flächen- und bedarfsge-rechten sowie nutzerfreundlichen Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge koordiniert. Grund-lage bilden unter anderem Arbeiten aus dem Projekt «Hochleistungsladen im Lkw-Fernver-kehr» (HoLa). Zudem forscht das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) intensiv zu technologischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Fragen rund um den Ladeinfrastrukturbedarf von E-SNF.

So zeigt eine Studie des Fraunhofer ISI, dass bei einem Anteil von 15 % E-SNF im Jahr 2030 und einem öffentlichen Ladeanteil von 50 % ein Bedarf von rund 750 bis 950 Megawattladepunkten besteht.⁵ Diese Ladepunkte müssten entweder auf etwa 270 Standorte im Abstand von 50 km oder auf rund 140 Standorte mit einem Abstand von 100 km verteilt werden – ent-sprechend den in der Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) definierten Vorgaben für den Ausbau von öffentlicher Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge entlang der Hauptver-kehrsachsen.

Eine Studie, die im Rahmen von HoLa im Jahr 2025 publiziert wurde, zeigt, dass bei einem Anteil von 10 % elektrischer SNF an der Gesamtflotte in Deutschland – was gemäss der Studie ungefähr im Jahr 2033 erreicht werden könnte – zwischen 1'100 und 1'800 öffentliche Lade-punkte mit einer Leistung von je 720 kW erforderlich wären.⁶ Die Ergebnisse stehen im Ein-klang mit früheren Analysen aus dem Projekt HoLa.⁷ Dort wird empfohlen, bis 2030 ein öffent-liches Schnellladenetz mit 1'000 bis 2'000 Megawattladepunkten aufzubauen.

Im direkten Vergleich zwischen Deutschland und der Schweiz ergibt sich für Deutschland ge-mäss der aktuellen Studienlage eine Anzahl von ca. 8 – 15 Ladepunkten pro 100 km Natio-nalstrasse, während die Studien von EBP und INFRAS für die Schweiz 8 – 9 Ladepunkte pro 100 km ausweisen. Allerdings handelt es sich bei den deutschen Zahlen überwiegend um Me-gawattladepunkte mit Leistungen zwischen 760 und 1'200 kW, während die Studien für die Schweiz von einem deutlich geringeren Anteil an Megawattladepunkten ausgehen. Es ist zu betonen, dass ein direkter Vergleich zwischen der Schweiz und Deutschland nur bedingt zu-lässig ist, da sich die Rahmenbedingungen zwischen den Ländern deutlich unterscheiden: Die Schweizer Situation ist geprägt durch eine hohe Verkehrsdichte auf einem kompakten Natio-nalstrassennetz, unterschiedlichen Anteilen von Binnen- Import-/Export- und Transitverkehr, sowie topographischen und infrastrukturellen Besonderheiten, die sich von den Verhältnissen in Deutschland, deutlich unterscheiden. In Deutschland hingegen spielt der Langstreckenver-kehr eine weitaus grössere Rolle, was den höheren Bedarf an leistungsstärkeren öffentlichen Ladepunkten erklärt.

⁵ Speth; Plötz; Funke; u. a. (2022)

⁶ Tietz; Fay; Schlenther; u. a. (2025)

⁷ Plötz; Speth; Kappeler; u. a. (2024)



Auf europäischer Ebene untersuchte eine Studie den europäischen Ladeinfrastrukturbedarf in einem Szenario, in dem 15 % der Flotte elektrifiziert sind – ein Wert, der gemäss den durchgeführten Prognosen etwa im Jahr 2030 erreicht wird.⁸ Dies entspricht ungefähr 330'000 E-SNF im Bestand. Die Autoren kommen zum Schluss, dass hierfür etwa 9'000 Megawattladepunkte erforderlich wären, um den Bedarf des Langstreckenverkehrs zu decken. Darüber hinaus zeigt die Studie, dass in diesem Szenario vier- bis fünfmal mehr Depotladepunkte als öffentliche Ladepunkte benötigt werden – was die hohe Bedeutung des privaten Depotladens auch auf europäischer Ebene unterstreicht.

Ergänzend liefert die im Jahr 2025 veröffentlichte Studie des International Council on Clean Transportation ICCT neue Erkenntnisse zum künftigen Ladeinfrastrukturbedarf für E-SNF auf EU-Ebene.⁹ Die Studie schätzt, dass die erwartete E-SNF-Flotte von 280'000 bis 340'000 Fahrzeugen in der EU-27 bis 2030 eine installierte Ladeleistung von insgesamt 22 bis 28 GW erfordern wird. Diese Leistung verteilt sich annähernd zu gleichen Teilen auf öffentliche und private Ladepunkte. Abhängig vom Markthochlauf der Fahrzeuge entspricht dies einer Größenordnung von 150'000 bis 175'000 privaten Ladepunkten sowie 60'000 bis 80'000 öffentlichen Ladepunkten. Dabei wird das Depotladen als vorherrschende Ladeart erwartet. Für den Langstreckenverkehr werden zwischen 4'000 und 5'300 öffentliche Megawattladepunkte bis 2030 prognostiziert. Diese machen zwar nur etwa 2 % der Gesamtzahl der Ladepunkte, aber rund 15 % der installierten Gesamtleistung aus. Ladepunkte geringerer Leistung – etwa 350 kW-Schnelllader – können laut ICCT mehr als die Hälfte des öffentlichen Schnellladebedarfs abdecken.

Fazit und Forschungslücke

Die vorgestellten Studien liefern wertvolle Erkenntnisse, doch zeigen sich auch deutliche methodische Einschränkungen. In vielen Studien werden sowohl der künftige Marktanteil von E-SNF als auch der Anteil des öffentlichen Ladens exogen vorgegeben. Diese Größen basieren häufig auf Erwartungen der Branche, nicht jedoch auf einer quantitativen Analyse der zugrunde liegenden Kostenstrukturen. Eine solche Vorgehensweise ist allerdings limitiert, da der Markthochlauf im kostengetriebenen Logistiksektor stark von den Fahrzeug-TCO sowie von der Verfügbarkeit und den Kosten der Ladeinfrastruktur abhängt. Der öffentliche Ladebedarf ergibt sich dabei aus einer Kostenoptimierung zwischen öffentlichem und Depotladen, deren Abhängigkeiten komplex sind.

Zudem werden für die Schweiz zentrale Einflussgrössen wie die LSVA, die Abgabe auf Elektrofahrzeuge oder die Entwicklung der Energiepreise in bestehenden Arbeiten bislang nicht vertieft und quantitativ berücksichtigt. Insgesamt fehlt somit eine integrierte, quantitativ fundierte Analyse, die diese Zusammenhänge umfassend abbildet. Die vorliegende Studie soll diese Lücke schliessen. Dazu wird im folgenden Kapitel die Methodik beschrieben, mit welcher die Wechselwirkungen modelliert und untersucht werden.

⁸ Shoman; Yeh; Sprei; u. a. (2023)

⁹ Basma; Schmidt (2025)



2 Vorgehen und Methode

Die in Kapitel 1.2 formulierten Forschungsfragen zeigen auf, welche Teilespekte zu klären sind, um abschätzen zu können, wann, wo und in welchem Umfang in der Schweiz Ladeinfrastruktur für E-SNF erforderlich ist.

Die Literaturrecherche in Kapitel 1.3 hat gezeigt, dass bereits zwei Studien zum Ladeinfrastrukturbedarf von E-SNF in der Schweiz vorliegen. Diese berücksichtigen jedoch zentrale Einflussfaktoren – etwa die LSVA oder die Wechselwirkungen zwischen Markthochlauf und Ladeinfrastruktur – nicht oder nur am Rande.

Dieses Kapitel zeigt den Aufbau der Studie, die gewählte Vorgehensweise sowie die angewandten Methoden. Ziel ist es, die Forschungsfragen systematisch zu beantworten und die identifizierten Lücken zu schliessen, um eine möglichst realistische Abschätzung des künftigen Ladeinfrastrukturbedarfs von E-SNF im Zeitverlauf in der Schweiz zu ermöglichen und darauf aufbauend eine Ausbaustategie abzuleiten.

2.1 Übergeordnete Vorgehensweise

Abbildung 2-1 zeigt das übergeordnete Vorgehen zur Erarbeitung der Studie. Insgesamt wurde das Vorgehen in sieben Arbeitspakete (AP) gegliedert. Im Zentrum steht dabei die Entwicklung eines Modells (AP5), welches die Wechselwirkungen zwischen Markthochlauf, Ladeinfrastrukturbedarf und Kosten konsistent und umfassend abbildet.

Für die Modellierung werden verschiedene Eingangsdaten benötigt, die in den Arbeitspaketen 1 bis 4 erarbeitet wurden:

- **AP1 – Entwicklung des Strassengüterverkehrs:** Hier wird die zukünftige Entwicklung der SNF-Transport- und Fahrleistungen, der Neuzulassungen sowie des SNF-Bestands analysiert.
- **AP2 – Technologische Entwicklung von Fahrzeugen und Ladeinfrastruktur:** Auf Fahrzeugseite steht insbesondere die Batterie im Fokus. Untersucht wird, welche Batterietechnologien künftig für welche Einsatzbereiche geeignet sind und wie sich Anschaffungskosten und Restwerte entwickeln. Auf Seite der Ladeinfrastruktur werden die zukünftigen Ladesysteme und deren Kostenentwicklung untersucht.
- **AP3 – Fallstudien zum Ladeinfrastrukturbedarf im Depot:** Hier wird der Bedarf an Depotladeinfrastruktur bestimmt. Grundlage bilden drei Fallstudien für die Logistikunternehmen Planzer, Schöni und Krummen Kerzers. Die Analysen erfolgen auf Basis von empirischen Daten zur tatsächlichen Fahrzeugnutzung und gewährleisten damit eine hohe Praxisnähe der Ergebnisse.



- **AP4 – Politische Instrumente und Anreizsysteme:** In diesem Arbeitspaket werden relevante politische Instrumente und regulatorische Entwicklungen analysiert, darunter die Ausgestaltung der LSVA für E-SNF, mögliche Fördermechanismen, die Abgabe auf Elektrofahrzeuge, CO₂-Emissionsvorschriften sowie EU-Regulierungen wie das Emissionshandelssystem 2 und die AFIR.

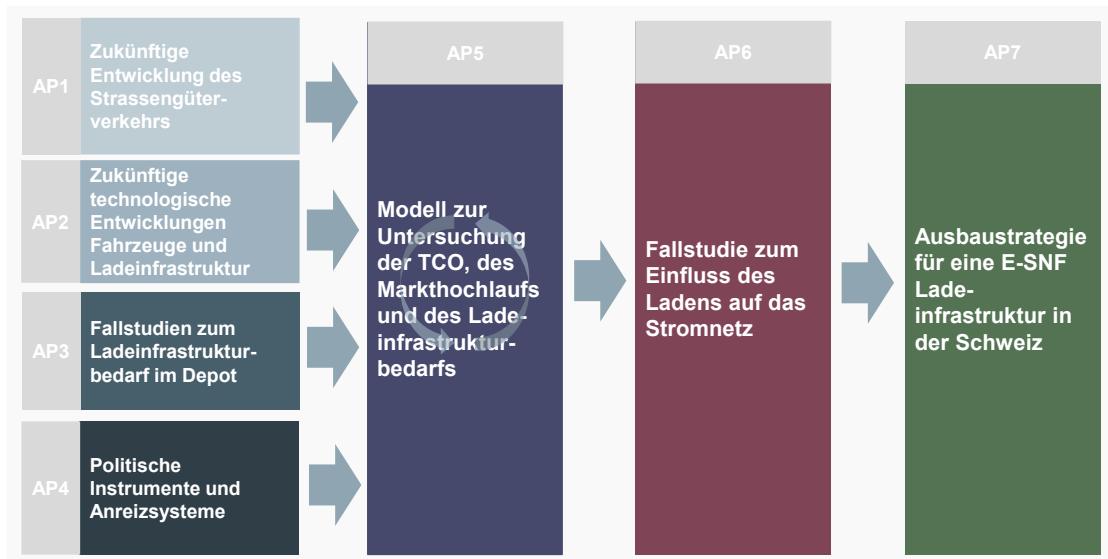


Abbildung 2-1: Vorgehen im Überblick

Die in den Arbeitspaketen 1 bis 4 erarbeiteten Grundlagen fliessen in das Modell ein, das in **AP5** entwickelt wird. Es handelt sich dabei um ein Bottom-up-Modell, das aus mehreren Teilmodulen besteht und im Kern auf einem TCO-Modell basiert.

Auf Grundlage der Modellresultate – insbesondere der zeitlichen Entwicklung des Ladebedarfs bzw. des Ladeinfrastrukturbedarfs sowohl im Depot als auch an öffentlichen Standorten – wird in **AP6** eine Fallstudie mit der BKW durchgeführt. Diese dient dazu, den Einfluss des Depotladens auf das Stromnetz zu untersuchen.

In **AP7** erfolgt die Synthese aller Teilresultate im Rahmen der Erstellung des Schlussberichts, in dem eine Ausbaustategie für die öffentliche Ladeinfrastruktur abgeleitet wird.

Damit verbindet die Studie einen modellgestützten Ansatz mit praxisnahen Fallstudien, um möglichst realistische und umsetzungsorientierte Ergebnisse zu erzielen. Ergänzend wurden in mehreren Arbeitspaketen qualitative Interviews mit Branchenakteuren durchgeführt.

Das Projekt wurde von einer Begleitgruppe unterstützt, die sich aus relevanten Stakeholdern von Bundesämtern, Branchenverbänden sowie Vertreterinnen und Vertretern der Logistik-, Strom- und Fahrzeugbranche zusammensetzte. Dadurch konnten die Annahmen breit abgestützt und die Szenarien realitätsnah ausgestaltet werden.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Methodik, Annahmen und Datengrundlagen zu den einzelnen Arbeitspaketen im Detail beschrieben.



2.2 Methodik, Annahmen und Daten

2.2.1 AP1: Zukünftige Entwicklung des Strassengüterverkehrs

Für die Abschätzung des Ladeinfrastrukturbedarfs muss bekannt sein, wie sich der Markthochlauf der E-SNF entwickelt – also wann wie viele E-SNF künftig in der Flotte sein werden. Dafür ist zunächst die Entwicklung der Gesamtflotte der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) zu bestimmen, welche ihrerseits von den Neuzulassungen und den Ausserverkehrssetzungen abhängt. Die Neuzulassungen sind wiederum abhängig von den erwarteten Fahr- und Transportleistungen, welche wesentlich durch übergeordnete wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen beeinflusst werden.

Transport- und Fahrleistung

Die künftigen wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklungen sowie deren Einfluss auf die Transport- und Fahrleistung sind Gegenstand der Verkehrsperspektiven 2050 (VP-2050), die vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) erarbeitet wurden. Für die vorliegende Analyse wird auf diese offiziellen Grundlagen - und dabei auf das Szenario BASIS - zurückgegriffen, da sie die aktuell verlässlichste und detaillierteste Datengrundlage für die Schweiz darstellen.

Die VP-2050 basieren auf dem Nationalen Personenverkehrsmodell (NPVM) sowie der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) des ARE. Beide Modellinstrumente wurden zuletzt auf den Ist-Zustand des Jahres 2017 kalibriert. In den vergangenen Jahren lagen jedoch die effektiven Werte insbesondere für die Fahrleistungen gemäss Gütertransportstatistik (GTS-E24) des Bundesamts für Statistik (BFS) unterhalb der von den VP-2050 prognostizierten Werte.

Um dieser Abweichung Rechnung zu tragen, wurden die VP-2050-Werte für die Fahrleistung ab dem Jahr 2025 nach unten angepasst, während das in den VP-2050 angenommene durchschnittliche jährliche Wachstum beibehalten wurde.

Da im Rahmen der VP-2050 die Fahrleistungen nicht nach Verkehrsart (Binnen-, Import-/Export- und Transitverkehr) oder Immatrikulation (inländische bzw. ausländische Fahrzeuge) differenziert werden, wurde für die Fahrleistung der ausländischen Fahrzeuge auf die Entwicklung der Transportleistungen im Import-, Export- und Transitverkehr abgestellt. Diese weist ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 0.6 % auf, wobei dieses Wachstum durch den Import-/ Exportverkehr verursacht wird, während der Transitverkehr gemäss VP-2050 über die Zeit konstant bleibt. Für das Fahrleistungswachstum der ausländischen Fahrzeuge wurde daher vereinfachend angenommen, dass dieses ebenfalls um 0.6 % pro Jahr zunimmt. Da sich das Ladeverhalten zwischen dem Transitverkehr und dem ausländischen Import-/Exportverkehr unterscheiden kann, wurde die Fahrleistung der ausländischen Fahrzeuge zusätzlich nach Verkehrsart differenziert.



Verkehrsbelastung

Für die Abschätzung, wann, wo und in welchem Umfang öffentliche Ladeinfrastruktur für E-SNF realisiert werden sollte, ist eine Prognose der Verkehrsbelastung erforderlich – insbesondere entlang der Transitrouten. Genau auf diesen Strecken ist öffentliche Ladeinfrastruktur besonders relevant.

Hintergrund ist, dass in den Nachbarländern Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien bereits verbindliche Vorgaben zur öffentlichen Ladeinfrastruktur gemäss der Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) gelten. Diese verpflichtet die EU-Mitgliedstaaten, eine Mindestversorgung mit öffentlich zugänglichen Ladepunkten für E-SNF sicherzustellen. Ziel ist es somit, entlang der Transitrouten ein vergleichbares Versorgungsniveau von öffentlicher Ladeinfrastruktur zu erreichen. Die Transitrouten verlaufen auf zentralen Hauptverkehrsachsen der Schweiz. Sie werden nicht nur vom Transitverkehr, sondern auch vom Binnen-, Import- und Exportverkehr genutzt.

Die VP-2050 enthalten Prognosen zur Verkehrsbelastung von SNF auf dem Schweizer Strassennetz. Wie auch bei der Fahrleistung erfolgt jedoch keine Differenzierung nach Verkehrsart oder Immatrikulation; die Werte liegen nur für den Gesamtverkehr vor. Eine Differenzierung nach Import-/Export- sowie Transitverkehr ist aber relevant, da sich das Ladeverhalten und damit der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf zwischen Import-/Export und Transitverkehr unterscheiden kann.

Um diese Differenzierung vornehmen zu können, wurden für die ausländischen Fahrzeuge die Daten des European Electronic Toll System (EETS) aus dem Jahr 2023 ausgewertet. Diese werden vom Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) erhoben und enthalten Informationen zu Ein- und Ausfahrtsort sowie Zeitpunkt jedes Fahrzeugs mit ausländischer Immatrikulation beim Grenzübertritt.

Um aus Ein- und Ausfahrtsort der Fahrzeuge die tatsächlich genutzten Routen auf dem Schweizer Strassennetz abzuleiten, wurde das Routingverfahren nach Dijkstra unter Priorisierung von Autobahnen und Hauptstrassen anhand NetworkX in Python angewandt.¹⁰ Dadurch konnten die Verkehrsbelastungen des Transitverkehrs entlang der Transitrouten bestimmt werden. Anschliessend wurden diese Belastungen vom Gesamtverkehr entlang der Transitrouten abgezogen, sodass im Ergebnis verkehrsartspezifische Belastungswerte für den Transit- sowie den Binnen-, Import- und Exportverkehr vorliegen.

Für das zukünftige Wachstum der Verkehrsbelastung im Transitverkehr wurde angenommen, dass dieses analog zur Entwicklung der Transport- und Fahrleistungen verläuft und somit über den Betrachtungszeitraum konstant bleibt.

¹⁰ Hagberg; Schult; Swart (2008)



Neuzulassungen und Bestand

Zur Ermittlung der Neuzulassungen und des Bestands an SNF wurde angenommen, dass die durchschnittliche Fahrleistung pro SNF konstant bleibt, dies gestützt auf Expertenaussagen und Korrelationsanalysen.

Somit steigen die Neuzulassungen und die Fahrleistung prozentual im Zeitverlauf gleich stark. Anders gesagt: Die Fahrleistung der Inlandfahrzeuge wächst nicht durch eine höhere Fahrleistung je Fahrzeug, sondern durch eine grösse Anzahl Fahrzeuge.

Der Bestand wurde aus den Neuzulassungen und den Ausserverkehrsetzungen der SNF modelliert. Für die Ausserverkehrsetzungen wurde zunächst eine Kohortenanalyse der im Jahr 2010 neu zugelassenen Fahrzeuge auf Basis historischer Bestandsdaten (IVZ) durchgeführt. Bei den im Jahr 2010 neuzugelassenen SNF handelt es sich grösstenteils um Diesel betriebene SNF.

Die daraus abgeleiteten empirischen Überlebenswahrscheinlichkeiten wurden mit einer Weibull-Verteilung modelliert (vgl. Abbildung 2-2). Das charakteristische Alter (η) der Fahrzeuge beträgt dabei rund 14 Jahre.

Diese Überlebenswahrscheinlichkeitsfunktion wurde zur Modellierung der Ausserverkehrsetzungen für alle künftigen Kohorten (2025–2050) verwendet. Da keine Hinweise auf veränderte Lebensdauern vorliegen, wird diese Annahme für alle Technologien über den gesamten Beobachtungszeitraum konstant gehalten. Zwar liesse sich argumentieren, dass für E-SNF aufgrund der Batteriealterung eine abweichende Überlebenswahrscheinlichkeit anzunehmen wäre. Eine detaillierte Analyse der LSVA-Daten 2023 zeigt jedoch, dass die Fahrleistungen stark vom Fahrzeugalter abhängen. Ältere Fahrzeuge weisen eine deutlich geringere durchschnittliche Tagesfahrleistung auf: Fahrzeuge mit einem Alter von rund zehn Jahren erreichen im Durchschnitt ca. 120 km pro Tag, während Fahrzeuge mit einem Alter von 15 Jahren und mehr nur noch ca. 50 km pro Tag zurücklegen. Solche Fahrzeuge sind somit auch nicht mehr auf die volle Batteriekapazität angewiesen, was eine kürzere technische Lebensdauer relativiert.

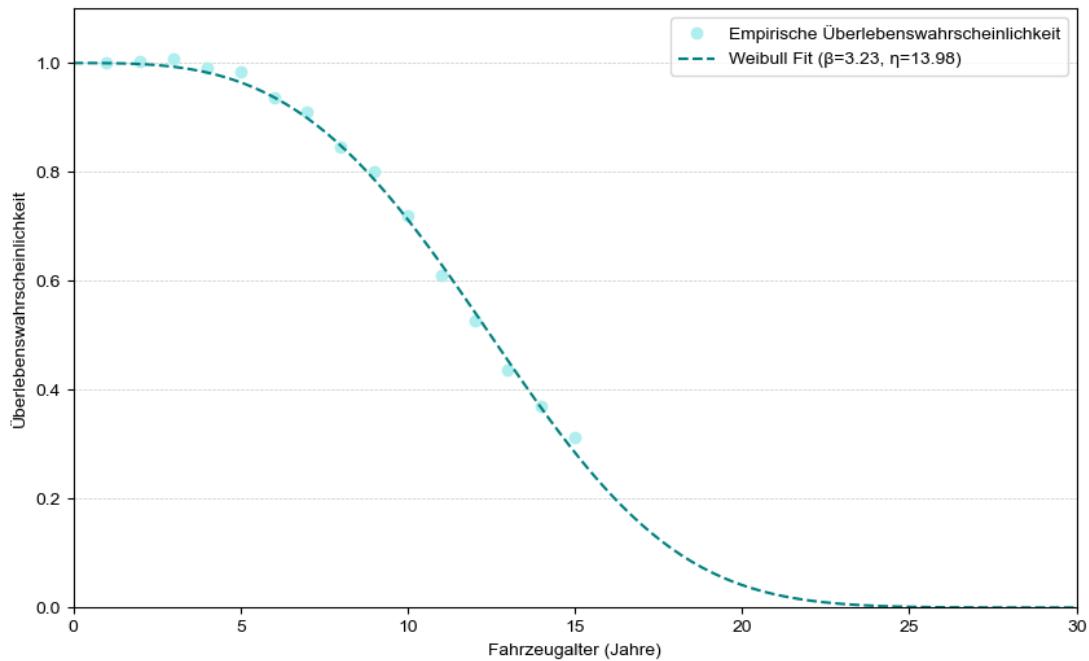


Abbildung 2-2: Überlebenswahrscheinlichkeiten der SNF-Kohorte 2010 mit Weibull-Fit

2.2.2 AP2: Zukünftige Entwicklung Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur

Für die Modellierung des kostengetriebenen Markthochlaufs über ein TCO-Modell ist entscheidend, wie sich sowohl die Fahrzeugtechnologien als auch die Ladeinfrastruktur künftig entwickeln – technisch wie auch kostenbezogen.

Auf Fahrzeugseite steht die Batterie im Zentrum der Analyse. Sie ist der Hauptkostentreiber beim Anschaffungspreis und bestimmt damit massgeblich die wirtschaftliche Attraktivität der Fahrzeuge. Die Kosten sind einerseits von den Marktgegebenheiten und geopolitischen Faktoren abhängig, aber andererseits auch von den Batterietechnologien und deren technologischen Entwicklungen. Letztere beeinflussen wiederum den Restwert der Fahrzeuge am Ende der Erstnutzungsdauer.

Auch auf Seite der Ladeinfrastruktur ist eine dynamische Entwicklung zu beobachten – sowohl hinsichtlich der Technologie (z. B. Ladeleistung, Systemstandardisierung, Netzanschlusskonzepte) als auch der Kostenstrukturen. Diese Faktoren bestimmen, welche Ladeoptionen künftig wirtschaftlich realisierbar sind und welche Anforderungen an Netzanschlüsse, Standorte und Betriebskonzepte entstehen.

Fahrzeuge und Batterien

Zunächst wurde eine Literaturrecherche zu den Kosten einzelner Fahrzeugkomponenten wie der Antriebsstrang- und Chassiskosten durchgeführt. Diese dient als Grundlage für die Untersuchung der Anschaffungskosten im Rahmen der Bottom-up-TCO-Berechnungen.



Zur Beurteilung der Batteriekosten wurde in einem ersten Schritt anhand von technischen und wirtschaftlichen Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators, KPI) analysiert, welche Batterietechnologien derzeit eingesetzt werden und welche sich künftig am Markt durchsetzen dürften. Für die identifizierten Technologien wurde schliesslich eine Kostenanalyse zu den Anschaffungspreisen und den Restwerten durchgeführt. Die Studienlage zur Restwertentwicklung von Batterien ist begrenzt. Zudem hängt der Restwert stark vom konkreten Anwendungsfall ab. In der Schweiz kommen dabei zusätzliche besondere Rahmenbedingungen hinzu – etwa aufgrund der Topografie und Temperaturschwankungen, die die Batteriealterung beeinflussen können. Dadurch können internationale Studien nicht direkt auf die Schweiz übertragen werden. Vor diesem Hintergrund wurde vom Energy Research Centre der Berner Fachhochschule (BFH) eine spezifische Fallstudie zur Restwertentwicklung der identifizierten Batterietechnologien durchgeführt.

In einem ersten Schritt wurden auf Grundlage der Fallstudien mit den Logistikunternehmen (AP3) drei für den Schweizer Logistiksektor typische Anwendungsfälle ausgewählt: eine Kurzstreckenanwendung (70 km), eine Mittelstreckenanwendung (160 km) und eine Langstreckenanwendung (280 km). Für diese standen detaillierte Fahrprofile mit sämtlichen Etappen (Start- und Stopstandorte) zur Verfügung.

Im nächsten Schritt wurden mit dem sogenannten Electric-Vehicle-Modell der BFH auf Basis der Fahrprofile Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofile generiert, die als Input für die Simulation der Batteriealterung dienten.

Die Batteriealterung selbst wurde mit dem Open-Sesame-Battery-Modell untersucht. Dieses Open-Source-Simulationswerkzeug wurde im Rahmen der IEA Task 32 «Modelling of Energy Storage for Simulation and Optimization of Energy Systems» entwickelt und basiert auf einem Ansatz, der umfangreiche Datensätze aus Labortests und Literaturauswertungen integriert. Das Modell differenziert zwischen verschiedenen Zellchemien und kann zentrale Alterungsprozesse – insbesondere Kapazitätsverlust und Zunahme des Innenwiderstands – als Funktionen von Leistungs- und Temperaturprofilen abbilden. Ein zentraler KPI für die Bewertung der Batteriealterung ist der State of Health (SoH). Dieser beschreibt die verbleibende maximale Kapazität einer Zelle im Verhältnis zur ursprünglichen Kapazität unter identischen Bedingungen. Mit zunehmender Alterung sinkt der SoH-Wert, was den Leistungsrückgang der Batterie und ihre verbleibende Nutzungsdauer widerspiegelt. Der SoH wird dabei sowohl durch den aktuellen als auch den historischen Nutzungsverlauf beeinflusst, was seine Prognose komplex macht.

Die Ergebnisse der Alterungssimulationen wurden genutzt, um den Batterierestwert am Ende der Erstnutzungsdauer der Fahrzeuge zu bestimmen. Die Simulationen wurden jeweils für das Ausgangsjahr 2025 sowie für das Jahr 2030 durchgeführt, um künftige technologische Entwicklungen zu berücksichtigen.



Ladeinfrastruktur

Für die Abschätzung der künftigen Entwicklung der Ladeinfrastruktur wurde zunächst eine Literaturrecherche zu Ladestandards, neuen Technologien und Kostenentwicklungen durchgeführt. Ergänzend konnte auf das Fachwissen der BKW Smart Mobility und der Firma Enerpeak zurückgegriffen werden, die über langjährige Erfahrung in der Planung und Installation von Ladeinfrastrukturen verfügen. Beide Partnerunternehmen bringen dabei praxisnahe Kenntnisse aus der Umsetzung von massgeschneiderten Ladeinfrastrukturlösungen für Logistikunternehmen mit ein.

2.2.3 AP3: Fallstudien zum Ladeinfrastrukturbedarf im Depot

Ziel der Fallstudien ist es, den Ladeinfrastrukturbedarf in Logistikdepots realitätsnah zu bestimmen und die zentralen technischen, betrieblichen und wirtschaftlichen Einflussfaktoren zu analysieren. Eine solche Betrachtung erfordert ein umfassendes Verständnis der Herausforderungen, mit denen Logistikunternehmen im Zuge der Elektrifizierung ihrer Flotten konfrontiert sind.

Der Ladeinfrastrukturbedarf hängt einerseits davon ab, in welchem Ausmass die bestehenden Fahrzeugflotten elektrifiziert werden können – abhängig von den jeweiligen Einsatzprofilen bzw. Anwendungsfällen und den damit verbundenen Betriebsanforderungen. Andererseits ist entscheidend, ob und wie die notwendige Energie am Depotstandort bereitgestellt werden kann. Hier können Netzanschlusskapazitäten und Lastmanagement zu limitierenden Faktoren werden.

Hinzu kommen wirtschaftliche Überlegungen, die häufig im Spannungsfeld zwischen Betriebsanforderungen und Investitionskosten stehen. So wünschen sich viele Unternehmen möglichst viele Ladepunkte, um Rangieraufwand und betrieblichen Koordinationsaufwand zu reduzieren. Dies führt jedoch zu höheren Investitions- und Anschlusskosten. Gleichzeitig eröffnen sich neue Kostensenkungspotenziale – etwa durch die Integration von Photovoltaikanlagen oder stationären Speichersystemen, die den Eigenverbrauch erhöhen und die Netzbelaufung reduzieren können.

Um diese Zusammenhänge empirisch zu erfassen, wurden drei praxisorientierte Fallstudien mit den Unternehmen **Planzer**, **Schöni** und **Krummen Kerzers** durchgeführt. Die drei Unternehmen decken unterschiedliche Betriebskonzepte, Transportsegmente und Einsatzmuster ab und bilden gemeinsam ein repräsentatives Abbild des Schweizer Strassengüterverkehrs:

- Planzer betreibt ein dezentral organisiertes Netzwerk von Logistikstandorten und ist vor allem im Stückguttransport tätig.
- Schöni Transport AG operiert überwiegend ab einem zentralen Standort mit einem höheren Anteil an internationalen Fahrten.
- Krummen Kerzers AG ist auf temperaturgeführte Transporte spezialisiert, sowohl im städtischen Bereich als auch im grenzüberschreitenden Verkehr.



Die Fallstudien liefern schliesslich empirisch validierte Eingangsdaten, mit denen im Hauptmodell (AP5) der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf im Zeitverlauf abgeschätzt werden kann. Für jede der Fallstudien sind die Daten, das Vorgehen und die Ergebnisse in einem eigenen umfangreichen Fallstudienbericht dokumentiert. Da die Fallstudienberichte vertrauliche Unternehmensdaten enthalten, sind diese nicht öffentlich zugänglich.

Daten

Für die Auswertungen stellten die beteiligten Logistikunternehmen detaillierte Fahrzeugnutzungsdaten auf Basis der Fahrtschreiber bereit. Erfasst wurden repräsentative Fahrzeuge der jeweiligen Flotten über einen Zeitraum von einem Monat. Die Datensätze enthalten sämtliche gefahrenen Etappen mit Abfahrts- und Ankunftszeiten sowie den entsprechenden Standzeiten. Zusätzlich wurden die Fahrzeugdaten um technische Kennwerte wie Leergewicht, Nutzlast und Energieverbrauch sowie um Kostendaten wie Wartungs- und Versicherungskosten ergänzt.

Methodisches Vorgehen in fünf Schritten

Das methodische Vorgehen gliedert sich in fünf aufeinander aufbauende Schritte (vgl. Abbildung 2-3).

Im **ersten Schritt** wurden die realen Fahrprofile der Referenzfahrzeuge ausgewertet. Dabei wird sichtbar, wie die Fahrzeuge eingesetzt werden – insbesondere wann und wo sie unterwegs sind bzw. Standzeiten aufweisen.

Darauf aufbauend wurden im **zweiten Schritt** auf Grundlage der Altersstruktur der Flotte drei Migrationspfade hin zu elektrischen Fahrzeugen analysiert: ein langsamer, ein mittlerer und ein schneller Pfad. Diese zeigen auf, wie viele Dieselfahrzeuge über die Zeit von E-SNF ersetzt werden können.

Im **dritten Schritt** wurden die Ladevorgänge simuliert und daraus der resultierende Ladeinfrastrukturbedarf im Depot im Zeitverlauf ermittelt. Grundlage hierfür sind die Fahrprofile aus Schritt 1 sowie die Flottenzusammensetzung aus Schritt 2.

Der **vierte Schritt** widmet sich der Frage, wie der benötigte Energiebedarf im Depot bereitgestellt werden kann – unter anderem unter Einbezug von Lastmanagementstrategien, Photovoltaik und stationären Speichern.

Im **fünften und letzten Schritt** erfolgte eine wirtschaftliche Bewertung des Übergangs zur Elektromobilität. Mithilfe von TCO-Analysen wurden sowohl die Investitions- und Betriebskosten der Fahrzeuge als auch der Ladeinfrastruktur berücksichtigt. Im Rahmen der Gesamtstudie wurde hierzu ein TCO-Framework entwickelt, mit dem die Gesamtkosten für 23 repräsentative Segmente der Schweizer SNF-Flotte für alle Anschaffungsjahre bis 2050 berechnet werden können. Die Berechnungen basieren auf umfangreichen Kostendaten, unter anderem solchen, die von den Logistikunternehmen im Rahmen der Fallstudien zur Verfügung gestellt wurden.



Für die TCO-Analysen innerhalb der Fallstudien wurden die jeweiligen Referenzfahrzeuge der beteiligten Logistikunternehmen den entsprechenden Segmenten des Modells zugeordnet. Details zu den Segmenten sowie die formale mathematische Beschreibung des verwendeten TCO-Frameworks sind im Anhang A enthalten. Zusätzlich wurde untersucht, welchen Einfluss unterschiedliche Energieversorgungsstrategien (aus Schritt 4) auf die Stromkosten haben können.



Abbildung 2-3: Fallstudien für die Logistikunternehmen: Methodisches Vorgehen im Überblick

2.2.4 AP4: Politische Instrumente und Anreizsysteme

Der Markthochlauf von E-SNF wird in hohem Mass durch die politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen beeinflusst.

Ein zentraler Faktor ist die LSVA. Ihre Ausgestaltung hat einen direkten Einfluss auf die Betriebskosten und damit auf die Wirtschaftlichkeit der Fahrzeuge. In seiner Botschaft vom 28. Mai 2025 zur Revision des Schwerverkehrsabgabegesetzes (SVAG) hat der Bundesrat vorgeschlagen, elektrisch angetriebene Fahrzeuge ab 2029 der LSVA zu unterstellen.¹¹ Diese Weiterentwicklung der LSVA befindet sich derzeit in der parlamentarischen Beratung. Weil der Ausgang der parlamentarischen Beratung offen ist, wird in vorliegendem Bericht der Vorschlag des Bundesrates als Grundlage verwendet.

Ein weiterer bedeutender Kostenfaktor ist die geplante Abgabe auf Elektrofahrzeuge, die – je nach Ausgestaltung – ab 2030 bzw. 2035 auch für E-SNF erhoben werden soll.

¹¹ Schweizerischer Bundesrat (2025b)



Darüber hinaus beeinflussen CO₂-Emissionsvorschriften, die seit dem 1. Januar 2025 für schwere Nutzfahrzeuge gelten, die Marktbedingungen erheblich. Sie verpflichten Importeure, CO₂-Flottenzielwerte einzuhalten und fördern damit die Markteinführung emissionsärmer Fahrzeuge.

Weiter bestehen verschiedene Förderinstrumente zur Unterstützung des Ausbaus der Ladeinfrastruktur für E-SNF, sowohl auf Bundes- als auch auf Kantonsebene. Auf europäischer Ebene kommen weitere relevante Entwicklungen hinzu: Die Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR) definiert verbindliche Mindestziele für den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur, während das Emissionshandelssystem 2 (EHS 2) der EU künftig die Preise für fossile Energieträger beeinflussen dürfte und damit indirekt die Wettbewerbsfähigkeit elektrischer Antriebe stärkt.

Die Erarbeitung der Grundlagen in diesem Arbeitspaket erfolgte primär durch Desk Research. Ergänzend wurden Interviews mit relevanten Stakeholdern – insbesondere mit Fachpersonen von Bundesämtern und Branchenverbänden – geführt, um aktuelle politische Entwicklungen und laufende Gesetzgebungsprozesse möglichst umfassend zu berücksichtigen. Ziel war es, eine fundierte empirische und regulatorische Basis zu schaffen, die es erlaubt, die Instrumente und deren Wirkungsmechanismen im Modell (AP5) quantitativ abzubilden.

Im Fokus für die quantitativen Untersuchungen stehen insbesondere die LSVA und die Abgabe auf Elektrofahrzeuge:

- Für die LSVA wurden im Rahmen eines Zusatzauftrags mit dem Bundesamt für Verkehr (BAV) die zum Zeitpunkt der Studie diskutierten Varianten des Rabattsystems für E-SNF und Euro-VII-Dieselfahrzeuge analysiert.
- Bezuglich der Abgabe auf Elektrofahrzeuge konnte Ecoplan auf die laufenden Arbeiten im Auftrag des Bundesamts für Straßen (ASTRA) zurückgreifen, in deren Rahmen mögliche Tarifmodelle für diese Abgabe entwickelt werden. Das ASTRA unterstützte den Einbezug der Abgabe auf Elektrofahrzeuge zusätzlich – analog zum BAV – mit einem ergänzenden Zusatzauftrag.

2.2.5 AP5: Modellansatz

Zur Beantwortung der in Kapitel 1.2 formulierten drei Hauptforschungsfragen wurde ein integrierter Modellrahmen entwickelt, der aus mehreren Teilmodellen besteht und diese miteinander verknüpft. Abbildung 2-4 zeigt die Struktur des Modellansatzes und veranschaulicht, wie die einzelnen Teilmodelle zur Beantwortung der Hauptforschungsfragen 1, 2 und 3 beitragen.

Im Folgenden wird der übergeordnete Modellansatz gegliedert nach den drei Hauptfragen beschrieben.

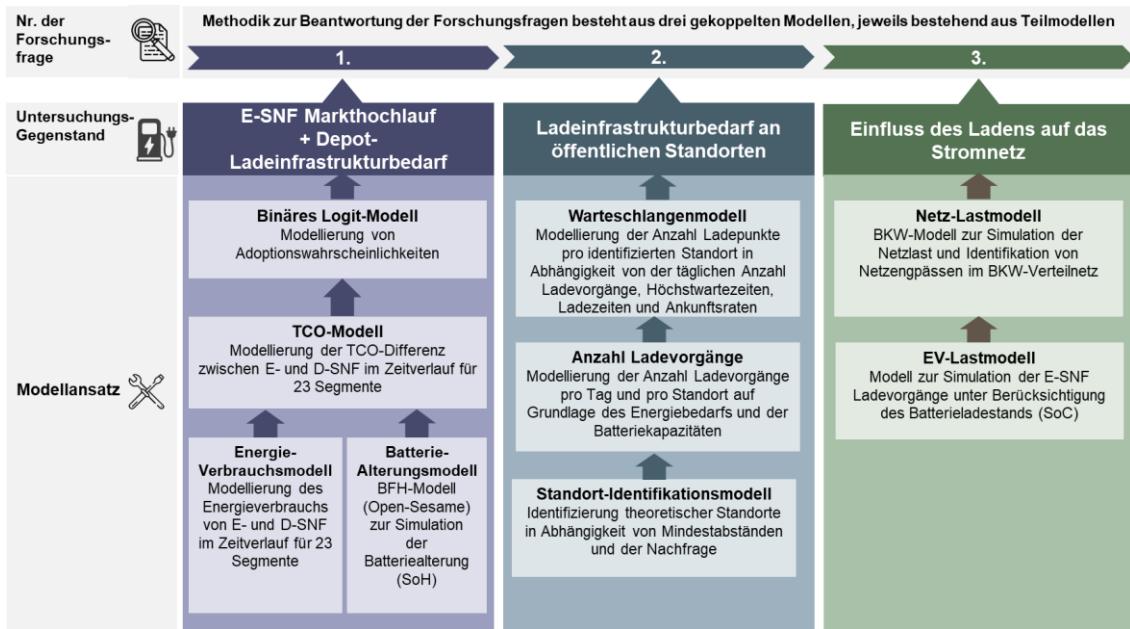


Abbildung 2-4: Übersicht Modellansatz

1. E-SNF Markthochlauf + Depot-Ladeinfrastrukturbedarf

Im Kern der Untersuchung der Forschungsfrage 1 – zum Markthochlauf von E-SNF und dem daraus resultierenden Ladeinfrastrukturbedarf in den Depots – steht ein Bottom-up-TCO-Modell, das die Gesamtkosten von E- und D-SNF für 23 repräsentative Fahrzeugsegmente im Zeitverlauf berechnet. Damit kann die gesamte Flotte an inländischen SNF abgebildet werden.

Das Modell ermittelt die segment- und jahresspezifische TCO-Differenz zwischen E-SNF und D-SNF als zentrale Entscheidungsgröße für die Fahrzeugwahl von Logistikunternehmen. Die anteiligen Depotladeinfrastrukturkosten werden dabei explizit in die E-SNF-TCOs integriert, da sie einen wesentlichen Einfluss auf die Gesamtkosten und damit auf die Kaufentscheidung haben.

Zur Berechnung der TCOs wurden mehrere vorgelagerte Analyseschritte durchgeführt:

- Der Energieverbrauch der 23 Fahrzeugsegmente wurde auf Basis eines Regressionsmodells aus einer Studie der ETH Zürich im Zeitverlauf modelliert, um die Entwicklung der Energiekosten realistisch abzubilden.¹²
- Der Batterierestwert am Ende der Erstnutzungsdauer wurde mit dem Batteriealterungsmodell Open-Sesame der BFH simuliert (Kurzbeschrieb des Modells vgl. Kapitel 2.2.2 Abschnitt Fahrzeuge und Batterien).
- Weitere Kostenkomponenten – wie Antriebsstrangkosten-, Wartungs- und Versicherungskosten etc. – wurden exogen auf Grundlage von Literaturrecherchen und Marktanalysen eingebunden.

¹² Noll; Del Val; Schmidt; u. a. (2022)



Der TCO-Modellansatz erlaubt die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Markthochlauf sowie Depot- und öffentlichem Ladeinfrastrukturbedarf, welcher sich aus einer kostenoptimalen Wahl der Batteriekapazitäten und damit einhergehenden Anteilen Depot- bzw. öffentlichen Ladens ergibt (vgl. Kapitel 1.2 «Problemstellung und Forschungsfragen»).

Die aus dem TCO-Modell resultierenden Kostenunterschiede zwischen E-SNF und D-SNF wurden in ein diskretes Wahlmodell überführt, konkret in ein binäres Logit-Modell, um daraus Adoptionswahrscheinlichkeiten für E-SNF zu bestimmen. Diese Wahrscheinlichkeiten wurden anschliessend zu Marktanteilen aggregiert, wodurch sich der zeitliche Markthochlauf der E-SNF sowie der Depotladeinfrastrukturbedarf der inländischen Fahrzeuge ableiten lassen.

Da die Modellresultate zeigen, dass die TCO-Differenzen stark von Batteriepreisen, Ladeinfrastrukturkosten, Energiepreisen sowie der Ausgestaltung der LSVA und einer allfälligen Abgabe auf Elektrofahrzeuge abhängen – und die Prognosen dieser Einflussgrössen mit erheblicher Unsicherheit behaftet sind –, wurden für diese Faktoren spezifische Szenarien entwickelt. Auf dieser Grundlage wurde die Sensitivität des Markthochlaufs gegenüber diesen Parametern systematisch untersucht, woraus schliesslich drei übergeordnete Hauptszenarien für den E-SNF-Markthochlauf und den Depot-Ladeinfrastrukturbedarf resultierten. Da sich die Abgabe auf Elektrofahrzeuge im Vergleich zur LSVA zum Zeitpunkt der Erarbeitung und Publikation der Studie im politischen Prozess noch in einer frühen Phase befindet und ihre Ausgestaltung damit mit höheren Unsicherheiten verbunden ist, wurde dieses Instrument losgelöst von den Hauptszenarien separat analysiert (vgl. Kapitel 4).

Der Markthochlauf der ausländischen Fahrzeuge wurde exogen vorgegeben und stützt sich auf eigenen Annahmen auf Grundlage bestehender Studien.¹³ Tabelle 2-1 zeigt die Annahmen zum Anteil E-SNF an den ausländischen SNF in der Schweiz für verschiedene Jahre.

Tabelle 2-1: Annahmen zum E-SNF-Anteil an den ausländischen SNF in der Schweiz

2025	2030	2035	2040	2045	2050
1 %	5 %	20 %	53 %	85 %	96 %

¹³ Shoman; Yeh; Sprei; u. a. (2023)



Exkurs: Modellierung der CO₂-Emissionen der Schweizer SNF-Flotte

Auf Grundlage der modellierten E-SNF-Anteile im Schweizer Bestand, des Anteils ausländischer E-SNF sowie der im Rahmen von AP1 prognostizierten Fahrleistungen wurde zusätzlich untersucht, welchen Einfluss die Elektrifizierung des Schwerverkehrs auf die CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz hat. Die CO₂-Emissionen der Dieselfahrzeuge wurden auf Basis des Dieselverbrauchs und eines Emissionsfaktors von 2.62 kg CO₂ pro Liter Diesel berechnet. Für die inländische Flotte erfolgte die Modellierung segmentweise für die 23 repräsentativen Fahrzeugsegmente der Schweizer SNF-Flotte. Da es sich bei den ausländischen SNF in der Schweiz gemäss der Auswertung der EETS-Daten überwiegend um Fahrzeuge des Segments «Sattelzug, >32 t» handelt, wurden die CO₂-Emissionen der ausländischen Flotte auf Grundlage des spezifischen Verbrauchs dieses Segments abgeschätzt.

Das detaillierte Vorgehen zur Segmentierung der Flotte in 23 Fahrzeugsegmente sowie die formalen mathematischen Modellbeschreibungen zur Beantwortung der Forschungsfrage 1 sind im Anhang A dokumentiert.

2. Ladeinfrastrukturbedarf an öffentlichen Standorten

Der Ladeinfrastrukturbedarf an öffentlichen Standorten wurde in Anlehnung an eine Studie des Fraunhofer ISI in drei aufeinander aufbauenden Schritten ermittelt.¹⁴

Im ersten Schritt wurden potentielle Standorte identifiziert, in deren Umgebung künftig öffentliche Ladeinfrastruktur entstehen könnte. Dabei handelt es sich nicht um konkrete Planungsstandorte, sondern um räumlich abgegrenzte Perimeter, die als Referenzräume für die Bedarfsabschätzung dienen. Die Untersuchung effektiver Standorte erfolgt im Rahmen eines separaten, laufenden Projekts des ASTRA.

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 zur Methodik der Analyse der SNF-Verkehrsbelastungen dargestellt, stehen für die Standorte öffentlicher Ladeinfrastruktur insbesondere die Transitrouten im Vordergrund. Bei der Standortidentifikation wurde darauf geachtet, dass öffentliche Ladestationen in durchschnittlichen Abständen von rund 75 Kilometern entlang dieser Transitrouten vorgesehen werden. Damit wird eine Netzdichte angestrebt, die vergleichbar mit den Nachbarländern ist, welche ihre Ausbauziele an der AFIR ausrichten.

Zusätzlich wurde die Nachfrageintensität entlang dieser Achsen berücksichtigt. Grundlage hierfür bildeten die in AP1 ermittelten Belastungswerte für inländische und ausländische Fahrzeuge, wodurch die Standortperimeter nicht nur topologisch, sondern auch verkehrsabhängig gewichtet wurden.

Im zweiten Schritt wurde die Gesamtzahl der täglichen Ladevorgänge in der Schweiz im Zeitverlauf berechnet. Grundlage dafür bilden die prognostizierten jährlichen Anteile E-SNF inländischer und ausländischer Fahrzeuge, die im Rahmen der Forschungsfrage 1 ermittelt wurden. Weitere zentrale Eingangsgrößen sind der Anteil der öffentlich geladenen Energie, die Batteriekapazitäten, die spezifischen Energieverbräuche sowie die durchschnittlichen Fahrleistungen je Segment.

¹⁴ Speth; Plötz; Funke; u. a. (2022)



Das Vorgehen unterscheidet sich dabei zwischen inländischen und ausländischen Fahrzeugen:

- **Inländische Fahrzeuge:** Für die inländischen Fahrzeuge wurde die jährliche Anzahl der Ladevorgänge segmentspezifisch modelliert. Diese ergibt sich aus dem Energiebedarf, der an öffentlichen Ladestationen gedeckt werden muss, sowie aus der Batteriekapazität der jeweiligen Segmente.

Der öffentliche Energiebedarf wurde für jedes Segment auf Basis des spezifischen Energieverbrauchs, der Fahrleistungen und der Batteriekapazitäten berechnet und mithilfe der Fallstudien mit den Logistikunternehmen (AP3) kalibriert, in denen der öffentliche Ladebedarf von E-SNF im Detail analysiert wurde.

Bei den Fahrleistungen wurden die segment-spezifischen Werte gemäss den in Anhang A definierten Segmenten verwendet. Diese Fahrleistungen entsprechen jedoch nicht exakt den in Anhang A dargestellten durchschnittlichen Fahrleistungen, da diese die ersten acht Betriebsjahre abbilden und als Grundlage für die TCO-Berechnungen dienten. Damit werden die typischen Einsätze während der Erstnutzungsdauer der Fahrzeuge realistisch erfasst. Da das charakteristische Alter der Fahrzeuge in der Gesamtflotte gemäss den Analysen zur Überlebenswahrscheinlichkeit (vgl. Kapitel 2.2.1) bei rund 14 Jahren liegt und die Fahrleistungen älterer Fahrzeuge mit zunehmendem Alter deutlich abnehmen, wurden die durchschnittlichen segmentbezogenen Fahrleistungen nach unten korrigiert. Im Ergebnis liegen die effektiven durchschnittlichen Fahrleistungen der Fahrzeuge in der Gesamtflotte rund 15 % tiefer als jene der Fahrzeuge während der ersten acht Betriebsjahre.

Da der öffentliche Energiebedarf wie gezeigt von der Batteriekapazität abhängt, wurde im Rahmen eines TCO-Deep-Dives zusätzlich untersucht, welche Batteriegrössen für Logistikunternehmen aus Kostensicht optimal sind. Hierzu wurden die Summe aus Batterie-, Energie- und Ladeinfrastrukturkosten im Zeitverlauf analysiert. Dies vor dem Hintergrund, dass sich Logistikunternehmen beim Erwerb von E-SNF zwischen verschiedenen Batteriekapazitäten entschieden können.

- **Ausländische Fahrzeuge:** Für ausländische Fahrzeuge wurde der öffentliche Ladebedarf ausschliesslich für das Segment > 32 t mit einer durchschnittlichen Tagesfahrleistung von über 250 km untersucht, da gemäss den EETS-Datenanalysen aus AP1 die grosse Mehrheit der ausländischen Fahrzeuge diesem Segment zuzuordnen ist.

Der öffentliche Energiebedarf ausländischer Fahrzeuge – und damit ihr Einfluss auf den Gesamtbedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur – hängt stark davon ab, wie attraktiv das Laden in der Schweiz im Vergleich zu den Nachbarländern ist (z. B. hinsichtlich Energiepreisen, Zugänglichkeit und Verfügbarkeit). Es ist daher nicht gewährleistet, dass die in der Schweiz verbrauchte Energie auch vollständig im Inland geladen wird.

Da diese Annahme mit hoher Unsicherheit behaftet ist und die Modellresultate zeigen, dass der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf sensitiv auf den Anteil des öffentlichen Ladebedarfs ausländischer Fahrzeuge reagiert, wird dieser Einfluss im Rahmen von Szenarienanalysen untersucht (vgl. Kapitel 4.3).



Abschliessend wurden die resultierenden Ladevorgänge anhand der in Schritt 1 definierten Standortperimeter und der zugehörigen Verkehrsbelastungswerte auf das Strassennetz verteilt, um die Anzahl täglicher Ladevorgänge pro Jahr und Standort zu bestimmen.

Im dritten und letzten Schritt wurde die Anzahl erforderlicher Ladepunkte pro Standort und Jahr mithilfe eines Warteschlangenmodells auf Grundlage der Anzahl Ladevorgänge aus Schritt 2, der E-SNF-Ankunftsrraten pro Standort, Höchstwartezeiten und Ladezeiten bestimmt.¹⁵

Das zugrunde liegende Warteschlangenmodell basiert auf einem M/G/c-System. Dabei wird angenommen, dass die Ankünfte der Fahrzeuge zufällig erfolgen (Poisson-Verteilung, M), die Ladezeiten einer allgemeinen, normalverteilten Verteilung folgen (G) und an jedem Standort c Ladepunkte gleichzeitig verfügbar sind.

Für jeden Standort wurde jene Anzahl Ladepunkte (c) berechnet, bei der die erwartete Wartezeit der Fahrzeuge unter fünf Minuten bleibt. Damit kann eine Ladezeit von rund 30 Minuten inklusive eines zeitlichen Puffers (z. B. im Rahmen der gesetzlich vorgeschriebenen Fahrerpause von 45 Minuten) sichergestellt werden.

Die formale mathematische Beschreibung des Warteschlangenmodells ist im Anhang A dokumentiert.

3. Einfluss des Ladens auf das Stromnetz

Zur Untersuchung des Einflusses des Ladens auf das Stromnetz wurde eine Fallstudie von der BKW für ihr eigenes Verteilnetzgebiet durchgeführt. Ziel war es, die Netzbelastrung und mögliche Engpässe zu identifizieren, die durch das gleichzeitige Laden von E-SNF entstehen können.

Hierfür nutzte die BKW ein E-SNF-Lastmodell, mit dem die Ladevorgänge der E-SNF an verschiedenen Logistikstandorten – insbesondere in den Depots – simuliert wurden. Grundlage bildeten die in AP3 gewonnenen Fahr- und Ladeprofile, die eine realistische Abbildung des Ladeverhaltens im Betriebsalltag ermöglichen.

In einem weiteren Schritt wurden die resultierenden Lastprofile in ein Netzmodell eingespeist, um lokale Netzentengpässe zu identifizieren und deren zeitliche und räumliche Verteilung zu analysieren.

Details zur Modellstruktur und zum Vorgehen der Netzsimulation sind im nachfolgenden Kapitel 2.2.6 beschrieben.

¹⁵ Speth; Plötz; Funke; u. a. (2022)



2.2.6 AP6: Fallstudie zum Einfluss des Ladens auf das Stromnetz

Die Analyse folgt einer technoökonomischen Methodik, welche die Netzplanung, Projektierung und empirische Kostenerfahrungen der BKW kombiniert. Der Ansatz liefert realistische Richtwerte der Netzausbaukosten, verzichtet jedoch bewusst auf eine vollständige mehrstufige Zielnetzrechnung über Hoch-, Mittel- und Niederspannung. Letztere würde eine gesamthafte Optimierung aller Netzebenen beinhalten,

Die Untersuchungen fokussieren auf das BKW-Versorgungsgebiet. Dabei wurden von der ASTAG Daten zu Flottengrössen und -Standorten von Logistikunternehmen innerhalb dieses Gebiets zur Verfügung gestellt.

Berechnungsansatz

- Transformatorenstationen: Skalierung nach Anschlussleistung und Standort; Kostenkomponenten umfassen Grundstück, Planung, Bau, Material (Transformatoren, Schaltanlagen, Kabel) und Installation.
- Mittelspannungsabgänge: Ermittlung von Verstärkungsbedarfen unter Berücksichtigung von Gesamtleistung, n-1-Versorgung im Fehlerfall, Trassenkosten (50 % bestehende Rohrsysteme, 50 % Neuerschliessung) sowie Gebühren und Dienstbarkeiten.
- Annahmen: Reine Verkabelung; Orientierung an Erfahrungswerten für Kostenschätzungen.

Untersuchungsrahmen

Im Fokus liegen die Kosten für Transformatorenstationen und Niederspannungsanschlüsse, die Gesamtkosten der Mittelspannung inklusive Trassen, Rohrsysteme, Strassen- und Grünflächenbau, Gebühren und Dienstbarkeiten sowie eine Bewertung alternativer Massnahmen gegenüber einem konventionellen Ausbau.

Nicht im Rahmen der Fallstudie sind Hochspannungs- und Unterstationsausbauten (inkl. neuer MS-Abgangsfelder), Erzeugerseitiges Peak-Shaving durch PV oder Speicher sowie weitere Lastprognosen (elektrische Personenwagen, Wärmepumpen, Speicher-Arbitrage). Damit konzentriert sich die Analyse auf die MV/LV-Ebene, auf der sich Depot und Standortlasten unmittelbar abbilden.

Ladeverhalten der E-SNF

Zur Modellierung des erforderlichen Netzausbaus im BKW-Verteilnetz wurden die Datengrundlagen und Ergebnisse zum Ladeverhalten und Einsatz der E-SNF aus den drei Fallstudien für die Logistikunternehmen (AP3) zugrunde gelegt.



2.2.7 AP7: Ausbaustrategie für eine E-SNF Ladeinfrastruktur in der Schweiz

Im Rahmen von AP7 wurden die Ergebnisse der vorangegangenen Arbeitspakete zusammengeführt, übergeordnet diskutiert und zu einer kohärenten Ausbaustrategie für die öffentliche Ladeinfrastruktur für E-SNF in der Schweiz verdichtet. Ziel war es, auf Basis der in der Studie erarbeiteten quantitativen Grundlagen zentrale Handlungsfelder zu identifizieren und Empfehlungen für die Umsetzung abzuleiten.

Hierfür wurden mehrere projektgruppeninterne Workshops durchgeführt, in denen die Teilresultate konsolidiert und bewertet wurden. Ergänzend wurden die Ergebnisse der Begleitgruppe vorgestellt, um eine breite fachliche Diskussion zu ermöglichen und die Perspektiven aller beteiligten Akteure einzubeziehen.



2.3 Abgrenzung der Studie

Das Forschungsprojekt umfasst sämtliche Kategorien schwerer Nutzfahrzeuge (SNF) ab 3.5 Tonnen. In Anlehnung an die «Verkehrsperspektiven 2050» des ARE wird dabei zwischen folgenden Fahrzeugtypen unterschieden:

- Lastwagen ohne Anhänger (Lastensolo)
- Lastwagen mit wechselndem Anhängerbetrieb (Lastensolo/-zug)
- Sattelschlepper (Sattelzüge)

Im Fokus der Analyse stehen batterieelektrische SNF (E-SNF). Da ein breiter Konsens darüber besteht, dass die Zukunft des Strassengüterverkehrs batterieelektrisch sein wird, wurden weitere alternative Antriebstechnologien wie Brennstoffzellefahrzeuge in den Flottenprojektionen nicht berücksichtigt. Für die Modellierung wurde davon ausgegangen, dass Ersatzinvestitionen für konventionelle Dieselfahrzeuge künftig durch E-SNF erfolgen. Entsprechend basiert auch das binäre Logit-Modell zur Untersuchung der Kaufentscheidung von Logistikunternehmen gemäss Kapitel 2.2.5 bzw. Anhang A ausschliesslich auf der TCO-Berechnung von E- und D-SNF.

Für die Abschätzung des Ladebedarfs und des damit einhergehenden Ladeinfrastrukturbedarfs wurden die territorialen Gesamtfahrleistungen berücksichtigt, d. h. sämtliche Fahrleistungen, die auf dem Schweizer Strassennetz erbracht werden. Um einem unterschiedlichen Ladeverhalten der inländischen und ausländischen Fahrzeuge Rechnung zu tragen, wurde dabei nach Immatrikulation differenziert. Bei den ausländischen Fahrzeugen wurde zusätzlich eine Differenzierung nach Verkehrsart vorgenommen (Import-/Export- und Transitverkehr), da sich das Ladeverhalten zwischen Fahrzeuge im Import-/Export- sowie Transitverkehr ebenfalls unterscheiden kann.

Hinsichtlich der Ladeart wurde zwischen folgenden Kategorien differenziert:

- öffentliches Megawattladen (bis 1'000 kW)
- öffentliches Schnellladen (100 – 400 kW)
- Depotladen (bis 100 kW)

Der Ladeinfrastrukturbedarf wurde für diese Ladearten quantifiziert. Aspekte wie das Teilen von Depotladeinfrastruktur (Depot-Sharing) oder das Laden an Logistik-Hubs wurden qualitativ berücksichtigt.

Der gewählte Modellansatz zielt zudem darauf ab, die wesentlichen Faktoren quantitativ abzubilden, die den Markthochlauf von E-SNF und damit den damit verbundenen Ladeinfrastrukturbedarf beeinflussen. Dazu zählen insbesondere die Entwicklung von Batterie- und Energiepreisen, die Investitionskosten für Depotinfrastruktur sowie regulatorische Faktoren wie die LSVA und eine mögliche Abgabe auf Elektrofahrzeuge. Nicht Bestandteil der quantitativen Analyse sind hingegen die CO₂-Emissionsvorschriften für SNF, die den Markthochlauf ebenfalls wesentlich beeinflussen dürften. Dieses Instrument wurden im Rahmen des Projekts auf qualitativer Ebene diskutiert. Eine vertiefte quantitative Untersuchung der Auswirkungen der CO₂-Emissionsvorschriften könnte Gegenstand weiterführender Arbeiten sein.



3 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die in den Arbeitspaketen AP1 bis AP4 erarbeiteten fachlichen Grundlagen dokumentiert. Sie bilden die Basis für die Ableitung der Modellinputs, welche im Rahmen des in AP5 entwickelten Modells zur Abschätzung des Markthochlaufs und des damit verbundenen Ladeinfrastrukturbedarfs verwendet werden.

3.1 Zukünftige Entwicklung des Strassengüterverkehrs

Die künftige Entwicklung des Strassengüterverkehrs wird im Wesentlichen durch übergeordnete gesellschaftliche und wirtschaftliche Trends bestimmt – insbesondere durch das Bevölkerungswachstum und die wirtschaftliche Entwicklung. Die Verkehrsperspektiven 2050 (VP-2050) des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE) bilden diese Entwicklungen in verschiedenen Szenarien zur künftigen Transport- und Fahrleistung des Strassengüterverkehrs ab. Für die vorliegende Analyse wurde auf das Szenario BASIS abgestützt.

Ausgangspunkt bildet die territoriale Gesamttransportleistung der SNF in der Schweiz in Milliarden Tonnenkilometern untersucht. Sie entspricht der Summe der von inländischen und ausländischen Fahrzeugen transportierten Güter, multipliziert mit der auf dem Schweizer Straßennetz zurückgelegten Strecke.

Die Ergebnisse zeigen bis 2050 ein durchschnittliches jährliches Wachstum der Transportleistung von rund 0.6 % – von etwa 17.5 Mrd. Tonnenkilometern im Jahr 2025 auf rund 20 Mrd. Tonnenkilometer im Jahr 2050. Dieses Wachstum wird zu etwa gleichen Teilen vom Binnenverkehr sowie vom Import- und Exportverkehr getragen, während der Transitverkehr bis 2050 weitgehend konstant bleibt.

Wie bereits in Kapitel 2.2.1 beschrieben, erscheinen die in den VP-2050 prognostizierten Fahrleistungen für SNF unplausibel hoch.

Gemäss den VP-2050 liegt die territoriale Gesamtfahrleistung der SNF im Jahr 2025 bei rund 2.66 Mrd. Fahrzeugkilometern. Demgegenüber betragen die effektiven Werte gemäss der Gütertransportstatistik GTS-E24 des BFS in der jüngeren Vergangenheit 2.25 Mrd. Fahrzeugkilometer im Jahr 2022 und 2.20 Mrd. im Jahr 2023.

Damit liegt der Prognosewert der VP-2050 für 2025 rund 20 % über dem tatsächlichen Wert von 2023. Ein derartiges Wachstum – +20 % innert zwei Jahren, entsprechend einem durchschnittlichen jährlichen Wachstum von etwa 9 % – erscheint äusserst unrealistisch, zumal die historische Entwicklung der Fahrleistungen zwischen 1993 und 2023 lediglich ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 0.33 % aufweist.

Vor diesem Hintergrund wurden die VP-2050-Werte nach unten korrigiert. Für das Jahr 2025 wurde eine territoriale Fahrleistung von 2.22 Mrd. Fahrzeugkilometern angenommen, die bis 2050 auf rund 2.54 Mrd. Fahrzeugkilometer ansteigt (vgl. Abbildung 3-1).



Der Anteil der ausländischen Fahrzeuge liegt im Jahr 2025 bei rund 20 % und bleibt bis 2050 nahezu konstant.

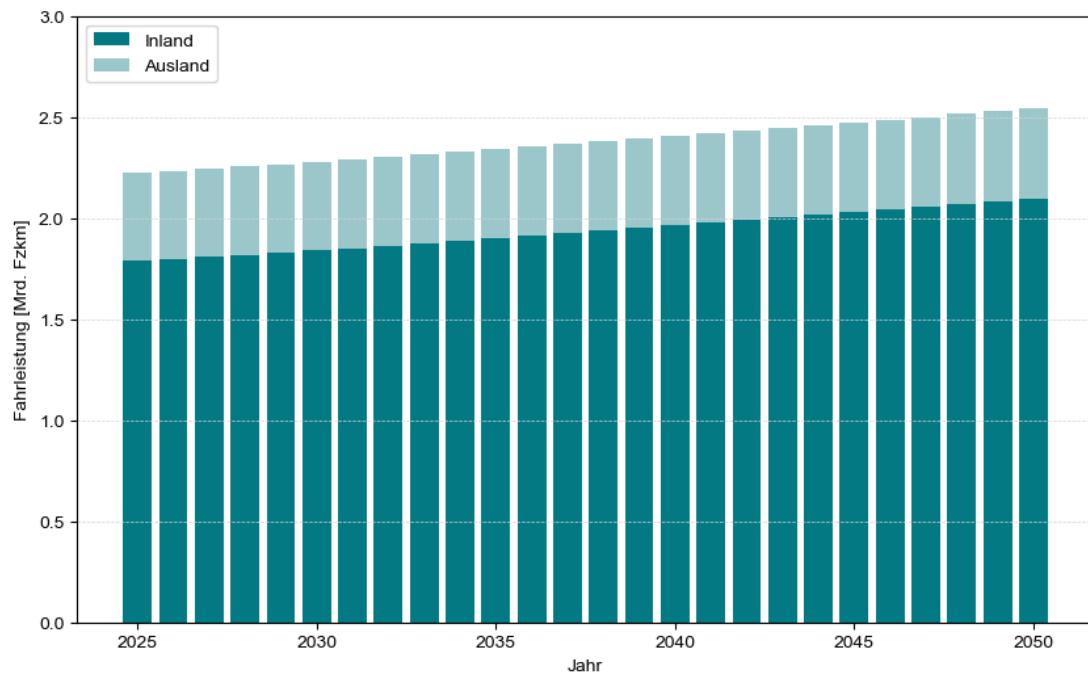


Abbildung 3-1: Entwicklung der SNF-Fahrleistung nach Immatrikulation

Entsprechend der angepassten Fahrleistungen wurden auch die Belastungswerte – also die Anzahl schwerer Nutzfahrzeuge pro Tag und Strassenabschnitt – nach unten korrigiert.

Abbildung 3-2 zeigt die resultierenden Verkehrsbelastungen im Jahr 2050 entlang der Schweizer Nationalstrassen für den Gesamtverkehr (grau) sowie für den Transitverkehr (rot).

Der Transitverkehr wird in der Abbildung gesondert ausgewiesen, da er für die Abschätzung des künftigen Bedarfs an öffentlicher Ladeinfrastruktur von besonderem Interesse ist.

Entlang der Hauptverkehrsachse Bern – Zürich verkehren täglich bis zu 10'000 schwere Nutzfahrzeuge, wobei die Transitanteile mit rund 100 Fahrzeugen pro Tag vergleichsweise gering sind. Auf der zentralen Transitachse Basel–Chiasso liegen die Belastungen zwischen 2'000 und 3'000 Fahrzeugen pro Tag im Abschnitt Chiasso – Luzern, wovon etwa 1'200 bis 1'400 Fahrzeuge dem Transitverkehr zuzurechnen sind. Zwischen Luzern und Basel beträgt die Gesamtbelaestung 3'000 bis 7'000 Fahrzeuge pro Tag, wobei der Transitverkehr rund 1'000 bis 1'200 Fahrzeuge umfasst.

Diese Größenordnungen erscheinen plausibel im Vergleich zu den Daten des Bundesamts für Strassen (ASTRA) aus der Schweizerischen automatischen Strassenverkehrszählung (SASVZ), welche die wöchentliche Verkehrsentwicklung abbildet.

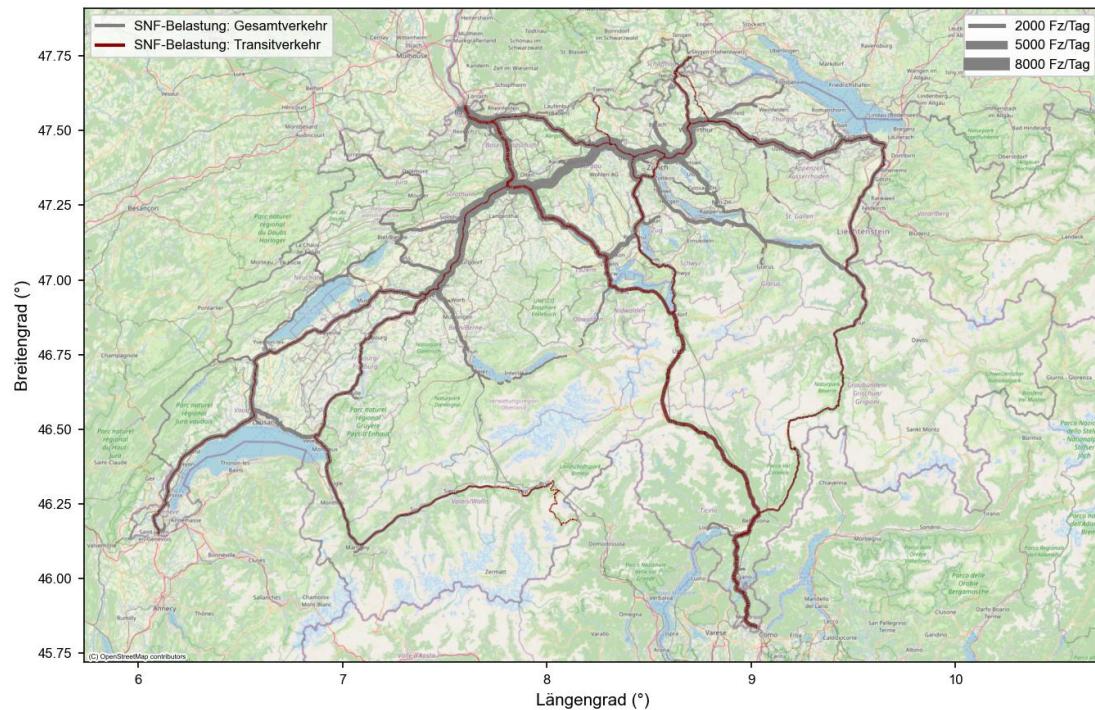


Abbildung 3-2: Tägliche SNF-Verkehrsbelastung auf dem Nationalstrassennetz entlang der Transitrouten im Jahr 2050

Weiter wurde auf Grundlage der in Kapitel 2.2.1 beschriebenen Methodik sowie der anhand der Abschätzungen zu den künftigen Transport- und Fahrleistungen die Entwicklung der Neuzulassungen und des Bestands der SNF bis 2050 abgeschätzt.

Die Entwicklung der jährlichen Neuzulassungen ist in Abbildung 3-3 dargestellt. Für das Jahr 2025 ergeben die Analysen rund 4'500 neu zugelassene Fahrzeuge, deren Zahl bis 2050 auf etwa 5'300 ansteigt.

Unter Berücksichtigung der Ausserverkehrsetzungen auf Basis der modellierten Überlebenswahrscheinlichkeiten ergibt sich daraus ein Gesamtbestand von rund 56'000 SNF im Jahr 2025, der bis 2050 auf etwa 66'000 Fahrzeuge anwächst (vgl. Abbildung 3-4).

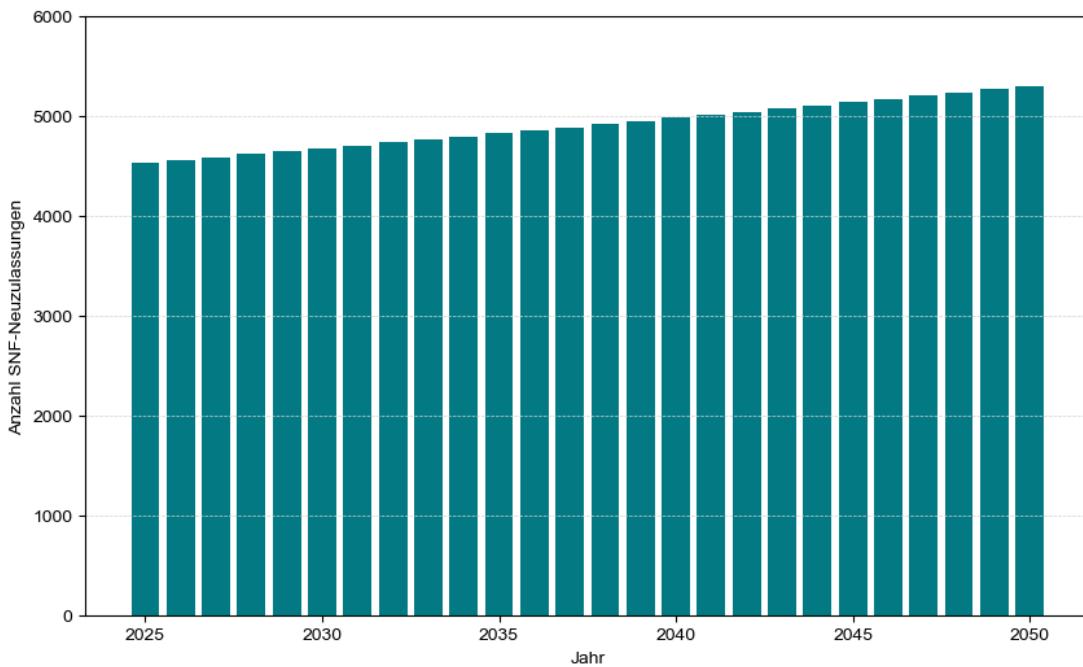


Abbildung 3-3: Entwicklung der SNF-Neuzulassungen

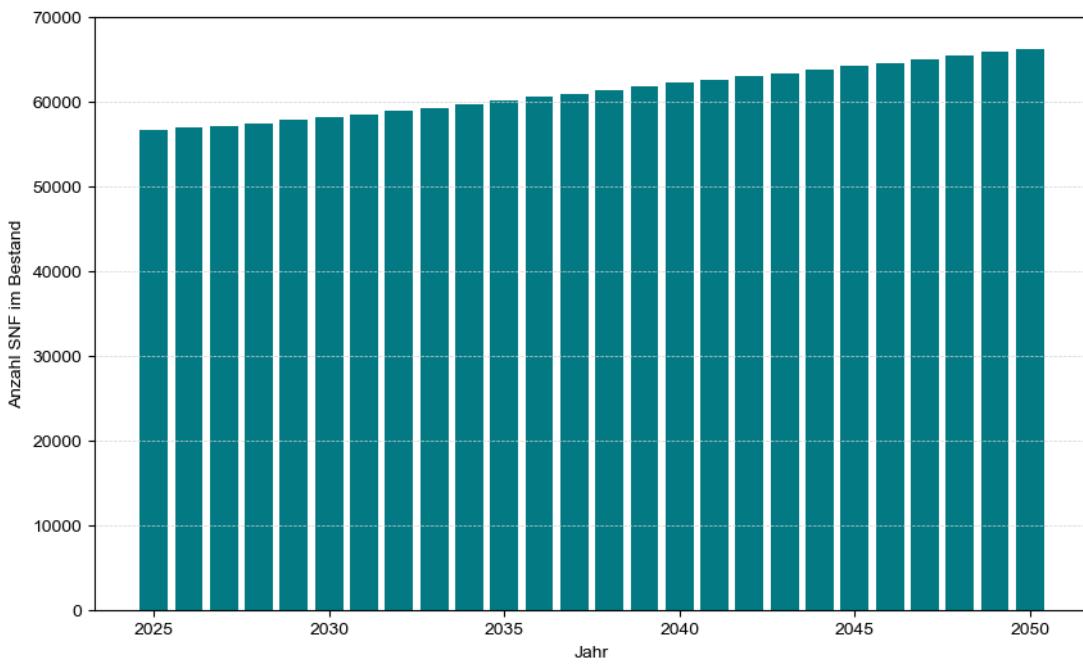


Abbildung 3-4: Entwicklung des SNF-Bestands



3.2 Technologische Entwicklung Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur

Auf technologischer Seite findet derzeit sowohl in technischer Hinsicht als auch mit Blick auf die Kosten eine dynamische Entwicklung statt.

Kapitel 3.2.1 gibt einen Überblick über die technologische Entwicklung von Batterien und die zu erwartenden Kostenverläufe, da diese das Herzstück der Elektrofahrzeuge und deren wichtigster Kostentreiber beim Anschaffungspreis darstellen. Zudem werden die Ergebnisse einer spezifischen Fallstudie zur Abschätzung der Batterierestwerte vorgestellt.

Kapitel 3.2.2 widmet sich der Entwicklung der Ladeinfrastruktur, die zunehmend in Richtung DC-Grid-Systeme geht. Dabei wird gezeigt, welche Möglichkeiten solche Systeme gegenüber konventionellen stationären Ladestationen bieten und welche Rolle diese bei der Elektrifizierung insbesondere grosser Logistikstandorte spielen werden.

3.2.1 Fahrzeuge: Batterietechnologien- und Kosten

Weltweit wird derzeit intensiv an neuen Batterietechnologien geforscht, wobei hohe Unsicherheiten hinsichtlich ihrer künftigen Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Kostenentwicklungen bestehen. Diese Unsicherheiten sind unter anderem auf den raschen technologischen Fortschritt, geopolitische Einflüsse sowie veränderte Marktbedingungen zurückzuführen. Insbesondere bestehen starke Abhängigkeiten von China, das entlang der gesamten Batteriewertschöpfungskette – von der Rohstoffverarbeitung bis zur Zellproduktion – eine dominante Marktposition einnimmt und damit auch die Preisbildung massgeblich beeinflusst.

Hinsichtlich der Batterietechnologien werden derzeit vor allem Lithium-Ionen-Batterien (LIB) eingesetzt – sowohl im Personenwagenbereich als auch bei schweren Nutzfahrzeugen.

Die derzeit am weitesten verbreiteten **Zellchemien** sind:

- Nickel-Mangan-Kobalt (NMC)
- Lithium-Nickel-Cobalt-Aluminium-Oxid (NCA)
- Lithium-Eisenphosphat (LFP)
- Lithium-Titanat-Oxid (LTO)

Zur Beurteilung, welche Batterietechnologie sich für welchen Anwendungszweck eignet, werden üblicherweise folgende zentrale Leistungskennzahlen (Key Performance Indicators, KPI) herangezogen:

- **Gravimetrische Energiedichte:** Energiemenge, die eine Zelle im Verhältnis zu ihrem Gewicht speichern kann (Einheit: [Wh/kg])
- **Volumetrische Energiedichte:** Energiemenge, die eine Zelle im Verhältnis zu ihrem Volumen speichern kann (Einheit: [Wh/L])
- **Lebensdauer:** Anzahl vollständiger Lade- und Entladezyklen, bis die verbleibende Kapazität unter 80 % der ursprünglichen Kapazität fällt



- **Ladeleistung:** Geschwindigkeit, mit der eine Batterie wiederaufgeladen werden kann (Einheit: [kW])
- **Kosten:** Preis pro gespeicherter Energieeinheit, gemessen in USD pro Kilowattstunde (Einheit: [USD/kWh])

Abbildung 3-5 zeigt die Bewertung dieser vier oben aufgeführten Batterietechnologien im Hinblick auf ihre Eignung für den Einsatz in E-SNF entlang der zuvor beschriebenen KPI.

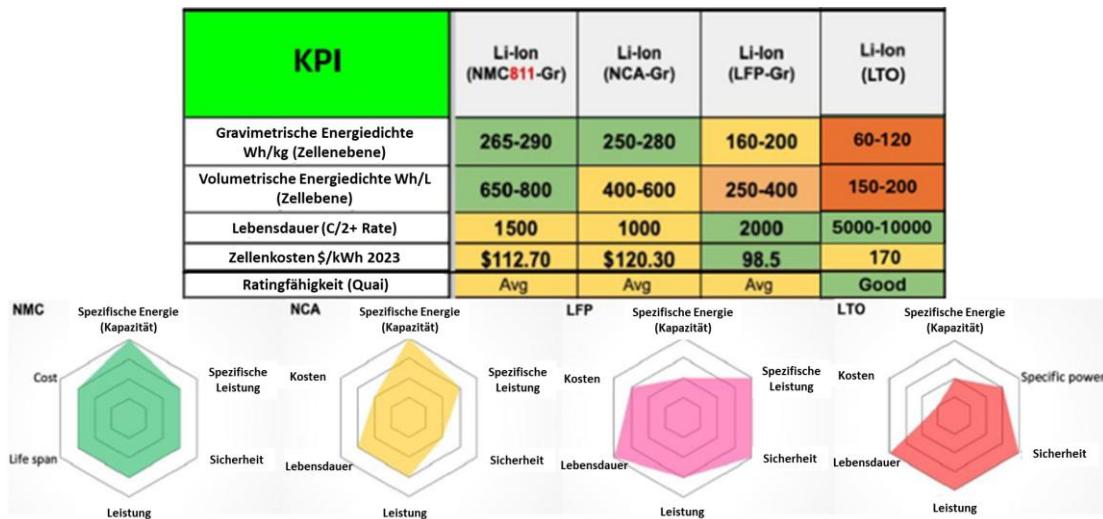


Abbildung 3-5: KPI-Vergleich zwischen derzeit verbreiteten LIB¹⁶

Dabei wird deutlich, dass sich insbesondere NMC- und LFP-Batterien für die Anwendung in E-SNF gut eignen. NMC-Batterien zeichnen sich durch hohe gravimetrische und volumetrische Energiedichten aus und eignen sich daher besonders für Fahrzeuge im Langstreckenbetrieb, bei denen eine hohe Reichweite entscheidend ist. LFP-Batterien hingegen überzeugen durch ihre hohe Lebensdauer und vergleichsweise niedrigen Kosten, was sie insbesondere für Kurz- und Mittelstreckenanwendungen prädestiniert.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen aus internationalen Untersuchungen der letzten Jahre.¹⁷ Auch die Marktanalyse der aktuell produzierten E-SNF bestätigt dieses Bild: Praktisch alle grossen Hersteller setzen derzeit entweder auf NMC- oder LFP-Batterien, während NCA-Batterien deutlich weniger und LTO-Batterien gar nicht eingesetzt werden (vgl. SNF Hersteller BYD, Geely, VW/Traton, Hyundai, Mercedes-Benz in Abbildung 3-6).

¹⁶ Endo; Kaufmann; Schmuck; u. a. (2024)

¹⁷ Endo; Kaufmann; Schmuck; u. a. (2024); Volta Foundation (2023); (2024)

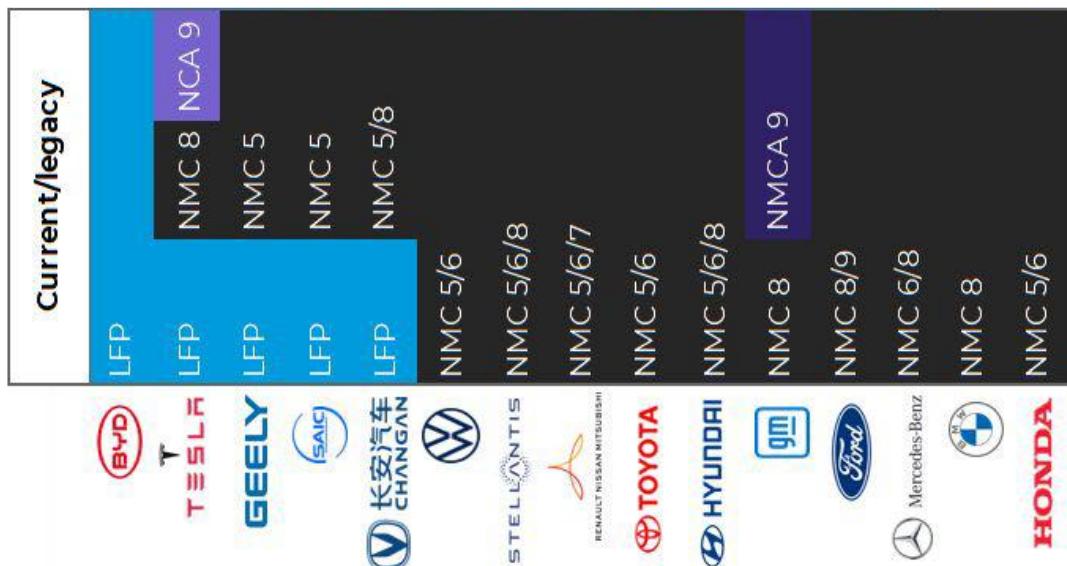


Abbildung 3-6: Derzeit in E-SNF verwendete LIB-Technologien nach Hersteller¹⁸

Ergänzend wurden auch weitere Batterietechnologien – darunter Festkörperbatterien (auf Basis von Lithiumoxiden oder -sulfiden), Lithium-Schwefel-Batterien (Li-Sulfur), Lithium-Silikon-Batterien (Li-Silicon) sowie Magnesium-Ionen-Batterien (MIB) – entlang derselben Leistungsindikatoren (KPI) bewertet (vgl. Abbildung 3-7).¹⁹ Die Ergebnisse zeigen, dass diese alternativen Technologien künftig insbesondere im Hinblick auf die Energiedichten ein hohes Potenzial aufweisen. Sie befinden sich allerdings derzeit noch in der Entwicklungs- bzw. Pilotphase, wobei deren Marktreife für die breite Anwendung in E-SNF nach wie vor mit viel Unsicherheit behaftet ist. Kurz- bis mittelfristig bleiben daher Lithium-Ionen-Batterien, insbesondere die Varianten NMC und LFP, die technologisch und wirtschaftlich am besten geeignete Lösung für den Einsatz in E-SNF.

KPI longterm	LIB	Li-Oxide SSB	Li-Sulfide SSB	Li-Sulfur	Li-Silicon	MIB
Gravimetrische Energiedichte Wh/kg (Zellenebene)	320-360	350-400	320-340	550	325-350	300-600
Volumetrische Energiedichte Wh/L (Zellebene)	800-960	~ 1000	~ 1000	700	750-900	400-750
Lebensdauer (C/2+ Rate)	> 2000	> 1000	No Data	> 500	500	> 2000
Zellenkosten \$/kWh 2023	45-90	65	> LIB	50	No Data	< 40
Ratingfähigkeit (Quai)	Good	Avg	Good	Avg	Good	Good

Abbildung 3-7: KPI-Vergleich zwischen künftigen Batterietechnologien²⁰

¹⁸ Volta Foundation (2023)

¹⁹ Endo; Kaufmann; Schmuck; u. a. (2024)

²⁰ Endo; Kaufmann; Schmuck; u. a. (2024)



In der Folge wurden die Kostenentwicklungen der beiden relevanten Zellchemien NMC und LFP vertieft untersucht. Dabei zeigen sich deutliche Preisunterschiede zwischen den Weltregionen (vgl. Abbildung 3-8). So liegen die Zellpreise für NMC-Batterien in Europa derzeit rund 52 % höher als in China, während LFP-Zellen etwa 26 % teurer sind. In der Schweiz fällt die Preisdifferenz nochmals grösser aus, was zum einen auf höhere Transport- und Logistikkosten, zum anderen auf Importzölle und regulatorische Auflagen, aber auch auf die geringere Marktkonkurrenz in kleineren Märkten wie der Schweiz, die weitgehend auf Importe angewiesen sind, zurückzuführen ist. Darüber hinaus unterscheiden sich die effektiven Beschaffungspreise auf Unternehmensebene teils erheblich, da sie stark vom Beschaffungsvolumen, der Verhandlungsmacht sowie den Lieferbeziehungen zu asiatischen Zellherstellern abhängen. Insgesamt bleibt somit das Preisniveau für Batteriezellen in Europa deutlich über jenem in Asien.

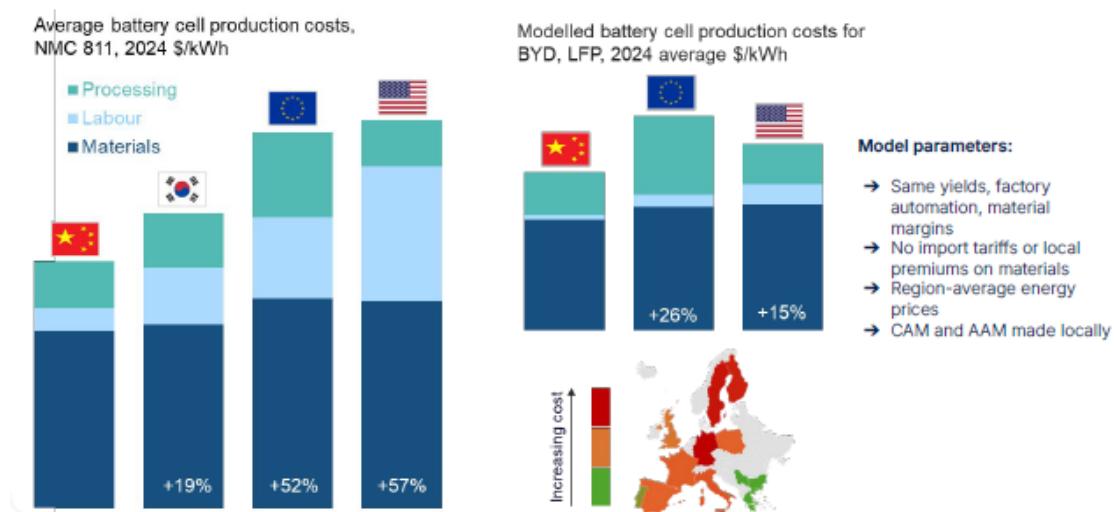


Abbildung 3-8: Relativ-Vergleich der Batteriepreise zwischen China (Referenz), USA und der EU²¹

Hinsichtlich der Wettbewerbsfähigkeit zwischen NMC- und LFP-Batterien zeigen die Analysen, dass die Produktion von LFP-Zellen in den letzten Jahren deutlich ausgebaut wurde. Dabei haben Überkapazitäten zu einem markanten Preisrückgang geführt, was zu einem besseren Preis-Leistungsverhältnis gegenüber NMC-Batterien führt.

Es ist davon auszugehen, dass LFP-Batterien ihre Kostenvorteile gegenüber NMC-Zellen in den kommenden Jahren weiter ausbauen werden. Hinzu kommt, dass bei LFP-Technologien künftig mit weiter steigenden Energiedichten zu rechnen ist, wodurch sie auch in leistungintensiveren Anwendungen wie dem Langstreckenbetrieb von E-SNF zunehmend konkurrenzfähig werden. Mittel- bis langfristig kann daher die LFP-Technologie gegenüber der NMC-Technologie als vorteilhafter angesehen werden.

Vor diesem Hintergrund wurde für die TCO-Analysen im Rahmen dieser Studie vereinfacht angenommen, dass alle Fahrzeugsegmente bis 2050 mit LFP-Batterien ausgerüstet sind.

²¹ CRU Group (2025)



Abbildung 3-9 zeigt die prognostizierte Entwicklung der LFP-Preise auf Batteriepack-Ebene für drei Szenarien – pessimistisch, Basis und optimistisch – um der hohen Unsicherheit bei der Prognose von Batteriepreisen Rechnung zu tragen. Die Preise beziehen sich auf Konsumentenpreise auf Packebene für den Schweizer Markt, welche aus einer Studie für Europa abgeleitet wurden.²² Vor dem Hintergrund, dass weitere internationale Quellen (z.B. BloombergNEF für die USA) von wesentlich tieferen Batteriepreisen ausgehen, sind die hier aufgeführten Szenarien für die Schweiz als konservativ einzustufen.²³ Um der hohen Unsicherheit bei der Prognose der Batteriepreise zu begegnen, wurde die Sensitivität des Markthochlaufs in Bezug auf die Entwicklung der Batteriepreise im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse vertieft untersucht (vgl. Kapitel 4.2.2).

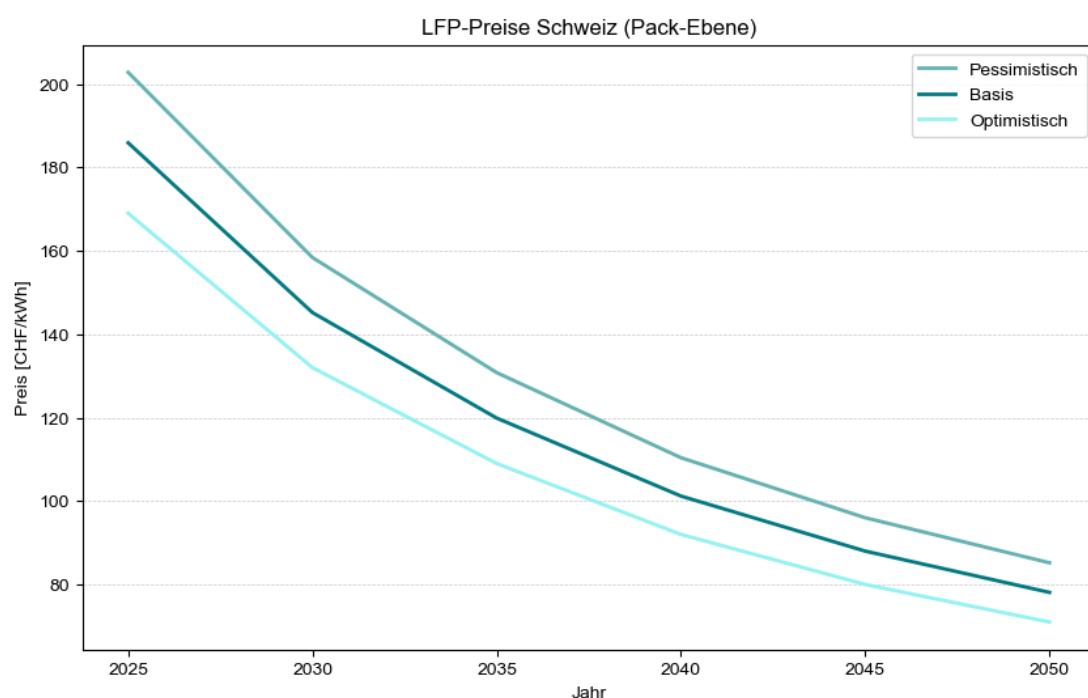


Abbildung 3-9: Szenarien für die künftige Entwicklung der LFP-Batteriepreise (Pack-Ebene)

Fallstudie zur Bestimmung der Batterierestwerte

Zur Abschätzung der Batterierestwerte am Ende der Erstnutzungsdauer der Fahrzeuge wurde eine Fallstudie durchgeführt. Dabei wurde für drei repräsentative Anwendungsfälle – Kurzstrecke, Mittelstrecke und Langstrecke – simuliert, wie die Batterien im Laufe der Nutzungszeit altern und welchen Einfluss dies auf den Restwert hat (vgl. Kapitel 2.2.2, «Methodik»).

²² Mauler; Duffner; Zeier; u. a. (2021)

²³ BloombergNEF: <https://about.bnef.com/insights/commodities/lithium-ion-battery-pack-prices-see-largest-drop-since-2017-falling-to-115-per-kilowatt-hour-bloombergnef/>



Als technische Grundlage der Simulationen diente ein SNF von Designwerk (MID CAB 4x2R) mit einem zulässigen Gesamtgewicht von 10 Tonnen. Für die Kurz- und Mittelstreckenanwendung wurde eine Ausstattung mit zwei 170-400-L-Modulen angenommen, was einer Gesamtkapazität von 340 kWh entspricht. Für die Langstreckenanwendung wurde ein Batteriekonfiguration bestehend aus zwei 250-400-Modulen mit einer Gesamtkapazität von 508 kWh unterstellt.

Als Grundlage für die Anwendungsfälle dienten drei reale, repräsentative Fahrprofile, die im Rahmen der Fallstudien mit den Logistikunternehmen (AP3) ausgewählt wurden. Diese Fahrprofile enthalten GPS-basierte Daten zu sämtlichen Start- und Stopp-Positionen sowie den jeweiligen Zeitpunkten der Fahrten. Auf dieser Grundlage wurden mit dem BFH-EV-Modell generische Geschwindigkeits- und Beschleunigungsprofile erstellt. Daraus liessen sich der Strombedarf, die Entladeströme (C-Rate), der Leistungsbedarf sowie der Ladezustand der Batterie (State of Charge, SoC) über den zeitlichen Verlauf simulieren. In den Simulationen wurden zusätzlich Nebenverbraucher berücksichtigt, etwa ein hypothetisches Kühlssystem des Anhängers, Hilfsaggregate, Bordnetzverbraucher oder andere konstante Leistungsaufnahmen in der Höhe von 1.5 kW. Deren Einfluss ist insbesondere in Phasen erkennbar, in denen das Fahrzeug still steht ($v = 0$). Alle Geschwindigkeits-, Beschleunigungs- und Leistungsprofile der drei Anwendungsfälle sind im Anhang B dokumentiert. Schliesslich wurden auf Basis der Leistungsprofile und des daraus abgeleiteten Energiebedarfs die Batteriealterung und Leistungsdgradation mithilfe des Open-Sesame-Battery-Modells analysiert. Dieses open-source Modell prognostiziert die Batteriedegradation auf Grundlage der realen Nutzungsdaten der Fahrzeuge (weitere Details diesem Modell vgl. Kapitel 2.2.2, «Methodik»).

Die Simulationen wurden für den technologischen Stand im Jahr 2025 und im Jahr 2030 durchgeführt, um die erwarteten technologischen Fortschritte in der Batteriezellchemie und den damit verbundenen Leistungssteigerungen abzubilden.

Tabelle 3-1 zeigt die modellierte Entwicklung der nutzbaren Restkapazität der Batterie – dargestellt als State of Health (SoH) – nach acht Jahren Betrieb sowie die prognostizierte Zeitdauer, bis ein SoH von 75 % erreicht wird. Dieser Wert gilt in der Regel als untere Grenze für den wirtschaftlichen Ersteinsatz und markiert somit den Zeitpunkt, ab dem eine Batterie typischerweise ersetzt oder einer Zweitnutzung (Second Life) zugeführt wird.

Dabei zeigt sich deutlich, dass die Batteriedegradation stark vom Einsatzzweck abhängt. Im Langstreckenbetrieb wird die 75 %-Schwelle in der Simulation 2025 rund drei Jahre früher erreicht als im Kurzstreckenbetrieb. Ursache dafür ist die höhere jährliche Fahrleistung und die damit verbundene grössere Anzahl an Ladezyklen, die zu einer beschleunigten Alterung führt.

Tabelle 3-1: Entwicklung des State-of-Health der Batterien für verschiedene Einsatzarten

Jahr 2025	Kurzzstrecke	Mittelstrecke	Langstrecke
SoH nach 8 Jahren	80.1 %	79.4 %	73 %
Jahre bis 75% SoH	10.5 Jahre	9.5 Jahre	7.5 Jahre



Abbildung 3-10 illustriert die Entwicklung der Batteriedegradation exemplarisch am Beispiel der Mittelstreckenanwendung. Dargestellt sind sowohl der Verlauf des State of Health (SoH) (blau) als auch der daraus abgeleitete Restwert der Batterie (orange) über einen Zeitraum von acht Jahren. In beiden Fällen verläuft die Entwicklung annähernd linear. Die entsprechenden Abbildungen für Kurz- und Langstreckenanwendungen, jeweils für die Jahre 2025 und 2030, sind im Anhang B enthalten.

Die Ergebnisse zeigen, dass auch nach acht Jahren Betrieb bei den meisten Anwendungen ein relevanter Restwert der Batterie verbleibt. Besonders bei Kurz- und Mittelstreckenanwendungen eröffnet dies Potenzial für eine Zweitnutzung (Second-Life-Anwendungen), etwa als stationärer Energiespeichersysteme. Im Langstreckenbetrieb fällt die Lebensdauer zwar etwas kürzer aus, jedoch liegt der SoH auch hier nach acht Jahren nur leicht unter 75 %, sodass eine Weiterverwendung grundsätzlich weiterhin möglich ist.

Darüber hinaus kann die Lebensdauer künftiger Batteriesysteme durch den Einsatz von intelligenten Ladealgorithmen (Smart Charging) tendenziell verlängert werden.

Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Grundlage für die Modellierung der TCO von E-SNF im Rahmen der Markthochlaufanalysen.

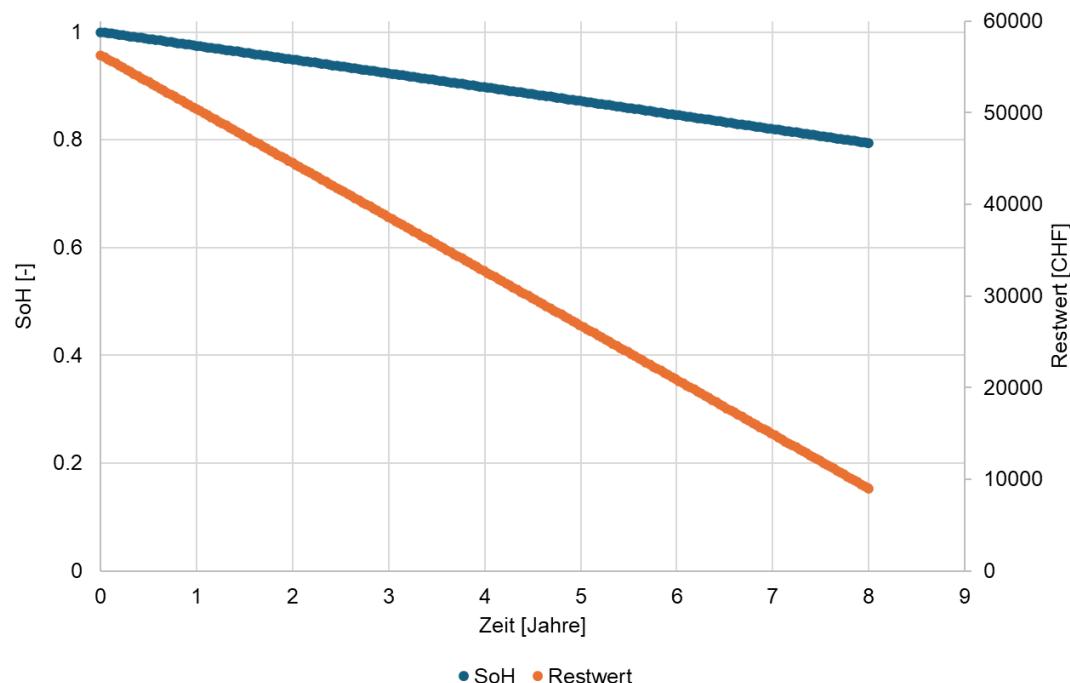


Abbildung 3-10: Batteriealterung und Restwert als Funktion der Zeit, Mittelstreckenanwendung, Jahr 2025



3.2.2 Ladeinfrastruktursysteme

Zukünftige Ladesysteme im Depot: Das DC-Grid System

Die klassische Gebäudeverkabelung basiert auf Wechselstromsystemen (AC) mit standardisierten Netzspannungen von 230/400 Volt. Diese Technologie ist weit verbreitet, normativ gut etabliert und bietet eine hohe Kompatibilität mit konventionellen Verbrauchern sowie bewährten Schutzsystemen. Wechselstromnetze eignen sich insbesondere für die Versorgung variabler Lasten und die elektrische Energieübertragung über grössere Distanzen. In modernen Anwendungen entstehen jedoch zunehmend energetische Ineffizienzen, da viele Endgeräte intern mit Gleichstrom (DC) betrieben werden. Die wiederholte Umwandlung zwischen AC und DC führt zu erhöhten Energieverlusten, einem komplexeren Systemdesign und zusätzlichen Investitionskosten für Wandlungskomponenten.

Ein Gleichstromnetz stellt in diesem Kontext eine technisch und energetisch effizientere Alternative dar. Es ermöglicht die direkte Verbindung von DC-Verbrauchern und -Erzeugern, wodurch Konversionsverluste vermieden und Systemkomponenten eingespart werden können. Besonders in Gebäuden mit dezentraler Energieerzeugung und stationären Speichersystemen vereinfacht ein DC-Netz die Energieflüsse und erhöht die Gesamteffizienz des Versorgungssystems.

In einer Studie der Hochschule Luzern wurde der Energieverbrauch eines DC-Gebäudenetzes mit dem eines konventionellen AC-Netzes verglichen.²⁴ Im Rahmen eines konkreten Bürogebäudes konnte durch die Umstellung auf ein DC-Netz eine Reduktion der elektrischen Leistungsverluste um 22 % sowie eine Einsparung von 35 % beim Kupferbedarf erzielt werden. Diese Effizienzgewinne resultieren aus dem Wegfall mehrerer Wandlungsstufen zwischen AC und DC, der direkten Versorgung von Verbrauchern und der optimierten Integration von Photovoltaikanlagen und Batteriespeichern.

Das Gleichstromnetz für die Ladeinfrastruktur arbeitet typischerweise in einem Spannungsbereich von 1'000 bis 1'500 VDC. Diese hohe Spannungsebene ermöglicht auf dieser Basis Ladeleistungen im Megawattbereich, wie sie auch für Schnellladung im Nutzfahrzeugbereich Anwendung finden kann.

Insgesamt stellt das Gleichstromnetz – insbesondere in Kombination mit optimierter Leitungsführung und intelligenten Energieverschiebungskonzepten – eine zukunftsweisende Alternative zur konventionellen AC-Verkabelung dar. Es bietet das Potenzial, Energieflüsse zu optimieren, die Anzahl der notwendigen Wandlungskomponenten zu reduzieren und die Integration moderner Technologien wie bidirektionaler Ladeinfrastruktur, Vehicle-to-Grid und netzkoppelter Speicherlösungen sowohl technisch als auch wirtschaftlich zu verbessern.

²⁴ Ristova; Wicki (2025)



Vor diesem Hintergrund wurde in dieser Studie ein DC-basiertes Ladeinfrastruktursystem für die Berechnung der Ladeinfrastrukturkosten im Rahmen der TCO-Analysen hinterlegt. Dabei handelt es sich um das System von «eLoaded», zu welchem reale Kostendaten zur Verfügung standen.²⁵ Dabei wurden sämtliche relevanten Hardwarekomponenten berücksichtigt – darunter Gleichrichtereinheiten, Kabel, Rückkühler, Ladepunkte sowie die Montage, Inbetriebnahme und Betriebskosten.

Zukünftige Ladesysteme an öffentlichen Standorten

Mit dem Megawatt Charging System (MCS) steht für den elektrischen Strassengüterverkehr ein technologischer Fortschritt bevor. Das CharIN Whitepaper 2.0 (2025) beschreibt Ladeleistungen bis 4.5 MW sowie neue Kommunikationsarchitekturen (ISO 15118-20, Ethernet-basierte Interoperabilität).²⁶

Die Schweizer Praxis bestätigt diesen Wandel: Im Sommer 2025 wurde im Rahmen eines Forschungsprojekts mit der Berner Fachhochschule (BFH) erstmals eine Ladeleistung von über 1.1 MW pro E-SNF erreicht.

²⁵ Details zum DC-System von eLoaded sind verfügbar unter: <https://www.eloaded.eu/de/neu/>

²⁶ CharIN (2025)



3.3 Fallstudien «Depot-Ladeinfrastrukturbedarf»

Insgesamt wurden drei Fallstudien mit den Logistikunternehmen Planzer, Schöni und Krummen Kerzers durchgeführt. Jedes Unternehmen erhielt einen separaten Bericht mit sämtlichen Auswertungen. In diesem Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der drei Fallstudien zusammenfassend dargestellt.

Die Struktur des Kapitels orientiert sich dem in Kapitel 2.2.3 «Methodik» beschriebenen Vorgehen zur Erarbeitung der Fallstudien, das sich in fünf aufeinander aufbauende Schritte gliedert:

- In Kapitel 3.3.1 wird die Elektrifizierbarkeit der Fahrzeuge im Hinblick auf die jeweiligen Einsatzprofile beschrieben (Schritte 1 und 2).
- Kapitel 3.3.2 behandelt die Ergebnisse zum Depot-Ladeinfrastrukturbedarf (Schritt 3).
- In Kapitel 3.3.3 werden die Möglichkeiten der Energiebeschaffung im Depot (Schritt 4) sowie die damit einhergehenden Kosten (Schritt 5) aufgezeigt. Wie in Kapitel 2.2.3 erläutert, wurde für die Bewertung der Gesamtkosten der Fahrzeuge der Logistikunternehmen die allgemeinen TCO-Analysen herangezogen, welche für die Markthochlaufmodellierung im Rahmen des Gesamtprojekts erarbeitet wurden. Aus diesem Grund werden die Ergebnisse der TCO-Analysen nicht in diesem Kapitel, sondern im Rahmen der Hauptergebnisse der Studie in Kapitel 4.1 dargestellt, wo sie in die Modellierung des Markthochlaufs der E-SNF einfließen.

3.3.1 Fahrzeugeinsätze und Elektrifizierbarkeit

Zur Beurteilung der Elektrifizierbarkeit der Fahrzeuge und zur Ableitung verschiedener Migrationspfade hin zu einer elektrifizierten Flotte wurden die Fahrprofile der Fahrzeuge der drei Logistikunternehmen detailliert ausgewertet. Ziel war es, zu analysieren, wann und wo die Fahrzeuge typischerweise im Einsatz sind, wie ihre Einzugsgebiete aussehen und inwieweit gleiche Fahrzeuge regelmässig auf denselben Routen eingesetzt werden – also wie hoch die Planbarkeit der Fahrzeugeinsätze ist. Diese Analysen liefern zugleich Hinweise auf den potenziellen Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur, insbesondere bei unregelmässigen oder langen Einsatzmustern.

Zur Analyse wurden die Fahrprofile räumlich ausgewertet. Exemplarisch zeigt die nachfolgende Abbildung 3-11 die räumliche Verteilung der gefahrenen Etappen eines Fahrzeugs der Planzer-Flotte über einen Zeitraum von einem Monat. Das Home-Depot in Dietikon ist mit einem Haussymbol markiert. Die Auswertung zeigt, dass das Fahrzeug regelmässig über weite Distanzen in die Westschweiz bis ins Wallis eingesetzt wird. Das daraus resultierende Einzugsgebiet ist entsprechend gross. Trotz dieser weiten räumlichen Ausdehnung weist das Fahrverhalten klare Muster auf: Die Routen ähneln sich stark, und bestimmte Zielstandorte werden regelmässig und wiederkehrend angefahren.

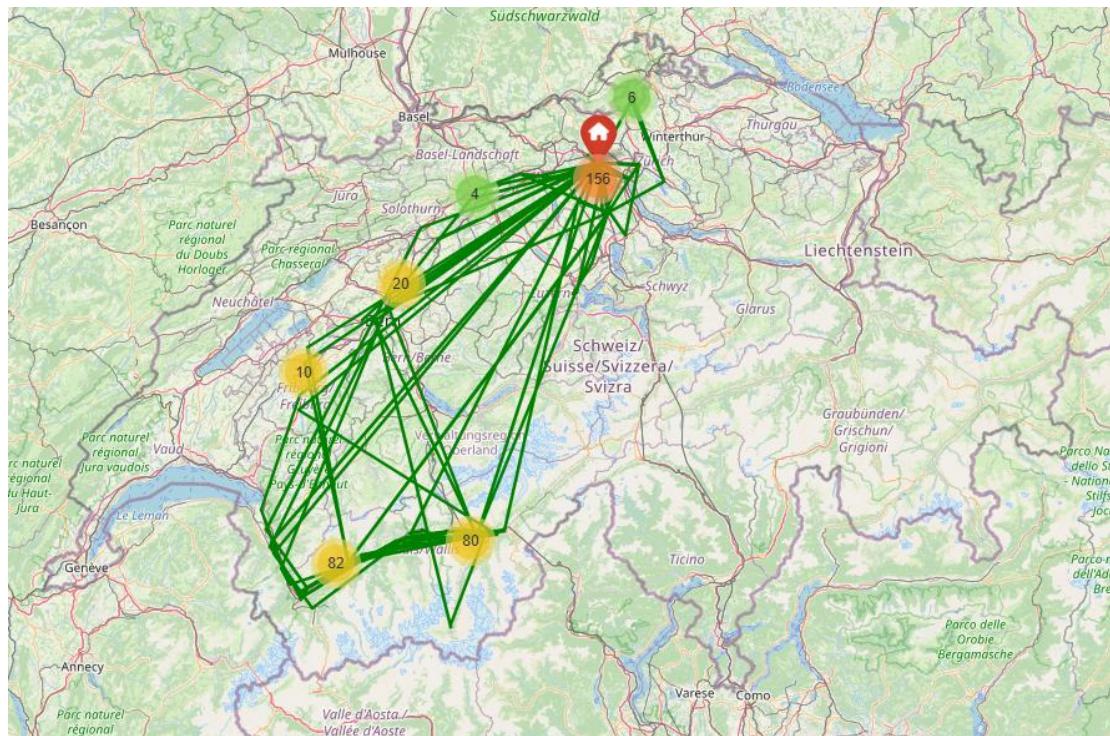


Abbildung 3-11: Etappen eines Planzer-Fahrzeugs über einen Monat

Die Auswertungen über alle drei Fallstudien hinweg zeigen, dass die Fahrzeuge mehrheitlich nach festen Mustern eingesetzt werden. In der Regel übernehmen sie wiederkehrende Einsätze auf denselben Routen und für ähnliche Transportzwecke, was auf eine hohe Planbarkeit und Stabilität der Fahrzeugeinsätze hinweist.

Es gibt jedoch auch Ausnahmen, bei denen Fahrzeuge täglich in unterschiedliche Richtungen unterwegs sind und somit ein variableres Einsatzprofil aufweisen. Solche Fahrzeuge sind tendenziell schwerer zu elektrifizieren, da ihre Einsatzplanung weniger standardisiert ist und damit flexiblere Ladeoptionen erfordert.

Darauf aufbauend wurden die Haltestandorte der Fahrzeuge analysiert. Abbildung 3-12 zeigt exemplarisch die Auswertung für dasselbe Planzer-Fahrzeug wie in der vorherigen Darstellung der Fahrstrecken. Dabei wurde zwischen kurzen Pausen von 0.5 bis 2 Stunden (Tassensymbol) und längeren Pausen von mehr als 2 Stunden (Bettensymbol) unterschieden. Graue Punkte markieren die eigenen Logistikstandorte des Unternehmens.

Auf dieser Grundlage konnte einerseits die Planbarkeit der Fahrzeugeinsätze vertieft untersucht werden, indem Ankunfts wahrscheinlichkeiten für die jeweiligen Haltestandorte berechnet wurden – also die Wahrscheinlichkeit, mit der ein Fahrzeug zu einer bestimmten Stunde an einem Standort eintrifft. Andererseits erlaubt die Analyse eine Abschätzung des Bedarfs an öffentlicher Ladeinfrastruktur, da sich daraus erkennen lässt, wann und wo Fahrzeuge regelmäßig ausserhalb der eigenen Standorte Pause machen.



Die Auswertungen der drei Fallstudien zeigen, dass viele Fahrzeuge regelmässig an denselben Standorten halten. Die zeitliche Analyse zeigt dabei, dass tagsüber häufige, aber kurze Stopps bei Kundinnen und Kunden erfolgen – deren Dauer und Zeitpunkt teilweise aber auch stark variiert.

Abends kehren die Fahrzeuge in den gleichen Stunden in ihre Depots zurück, wodurch ausreichend lange und planbare Ladefenster für das Übernachtladen zur Verfügung stehen. Das Depotladen über Nacht stellt somit den zentralen und betrieblich am besten planbaren Ladefall dar.

Insgesamt zeigt sich eine hohe Regelmässigkeit und Planbarkeit der Einsätze, was auf bereits heute gut optimierte Fahrzeugeinsätze hinweist und eine günstige Ausgangslage für die Elektrifizierung der Flotten schafft.

Die Auswertungen zeigen, dass der Anteil der Energie, der an öffentlichen Ladestationen bezogen werden muss, zwischen 5 % und maximal 10 % liegt. Die Tendenz ist dabei rückläufig, da mit den in Kapitel 3.2.1 beschriebenen technologischen Fortschritten – insbesondere der steigenden Energiedichte der Batterien – auch die elektrische Reichweite der Fahrzeuge zunimmt.

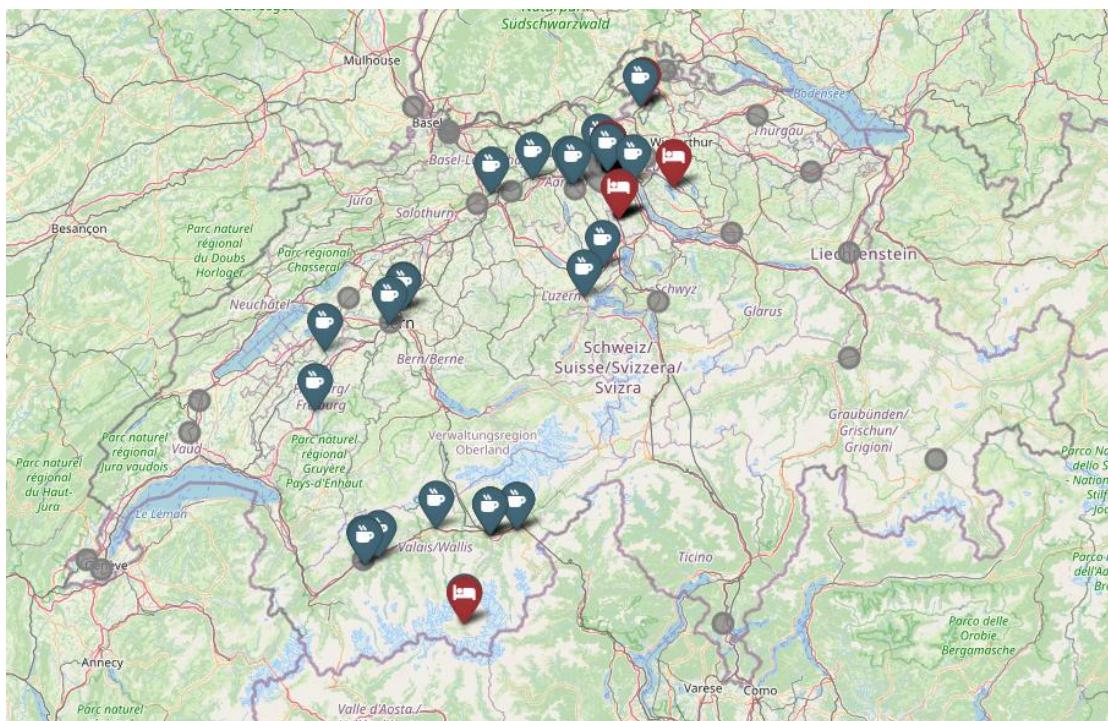


Abbildung 3-12: Haltestandorte eines Planzer-Fahrzeugs



3.3.2 Ladeinfrastrukturbedarf

Auf Grundlage des täglichen Energiebedarfs der Fahrzeuge sowie der berechneten Ankunfts-wahrscheinlichkeiten und Verweildauern im Depot wurde zunächst der Energiebedarf in den Depots abgeschätzt. Anschliessend wurden die Ladevorgänge der Fahrzeuge simuliert, wodurch Leistungs- und Lastprofile entstanden, aus denen sich wiederum die erforderliche Anzahl Ladepunkte bzw. das Verhältnis von Fahrzeugen zu Ladepunkten ableiten liess.

Aus betrieblicher Sicht wäre dabei eine 1:1-Zuordnung (ein Ladepunkt pro Fahrzeug) ideal, da sie Rangieraufwand vermeidet. Aus Kostensicht ist dies jedoch nicht optimal, da Ladeinfrastruktur hohe Investitionskosten verursacht.

Die Zahl der aus energetischer Perspektive benötigten Ladepunkte hängt im Wesentlichen von der gleichzeitig anwesenden Anzahl E-SNF im Depot sowie deren mittlerer Standzeit ab. Die Analysen haben dabei gezeigt, dass sich durchschnittlich drei bis vier Fahrzeuge einen **100 kW-Ladepunkt** teilen können, womit der Energiebedarf der Fahrzeuge im Depot vollständig gedeckt werden kann. Die Auswertungen haben gezeigt, dass in vielen Fällen auch weniger als 100 kW pro Ladepunkt ausreichen würden. Wird der Fokus auf die Optimierung der Ladeinfrastrukturstarken gelegt, bietet sich ein Verhältnis von fünf Fahrzeugen pro Ladepunkt (5:1) an. Soll hingegen der betriebliche Aufwand reduziert werden, ist ein Verhältnis von drei Fahrzeugen pro Ladepunkt (3:1) vorzuziehen.

Im Rahmen der TCO-Analysen zur Modellierung des Markthochlaufs wurden die Ladeinfrastrukturstarken anteilig auf Fahrzeugebene umgelegt (siehe Details zum TCO-Framework in Anhang A). Als Basisszenario wurde dabei entsprechend der hier aufgeführten Resultate ein Verhältnis von vier Fahrzeugen pro Ladepunkt (4:1) gewählt, da dieses einen guten Kompromiss zwischen Kosten und betrieblichem Aufwand darstellt. Im Rahmen von Sensitivitätsanalysen (vgl. Anhang C) wurde zusätzlich untersucht, wie sich alternative Verhältnisse von 3:1 (Szenario «Betriebsoptimiert») und 5:1 (Szenario «Kostenoptimiert») auf die TCO und damit auf den Markthochlauf der E-SNF auswirken.

3.3.3 Energiebeschaffung und Reduktion von Energiekosten

Ausgehend vom ermittelten Energiebedarf in den Depots stellt sich die Frage, wie diese Energiemengen künftig bereitgestellt werden können.

Grundsätzlich wäre es möglich, den gesamten Energiebedarf klassisch über den lokalen Energieversorger zu decken. Die im Rahmen der Untersuchung des Depot-Ladeinfrastrukturbedarfs erstellten Lastprofile zeigen jedoch, dass beim gleichzeitigen Laden mehrerer Fahrzeuge hohe Lastspitzen entstehen können. Diese erfordern entsprechend leistungsfähige Netzanschlüsse, was erhebliche Investitionen in die Netzinfrastruktur zur Folge haben kann.

Hinzu kommt, dass viele Energieversorgungsunternehmen bei unausgeglichenen Lastprofilen zusätzliche Leistungstarife oder höhere Netznutzungskosten erheben. Parallel dazu ist in den letzten Jahren ein kontinuierlicher Anstieg der Energiepreise zu beobachten (vgl. Kapitel 3.3.3).



Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, welche alternativen Energieversorgungslösungen geeignet sind, um die Abhängigkeit vom Netzbezug zu reduzieren und die Energiekosten zu senken. Dabei standen insbesondere zwei Optionen im Fokus:

- die Eigenstromerzeugung durch Photovoltaikanlagen (PV), und
- der Einsatz stationärer Energiespeichersysteme (BESS), mit denen sich der Eigenverbrauchsanteil erhöhen und Lastspitzen glätten lassen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Nutzen von PV stark vom Standort und den Fahrprofilen bzw. Aufenthaltszeiten der Fahrzeuge in den Depots abhängt. Grundsätzlich zeigte sich dabei in allen untersuchten Fällen, dass der Autarkiegrad – also der Anteil des gesamten Energiebedarfs der E-SNF, der direkt durch PV-Strom gedeckt werden kann – relativ gering ausfällt.

Ursache dafür ist die zeitliche Verschiebung zwischen Erzeugungs- und Lastprofil: wie die Auswertungen der Fahrprofile gezeigt haben, finden Ladevorgänge hauptsächlich in den Nachtstunden statt, während die PV-Erzeugung tagsüber erfolgt. In den analysierten Depots lag der PV-Autarkiegrad daher zwischen 3 % und 15 %.

Werden die PV-Anlagen mit stationären Energiespeichersysteme (BESS) ergänzt, kann sowohl der Eigenverbrauchsanteil erhöht als auch die Wirtschaftlichkeit der PV-Stromnutzung verbessert werden. Der erreichbare Autarkiegrad hängt dabei wesentlich von der Dimensionierung dieser Speicher ab. Ziel ist eine kostenoptimale Auslegung, bei der die Summe aus Energiekosten und Investitionskosten in die Speichersysteme minimiert wird.

Die Analysen haben dabei gezeigt, dass sich mit dem Einsatz von wirtschaftlich optimal dimensionierten BESS die jährlichen Stromkosten in den Depots je nach Nutzungssituation um 15 % (bei höherem Tagesladeanteil) bis zu 90 % (im optimalen Fall, bei überwiegender Nachtladung der Fahrzeuge) senken lassen. Damit besitzt die Ausstattung der Depots mit PV- und Speichersystemen ein erhebliches Potenzial, die TCO der E-SNF-Flotten signifikant zu reduzieren.

Darüber hinaus trägt der Einsatz von stationären Speichern auch zur Reduktion der erforderlichen Netzzuschlussleistung bei: Die Investitionskosten für den Netzausbau konnten in den untersuchten Fällen um 25 % bis 55 % verringert werden.



3.4 Politische Instrumente und Anreizsysteme

Dieses Kapitel liefert einen Überblick über aktuelle und geplante politische Instrumente und Anreizsysteme, die einen besonderen Einfluss ausüben auf die Elektrifizierung des Strassenverkehrs in der Schweiz bzw. auf die Wirtschaftlichkeit und Attraktivität von E-SNF. Die Tabelle 3-2 liefert einen tabellarischen Überblick über die Instrumente. Der anschliessende Beschrieb der Instrumente konzentriert sich auf jene Aspekte, die für SNF bzw. E-SNF von Bedeutung sind.

Tabelle 3-2: Politische Instrumente und Anreizsysteme mit besonderer Relevanz für E-SNF

Ebene	Geltung Schweiz	Anreizwirkung auf E-SNF	
Abgaben			
Leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA)	Bund	Vorschlag des Bundesrates (Botschaft): ab 2029	Negativ
Abgabe auf der Fahrleistung von Elektrofahrzeugen / Steuer auf den Ladestrom für Elektrofahrzeuge	Bund	Vorschlag des Bundesrates (Vernehmlassung): ab 2030 bzw. ab 2035	Negativ
Weitere Instrumente mit Wirkung auf die Energiepreise			
Kompensationsaufschlag auf fossile Treibstoffpreise	Bund	In Kraft bis Ende 2030	Positiv
Emissionshandelssystem für Gebäude und Verkehr	Bund	Angekündigt: ab 2031 (Vernehmlassung geplant 2026)	Positiv
Vorschriften			
CO ₂ -Emissionsvorschriften für SNF	Bund	In Kraft	Positiv
Förderung (direkt und indirekt)			
Förderung von Ladeinfrastrukturen über das Klima- und Innovationsgesetz (KIG)	Bund	In Kraft bis Ende 2030	Positiv
CO ₂ -Kompensationsprogramm für SNF	Bund	In Kraft	Positiv
Kantonale Förderinstrumente und steuerliche Anreize	Kantone	Je nach Kanton	Positiv
Freiwillige Instrumente			
Roadmap Elektromobilität 2030	Bund	2026–2030	Positiv
Entwicklungen in der EU			
Weiterentwickelte CO ₂ -Emissionsvorschriften für SNF	EU	Möglich: autonome bzw. analoge Einführung in der Schweiz z. B. ab 2031	Positiv
Alternative Fuel Infrastructure Regulation (AFIR)	EU	Ohne direkte Pflichten für die Schweiz	Positiv
EU-Emissionshandelssystem 2 (EU-EHS 2)	EU	Ohne direkte Pflichten für die Schweiz	Positiv

Anmerkung zur Anreizwirkung auf E-SNF: Obwohl nur die Weiterentwicklung der LSVA und die Abgabe auf Elektrofahrzeuge eine negative Anreizwirkungen auf die TCO bzw. den Markthochlauf der E-SNF haben, ist die Wirkung dieser zwei geplanten Instrumente besonders hoch. Die Wirkung dieser beiden Instrumente wird in der vorliegenden Studie deshalb zusätzlich quantitativ untersucht (vgl. Kapitel 4.2.2 und 4.2.4).



3.4.1 Weiterentwicklung der LSVA

Geltende LSVA

Die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) ist eine Abgabe für den Schwerverkehr auf der Strasse in der Schweiz. Sie dient dazu, die durch andere Leistungen oder Abgaben nicht gedeckten Infrastrukturkosten und die Kosten zulasten der Allgemeinheit des Schwerverkehrs zu decken. Die Abgabe ist ein wichtiges Element der schweizerischen Verlagerungspolitik: Mit der LSVA soll gemäss Artikel 1 SVAG (Bundesgesetz über eine leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe, SR 641.81) ein Beitrag geleistet werden, um die Rahmenbedingungen der Schiene im Transportmarkt zu verbessern und die Güter vermehrt mit der Bahn zu befördern.

Die LSVA ist international über das Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Gemeinschaft über den Güter- und Personenverkehr auf Schiene und Strasse (Landverkehrsabkommen, SR 0.740.72)²⁷ abgesichert. Die wichtigsten landesrechtlichen Grundlagen für die LSVA sind Artikel 85 BV (Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, SR 101), das SVAG und die SVAV (Schwerverkehrsabgabeverordnung, SR 641.811).

Die LSVA muss für alle in- und ausländischen Motorfahrzeuge und deren Anhänger entrichtet werden, die ein zulässiges Gesamtgewicht von mehr als 3.5 Tonnen aufweisen, dem Gütertransport dienen, im In- und Ausland immatrikuliert sind und das öffentliche Strassennetz der Schweiz befahren (Art. 3 SVAG).²⁸ Gewisse Fahrzeuge sind gänzlich von der Abgabe befreit, darunter elektrisch angetriebene Fahrzeuge (Art 2 Abs. 1 SVAV). Schwere Fahrzeuge für den Personentransport, z.B. Busse, sind von der leistungsabhängigen Abgabe ausgenommen und bezahlen gemäss Artikel 3 SVAV eine pauschale Schwerverkehrsabgabe (PSVA).

Die zu zahlende LSVA berechnet sich anhand von folgenden drei Elementen (Art. 6 SVAG, Art. 8 SVAV):

- Anzahl der gefahrenen Kilometer
- Maximal zulässiges Gesamtgewicht des Fahrzeugs

²⁷ Abkommen vom 21. Juni 1999 zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Gemeinschaft über den Güter- und Personenverkehr auf Schiene und Strasse

²⁸ Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit BAZG (2025)



- Zusätzlich kann die Abgabe emissions- oder verbrauchsabhängig erhoben werden. Hierbei gilt aufgrund der übergeordneten Vorgabe aus Artikel 40 des Landverkehrsabkommens zwischen der Schweiz und der EU, dass die Fahrzeuge entsprechend ihrer Euro-Norm²⁹ in drei Abgabekategorien unterteilt werden müssen. Pro Abgabekategorie gilt ein eigener Tarif.

Der zu entrichtende LSVA-Betrag berechnet sich aus der Multiplikation der drei Elemente: LSVA = massgebendes Gewicht in Tonnen * gefahrene Kilometer * Tarif der Abgabekategorie.

Für die Festlegung der Höhe der LSVA-Tarife sind Artikel 40 und 42 des Landverkehrsabkommens zwischen der Schweiz und der EU zu beachten, die unter anderem Vorgaben an die maximal zulässige Gebühr und die Teuerungsanpassung beinhalten. Der gewichtete Durchschnitt der Gebühren darf demnach höchstens 325 CHF betragen für ein Fahrzeug, dessen tatsächliches Gesamtgewicht in beladenem Zustand nicht über 40 Tonnen liegt und das eine alpenquerende Strecke von 300 km zurücklegt. Die Gebühr für die Kategorie mit dem höchsten Verschmutzungsgrad darf nicht mehr als 380 CHF betragen. Diese beiden Höchstbeträge können gemäss Artikel 42 des Landverkehrsabkommens an die Teuerung angepasst werden, jeweils unter Berücksichtigung der in den letzten zwei Jahren in der Schweiz ermittelten Inflationsrate.³⁰ Darüber hinaus muss gemäss Artikel 40 des Landverkehrsabkommens die Differenz der Abgaben zwischen den einzelnen Abgabekategorien so gross wie möglich sein, darf aber 15 Prozent der gewichteten durchschnittlichen Abgabe nicht überschreiten.

Die heute geltenden LSVA-Tarife sind in der SVAV festgelegt. Sie können der nachfolgenden Tabelle entnommen werden.

Tabelle 3-3: Seit 1. Januar 2025 geltende Abgabesätze (Tarife) gemäss Artikel 8 SVAV

Abgabekategorie	Euro-Normen	Tarif
1	Euro-0 bis Euro-5	3.26 Rp/tkm
2	-	2.82 Rp/tkm
3	Euro-6	2.39 Rp/tkm

²⁹ Bei den Euro-Normen handelt es sich um die europäische Emissionsnormen. Sie legen die Höchstgrenzen für den Schadstoffausstoss von Verbrennerfahrzeugen fest (Personenkraftwagen, leichte Nutzfahrzeuge, Schwerverkehrsfahrzeuge und Motorräder). Es handelt sich dabei um Grenzwerte für die Emissionen von Stickoxiden (NOx), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffen (HC) und Partikeln. Nicht berücksichtigt wird der CO₂-Ausstoss, da dieses Gas in der europäischen Automobilgesetzgebung nicht als direkter Schadstoff betrachtet wird (Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 10).

³⁰ Der Bundesrat hat in seinem Bericht über die Verkehrsverlagerung vom 19. November 2025 dokumentiert, wann und wie die Schweiz und die EU von dieser Teuerungsanpassung Gebrauch gemacht haben (Schweizerischer Bundesrat (2025a), S. 47f.).



Mögliche nächste Anpassung der LSVA-Tarife an die Teuerung

Artikel 8 SVAG erlaubt es dem Bundesrat, die LSVA-Tarife an die Teuerung anzupassen. Zudem können die Schweiz und die EU basierend auf Artikel 42 des Landverkehrsabkommens die in Artikel 40 des Abkommens festgelegten maximal zulässigen Gebühren an die Teuerung anpassen. Zuletzt hat der Bundesrat mitgeteilt, dass er auf eine nächste unmittelbare Teuerungsanpassung bei den LSVA-Tarifen verzichte; er habe aber das im Landverkehrsabkommen vorgesehene Verfahren zur Anpassung der maximal zulässigen Gebühr an die Teuerung in der Höhe von 1.4 % eingeleitet.³¹

Weiterentwicklung der LSVA ab 2029 (Vorschlag des Bundesrats)

Am 28. Mai 2025 verabschiedete der Bundesrat eine Botschaft zur Revision des Schwerverkehrsabgabegesetzes (Weiterentwicklung der LSVA) zuhanden des Parlaments. Der Bundesrat schlägt vor, dass die von ihm vorgeschlagenen Änderungen ab 1. Januar 2029 umgesetzt werden.³² Das Geschäft befindet sich derzeit in parlamentarischer Beratung. Nachfolgend werden die wichtigsten Elemente der Vorlage erwähnt, welche insbesondere die E-SNF betreffen. Weil der Ausgang der parlamentarischen Beratung noch offen ist, wird vorliegend der Vorschlag des Bundesrates als Grundlage verwendet.

Die zentrale Neuerung, die der Bundesrat einführen will, ist die Integration der elektrisch angetriebenen Fahrzeuge in das Abgabesystem. Elektrisch angetriebene Fahrzeuge waren bisher von der LSVA ausgenommen.³³ Als elektrisch angetrieben werden dabei Fahrzeuge verstanden, die batterieelektrisch oder mit Wasserstoffbrennstoffzellen angetriebenen werden.³⁴ Da elektrisch angetriebene Fahrzeuge im Vergleich zu fossil angetriebenen Fahrzeugen tieferen externen Kosten erzeugen, sollen sie in die günstigste Abgabekategorie eingeteilt werden, d.h. in Abgabekategorie 3.³⁵

Um den Übergang zu einer elektrischen und umweltfreundlicheren Güterverkehrsflotte dennoch nicht zu bremsen, will der Bundesrat die Kompetenz erhalten, für die elektrisch angetriebenen Fahrzeuge ein Rabattsystem einzuführen. Diese Rabatte sollen für die Jahre 2029 – 2035 auf den Tarif der Abgabekategorie, in der sich diese Fahrzeuge befinden, angewendet werden. Während der Förderperiode ist eine stufenweise Abnahme der Rabatte angedacht. Bei der Festlegung der Höhe des Rabatts soll insbesondere der Anteil der neu in Verkehr gesetzten elektrisch angetriebenen schweren Motorfahrzeuge an den gesamthaft neu in Verkehr gesetzten schweren Motorfahrzeugen massgeblich sein.

³¹ Schweizerischer Bundesrat (2025a), S. 93

³² Schweizerischer Bundesrat (2025b)

³³ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 45f.

³⁴ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 15

³⁵ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 46



Der Bundesrat soll die Rabatte für elektrisch angetriebene Fahrzeuge vorzeitig aussetzen können, falls die Förderung im Rahmen der Dekarbonisierung des Verkehrs nicht mehr gerechtfertigt wäre.³⁶ Der höchstzulässige Rabatt, den der Bundesrat vorschlägt, soll im Gesetz geregelt werden.

Mit der Aufnahme der elektrisch angetriebenen Fahrzeuge in die LSVA sollen sich die sich momentan in der günstigsten Abgabekategorie befindlichen Euro-6-Fahrzeuge per 2029 von der günstigsten Abgabekategorie in die mittlere Abgabekategorie abklassiert werden.³⁷ Zudem sollen die Fahrzeuge, die der neuen Euro-7 Emissionsnorm entsprechen, ab 2029 ebenfalls in das LSVA-System einbezogen werden und in die mittlere Abgabekategorie eingeteilt werden. Die Euro-7-Fahrzeuge sollen in dieser mittleren Kategorie einen Rabatt erhalten können, so lange auch elektrisch angetriebenen Fahrzeuge in der günstigsten Kategorie einen Rabatt erhalten (d.h. bis spätestens Ende 2035).

Leichte Nutzfahrzeuge, die das maximal zulässige Gesamtgewicht von 3500 kg nur wegen des emissionsfreien Antriebs (Batterie oder Wasserstoff) um maximal 750 kg überschreiten, wären ab 2029 eigentlich LSVA-pflichtig. Sie sollen aber dauerhaft von der LSVA befreit werden.³⁸

Im Weiteren schlägt der Bundesrat vor, dass er neu regelmässig und jeweils sieben Jahre im Voraus kommunizieren muss, nach welchen Kriterien er die Abgabekategorien künftig definieren wird.³⁹

Annahmen in vorliegender Studie: Szenarien für die künftige Ausgestaltung der LSVA

Die vorliegende Studie beinhaltet drei Szenarien für die Weiterentwicklung der LSVA hinsichtlich der Ausgestaltung des Rabattsystems von E-SNF und der Euro-7-Fahrzeuge. Die drei Szenarien sind in nachfolgender Tabelle zusammengefasst und in der Abbildung 3-13 und Abbildung 3-14 visualisiert. Das Szenario Basis entspricht dabei dem oben beschriebenen Vorschlag des Bundesrats. Die Szenarien dienen in der vorliegenden Studie als Grundlage für die TCO-Analysen und die Markthochlaufprognosen (vgl. Kapitel 4.2). Entwickelt wurden die Szenarien in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Verkehr (BAV), dem federführenden Amt der Bundesverwaltung für die Weiterentwicklung der LSVA.

³⁶ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 47f.

³⁷ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 44, 46

³⁸ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 48f.

³⁹ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 47



Tabelle 3-4: LSQL-Szenarien für E-SNF sowie Euro-6- und 7-Fahrzeuge

Tarife in Rp./tkm	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035	2036
Szenario «Basis»								
Euro 6	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	3.26
Euro 7	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.82
E-SNF	0.72	0.96	1.20	1.43	1.67	1.91	2.15	2.39
Rabatt E-SNF	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	0%
Rabatt Euro 7	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	0%
Szenario «schnelle Einführung»								
Euro 6	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	3.26
Euro 7	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.82
E-SNF	0.72	1.08	1.43	1.67	1.91	2.15	2.27	2.39
Rabatt E-SNF	70%	55%	40%	30%	20%	10%	5%	0%
Rabatt Euro 7	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	0%
Szenario «langsame Einführung»								
Euro 6	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82	3.26
Euro 7	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.40	2.82
E-SNF	0.00	0.00	0.72	1.43	1.67	1.91	2.15	2.39
Rabatt E-SNF	100%	100%	70%	40%	30%	20%	10%	0%
Rabatt Euro 7	15%	15%	15%	15%	15%	15%	15%	0%

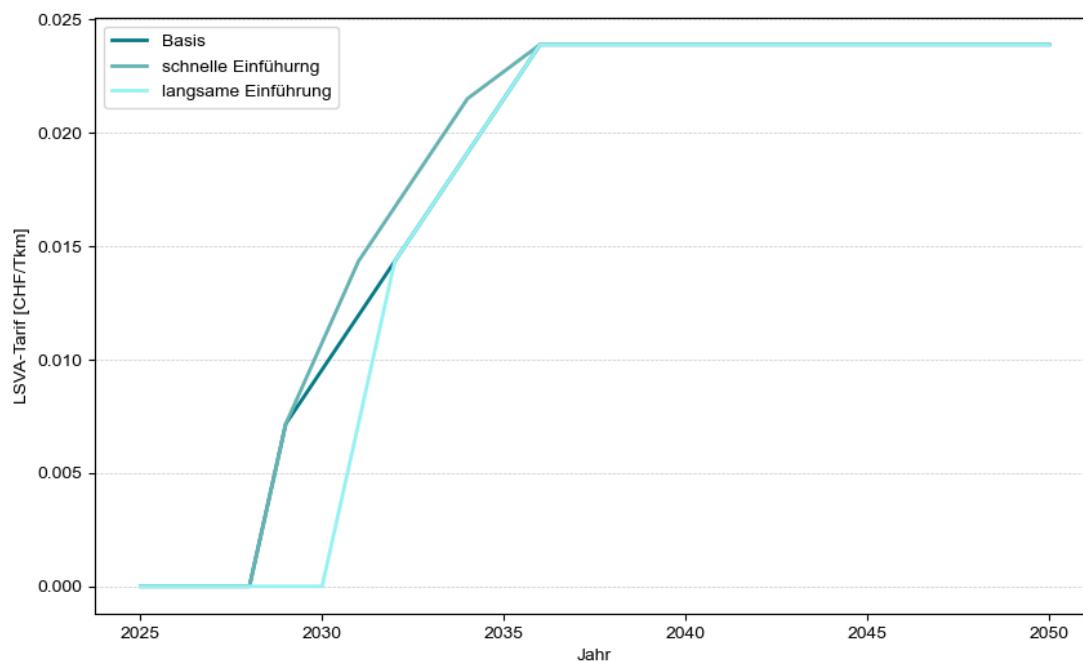


Abbildung 3-13: LSQL-Szenarien für E-SNF

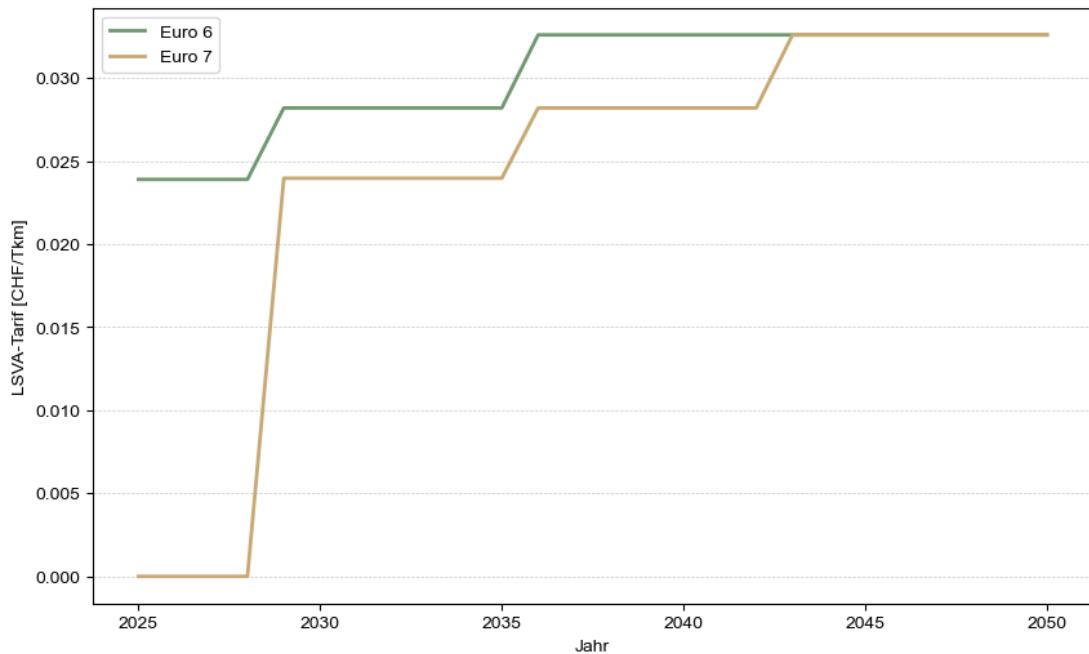


Abbildung 3-14: LSVA-Szenarien für Euro-6- und Euro-7-Fahrzeuge

Weitere mögliche LSVA-Anpassungen

Mit der erwarteten Elektrifizierung der Fahrzeuge wird die Tarifberechnung nach Euro-Schadstoffnormen für die LSVA künftig nicht mehr zielführend sein. Der Bundesrat erachtet als sinnvoll, einen Wechsel zu vollziehen: hin zu einer vorwiegend an Treibhausgasemissionen und Energieeffizienz orientierten Einteilung der Fahrzeuge. Aus Sicht des Bundesrats wäre es zudem von Vorteil, neu fünf anstatt drei Abgabekategorien zu führen.⁴⁰ Die Schweiz würde damit dem Prinzip folgen, das die EU bereits 2022 mit der Anpassung ihrer Eurovignetten-Richtlinie⁴¹ beschlossen hat: die Klassifizierung schwerer Nutzfahrzeuge nach ihren CO₂-Emissionen bei den Gebühren für den Schwerverkehr.⁴²

Das heute geltende Landverkehrsabkommen zwischen der Schweiz und der EU erlaubt eine solche LSVA-Anpassung allerdings nicht.⁴³ Die Schweiz hat im Rahmen der Verhandlungen für ein neues Vertragspaket mit der EU eine Anpassung des Landverkehrsabkommens ausgehandelt. Der Bundesrat hat diese Anpassung am 13. Juni 2025 gutgeheissen und eine Vernehmlassung eröffnet.⁴⁴

⁴⁰ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 30f.

⁴¹ Mit der Richtlinie (EU) 2022/362 hat die EU ihre Eurovignetten-Richtlinie (Richtlinie 1999/62/EG) angepasst.

⁴² Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 39ff.

⁴³ Schweizerischer Bundesrat (2025b), S. 44

⁴⁴ Schweizerischer Bundesrat (2025e)



Mit den Änderungen in Artikel 40 des Landverkehrsabkommens wäre es der Schweiz künftig möglich, die Anzahl der Abgabekategorien anzupassen und die LSVA-Tarife nach emissionsbasierter Kriterien (bspw. CO₂-Emissionen) oder verbrauchsorientierten Kriterien (bspw. Energieeffizienz)⁴⁵ zu differenzieren.⁴⁶ Die Änderung könnte auch mehr Flexibilität beim Gebührenterschied von einer LSVA-Kategorie zur anderen ermöglichen, da die bisherige Regelung in Artikel 40 des Landverkehrsabkommens, wonach der Unterschied 15 Prozent des gewichteten Durchschnitts der Gebühren nicht übersteigen darf, wegfällt.

Noch ist aber offen, ob und wann das angepasste Landverkehrsabkommen in Kraft treten wird. Der innenpolitische Entscheidungsprozess zur Genehmigung des Vertragspakets ist angelau-fen, er dürfte einige Zeit in Anspruch nehmen.

3.4.2 Abgabe auf Elektrofahrzeuge

Am 26. September 2025 hat der Bundesrat eine Vernehmlassung zu zwei Varianten für eine neue Abgabe auf Elektrofahrzeuge eröffnet.⁴⁷ Wann und in welcher Form die Abgabe eingeführt wird, hängt vom weiteren Rechtsetzungsprozess ab. Nachfolgend wird zusammengefasst, was die beiden Varianten gemäss der Vernehmlassungsvorlage für E-SNF bedeuten würden. Für E-SNF würde die Abgabe je nach Variante ab 2030 oder ab 2035 wirksam werden.

Hintergrund und Ziel der neuen Abgabe

Mit der zunehmenden Verbreitung von Elektrofahrzeugen sinken die Einnahmen aus den Mineralölsteuern auf fossile Treibstoffe. Das hat Folgen für die Finanzierung der Verkehrsinfrastruktur in der Schweiz: Die zweckgebundenen Mineralölsteuern sind die wichtigsten Einnahmequellen für die Finanzierung der Aufgaben und Aufwendungen des Bundes im Zusammenhang mit dem Strassenverkehr, namentlich für die Spezialfinanzierung Strassenverkehr (SFSV) und den Nationalstrassen- und Agglomerationsverkehrs-Fonds (NAF). Zudem fliesst ein Teil der Mineralölsteuereinnahmen (Grundsteuer) in den allgemeinen Bundeshaushalt.⁴⁸

Mit der neuen Abgabe auf Elektrofahrzeuge will der Bundesrat die Steuerausfälle kompensieren. Damit verfolgt er das Ziel, die Finanzierung der Aufgaben und Aufwendungen des Bundes im Zusammenhang mit dem Strassenverkehr sowie den Beitrag an den allgemeinen Bundeshaushalt langfristig sicherzustellen.⁴⁹

⁴⁵ Eine Differenzierung nach verbrauchsorientierte Kriterien würde einen Beschluss des Gemischten Ausschusses des Landverkehrsabkommens voraussetzen (Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten EDA (2025), S. 433)

⁴⁶ Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten EDA (2025), S. 432f.

⁴⁷ Schweizerischer Bundesrat (2025d)

⁴⁸ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanz-departement EFD (2025), S. 2

⁴⁹ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanz-departement EFD (2025), S. 2



a) Variante Fahrleistung: Abgabe auf der Fahrleistung von Elektrofahrzeugen

Tabelle 3-5: Abgabe auf Elektrofahrzeuge, Variante Fahrleistung – Geltung für E-SNF

Einführung der Abgabe	2030
Bemessungsgrundlage	Im Zollgebiet der Schweiz gefahrene Kilometer (km)
Tarifhöhe	<p>Die Tarifhöhe (Rp./km) ist abhängig vom Gesamtgewicht bzw. Gesamtzugsgewicht des Fahrzeugs und berechnet sich wie folgt:</p> $\text{Abgabtarif SNF-Gütertransport (Rp./km)} = 21.5 \text{ Rp.} + 0.0004354 \text{ Rp./kg} * (\text{Fahrzeuggesamtgewicht} - 33'200 \text{ kg})$ <p>Tabelle 3-6 illustriert die Tarife pro 1000 kg.</p> <p>Rein batterieelektrische Fahrzeuge zahlen 100 % des Tarifs, Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge zahlen 50 % des Tarifs.</p>

Die Variante Fahrleistung gilt für batterieelektrische Fahrzeuge und Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge. Der zu entrichtende Abgabebetrag bemisst sich nach der Anzahl der im Zollgebiet der Schweiz gefahrenen Kilometer. Die Höhe des Tarifs pro gefahrenen Kilometer ist abhängig von der Fahrzeugart (z. B. Personenwagen, Lastwagen) und dem Gesamtgewicht des Fahrzeugs.⁵⁰

Für die Nutzerin und den Nutzer eines konventionellen Fahrzeugs soll die Mobilität bei einem Wechsel auf ein Elektrofahrzeug weder verteuert noch verbilligt werden. Für die E-SNF hat der Bundesrat ein Tarifmodell entwickelt, bei dem der Tarif mit zunehmendem Gesamtgewicht bzw. Gesamtzugsgewicht steigt.⁵¹

Weil bei der Erhebung der fahrleistungsabhängigen Abgabe im Gegensatz zu den Mineralölsteuern keine Mehrwertsteuer anfallen wird, käme es beim Bund zu Einnahmeverlusten: Dies will der Bundesrat ausgleichen, indem die Abgabe um wenige Prozentpunkte höher ausfällt (Mehrwertsteueräquivalent).⁵²

Die anzuwendende Formel zur Berechnung des Abgabtarifs für SNF für den Gütertransport ist in Tabelle 3-5 ersichtlich. Die nachfolgende Tabelle 3-6 listet die Tarife der Variante Fahrleistung für die E-SNF auf.⁵³

⁵⁰ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanzdepartement EFD (2025), S. 3f.

⁵¹ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanzdepartement EFD (2025), S. 24f., 32f.

⁵² Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanzdepartement EFD (2025), S. 38f.

⁵³ Für rein batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge werden 100 Prozent des Tarifs pro Kilometer verrechnet. Für Plug-in-Hybrid-Fahrzeuge, die teilweise auch mit mineralölsteuerpflichtigen Treibstoffen angetrieben werden, gilt eine Tarifreduktion von 50 Prozent pro Kilometer (Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanzdepartement EFD (2025), S. 3)



Tabelle 3-6: Abgabe auf Elektrofahrzeuge, Variante Fahrleistung – Tarife für SNF (Gütertransport) pro 1000 kg⁵⁴

Gesamtgewicht (kg)	Tarif (Rp./km)	Tarif + MWST-Äquivalent (Rp./km)	Gesamtgewicht (kg)	Tarif (Rp./km)	Tarif + MWST-Äquivalent (Rp./km)
4'000	8.4	8.8	25'000	17.1	17.9
5'000	8.8	9.2	26'000	17.5	18.4
6'000	9.2	9.7	27'000	17.9	18.8
7'000	9.6	10.1	28'000	18.3	19.2
8'000	10.0	10.5	29'000	18.8	19.7
9'000	10.5	11.0	30'000	19.2	20.1
10'000	10.9	11.4	31'000	19.6	20.5
11'000	11.3	11.8	32'000	20.0	21.0
12'000	11.7	12.3	33'000	20.4	21.4
13'000	12.1	12.7	34'000	20.8	21.8
14'000	12.5	13.1	35'000	21.2	22.3
15'000	13.0	13.6	36'000	21.7	22.7
16'000	13.4	14.0	37'000	22.1	23.2
17'000	13.8	14.4	38'000	22.5	23.6
18'000	14.2	14.9	39'000	22.9	24.0
19'000	14.6	15.3	40'000	23.3	24.5
20'000	15.0	15.8	41'000	23.7	24.9
21'000	15.4	16.2	42'000	24.1	25.3
22'000	15.9	16.6	43'000	24.6	25.8
23'000	16.3	17.1	44'000	25.0	26.2
24'000	16.7	17.5			

b) Variante Ladestrom: Steuer auf dem Ladestrom für Elektrofahrzeuge

Tabelle 3-7: Abgabe auf Elektrofahrzeuge, Variante Ladestrom – Geltung für E-SNF

Einführung der Abgabe	2035
Bemessungsgrundlage	Menge der elektrischen Energie in Kilowattstunden, die beim Laden eines Elektrofahrzeugs verwendet wird (der Ladeeinrichtung zugeführte Strommenge in kWh).
Tarifhöhe	22.8 Rp./kWh (Einheitstarif)

⁵⁴ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanzdepartement EFD (2025), S. 157



Bei dieser Variante bemisst sich der zu entrichtende Steuerbetrag nach der Menge elektrischer Energie (kWh), die beim Laden eines Elektrofahrzeugs verwendet wird. Die Erfassung der besteuerten Energiemenge erfolgt über die Ladeeinrichtung, sowohl bei öffentlichen als auch bei privaten Ladestationen.⁵⁵ Gemessen wird die der Ladeeinrichtung zugeführte Strommenge (Ladestrom), wobei es keine Rolle spielt, ob der Strom aus dem Elektrizitätsnetz oder aus Eigenproduktion stammt.⁵⁶ Beim bidirektionalen Laden wird die Steuer für die vom Fahrzeug zurückgespiesene Energiemenge zurückerstattet.⁵⁷

Da die technischen Voraussetzungen zur Erhebung des Ladestroms voraussichtlich erst ab 2035 bereitstehen werden, wird für die meisten Fahrzeugtypen vorübergehend ab 2030 eine pauschale Steuer eingeführt. Dies gilt aber nicht für die E-SNF: Elektrofahrzeuge mit einem Gesamtgewicht von über 3.5 Tonnen (und Non-Road-Fahrzeuge) sind von der Übergangsregelung ausgenommen und somit erst ab 2035 steuerpflichtig.⁵⁸

Anders als bei der Variante Fahrleistung gilt bei der Variante Ladestrom ein einheitlicher Steuertarif: Der Tarif von 22.8 Rappen pro Kilowattstunde gilt unabhängig der Fahrzeugart, welche den Ladestrom bezieht.

Der Einheitstarif der Variante Ladestrom ist so bemessen, dass im Durchschnitt über alle Elektrofahrzeuge eine vergleichbare Steuerbelastung entsteht wie bei den Mineralölsteuern für die Verbrennerfahrzeuge.⁵⁹ Die Berechnung ist allerdings zu einem Grossteil durch die dominierende Fahrzeugart der Personenwagen bestimmt.

Das führt dazu, dass die Ladestromsteuer für E-SNF nicht mit den Mineralölsteuern äquivalent ist. Damit die Ladestromsteuer für E-SNF ungefähr äquivalent zu den Mineralölsteuern wäre, müsste der Einheitstarif etwa 14 Rappen pro Kilowattstunde betragen.⁶⁰ E-SNF müssen somit mit dem Einheitstarif eine höhere Steuerlast tragen als vergleichbare Verbrenner SNF mit den Mineralölsteuern.

⁵⁵ Ausnahmen: Für Motorräder und Leicht-, Klein- und dreirädrige Motorfahrzeuge sowie Motorfahrräder wird eine pauschale Steuer eingeführt. Diese Fahrzeuge werden häufig an gewöhnlichen Haushaltssteckdosen, die Ausrüstung dieser Steckdosen mit Messeinrichtungen wäre aus Sicht des Bundesrates unverhältnismässig.

⁵⁶ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanz-departement EFD (2025), S. 4f.

⁵⁷ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanz-departement EFD (2025), S. 91

⁵⁸ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanz-departement EFD (2025), S. 4f.

⁵⁹ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanz-departement EFD (2025), S. 4f.

⁶⁰ Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK; Eidgenössisches Finanz-departement EFD (2025), S. 135



3.4.3 Weitere Instrumente mit Wirkung auf die Energiepreise

a) Kompensationsaufschlag auf fossile Treibstoffpreise (in Kraft bis Ende 2030)

Hersteller und Importeure fossiler Treibstoffe sind gemäss CO₂-Gesetz (Bundesgesetz über die Reduktion der CO₂-Emissionen, SR 641.71) verpflichtet, einen Teil der durch deren Inverkehrbringen verursachten CO₂-Emissionen zu kompensieren. Dazu müssen sie beim Bund Bescheinigungen aus Kompensationsprojekten oder -programmen einreichen. Erfüllt ein Kompensationspflichtiger seine Pflicht nicht, muss er eine Strafe von 160 Franken pro Tonne CO₂ zahlen und die fehlenden Bescheinigungen im Folgejahr abgeben. Die Kompensationspflicht gilt bis und mit dem Jahr 2030.⁶¹ Sie führt letztlich zu einer leichten Verteuerung der fossilen Treibstoffe in der Schweiz: Für die Finanzierung der Kompensationsprojekte und -programme dürfen die Kompensationspflichtigen maximal fünf Rappen pro Liter Treibstoff an die Treibstoffkunden weitergeben (Kompensationsaufschlag gemäss Art. 28c CO₂-Gesetz).

b) Emissionshandelssystem für Gebäude und Verkehr (geplant ab 2031)

Für die Klimapolitik nach 2030 muss das CO₂-Gesetz revidiert werden. Am 12. September 2025 hat der Bundesrat angekündigt, dass er in diesem Rahmen einen Vorschlag für ein neues Emissionshandelssystem (EHS) für die Sektoren Gebäude und Verkehr ausarbeiten will. Eine Vernehmlassung zum revidierten CO₂-Gesetz und damit auch zum neuen EHS könnte der Bundesrat im Sommer 2026 eröffnen.⁶² Dieses neue EHS wäre ein separates System neben dem bereits bestehenden ersten EHS, das treibhausgasintensive Industrieanlagen und einen Teil des Luftverkehrs abdeckt und mit dem EHS der EU verknüpft ist.

Für den Sektor Verkehr und damit auch für den Schwerverkehr auf der Strasse würde dies bedeuten, dass der Kompensationsaufschlag für Treibstoffe (vgl. obenstehender Abschnitt a) ab 2031 durch ein System mit Emissionsrechten ersetzt würde. Für jede Tonne CO₂, die ein Unternehmen bzw. ein Sektor ausstösst, würde ein solches Recht benötigt. Die Menge dieser Rechte würde jedes Jahr gekürzt, was zu einer Senkung der Emissionen führen würde. Der Bundesrat will aber zu grosse Preissprünge bei den Emissionsrechten verhindern und damit unter anderem die Folgen auf die Treibstoffpreise in Grenzen halten. Deshalb soll etwa im Sektor Verkehr der Preis pro Tonne CO₂ auf Treibstoffen auf 20 Franken begrenzt werden können.

Diese Obergrenze entspricht dem aktuellen, maximalen Kompensationsaufschlag von 5 Rappen pro Liter Treibstoff. Die Preisobergrenze soll durch das Parlament angepasst werden können, wenn sich die Preise in der EU auf höherem Niveau als in der Schweiz einpendeln.⁶³

⁶¹ Bundesamt für Umwelt BAFU (2024b), S. 8

⁶² Schweizerischer Bundesrat (2025c)

⁶³ Schweizerischer Bundesrat (2025c)



In der EU wird ein neues, zweites Emissionshandelssystem, das unter anderem ebenfalls den Sektor Verkehr abdeckt, bereits per 2027 oder 2028 in Kraft treten (EU-EHS 2, vgl. Kapitel 3.4.7).

c) Annahmen in vorliegender Studie: Szenarien für die Entwicklung der Diesel- und Strompreise

Für die Abschätzung des Markthochlaufs der E-SNF auf Grundlage der TCO-Analysen sind in der vorliegenden Studie Prognosen zur künftigen Entwicklung der Diesel- und Strompreise erforderlich. Hierzu wurde auf die Energieperspektiven 2050+ des Bundesamts für Energie (BFE) abgestützt. Die dort enthaltenen Szenarien wurden hinsichtlich der in diesem Kapitel 3.4.3 und Kapitel 3.4.7 aufgeführten Instrumente und Rahmenbedingungen angepasst.

Insgesamt wurden drei Preisszenarien definiert:

- **WWB (Weiter-wie-bisher):** Referenzszenario ohne zusätzliche klimapolitische Massnahmen; spiegelt die Preisentwicklung unter den heutigen politischen und regulatorischen Rahmenbedingungen wider.
- **Netto-Null:** Szenario mit deutlich verschärften klimapolitischen Massnahmen, das mit den Zielen der Schweizer Klimastrategie 2050 kompatibel ist.
- **Konstant:** Sensitivitätsszenario, in dem Diesel- und Strompreise auf dem heutigen Niveau verharren.

Abbildung 3-15 zeigt die resultierenden Dieselpreisprognosen für die drei Szenarien.

Im WWB-Szenario steigt der durchschnittliche Endkundenpreis für Diesel bis 2050 auf rund 2.00 CHF/l.

Im Netto-Null-Szenario wurde – abweichend von den Energieperspektiven 2050+ – eine stärkere Preissteigerung unterstellt. Diese Anpassung beruht auf mehreren Faktoren:

- der Einbezug des Schweizer Treibstoffmarkts in das europäische Emissionshandelssystem (EHS II), wodurch der CO₂-Preis auf fossile Treibstoffe ansteigen dürfte;
- sowie potenziell höhere Beschaffungskosten aufgrund sinkender globaler Nachfrage nach Diesel und dem damit verbundenen Strukturwandel in der Raffinerie- und Logistikinfrastruktur.

Im Konstant-Szenario werden die Diesel- und Strompreise auf dem heutigen Niveau eingefroren, um Sensitivitäten gegenüber Preisänderungen isoliert analysieren zu können.

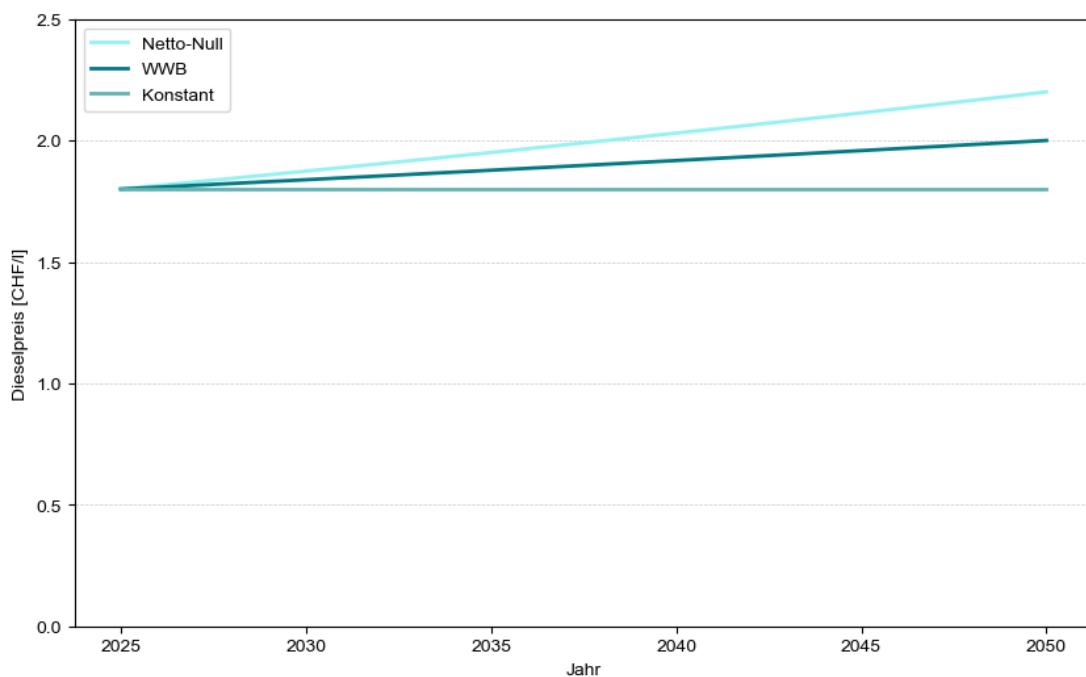


Abbildung 3-15: Szenarien für die Entwicklung der Dieselpreise

Abbildung 3-16 und Abbildung 3-17 zeigen die drei Szenarien zur Entwicklung der Strompreise – differenziert nach öffentlichen Ladepunkten und Depotluden. Als Ausgangspunkt wurde für das öffentliche Schnellladen ein Preis von 0.60 CHF/kWh gewählt. Dieser Wert entspricht dem aktuellen Durchschnittspreis gemäss dem Ladepreis-Monitoring von Swiss eMobility⁶⁴ und wurde auch in der Begleitgruppe als realistische Ausgangsgröße bestätigt.

Im WWB-Szenario steigen die Strompreise moderat an und spiegeln primär die erwartete Kostenentwicklung im Schweizer Strommarkt wider – insbesondere durch steigende Netznutzungsentgelte und den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien.

Im Netto-Null-Szenario erfolgt hingegen ein deutlicherer Preisanstieg. Ursache dafür ist die zunehmende Dekarbonisierung des europäischen Stromsystems, bei dem vermehrten Wasserstoff, Biogas und Biomethan in flexiblen Backup-Kraftwerken eingesetzt wird. Diese Energieträger weisen höhere Gestehungskosten auf und sind in den Spitzenlastzeiten preisbestimmend an den Strommärkten. Dadurch erhöhen sich auch die durchschnittlichen Strompreise im Schweizer Marktumfeld.⁶⁵

Im Konstant-Szenario bleiben die Strompreise sowohl an öffentlichen Ladestationen als auch im Depot unverändert auf dem Ausgangsniveau von 0.60 CHF/kWh (öffentliche) bzw. 0.29 CHF/kWh (Depot).

⁶⁴ <https://www.swiss-emobility.ch/Statistiken/Ladestationen>

⁶⁵ Bundesamt für Energie BFE (2021), S. 347



Diese Werte liegen über den im November 2025 von Milence kommunizierten Tarifen in europäischen Ländern (z. B. Deutschland und Niederlande je ca. 0.40 €/kWh; Belgien 0.379 €/kWh; Frankreich/Spanien 0.339 €/kWh; UK 0.399 £/kWh; vgl. Milence 2025⁶⁶). Die Schweizer Ausgangslage ist allerdings nicht direkt mit anderen europäischen Ländern vergleichbar, zumal – mit Ausnahme von z.B. Deutschland und Dänemark – die Energiepreise und Netznutzungsentgelte in der Schweiz tendenziell höher liegen. Da für die Schweiz derzeit keine Preisdaten spezifisch für das Schnellladen von E-SNF vorliegen, orientiert sich die Studie an heutigen Preisen für öffentliches Schnellladen im Personenwagen-Bereich. Diese dürften – bei künftiger Skalierung und Netzanschluss auf höherer Spannungsebene – eher über den erwartbaren E-SNF-Tarifen liegen. Die getroffenen Annahmen sind somit insgesamt konservativ gewählt.

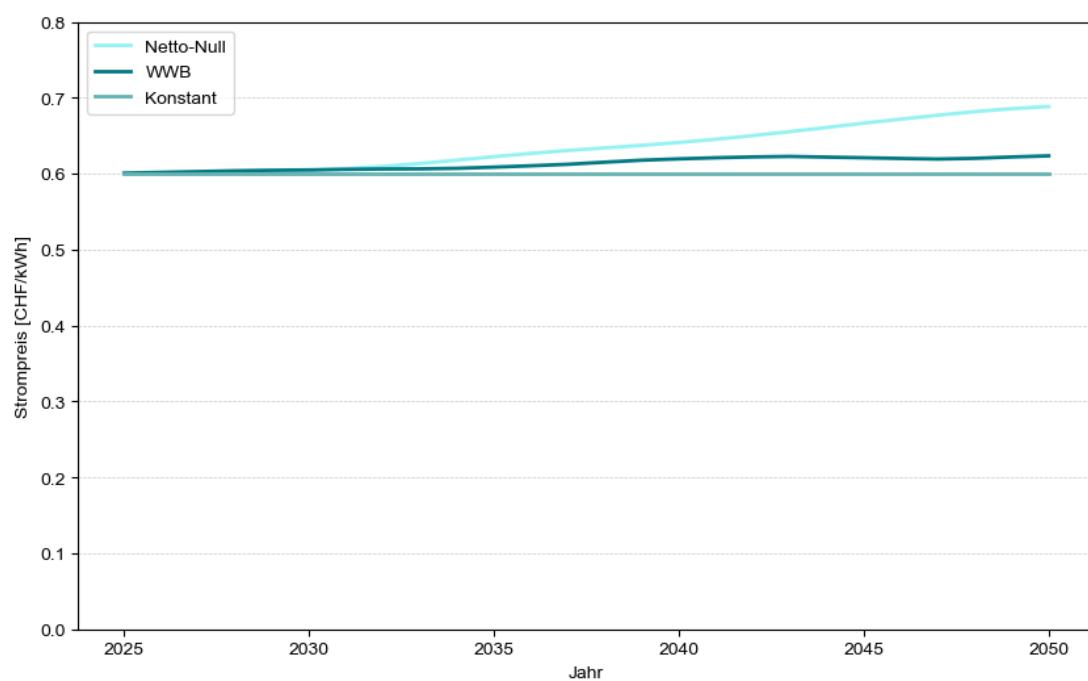


Abbildung 3-16: Szenarien für die Entwicklung der Strompreise an öffentlichen Ladestationen

⁶⁶ <https://milence.com/press-release/milence-continues-to-accelerate-europes-electric-freight-transition-unveiling-new-market-based-pricing-and-further-network-expansion-at-solutrans-2025/>

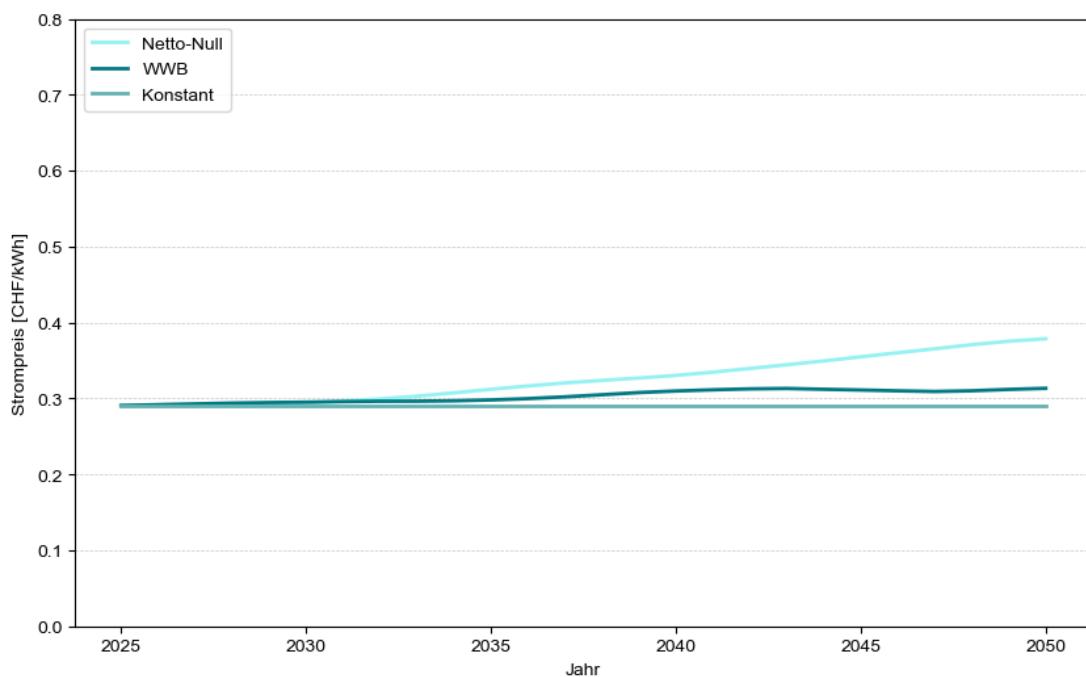


Abbildung 3-17: Szenarien für die Entwicklung der Strompreise in Depots

3.4.4 CO₂-Emissionsvorschriften für SNF

Seit 2025 gelten in der Schweiz – wie in der EU – CO₂-Emissionsvorschriften für erstmals in der Schweiz in Verkehr gesetzte SNF. Die rechtlichen Grundlagen finden sich im CO₂-Gesetz und in der CO₂-Verordnung (Verordnung über die Reduktion der CO₂-Emissionen, SR 641.711).

Die Vorschriften gelten für folgende Fahrzeuge (Art. 17c^{bis} CO₂-Verordnung):

- Lastwagen und Sattelschlepper mit einer Achsenkonfiguration von 4 mal 2 und einem Garantiegewicht von mehr als 16 Tonnen
- Lastwagen und Sattelschlepper mit einer Achsenkonfiguration von 6 mal 2
- Ausgenommen sind Kehrichtabfuhrfahrzeuge, Ausnahmefahrzeuge, Militärfahrzeuge, die zu militärischen Zwecken eingesetzt werden, und Fahrzeuge, die vor Juli 2019 verzollt wurden.

Für SNF im Geltungsbereich, die erstmals in der Schweiz in Verkehr gesetzt werden, gelten folgende **Zielwerte** (Art. 10 Abs. 2 CO₂-Gesetz):

- In den Jahren 2025–2029 sollen die durchschnittlichen CO₂-Emissionen dieser Fahrzeuge höchstens 85 Prozent des massgebenden Ausgangswert der EU für den Zeitraum vom 1. Juli 2019 bis zum 30. Juni 2020 betragen.
- Ab 2030 sollen die durchschnittlichen CO₂-Emissionen dieser Fahrzeuge höchstens 70 Prozent des massgebenden Ausgangswert der EU für den Zeitraum vom 1. Juli 2019 bis zum 30. Juni 2020 betragen.



Damit die oben erwähnten Zielwerte erreicht werden, gelten für Importeure und Hersteller von Fahrzeugen **individuelle Zielvorgaben**. Sie müssen die durchschnittlichen CO₂-Emissionen ihrer Fahrzeuge, die im jeweiligen Jahr erstmals in Verkehr gesetzt werden (Neuwagenflotte), gemäss dieser individuellen Zielvorgabe begrenzen.

Überschreiten die **durchschnittlichen CO₂-Emissionen der Neuwagenflotte** eines Importeurs oder Herstellers die individuelle Zielvorgabe, so muss der Hersteller oder Importeur dem Bund pro im jeweiligen Kalenderjahr erstmals in Verkehr gesetztes Fahrzeug eine **Sanktion** entrichten. Für jedes Gramm CO₂ pro Tonnenkilometer, das über der individuellen Zielvorgabe liegt, fällt folgende Sanktion an (Art. 13 CO₂-Gesetz):

- Für die Jahre 2025–2029: zwischen 4'250 und 6'800 Franken (für die Jahre 2025 und 2026 liegt der Sanktionsbetrag bei 4'250 Franken, Anhang 5 Ziff. 2 CO₂-Verordnung).
- Ab 2030: zwischen 6'800 und 10'880 Franken

Importeure und Hersteller können sich zur Erfüllung der individuellen Zielvorgabe zu Emissionsgemeinschaften zusammenschliessen (Art. 11 Abs. 6 CO₂-Gesetz). Für die Zwecke der CO₂-Emissionsvorschriften kann ein Importeur Fahrzeuge auch an einen anderen Importeur rechnerisch abtreten (Art. 22a CO₂-Verordnung). Folgende Verminderungen und Erleichterungen sind bei der Berechnung der CO₂-Emissionen von Neuwagenflotten zudem möglich:

- Die CO₂-Verminderung, die durch die Verwendung erneuerbarer synthetischer Treibstoffe erzielt wird. Die Importeure und Hersteller der Fahrzeuge müssen Nachweise vorlegen für die Menge solcher Treibstoffe, die ihnen zugerechnet werden kann (Art. 11a CO₂-Gesetz und Art. 26b CO₂-Verordnung).
- Überschreitet der Anteil der emissionsfreien schweren Fahrzeuge einer Neuwagenflotte eines Importeurs einen definierten Schwellenwert, werden die durchschnittlichen CO₂-Emissionen der Neuwagenflotte rechnerisch um die Überschreitung in Prozent vermindert, wobei sie bei den schweren Fahrzeugen um höchstens 3 Prozent reduziert werden. Der Schwellenwert liegt in den Jahren 2025–2027 bei 6 Prozent und im Jahr 2030 bei 10 Prozent (Art. 12 Abs. 4 CO₂-Gesetz und Art. 26c CO₂-Verordnung).

Die geltenden Vorschriften in der Schweiz basieren auf einer EU-Regelung⁶⁷, die inzwischen weiterentwickelt worden ist (vgl. Kapitel 3.4.7). Diese seit 2024 geltende Weiterentwicklung der EU hat die Schweiz noch nicht übernommen. Mit der anstehenden Revision des CO₂-Gesetzes für den Zeitraum nach 2030 könnte die Schweiz die weiterentwickelten Vorschriften jedoch ebenfalls übernehmen.

⁶⁷ Verordnung (EU) 2019/1242 bzw. Durchführungsbeschluss (EU) 2021/781 der Kommission.



3.4.5 Förderinstrumente

a) Förderung von Ladeinfrastrukturen über das Klima- und Innovationsgesetz (KIG)

Unternehmen und Branchen, die einen Fahrplan zur Erreichung von Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis 2050 erarbeitet haben, können beim Bund bis spätestens im Jahr 2030 Finanzhilfen für Vorhaben zur Umsetzung von neuartigen Technologien und Prozessen beantragen. Die rechtlichen Grundlagen hierfür finden sich in Artikel 6 KIG (Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit, SR 814.310) und in der KIV (Klimaschutz-Verordnung, SR 814.310.1). Für dieses Förderinstrument stehen maximal 1,2 Milliarden Franken zur Verfügung.

Profitieren sollen auch der Strassengüterverkehrssektor und die Transportlogistik: Hierbei soll insbesondere die Errichtung von nicht- oder halböffentlicher Ladeinfrastruktur in Transportunternehmen und Logistikzentren unterstützt werden. Grössere Unternehmen können hierfür je einzeln Anträge beim Bund einreichen. Für KMU⁶⁸ ist ab 2026 ein zweijähriges Branchenprogramm im Umfang von 20 Millionen Franken vorgesehen.⁶⁹

b) CO₂-Kompensationsprogramm für SNF

Wie in Kapitel 3.4.3 beschrieben, sind die Hersteller und Importeure fossiler Treibstoffe gemäss CO₂-Gesetz verpflichtet, einen Teil der durch deren Inverkehrbringen verursachten CO₂-Emissionen zu kompensieren. Dazu müssen sie beim Bund Bescheinigungen aus Kompensationsprojekten oder -programmen einreichen.

Die Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) betreibt ein Kompensationsprogramm für CO₂-Reduktionen, die durch den Kauf und Betrieb von E-SNF entstehen. Das BAFU stellt für nachweislich erzielte Emissionsverminderungen handelbare Bescheinigungen aus. Die EnAW vermittelt die Bescheinigungen an die Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation (KliK).⁷⁰ KliK zahlt für jede reduzierte Tonne CO₂ 130 Franken.⁷¹ Gefördert werden der Kauf und Betrieb von neuen elektrischen Lastwagen, Lastenzügen oder Sattelzügen, die schwerer als 3.5 t und in der Schweiz im Einsatz sind. Nicht unterstützt werden seit 1. Januar 2025 allerdings die Fahrzeuge, die den in Kapitel 3.4.4 beschriebenen CO₂-Emissionsvorschriften für SNF unterstellt sind (d.h. zugelassen sind nur E-SNF, die nicht den CO₂-Emissionsvorschriften unterstellt sind). Plug-In Hybridfahrzeuge und Brennstoffzellen-SNF sind ebenfalls nicht zugelassen.⁷²

⁶⁸ KMU sind bei diesem Förderinstrument definiert als Unternehmen mit einer Belegschaft von weniger als 250 Mitarbeitenden sowie mit einem jährlichen Wärmeverbrauch von höchstens fünf Gigawattstunden oder einem jährlichen Elektrizitätsverbrauch von höchstens einer halben Gigawattstunde (Art. 13 KIV).

⁶⁹ Bundesamt für Energie BFE (2025b); (c)

⁷⁰ Die Stiftung KliK wurde gegründet, um für die Hersteller und Importeure fossiler Treibstoffe die gesetzliche CO₂-Kompensationspflicht zu erfüllen.

⁷¹ Bundesamt für Umwelt BAFU (2024a); Energie-Agentur der Wirtschaft EnAW (2025); Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation KliK (2024)

⁷² Energie-Agentur der Wirtschaft EnAW (2024)



c) Kantonale Förderinstrumente und steuerliche Anreize

Verschiedenen Kantone haben finanzielle Anreize zur Förderung der Elektromobilität und dabei teilweise auch zugunsten von E-SNF eingeführt. Dazu zählen unter anderem Finanzhilfen für E-SNF und für die Ladeinfrastruktur sowie steuerliche Anreize bei der kantonalen Motorfahrzeugsteuer. Die derzeit geltenden Förderinstrumente und steuerlichen Anreize lassen sich auf der Online-Plattform «Energiefranken» abrufen (www.energiefranken.ch).⁷³

3.4.6 Roadmap Elektromobilität 2030

Die Roadmap Elektromobilität ist ein freiwilliges Instrument zur Stärkung der Elektromobilität in der Schweiz. Entstanden ist sie auf Initiative des Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Die zuletzt laufende Etappe für den Zeitraum bis 2025 vereinte 71 Akteure der Wirtschaft, der öffentlichen Hand, von Verbänden und weiteren nichtstaatlichen Organisation sowie der Wissenschaft.⁷⁴ Die Roadmap soll insbesondere dank ihrer breiten Abstützung einen Einfluss auf die Entwicklung der Elektromobilität in der Schweiz ausüben.

Inzwischen wurde die nächste Etappe für den Zeitraum von 2026 bis 2030 initiiert. Neu werden neben Personenwagen auch E-SNF, leichte Nutzfahrzeuge und Busse in die Strategie einbezogen. Die Etappe 2026–2030 basiert auf einer Charta und acht Herausforderungen in den Themen Fahrzeuge, Laden und Stromversorgung.

- Fahrzeuge: Aufbau eines funktionierenden Occasionsmarkts für Elektrofahrzeuge und Sicherstellung eines Kreislaufs der Batterien
- Fahrzeuge: Bewusstseinsbildung und Wissensvermittlung bei den Zielgruppen
- Laden: Zugang zu Lademöglichkeiten in Mehrparteiengebäuden, für Autofahrende ohne festen Parkplatz sowie am Arbeitsplatz.
- Laden: Bereitstellung eines bedürfnisgerechten Netzes an Lademöglichkeiten (dicht und allgemein zugänglich für PW und LNF, interoperabel und reservierbar für SNF und öV-Busse)
- Laden: Sicherstellung eines positiven Kundenerlebnisses inklusive transparenter Preise an der Ladesäule
- Stromversorgung: Sicherstellung transparenter, marktkonformer und anreizbasierter Tarife
- Stromversorgung: Bedarfsgerechter Ausbau des Verteilnetzes
- Stromversorgung: Möglichst weitgehende Umsetzung des Energiemanagements auf Kundenseite

⁷³ «Energiefranken» listet alle verfügbaren Förderangebote für Energie und Mobilität von Bund, Kantonen, Gemeinden, regionalen Energieversorgungsunternehmen und weiterer Anbieter auf, die einen relevanten Beitrag an die Investitionskosten leisten. Das Portal ist ein gemeinsames Projekt der Elektrizitätswerke des Kantons Zürich (EKZ), der Faktor Journalisten AG und des Bundesamtes für Energie mit dem Programm EnergieSchweiz.

⁷⁴ Bundesamt für Energie BFE (2024)



Wer sich an der Roadmap beteiligen will, unterzeichnet die Charta und setzt eine selbstgewählte Massnahme um, die eine der Herausforderungen angeht.⁷⁵

3.4.7 Entwicklungen in der EU

a) Weiterentwickelte CO₂-Emissionsvorschriften für SNF

Die in der Schweiz seit 2025 geltenden CO₂-Emissionsvorschriften für schwere Fahrzeuge (vgl. Kapitel 3.4.4) basieren auf den Vorschriften, welche die EU im Jahr 2019 mit der Verordnung (EU) 2019/1242 für schwere Fahrzeuge einföhrte. Inzwischen hat die EU diese Vorschriften weiterentwickelt. Die Änderung erfolgte mit der Verordnung (EU) 2024/1610 und trat am 26. Juni 2024 in Kraft. Die Schweiz hat diese Weiterentwicklung noch nicht übernommen, sie könnte die weiterentwickelten Vorschriften aber mit der anstehenden Revision des CO₂-Gesetzes für den Zeitraum nach 2030 übernehmen (vgl. Kapitel 3.4.4).

Mit den 2024 eingeführten Neuerungen hat die EU die bisher geltenden Zielwerte verschärft. Zudem decken die EU-Vorschriften neu fast alle CO₂-Emissionen von schweren Fahrzeugen ab, da sie nicht nur für schwere Lastkraftwagen, sondern auch für mittelschwere Lastkraftwagen, Arbeitsfahrzeuge (wie Müllwagen, Kipper oder Fahrmischer), Reise und Überlandbusse, Stadtbusse sowie Anhänger gelten.⁷⁶ Die nachfolgende Tabelle beinhaltet eine Übersicht über den geänderten Geltungsbereich und die neuen CO₂-Reduktionsziele in der EU.

Tabelle 3-18: Vergleich der bisherigen (2019) und der neuen (2024) CO₂-Emissionsvorschriften für schwere Fahrzeuge in der EU⁷⁷

Geltungsbereich ⁷⁸	Bisherige EU-Vorschriften (2019)	Neue EU-Vorschriften (2024)
	<p>Neu in Verkehr gesetzte Fahrzeuge:</p> <ul style="list-style-type: none">• Schwere Lastkraftwagen über 16 Tonnen mit Standardachsenkonfigurationen	<p>Neu in Verkehr gesetzte Fahrzeuge:</p> <ul style="list-style-type: none">• Schwere Lastkraftwagen über 16 Tonnen mit Standardachsenkonfigurationen• Schwere Lastkraftwagen über 16 Tonnen mit besonderen Achsenkonfigurationen• Mittelschwere Lastkraftwagen zwischen 5 und 16 Tonnen• Reise- und Überlandbusse ab 7.5 Tonnen• Ab 2030 auch Arbeitsfahrzeuge wie Müllwagen, Kipper oder Fahrmischer

⁷⁵ Bundesamt für Energie BFE (2024); Bundesamt für Strassen ASTRA (2025); EnergieSchweiz (2025a); (b)

⁷⁶ Europäische Kommission (2024a)

⁷⁷ Europäische Kommission (2024a); (b)

⁷⁸ Bei Lastkraftwagen sind jeweils auch Sattelzugmaschinen mitgemeint.



CO₂-Reduktionsziele für Neufahrzeugflossen der Hersteller	<ul style="list-style-type: none">• 15 % ab 2025• 30 % ab 2030	<ul style="list-style-type: none">• 15 % ab 2025 (gültig nur für Fahrzeuge gemäss bisherigem Geltungsbereich von 2019)• 45 % ab 2030• 65 % ab 2035• 90 % ab 2040
Referenzzeitraum	<ul style="list-style-type: none">• 1.7.2019–30.6.2020	<ul style="list-style-type: none">• 2019 für schwere Lastkraftwagen, die nach bisherigen Vorschriften reguliert sind• 2021 für neu regulierte Lastkraftwagen über 7.5 Tonnen sowie schwere Lastkraftwagen mit besonderen Achskonfigurationen über 16 Tonnen• 2025 für Reisebusse, Anhänger und mittelschwere Lastkraftwagen zwischen 5 und 7.5 Tonnen
Weitere Neuerungen	(Neue Sattelanhänger, neue weitere Anhänger und neue Stadtbusse befanden sich nicht im Geltungsbereich der Vorschriften von 2019.)	<p>Neue Sattelanhänger:</p> <ul style="list-style-type: none">• CO₂-Reduktionsziel von 10 % ab 2030 <p>Neue Anhänger (nicht Sattelanhänger):</p> <ul style="list-style-type: none">• CO₂-Reduktionsziel von 7.5 % ab 2030 <p>Stadtbusse ab 7.5 Tonnen:</p> <ul style="list-style-type: none">• Ab 2030 müssen 90 % der neuen Stadtbusse emissionsfrei sein• Ab 2035 müssen 100 % der neuen Stadtbusse emissionsfrei sein

Ausgenommen von den CO₂-Emissionsvorschriften bleiben in der EU folgende SNF⁷⁹: im Bergbau sowie für land- und forstwirtschaftliche Zwecke eingesetzte Fahrzeuge, Fahrzeuge für Streitkräfte sowie Kettenfahrzeuge, Fahrzeuge für den Katastrophenschutz, die Feuerwehr und die für die Aufrechterhaltung der öffentlichen Ordnung zuständigen Kräfte oder für die medizinische Notversorgung, Fahrzeuge, deren CO₂-Emissionen aus technischen Gründen nicht zertifiziert werden können, z. B. Fahrzeuge mit besonderer Zweckbestimmung (z. B. gepanzerte Fahrzeuge, mobile Krane und Fahrzeuge für Schwerlasttransporte), einige schwere Lastkraftwagen mit besonderer Achskonfiguration, kleinere Lastkraftwagen bis 5 t und Busse bis 7,5 t sowie Arbeitsfahrzeuge wie z. B. Müllfahrzeuge bis 2034.

⁷⁹ Europäische Kommission (2024a)



b) Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)

Bei der AFIR handelt es sich um die Verordnung (EU) 2023/1804, mit der die EU für ihre Mitgliedstaaten verbindliche nationale Ziele betreffend Aufbau einer öffentlich zugänglichen Infrastruktur für alternative Treibstoffe, insbesondere Strom und Wasserstoff, festlegt. Der Geltungsbereich umfasst Ladeinfrastrukturen für Strassenfahrzeuge, Schiffe und Luftfahrzeuge. Hinsichtlich dieser Ladeinfrastrukturen beinhaltet die AFIR zudem Vorschriften bezüglich der Nutzungsfreundlichkeit, die Bereitstellung von Daten und die Bezahlung. Zusätzlich will die EU mit der AFIR die Interoperabilität der Infrastruktur verbessern bzw. gewährleisten.⁸⁰

Mit Blick auf die Entwicklung der E-SNF-Flotte und der Ladeinfrastruktur sind die in der AFIR festgelegten Mindestvorgaben für öffentlich zugängliche Ladepunkte von besonderer Relevanz. Gemäss Artikel 4 AFIR müssen die Mitgliedstaaten der EU eine Mindestversorgung an öffentlich zugänglichen Ladepunkten für SNF mit Elektroantrieb sicherstellen. Die AFIR unterscheidet dabei zwischen Mindestvorgaben für das Kernnetz des transeuropäischen Transportnetzwerks (Transeuropean Transport Network, TEN-T) und dem Gesamtnetz der TEN-T.

Tabelle 3-19: Ladestandorte für SNF auf dem TEN-T-Strassennetz, Mindestvorgaben gemäss Artikel 4 Verordnung (EU) 2023/1804⁸¹

Zeitraum	TEN-T-Kernnetz	TEN-T-Gesamtnetz
Bis Ende 2025	Ladestandorte alle 120 km auf mindestens 15 % ⁸² der Länge des Netzes in jeder Fahrtrichtung, Ladeleistung mindestens 1 400 kW Pro Ladestandort mindestens ein Ladepunkt mit individueller Ladeleistung von mindestens 350 kW	
Bis Ende 2027	Ladestandorte alle 120 km auf mindestens 50 % der Länge des Netzes in jeder Fahrtrichtung, Ladeleistung mindestens 2 800 kW Pro Ladestandort mindestens zwei Ladepunkte mit individueller Ladeleistung von mindestens 350 kW	Ladestandorte alle 120 km auf mindestens 50 % der Länge des Netzes in jeder Fahrtrichtung, Ladeleistung mindestens 1 400 kW Pro Ladestandort mindestens ein Ladepunkt mit individueller Ladeleistung von mindestens 350 kW
Bis Ende 2030	Ladestandorte alle 60 km in jeder Fahrtrichtung, Ladeleistung mindestens 3 600 kW Pro Ladestandort mindestens zwei Ladepunkte mit individueller Ladeleistung von mindestens 350 kW	Ladestandorte alle 100 km in jeder Fahrtrichtung, Ladeleistung mindestens 1 500 kW Pro Ladestandort mindestens ein Ladepunkt mit individueller Ladeleistung von mindestens 350 kW

Artikel 4 AFIR enthält zusätzlich Mindestvorgaben für Ladestationen auf sicheren und gesicherten Parkplätzen sowie an städtischen Knoten.

⁸⁰ Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union (2024)

⁸¹ Die AFIR erlaubt gewisse Ausnahmen von diesen Mindestvorgaben. So kann beispielsweise entlang des TEN-T-Netzes für beide Fahrtrichtungen ein einziger öffentlich zugänglicher Ladestandort für SNF mit Elektroantrieb errichtet werden, sofern dieser von beiden Fahrtrichtungen leicht zugänglich ist und alle übrigen Kriterien erfüllt sind.

⁸² Der Prozentsatz berechnet sich pro Mitgliedstaat der EU wie folgt: Die kumulierte Länge der Abschnitte des TEN-T-Strassennetzes zwischen zwei Ladestandorten, ohne die Abschnitte zwischen zwei dieser Ladestandorte, die mehr als 120 km voneinander entfernt sind, dividiert durch die gesamte Länge des TEN-T-Strassennetzes innerhalb des Hoheitsgebiets des Mitgliedstaats



Tabelle 3-20: Ladestationen für SNF auf sicheren und gesicherten Parkplätzen und an städtischen Knoten, Mindestvorgaben gemäss Artikel 4 Verordnung (EU) 2023/1804

Zeitraum	Auf jedem sicheren und gesicherten Parkplatz	An allen städtischen Knoten
Bis Ende 2025		Öffentlich zugängliche Ladepunkte mit einer Gesamtladeleistung von mindestens 900 kW, die von Ladestationen mit einer individuellen Ladeleistung von mindestens 150 kW abgegeben wird
Bis Ende 2027	Mindestens zwei öffentlich zugängliche Ladestationen mit einer individuellen Ladeleistung von mindestens 100 kW	
Bis Ende 2030	Mindestens vier öffentlich zugängliche Ladestationen mit einer individuellen Ladeleistung von mindestens 100 kW	Öffentlich zugängliche Ladepunkte mit einer Gesamtladeleistung von mindestens 1 800 kW, die von Ladestationen mit einer individuellen Ladeleistung von mindestens 150 kW abgegeben wird

Erläuterung fachspezifischer Begriffe aus der AFIR⁸³

Sichere und gesicherte Parkfläche: Eine für Fahrer/innen im Güter- oder Personenverkehr zugängliche Parkfläche, welche vorgegebene Kriterien zugunsten der Sicherheit der Fahrerinnen und Fahrer erfüllt. Die Kriterien sind in der Delegierten Verordnung (EU) 2022/1012 festgelegt.

Städtischer Knoten: Ein städtisches Gebiet, in dem die Verkehrsinfrastruktur des TEN-T-Netzes, wie beispielsweise Häfen einschliesslich Passagierterminals, Flughäfen, Bahnhöfe, Logistikplattformen und Güterterminals, die innerhalb oder in der Nähe städtischer Gebiete liegen, mit anderen Teilen dieser Infrastruktur und mit der Infrastruktur für den Nah- und Regionalverkehr verbunden ist.

TEN-T-Kernnetz: Ein Teil des TEN-T-Gesamtnetzes der EU, das die wichtigsten Verbindungen zwischen Grossstädten und städtischen Knoten umfasst, das bis 2030 fertiggestellt und den höchsten Qualitätsnormen für Infrastrukturen entsprechen muss.

TEN-T-Gesamtnetz: Ein europaweites Verkehrsinfrastrukturnetz, das Eisenbahnstrecken, Binnenwasserstrassen, Kurzstreckenseeverkehr und Strassen umfasst, die städtische Knotenpunkte, See- und Binnenhäfen, Flughäfen und Terminals verbinden und als Grundlage für die Ermittlung von Vorhaben von gemeinsamem Interesse der EU dienen.

Für die Schweiz ergeben sich rechtlich bisher keine Pflichten aus der AFIR. Die Verordnung setzt aber Standards, die direkt oder indirekt Auswirkungen auf die Schweiz haben werden, z.B. über technische Standards, aber auch über Kundenerwartungen. Hinsichtlich Ladestandorte ist in der Schweiz ebenfalls ein Ausbau vorgesehen: Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) plant, im Jahr 2026 einen Projektaufruf für Schnellladestationen für E-SNF entlang der Nationalstrassen zu veröffentlichen. Nach Einschätzung der Bundesverwaltung wird die Schweiz die AFIR-Inhalte dort übernehmen, wo dies zweckmässig und mit dem Schweizer Rechtsrahmen vereinbar ist.⁸⁴

⁸³ Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union (2024)

⁸⁴ Bundesamt für Energie BFE (2025a), S. 24



c) EU-EHS 2

Die EU kennt bereits ein Emissionshandelssystem (EU-EHS 1) zur Reduktion der Treibhausgasemissionen der Energiewirtschaft, der energieintensiven Industrie, des innereuropäischen Luftverkehrs und des Seeverkehrs.⁸⁵ Der Strassenverkehr ist nicht in den EU-EHS 1 einbezogen. 2023 hat die EU ein zweites Emissionshandelssystem (EU-EHS 2) beschlossen⁸⁶, das vom bestehenden EU-EHS 1 getrennt ist. Das neue System deckt die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen in Gebäuden, im Strassenverkehr und in weiteren Sektoren ab (hauptsächlich kleine Industriezweige, die nicht unter das bestehende EU-EHS 1 fallen). Mit dem EU-EHS 2 will die EU die Emissionen in den diesen Sektoren bis 2030 um 42 Prozent gegenüber dem Niveau von 2005 senken.⁸⁷

Das EU-EHS 2 sollte eigentlich im Jahr 2027 voll funktionsfähig sein.⁸⁸ Derzeit gibt es jedoch politische Diskussionen, die noch vor dem Start des EU-EHS 2 zu Anpassungen am System und dessen Einführung führen können. Insbesondere dürfte der Start von 2027 auf 2028 verschoben werden.⁸⁹

Beim EU-EHS 2 handelt es sich wie beim EU-EHS 1 um ein Cap-and-Trade-System.⁹⁰ D.h. es gibt als Obergrenze eine jährlich sinkende Menge an neu verfügbaren Zertifikaten, die als Emissionsrechte dienen (Cap). Die teilnehmenden Akteure müssen die Zertifikate ersteigern und können sie anschliessend handeln, d.h. auf einem Markt kaufen und verkaufen (Trade). Für das jeweilige Jahr müssen sie schliesslich Zertifikate in der Höhe ihrer Emissionen abgeben.

Ein wesentlicher Unterschied zum EU-EHS 1 besteht darin, dass das EU-EHS 2 die Emissionen vorgelagert zum Endverbrauch der Energieträger abdeckt (Upstream-System): Das EU-EHS 2 gilt im Verkehrsbereich für die Unternehmen, die Treibstoffe in Verkehr bringen und nicht für die Endverbraucher/innen, die die Treibhausgase im Strassenverkehr emittieren.⁹¹ Sämtliche Emissionszertifikate werden von der EU versteigert. Eine kostenlose Zuteilung ist – anders als im EU-EHS 1 – nicht vorgesehen. Damit bezweckt die EU, dass die vom EU-EHS 2 betroffenen Unternehmen die Kosten an die Endverbraucher/innen weitergeben. Dies soll Anreize setzen, fossile Treibstoffe einzusparen resp. alternative Technologien einzusetzen.⁹² Gemäss den beschlossenen Rechtsgrundlagen würde 2027 eine um 30 Prozent höhere Menge an Zertifikaten versteigert, als dies für dieses Jahr vorgesehen wäre. Damit sollen die Marktliquidität erhöht und Preissprünge zum Start des Systems verhindern werden.

⁸⁵ Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2025)

⁸⁶ Richtlinie (EU) 2023/959 zur Änderung der Richtlinie 2003/87/EG und des Beschlusses (EU) 2015/1814

⁸⁷ Europäische Kommission (2025)

⁸⁸ Europäische Kommission (2025)

⁸⁹ Europäisches Parlament (2025); Rat der EU (2025)

⁹⁰ Europäische Kommission (2025)

⁹¹ Europäische Kommission (2025)

⁹² Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2023), S. 4



Ab 2027 soll die Zertifikatsmenge jährlich zunächst linear um 5.10 Prozent sinken (Referenzjahr 2024). Unter gewissen Vorbehalten soll die Zertifikatsmenge ab 2028 jedes Jahr linear um 5.38 Prozent abnehmen (Referenzjahr 2025).⁹³ Wie das bestehende EU-EHS 1 wird auch das EU-EHS 2 mit einer Marktstabilitätsreserve (MSR) arbeiten, mit der ein unzureichendes oder übermässiges Angebot an Zertifikaten auf dem Markt abgedeckt werden kann.⁹⁴ Das Preisniveau der Zertifikate ist insbesondere davon abhängig, wie sich die weiteren Klimaschutzmassnahmen der EU auf die Emissionen im Gebäude- und Strassenverkehrsbereich sowie in den zusätzlichen Sektoren auswirken werden. Je wirkungsvoller weitere Massnahmen sind, desto niedriger dürfte der Preis der Zertifikate sein. Nach Einschätzung der Europäischen Kommission könnte sich ein Preisniveau zwischen 48 und 80 Euro pro Tonne CO₂ ergeben (die Einschätzung erfolgte im Jahr 2021, als die Kommission ihren Vorschlag für den EU-EHS 2 publizierte).⁹⁵

Da einige EU-Mitgliedsstaaten bereits eine nationale CO₂-Steuer in den Sektoren des EU-EHS 2 eingeführt haben, sind vorübergehende Ausnahmen bis Ende 2030 möglich: Die Mitgliedsstaaten können bis dahin auf den EU-EHS 2 verzichten, wenn der nationale CO₂-Steuersatz in den EU-EHS-2-Sektoren im Durchschnitt über den Versteigerungspreis im EU-ETS 2 im gleichen Jahr liegt.⁹⁶

Die Schweiz hat analog zum EU-EHS 1 ein eigenes Emissionshandelssystem eingeführt, dieses ist seit 2020 mit dem EU-EHS 1 verknüpft.⁹⁷ Für die Zeit nach 2030 hat der Bundesrat angekündigt, ein zweites EHS für die Sektoren Gebäude und Verkehr einführen zu wollen (vgl. Kapitel 3.4.3b).

⁹³ Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2023), S. 4–5

⁹⁴ Europäische Kommission (2025)

⁹⁵ Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2023), S. 5

⁹⁶ Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2023), S. 4

⁹⁷ Bundesamt für Umwelt BAFU (2024c)



3.4.8 Fazit

Politische und regulatorische Rahmenbedingungen in der Schweiz und in der EU beeinflussen den Markthochlauf der E-SNF. Von besonderer Bedeutung für die künftigen Betriebskosten der E-SNF und damit für den Markthochlauf sind folgende geplante, aber noch nicht beschlossene Abgaben. Beide Abgaben dürften – je nach Ausgestaltung – eine bremsende Wirkung auf den Markthochlauf der E-SNF haben (vgl. auch die quantitative Wirkungsanalyse der beiden Instrumente in den Kapiteln 4.2.2 und 4.2.4).

- **Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA):** Gemäss dem Vorschlag des Bundesrats soll die LSVA ab 2029 auch für E-SNF eingeführt werden. Das entsprechende politische Geschäft befindet sich noch in der parlamentarischen Beratung.
- **Abgabe auf Elektrofahrzeuge:** Der Bundesrat hat im September 2025 eine Vorlage in die Vernehmlassung geschickt, wonach in der Schweiz ab 2030 ergänzend zur Mineralölsteuer auch eine Abgabe auf Elektrofahrzeuge erhoben werden soll. Zur Diskussion stehen zwei Varianten: eine Abgabe auf der Fahrleistung von Elektrofahrzeugen und eine Steuer auf dem Ladestrom für Elektrofahrzeuge. Gemäss der Vernehmlassungsvorlage würde die Abgabe je nach Variante ab 2030 oder ab 2035 für E-SNF wirksam werden.

Mit der **CO₂-Kompensationspflicht** für das Inverkehrbringen von Treibstoffen besteht bis im Jahr 2030 ein Instrument, das die fossilen Treibstoffe leicht verteuert und somit eine positive Anreizwirkung auf den Markthochlauf der E-SNF haben sollte. Das Instrument verpflichtet die Inverkehrbringer fossiler Treibstoffe, einen Teil der durch die Treibstoffe verursachten CO₂-Emissionen zu kompensieren. Für die Finanzierung der Kompensation dürfen die Kompensationspflichtigen maximal fünf Rappen pro Liter Treibstoff an die Treibstoffkunden weitergeben. Nach dem Willen des Bundesrates soll die Kompensationspflicht ab 2031 durch ein **neues Emissionshandelssystem (EHS)** abgelöst werden, das unter anderem für den Verkehrssektor gelten soll. Ein solches EHS würde eine positive Anreizwirkung auf E-SNF entfalten.

Neben den erwähnten Instrumenten, die unmittelbar auf die Betriebskosten der E-SNF bzw. die Preise der fossilen Treibstoffe wirken, beeinflussen in der Schweiz die seit 2025 geltenden **CO₂-Emissionsvorschriften für SNF** die Marktbedingungen der E-SNF. Die Vorschriften verpflichten Importeure von SNF, CO₂-Flottenzielwerte einzuhalten. Wer eine Zielvorgabe verfehlt, muss eine Sanktion entrichten. Die Vorschriften begünstigen damit die Markteinführung emissionsärmer Fahrzeuge.

Verschiedene direkte und indirekte **Förderinstrumente** haben den Anspruch, den Markthochlauf der E-SNF zu stärken. Auf Bundesebene besteht für Unternehmen des Strassengüterverkehrssektors und der Transportlogistik dank des Klima- und Innovationsgesetzes (KIG) bis im Jahr 2030 die Möglichkeit, Fördergelder für die Errichtung von nicht- oder halböffentlicher Ladeinfrastruktur für E-SNF zu beantragen. Ausgehend von der CO₂-Kompensationspflicht fördern zudem die Energie-Agentur der Wirtschaft (EnAW) und die Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation (KliK) den Kauf und Betrieb von bestimmten neuen E-SNF. In einigen Kantonen gibt es im Weiteren steuerliche Anreize für emissionsarme SNF bei der Motorfahrzeugsteuer sowie vereinzelt Förderprogramme, beispielsweise für die Ladeinfrastruktur.



Ein vom Bund initiiertes freiwilliges Instrument zur Stärkung der Elektromobilität in der Schweiz ist die **Roadmap Elektromobilität**. Hier wirken Akteure der Wirtschaft, der öffentlichen Hand, von Verbänden und weiteren nichtstaatlichen Organisation sowie der Wissenschaft zusammen. Für den Zeitraum bis 2030 nimmt die Roadmap neu auch den Schwerverkehr in den Blick und will damit den Markthochlauf der E-SNF stärken.

Seitens der EU kommen für die Schweiz weitere relevante Entwicklungen hinzu:

- In der EU gelten seit 2025 im Vergleich zur Schweiz **weiterentwickelte CO₂-Emissionsvorschriften für SNF**. Dies dürfte den Markthochlauf der E-SNF in Europa weiter begünstigen. Mit der anstehenden Revision des CO₂-Gesetzes für den Zeitraum nach 2030 könnte die Schweiz diese Weiterentwicklung ebenfalls übernehmen.
- Die **Alternative Fuels Infrastructure Regulation (AFIR)** definiert innerhalb der EU verbindliche Mindestziele für den Ausbau der öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur. Rechtlich ergeben sich aus der AFIR für die Schweiz keine direkten Pflichten, doch dürfte sie im umliegenden Ausland den Markthochlauf der E-SNF beeinflussen und so indirekt eine Wirkung auf die Schweiz haben. Hinsichtlich öffentlich zugänglicher Ladestandorte ist auch in der Schweiz ein Ausbau vorgesehen: Das Bundesamt für Strassen (ASTRA) plant, im Jahr 2026 einen Projektaufruf für Schnellladestationen für E-SNF entlang der Nationalstrassen zu veröffentlichen.
- Das in der EU bereits beschlossene **Emissionshandelssystem 2 (EU-EHS 2)** dürfte ab 2027 oder 2028 die Preise für fossile Treibstoffe in der EU beeinflussen und damit indirekt die Wettbewerbsfähigkeit elektrischer Antriebe in Europa stärken. Wie oben erwähnt, lässt der Bundesrat für die Schweiz eine Vorlage für die Einführung eines schweizerischen EHS 2 für den Zeitraum nach 2030 ausarbeiten.



4 Ergebnisse

Auf Grundlage der in den Kapiteln 3.1 bis 3.3.3 erarbeiteten Grundlagen wurde unter Anwendung des im Arbeitspaket AP5 entwickelten Modells der Markthochlauf der E-SNF und die daraus resultierenden CO₂-Emissionen der D-SNF, der Energie- und Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF sowie der Einfluss des Ladens auf das Stromnetz analysiert. Zentrale Grundlage dieser Analysen ist die TCO-Modellierung, welche die Gesamtkosten von E-SNF und D-SNF im Zeitverlauf und über verschiedene Szenarien hinweg vergleicht.

4.1 Hauptszenarien: «Basis», «Optimistisch» und «Pessimistisch»

Wie in Kapitel 2.2.5 beschrieben, haben die Untersuchungen gezeigt, dass insbesondere die Batteriepreise, Ladeinfrastrukturstarkosten, Energiepreise sowie die Ausgestaltung der LSVA und eine allfällige Abgabe auf Elektrofahrzeuge einen wesentlichen Einfluss auf die TCO-Differenz zwischen E-SNF und D-SNF – und damit auf den Markthochlauf – haben. Da die zukünftige Entwicklung dieser Hauptkostenfaktoren mit erheblichen Unsicherheiten behaftet ist, wurden in den jeweiligen Grundlagenkapiteln Szenarien entwickelt:

- **Batterien (Kapitel 3.2.1):** Drei Szenarien zur Entwicklung der LFP-Zellpreise – «Optimistisch», «Basis» und «Pessimistisch».
- **Depot-Ladeinfrastruktur (Kapitel 3.3.2):** Drei Varianten des Verhältnisses von Fahrzeugen zu Ladepunkten – «Betriebsoptimiert», «Basis» und «Kostenoptimiert».
- **LSVA (Kapitel 3.4.1):** Drei Szenarien zur Einführung und Ausgestaltung – «schnelle Einführung», «Basis» und «langsame Einführung».
- **Energiepreise (Kapitel 3.4.3):** Drei Szenarien gemäss Energieperspektiven 2050 – «Konstant», «Weiter-wie-bisher» (WWB) und «Netto-Null».

Aus den faktorspezifischen Szenarien zu den Batteriepreisen, der Depot-Ladeinfrastruktur, der LSVA und den Energiepreisen wurden **drei Hauptszenarien** für die Modellierung der TCO, des Markthochlaufs, des Energiebedarfs und des Ladeinfrastrukturbedarfs abgeleitet, welche die Bandbreite der möglichen zukünftigen Entwicklungen aufzeigen:

- **«Optimistisch»:** Kombination aller für E-SNF optimistischen Annahmen (tiefe Batterie- und Ladeinfrastrukturstarkosten, günstige Energiepreise, langsame LSVA-Einführung).
- **«Basis»:** Kombination der mittleren Annahmen aller Parameter.
- **«Pessimistisch»:** Kombination aller für E-SNF pessimistischen Annahmen (hohe Kosten, hohe Energiepreise, schnelle LSVA-Einführung).

Die **Abgabe auf Elektrofahrzeuge** wurde für diese drei Hauptszenarien nicht berücksichtigt. Grund dafür ist, dass sich dieses Instrument zum Zeitpunkt der Erarbeitung der Studie noch in einer frühen Phase des politischen Prozesses befand und die Einführung und Ausgestaltung im Vergleich zu den anderen Faktoren damit mit zusätzlichen Unsicherheiten behaftet war. Der potenzielle Einfluss der Abgabe auf den Markthochlauf wird jedoch ergänzend in einem separaten Kapitel (vgl. Kapitel 4.2.4) untersucht.



Tabelle 4-1 fasst die Annahmen zu den wichtigsten Kostenfaktoren aus Kapitel 3 für alle drei Hauptszenarien zusammen.

Tabelle 4-1: Drei Hauptszenarien: Annahmen pro Szenario

Hauptszenario	2025	2030	2035	2040	2045	2050
«Basis»						
Batterie-Packpreise «Basis» (CHF/kWh)	186	145	120	101	88	78
Strompreise «WWB» (CHF/kWh)						
Öffentliche Standorte	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Depot	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Dieselpreise «WWB» (CHF/l)	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0
LSVA «Basis» (Rp./Tkm)						
Euro 6	2.39	2.82	2.82	3.26	3.26	3.26
Euro 7	0.00	2.40	2.40	2.82	3.26	3.26
E-SNF	0.00	0.96	2.15	2.39	2.39	2.39
Depot-Ladeinfrastruktur «Basis» (E-SNF/LP)	4	4	4	4	4	4
«Optimistisch»						
Batterie-Packpreise «Optimistisch» (CHF/kWh)	169	132	109	92	80	71
Strompreise «Netto-Null» (CHF/kWh)						
Öffentliche Standorte	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7
Depot	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
Dieselpreise «Netto-Null» (CHF/l)	1.8	1.9	2.0	2.0	2.1	2.2
LSVA «langsame Einführung» (Rp./Tkm)						
Euro 6	2.39	2.82	2.82	3.26	3.26	3.26
Euro 7	0.00	2.40	2.40	2.82	3.26	3.26
E-SNF	0.00	0.00	2.15	2.39	2.39	3.26
Depot-Ladeinfrastruktur «Kostenoptimiert» (E-SNF/LP)	3	3	3	3	3	3
«Pessimistisch»						
Batterie-Packpreise «Pessimistisch» (CHF/kWh)	203	158	131	110	96	85
Strompreise «Konstant» (CHF/kWh)						
Öffentliche Standorte	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
Depot	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Dieselpreise «Konstant» (CHF/l)	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
LSVA «schnelle Einführung» (Rp./Tkm)						
Euro 6	2.39	2.82	2.82	3.26	3.26	3.26
Euro 7	0.00	2.40	2.40	2.82	3.26	3.26
E-SNF	0.00	1.08	2.27	2.39	2.39	2.39
Depot-Ladeinfrastruktur «Betriebsoptimiert» (E-SNF/LP)	5	5	5	5	5	5



4.2 TCO und E-SNF-Markthochlauf

Dieses Kapitel präsentiert die Ergebnisse der TCO-Analysen für E-SNF und D-SNF sowie den daraus abgeleiteten Markthochlauf der E-SNF in der Schweiz.

Die Ergebnisse werden exemplarisch für das **Hauptszenario «Basis»** dargestellt, wobei wie erwähnt keine Abgabe auf Elektrofahrzeuge berücksichtigt ist. Die entsprechenden Resultate für die Hauptszenarien «Optimistisch» und «Pessimistisch» sind im Anhang C enthalten.

Ergänzend wird untersucht, welchen Einfluss der E-SNF-Markthochlauf auf die CO₂-Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge in der Schweiz hat (vgl. Kapitel 4.2.3). Zusätzlich wird in einem separaten Kapitel aufgezeigt, welche Auswirkungen eine mögliche Abgabe auf Elektrofahrzeuge auf die TCO, den Markthochlauf und die CO₂-Emissionen haben könnte (vgl. Kapitel 4.2.4).

4.2.1 TCO: E-SNF vs. D-SNF

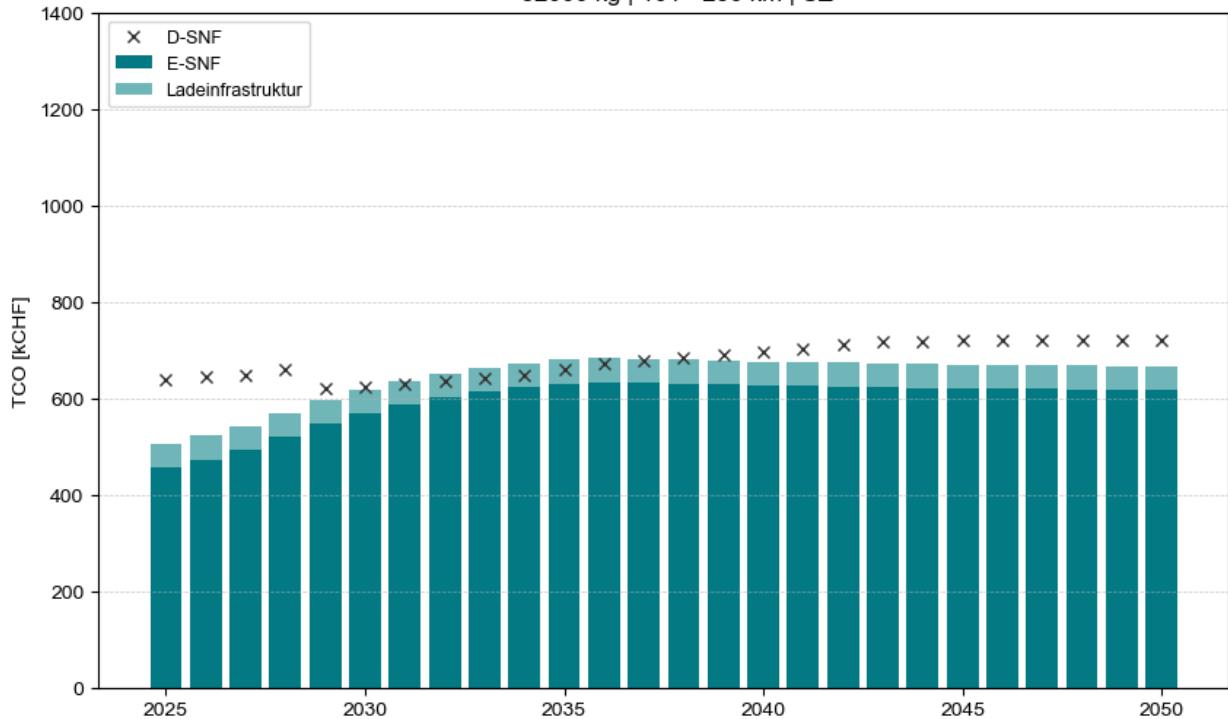
Die nachfolgend dargestellten Ergebnisse der TCO-Analysen zeigen die Gesamtkosten über die Erstnutzungsdauer von acht Jahren für jedes Anschaffungsjahr der Fahrzeuge bis 2050. Insgesamt wurden die TCO für 23 repräsentative Segmente der Schweizer SNF-Flotte berechnet, jeweils für E-SNF mit anteiligen Depot-Ladeinfrastrukturkosten und entsprechende D-SNF.

Die TCO setzen sich aus Investitions- und Betriebskosten zusammen, welche wiederum in ihre jeweiligen Kostenkomponenten zerlegt und bottom-up abgeschätzt wurden (Details zur Methodik vgl. Anhang A). Die zugrunde liegenden Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der relevanten Kostenfaktoren wurden in den Grundlagenkapiteln (Kapitel 3) präsentiert.

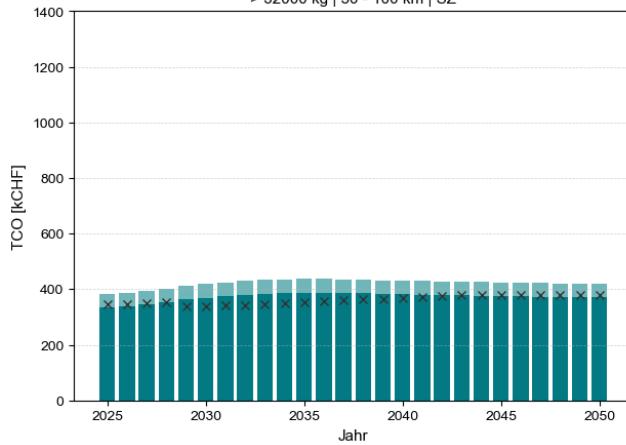
Abbildung 4-1 zeigt exemplarisch die Entwicklung der TCO im Zeitverlauf für das Segment Sattelzug (SZ) > 32 Tonnen. Dieses Segment ist sowohl hinsichtlich der Fahrzeuganzahl als auch des Anteils an der Gesamtfahrleistung der SNF das bedeutendste in der Schweiz (vgl. Anhang A, Abbildung 7-3).



> 32000 kg | 101 - 250 km | SZ



> 32000 kg | 50 - 100 km | SZ



> 32000 kg | > 250 km | SZ

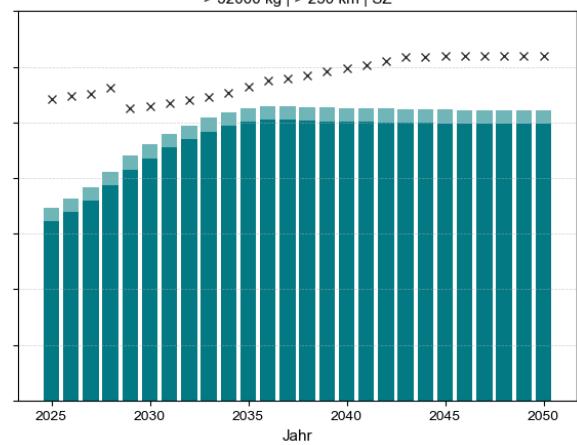


Abbildung 4-1: Entwicklung der TCO von E- und D-SNF pro Anschaffungsjahr, Segment «> 32 t, alle Fahrleistungsklassen, Sattelzug», Hauptszenario «Basis»

Die obere Darstellung in Abbildung 4-1 zeigt das Fahrleistungssegment 101–250 km, die beiden unteren Darstellungen beziehen sich auf die Segmente 50–100 km und > 250 km. Die Balken repräsentieren jeweils die TCO der E-SNF (Fahrzeuge inkl. anteiliger Depot-Ladeinfrastrukturkosten) über die Erstnutzungsdauer von acht Jahren für das jeweilige Anschaffungsjahr. Das Kreuz markiert die entsprechenden TCO der Dieselfahrzeuge des jeweiligen Segments.



Für das Fahrleistungssegment 101–250 km zeigt sich, dass die TCO der E-SNF im Jahr 2025 bereits unterhalb derjenigen der vergleichbaren Dieselfahrzeuge liegen – selbst unter Berücksichtigung der anteiligen Ladeinfrastrukturkosten. In den darauffolgenden Jahren steigen die TCO der E-SNF zunächst leicht an. Dieser Anstieg ist primär auf die Einführung der LSVA für E-SNF ab 2029 zurückzuführen: Mit jedem zusätzlichen Jahr im Betrachtungszeitraum wächst der Anteil der Betriebsjahre, in denen das Fahrzeug LSVA-pflichtig ist, was die Gesamtkosten entsprechend erhöht.

Ab dem Jahr 2029 gelten die E-SNF als vollumfänglich LSVA-pflichtig, wobei in den Berechnungen die Rabatte gemäss Basisszenario (vgl. Kapitel 3.4.1, Tabelle 3-4) berücksichtigt wurden. Trotz dieser Zusatzkosten liegen die fahrzeugbezogenen TCO (ohne Ladeinfrastruktur) weiterhin unterhalb derjenigen der Dieselfahrzeuge.

Werden jedoch auch die anteiligen Ladeinfrastrukturkosten einbezogen, ergibt sich zwischen 2031 und 2038 ein TCO-Nachteil der E-SNF gegenüber den Dieselfahrzeugen. Ab 2039 kehrt sich dieses Verhältnis um: E-SNF werden wieder kostengünstiger, insbesondere aufgrund der stärker steigenden LSVA-Kosten der Dieselfahrzeuge, der sinkenden Batteriepreise und der geringeren Wartungskosten.

Die Fahrleistung erweist sich dabei als zentraler Wettbewerbsfaktor: Der Vergleich zwischen den Fahrleistungssegmenten verdeutlicht, dass bei niedriger Fahrleistung (50–100 km) die TCO der E-SNF (inkl. Ladeinfrastrukturkosten) für alle Anschaffungsjahre bis 2050 über denjenigen der Dieselfahrzeuge liegen. Bis 2050 nähern sich die Kosten jedoch an.

Im Gegensatz dazu sind E-SNF im Hochleistungssegment (> 250 km) bereits für alle Anschaffungszeitpunkte bis 2050 günstiger als ihre Diesel-Pendants – selbst bei Einbezug der Ladeinfrastrukturkosten.

Die Ergebnisse unterstreichen damit den wesentlichen Einfluss der Fahrleistung auf die Wirtschaftlichkeit der Elektrifizierung.

An dieser Stelle ist nochmals hervorzuheben, dass weitere potenziell relevante Einflussfaktoren – wie die Abgabe auf Elektrofahrzeuge, CO₂-Emissionsvorschriften oder Förderbeiträge für Ladeinfrastruktur – nicht berücksichtigt wurden. Die möglichen Auswirkungen der Abgabe werden in Kapitel 4.2.4 vertieft aufgezeigt. Die Auswirkungen der weiteren genannten Faktoren werden im Diskussionsteil (Kapitel 5) erörtert.

Eine detaillierte Aufschlüsselung der berücksichtigten Kostenkomponenten ist für die Jahre 2025, 2030 und 2035 in Abbildung 4-2 dargestellt am Beispiel des Segments «> 32 t, 101–250 km, SZ» dargestellt.

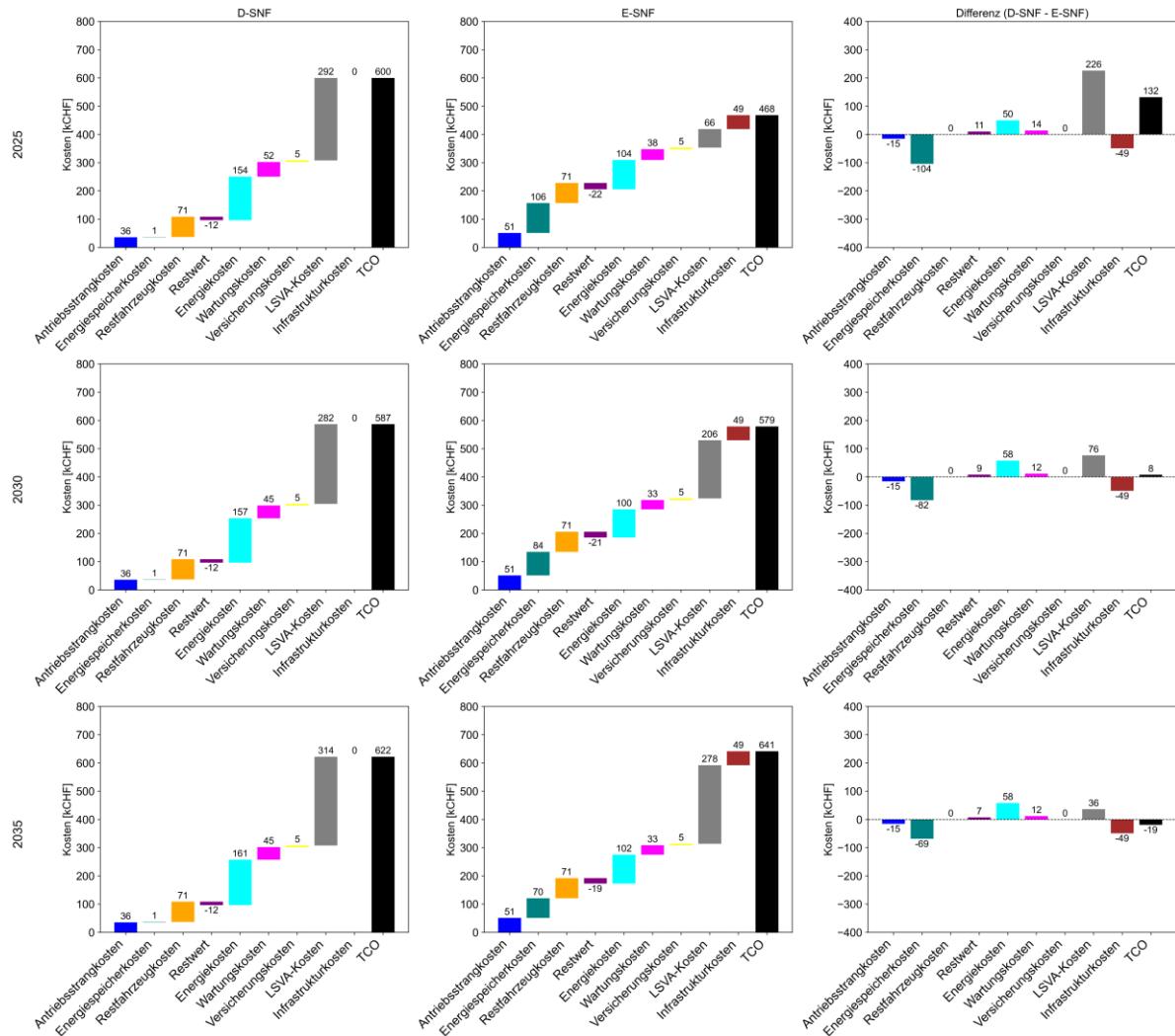


Abbildung 4-2: Kostenaufschlüsselung für die Jahre 2025, 2030 und 2035, Segment «> 32 t, 101-250 km, SZ», Hauptszenario «Basis»

Für jedes Jahr sind drei Diagramme dargestellt:

- Links die Kostenstruktur des Diesel-Fahrzeugs (D-SNF),
- in der Mitte die Kostenstruktur des Elektrofahrzeugs (E-SNF),
- rechts die Differenz zwischen D-SNF und E-SNF je Kostenkategorie.

In der rechten Darstellung gilt: Positive Balken (oberhalb der gestrichelten Linie) zeigen Kostenvorteile zugunsten des E-SNF, negative Balken hingegen Kostenvorteile für den Diesel in der jeweiligen Kostenposition. Die Abbildungen verdeutlichen insbesondere zwei zentrale Unterschiede: Zum einen weist das E-SNF höhere Investitionskosten im Bereich der Energiespeicherung auf – die Traktionsbatterie ist deutlich teurer als der Kraftstofftank eines Diesel-Fahrzeugs. Zum anderen fallen beim E-SNF zusätzliche Kosten für die Ladeinfrastruktur an. Beim Diesel-SNF wurden keine Infrastrukturkosten berücksichtigt, da bestehende Diesel-Tankanlagen in Logistikdepots nur marginale Kosten verursachen und deshalb vernachlässigt werden können.



Bei den Ladeinfrastrukturkosten wurden auf Grundlage realer Kostendaten des Systems «eLoaded» (vgl. Kapitel 3.2.2) die effektiven Kosten pro Ladepunkt für eine Systemarchitektur berechnet, bei der die durchschnittliche Ladeleistung pro Ladepunkt 100 kW beträgt.

Am deutlichsten fällt unter den hier berücksichtigten Kostenfaktoren die Kostendifferenz bei der LSVA ins Gewicht: Aufgrund des hohen Fahrzeuggewichts und der hohen Fahrleistung ist der finanzielle Effekt bei Dieselfahrzeugen in diesem Segment besonders ausgeprägt – entsprechend markant zeigt sich der Vorteil für das E-SNF in der LSVA-Kostenposition im Jahr 2025. Im Jahr 2035 sind die Kostenvorteile bei der LSVA für E-SNF nur noch marginal, wodurch die höheren Energiespeicher- und Infrastrukturkosten nicht mehr kompensiert werden können. Langfristig relevant sind dagegen die erheblichen Kostenvorteile von E-SNF bei den Energie- und Wartungskosten. Dazu tragen der höhere Wirkungsgrad der Elektromotoren und die im Vergleich zum Diesel tieferen Strompreise bei.

Hinsichtlich der Restwerte wurde sowohl für E- als auch für D-SNF angenommen, dass diese nach acht Jahren Betriebszeit bei 15 % des Anschaffungspreises liegen. Eine Einordnung dieser Annahme ist im Kapitel 5.1.1 aufgeführt.

Eine Übersicht der TCO im Zeitverlauf für alle 23 Segmente jeweils für die drei Hauptzenarien «Basis», «Optimistisch» und «Pessimistisch» ist im Anhang C verfügbar.

Deep-Dive: Wahl der Batteriekapazität

Der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf hängt unter anderem von der Batteriekapazität der E-SNF ab (siehe Kapitel 1.2 «Problemstellung»). Damit stellt sich die Frage, über welche Batteriekapazitäten künftige E-SNF verfügen werden bzw. welche Batteriegrösse aus TCO-Perspektive für Logistikunternehmen die wirtschaftlich sinnvollste Wahl darstellt. Die Batteriekapazität hat einen direkten Einfluss auf mehrere Kostenkomponenten:

- Grössere Batterien bedeuten höhere Investitionskosten,
- sie ermöglichen jedoch geringere Anteile an öffentlichem Laden und damit tiefere Energiekosten, da Depotladen deutlich günstiger ist,
- gleichzeitig führen sie zu einem höheren Fahrzeuggewicht, was den Energieverbrauch leicht erhöht,
- und sie erzeugen durch die vermehrte Nutzung des Heimdepots einen höheren Ladeinfrastrukturbedarf im Depot.

Zur quantitativen Bewertung wurden die Summe aus Batterie (Energiespeicherkosten), Strom (Energiekosten) und Depot-Ladeinfrastruktur untersucht – jeweils für die unterstellte Batteriekapazität des Segments Sattelzug > 32 t (vgl. Anhang A, Tabelle 7-1) sowie für Abweichungen von +/-20 %. Die Resultate werden für die Jahre 2025, 2030 und 2035 wiederum für das Fahrleistungssegment 101-250 km dargestellt.

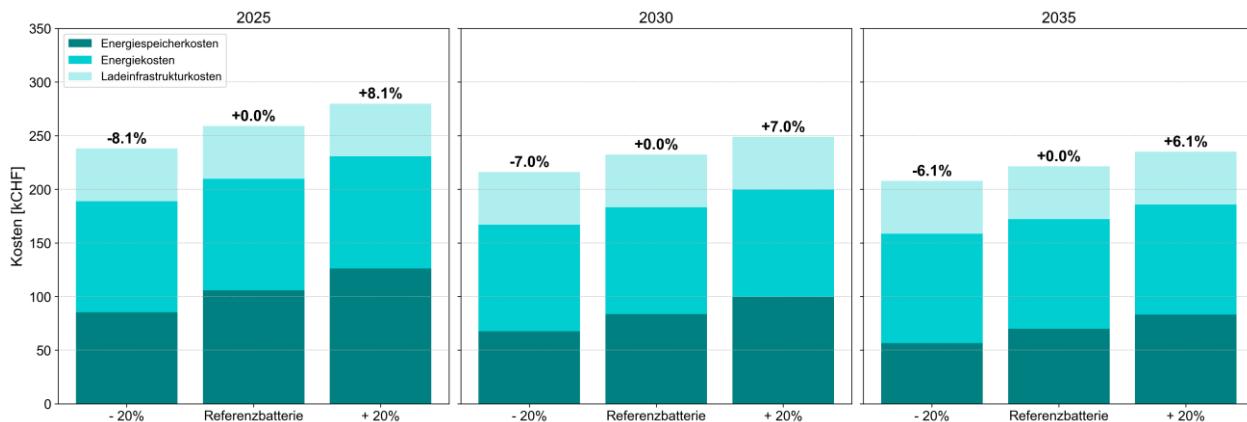


Abbildung 4-3: Energiespeicher-, Energie- und Ladeinfrastrukturkosten für die Jahre 2025, 2030 und 2035 unter Variation der Batteriekapazitäten, Segment «> 32 t, 101-250 km, SZ», Hauptszenario «Basis»

Abbildung 4-3 zeigt den Einfluss unterschiedlicher Batteriekapazitäten auf die Kosten. Im Jahr 2025 (linke Darstellung) führt eine 20 % kleinere Batterie zu einer Reduktion der Energiespeicher-, Energie- und Ladeinfrastrukturkosten um rund 8 %, während eine 20 % grössere Batterie eine Kostensteigerung um etwa 8 % verursacht.

Diese Differenz entsteht, weil in diesem Fahrleistungssegment die tieferen Energiekosten durch vermehrtes Depotladen bei grösserer Batterie die höheren Investitions- und Infrastrukturkosten nicht vollständig kompensieren können. Mit sinkenden Batteriepreisen verringert sich dieser Unterschied jedoch: So beträgt im Jahr 2035 die Abweichung zwischen kleinerer und grösserer Batterie nur noch etwa +/- 6 %.

Die Analysen zeigten allerdings eine hohe Sensitivität gegenüber der Fahrleistung:

- Im **Segment 50–100 km** verstärkt sich der beschriebene Effekt, da die Batteriekosten bei geringer Fahrleistung stärker ins Gewicht fallen.
- Im **Segment > 250 km** zeigt sich hingegen das umgekehrte Bild: Hier liegen die Batterie-, Energie- und Depotladeinfrastrukturkosten bereits heute bei grösserer Batterie niedriger, da die Energiekosten stärker ins Gewicht fallen und damit die Kostenvorteile durch mehr Depotladen überwiegen.

Aus Kostensicht lässt sich somit festhalten, dass grössere Batteriekapazitäten langfristig vorteilhaft sind – bei hohen Fahrleistungen ist dies sogar bereits heute der Fall.

Neben der reinen Kostenperspektive bieten grössere Batterien allerdings auch betriebliche Vorteile:

- Höhere Flexibilität im Fahrzeugeinsatz und geringerer Planungsaufwand,
- Möglichkeit höherer Ladeleistungen,
- Potenzial zur Integration zusätzlicher Funktionen wie Lastmanagement, Eigenverbrauchsoptimierung oder netzdienliches Laden,
- Geringere Zyklenbelastung der Batterie und damit potenziell längere Lebensdauer.



Ein möglicher Nachteil besteht in der geringeren Nutzlast, was jedoch primär bei leichten Nutzfahrzeugen relevant ist.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Vorteile grösserer Batterien die potenziellen Nachteile überwiegen. Diese Erkenntnis ist insbesondere für die Interpretation des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs der inländischen Fahrzeuge relevant und wird im Diskussionsteil (Kapitel 5.1.2) nochmals aufgegriffen.

4.2.2 E-SNF-Markthochlauf

Die nachfolgenden Ergebnisse zeigen den Markthochlauf der E-SNF für das Hauptszenario «Basis». Der dargestellte Verlauf ergibt sich direkt aus den zuvor beschriebenen TCO-Analysen.

Zunächst werden die aus den TCO-Differenzen zwischen E- und D-SNF abgeleiteten Marktanteile an den Neuzulassungen (vgl. Kapitel 3.1 «Grundlagen») in der Schweiz dargestellt. Anschliessend wird gezeigt, wie sich diese jährlichen Neuzulassungen über die Zeit in den Fahrzeugbestand umwälzen und damit den elektrischen Anteil an der gesamten SNF-Flotte beeinflussen. In einem Deep-Dive wird vertieft analysiert, welchen Einfluss die unterschiedlichen LSVA-Szenarien auf die Marktanteile und den Markthochlauf haben. Ergänzende Analysen zum Einfluss der verschiedenen Szenarien zu den Batteriepreisen, Energiepreisen und Ladeinfrastrukturkosten sind im Anhang C dokumentiert.

Abbildung 4-4 zeigt die Entwicklung des Marktanteils der E-SNF an allen Neuzulassungen in der Schweiz im Basisszenario. Der Anteil elektrischer Fahrzeuge steigt zunächst bis 2028 deutlich an, bevor es ab 2029 zu einem vorübergehenden Rückgang kommt. Dieser Rückgang ist primär auf die Einführung der LSVA für E-SNF sowie auf die im Modell berücksichtigte – und auch in der Praxis beobachtbare – hohe Kostensensitivität der Logistikunternehmen zurückzuführen.

Zu Beginn des Betrachtungszeitraums (2025) wurde von einer hohen Hemmschwelle für den Umstieg auf E-SNF ausgegangen. Selbst bei einer negativen TCO-Differenz (d. h. günstigeren E-SNF) erfolgt nicht in allen Fällen ein Wechsel, da eine systematische Präferenz für Diesel unterstellt wurde. Gründe dafür sind die unzureichend ausgebauten Ladeinfrastrukturen – insbesondere in den Depots – sowie notwendige betriebliche Anpassungen.

In der Folge sinkt der Marktanteil bis 2033, bevor er sich bis 2036 wieder erholt. Zwischen 2035 und 2036 ist eine leichte Abflachung erkennbar, die mit dem Auslaufen der LSVA-Rabatte für E-SNF zusammenhängt. Dieser Effekt bleibt jedoch begrenzt, da ab 2036 angenommen wird, dass auch bei einer geringfügig positiven TCO-Differenz (E-SNF teurer als D-SNF) ein Umstieg erfolgt. Zu diesem Zeitpunkt wurden die notwendigen Anfangsinvestitionen bereits getätigt und betriebliche Prozesse angepasst, wodurch eine systematische Präferenz für Elektrofahrzeuge unterstellt werden kann. Für die Interpretation der Marktanteile ist nochmals zu betonen, dass diese auf den TCO-Berechnungen basieren, also auf den Gesamtkosten der Fahrzeuge über eine Betriebsdauer von acht Jahren. Das bedeutet, dass im Marktanteil eines Jahres bereits künftige Kostenentwicklungen antizipiert werden.

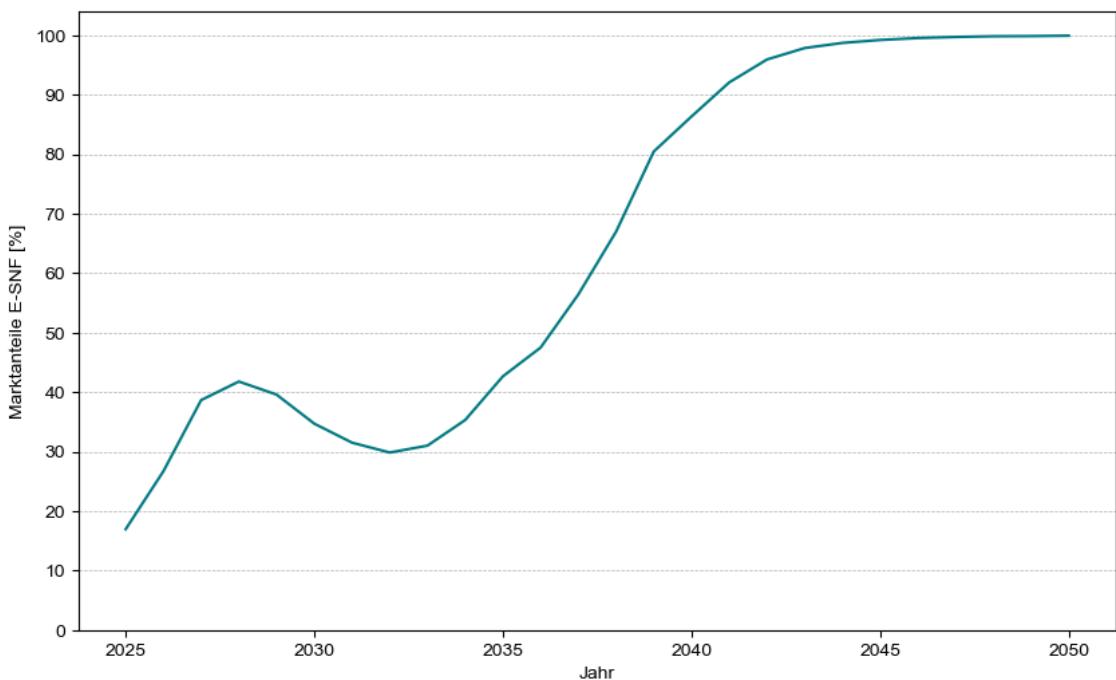


Abbildung 4-4: Entwicklung der E-SNF-Marktanteile an den SNF-Neuzulassungen, Hauptszenario «Basis»

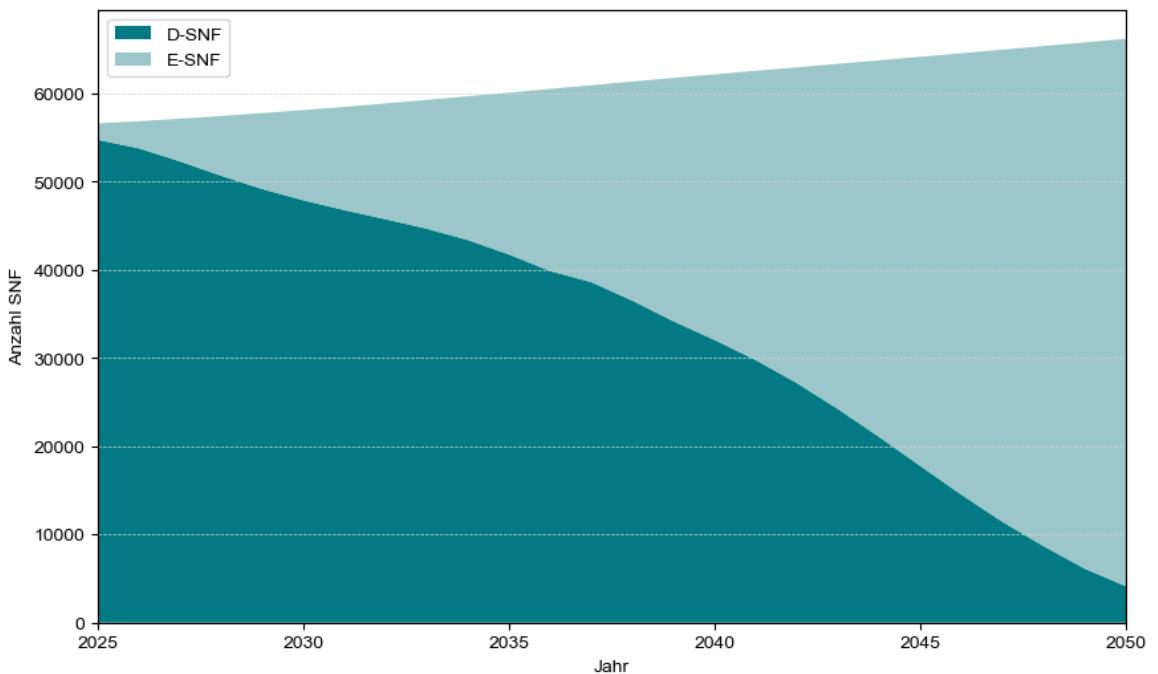


Abbildung 4-5: Entwicklung des E-SNF-Bestands, Hauptszenario «Basis»



Die Auswirkungen auf den Fahrzeugbestand sind in Abbildung 4-5 dargestellt. Im Basisszenario liegt der Anteil der E-SNF im Bestand im Jahr 2030 bereits bei rund 18 %, was auf den raschen Markthochlauf infolge der LSVA-Befreiung in den Anfangsjahren zurückzuführen ist. Bis 2035 steigt der Anteil auf 31 %, und 2040 ist mit rund 49 % fast die Hälfte des Bestands elektrifiziert. Bis 2050 erreicht der Anteil der E-SNF schliesslich rund 94 %, womit der überwiegende Teil der Schweizer SNF-Flotte elektrifiziert ist.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass die Ausgestaltung der LSVA die Dynamik des Markthochlaufs und damit die Entwicklung des E-SNF-Bestands stark beeinflusst. Im hier gezeigten Basisszenario wird das gemäss der Botschaft des Bundesrats zur künftigen Ausgestaltung der LSVA (vgl. Kapitel 3.4.1) vorgesehene Modell unterstellt – mit einer Einführung der LSVA ab 2029 und einem Rabatt von 70 %, der jährlich um 10 Prozentpunkte reduziert wird.

Deep-Dive: Auswirkungen der verschiedenen LSVA-Szenarien auf den Markthochlauf

Abbildung 4-6 zeigt, wie sich die Entwicklung der Marktanteile der E-SNF an den Neuzulassungen in den drei LSVA-Szenarien – «schnelle Einführung», «Basis» und «langsame Einführung» – unterscheidet (vgl. Tabelle 3-4 für eine detaillierte Darstellung dieser LSVA-Szenarien).

Im Szenario «schnelle Einführung» (Einführung der LSVA im Jahr 2029 mit geringeren Rabatten als im Basisfall) sinkt der Marktanteil der E-SNF zwischen 2028 und 2032 auf 23 % deutlich ab. Im Gegensatz dazu zeigt das Szenario «langsame Einführung» (Einführung erst im Jahr 2031, d.h. mit 100 % Rabatt in den Jahren 2029 und 2030) einen deutlich stärkeren Anstieg der Marktanteile in den frühen 2030er-Jahren. Aufgrund der später einsetzenden LSVA-Belastung bleibt der Marktanteil über mehrere Jahre hinweg auf einem höheren Niveau als im Basisfall.

Ab 2036 gleichen sich die Marktanteile in allen Szenarien an, da zu diesem Zeitpunkt keine Rabatte mehr gelten und somit dieselben Rahmenbedingungen für alle Varianten wirksam sind.

Abbildung 4-7 zeigt die Auswirkungen der verschiedenen LSVA-Szenarien auf die Entwicklung des E-SNF-Bestands. Dabei wird deutlich, dass die Unterschiede zwischen den Szenarien im Jahr 2035 am grössten ausfallen. In diesem Jahr beträgt die Differenz zwischen dem Szenario «langsame-Einführung» und dem Szenario «schnelle Einführung» rund 4'000 Fahrzeuge im Bestand. Nach 2036 verringern sich die Unterschiede sukzessive, da die LSVA-Rabatte in allen Szenarien auslaufen.

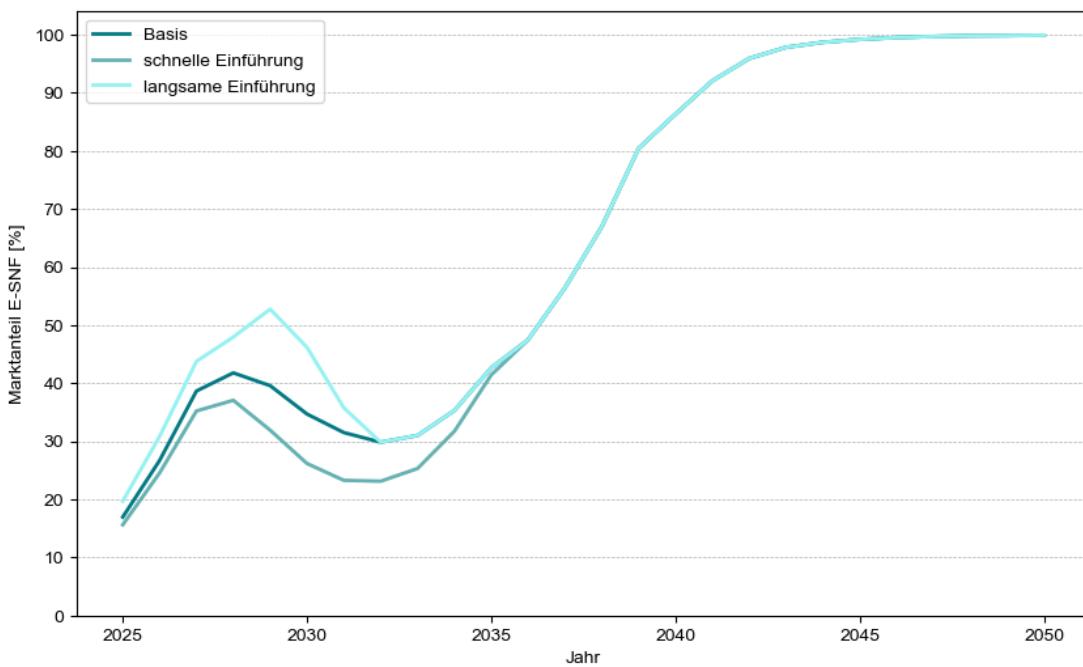


Abbildung 4-6: Entwicklung der E-SNF-Marktanteile an den Neuzulassungen für verschiedene LSVA-Rabattsysteme im Hauptscenario «Basis»

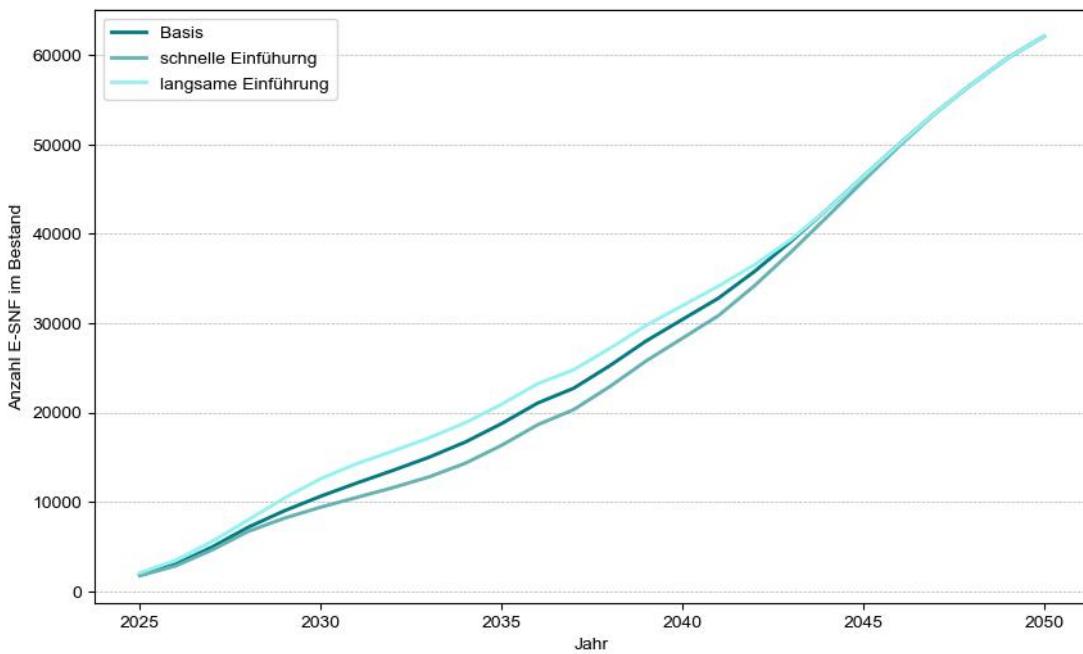


Abbildung 4-7: Entwicklung des E-SNF-Bestands für verschiedene LSVA-Rabattsysteme im Hauptscenario «Basis»



Deep-Dive: Sensitivität der Marktanteile gegenüber den Batteriepreisen

Im Vergleich zu anderen Kostenkomponenten unterliegt die Entwicklung der Batteriepreise besonders hohen Unsicherheiten. Prognosen verschiedener Quellen unterscheiden sich teils deutlich – sowohl zwischen Weltregionen (USA, China, Europa) als auch hinsichtlich der Frage, welche Preise für die Schweiz letztlich massgeblich sind (vgl. Kapitel 3.2.1).

Vor diesem Hintergrund wurde die Sensitivität des Markthochlaufs gegenüber den Batteriepreisen vertieft untersucht. Abbildung 4-8 zeigt – am Beispiel des Basisszenarios –, wie sich die Marktanteile der E-SNF an den Neuzulassungen verändern, wenn die Batteriepreise schrittweise um $\pm 10\%$, $\pm 20\%$ und $\pm 30\%$ variiert werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen, dass niedrigere Batteriepreise die Marktanteile substanziell beeinflussen: Bei 30 % geringeren Preisen würde der Marktanteil bei den Neuzulassungen im Jahr 2033 rund 10 Prozentpunkte höher (ca. 40 %) liegen als im Basisszenario. Umgekehrt reduziert sich der Anteil bei 30 % höheren Preisen um rund 7 Prozentpunkte und fällt auf etwa 23 %. Der Fall +10 % entspricht dabei dem in dieser Studie definierten pessimistischen Szenario, -10 % entsprechen dem optimistischen Szenario. Da der im Basisszenario unterstellte Preisverlauf – wie in Kapitel 3.2.1 erläutert – eher konservativ eingeschätzt werden kann, ist es durchaus denkbar, dass sich die tatsächliche Entwicklung eher an den oberen Kurven der Sensitivitätsanalyse orientieren wird.

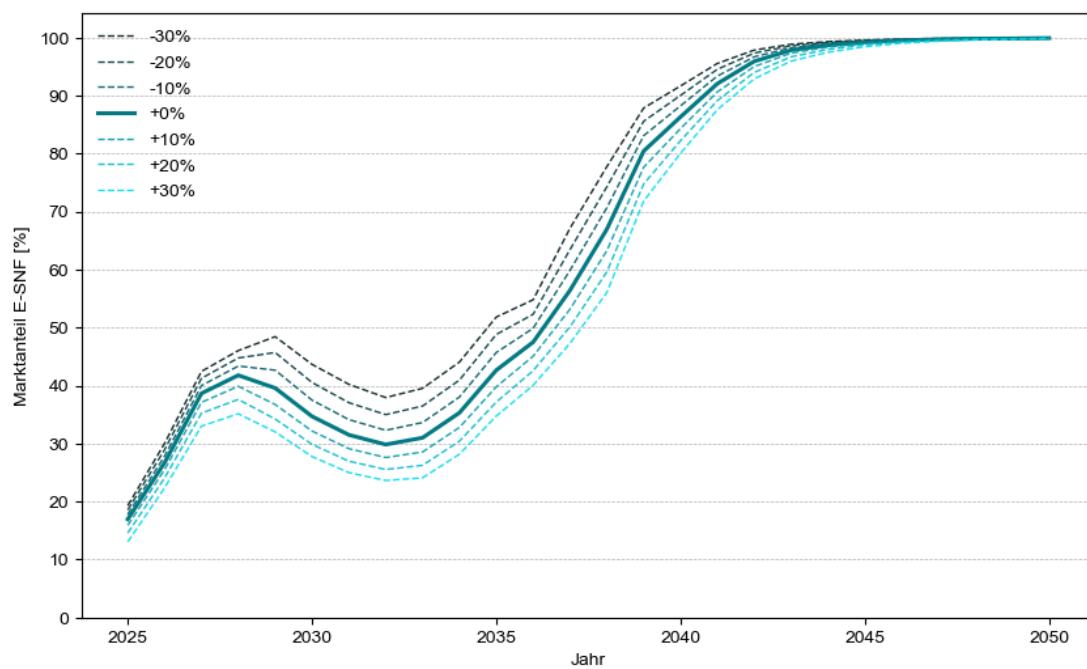


Abbildung 4-8: Sensitivität der E-SNF-Marktanteile gegenüber den Batteriepreisen, Hauptszenario «Basis»



Vergleich der drei Markthochlauf-Hauptszenarien

Weiter wurde wiederum ausgehend vom Basisszenario untersucht, wie sensitiv der Markthochlauf der E-SNF auf die weiteren zentralen Einflussfaktoren Batteriepreise, Energiepreise und Depot-Ladeinfrastrukturkosten reagiert. Die Ergebnisse zeigen, dass der Markthochlauf stark auf die Annahmen zum Verhältnis von Fahrzeugen zu Ladepunkten – und damit auf die fahrzeugbezogenen Depot-Ladeinfrastrukturkosten – reagiert. Zwischen dem Szenario «Betriebs-optimiert» (3 E-SNF pro Ladepunkt) und dem Szenario «Kostenoptimiert» (5 E-SNF pro Ladepunkt) beträgt die Differenz im Jahr 2035 rund 7'000 Fahrzeuge. Dies zeigt den hohen Einfluss der Ladeinfrastrukturkosten auf den Markthochlauf von E-SNF. Damit wird auch die hohe Bedeutung von Förderinstrumenten für die Realisierung von Depot-Ladeinfrastruktur auf Bundes- und auf Kantonsebene hervorgehoben (vgl. Kapitel 3.4.5). Bei den Batteriepreisen ist die Spannweite zwischen optimistischen und pessimistischen Annahmen zu gering, um substantielle Veränderungen im Markthochlauf zu bewirken. Bei den Energiepreisen gleichen sich die Effekte weitgehend aus, da sich die Strom- und Dieselpreise in den jeweiligen Szenarien ähnlich entwickeln – beispielsweise steigen beide im Szenario «Netto-Null» vergleichbar stark an. Dadurch verändern sich die TCO-Differenzen zwischen E-SNF und D-SNF nur marginal. Die Sensitivitätsanalysen sind im Anhang C verfügbar.

Die Kombination aller für E-SNF günstigen Annahmen ergibt das Hauptszenario «Optimistisch», während die Kombination aller ungünstigen Annahmen das Szenario «Pessimistisch» beschreibt. Diese beiden Szenarien spannen den Korridor des möglichen Markthochlaufs auf, wie in Abbildung 4-9 und Abbildung 4-10 dargestellt. Tabelle 4-2 zeigt ergänzend die resultierenden E-SNF-Anteile am Gesamtbestand für alle drei Hauptszenarien.

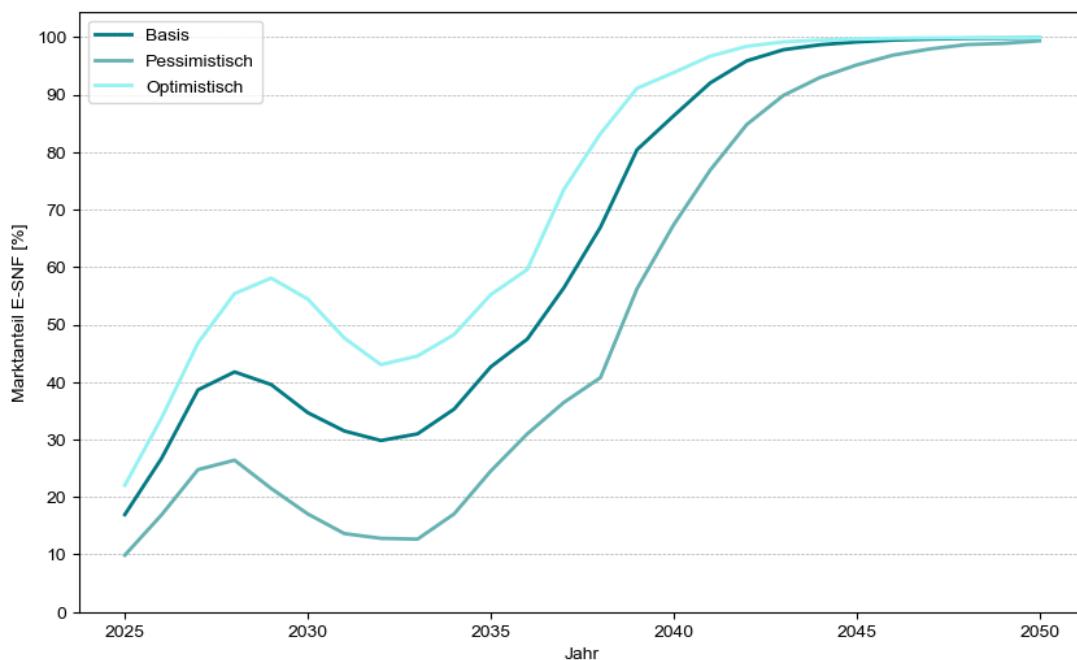


Abbildung 4-9: Markthochlauf-Hauptszenarien im Vergleich: Entwicklung der Marktanteile

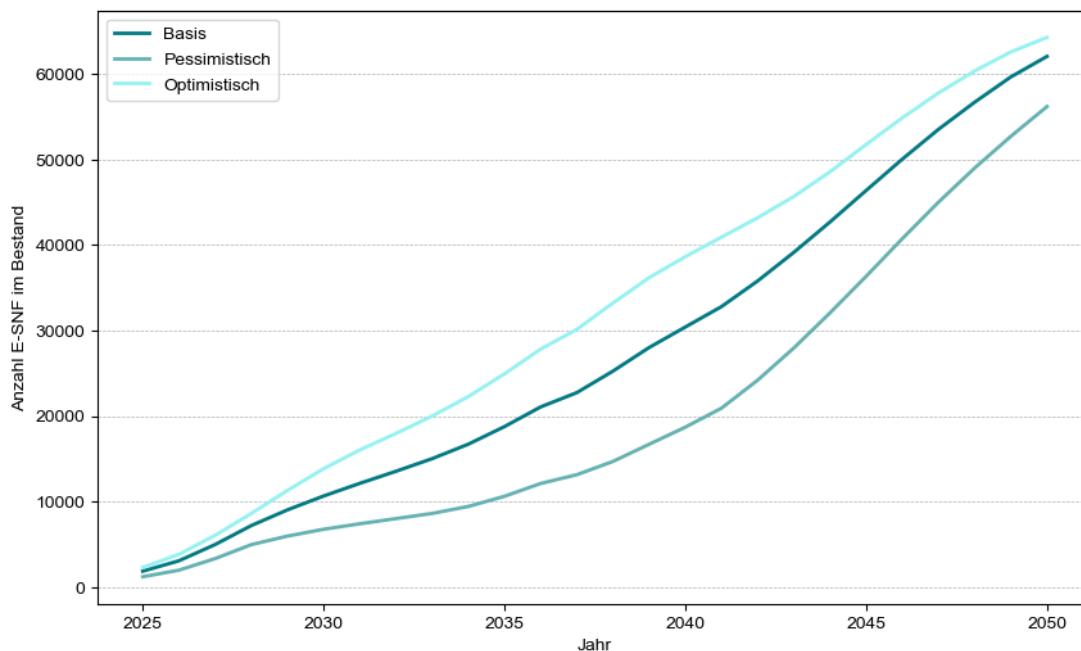


Abbildung 4-10: Markthochlauf-Hauptszenarien im Vergleich: Entwicklung des Bestands

Tabelle 4-2: E-SNF-Anteile am Gesamtbestand für die drei Hauptszenarien

	2030	2035	2040	2045	2050
Basis	18.3 %	31.2 %	48.9 %	72.3 %	93.8 %
Pessimistisch	11.6 %	17.7 %	30.3 %	56.7 %	84.9 %
Optimistisch	23.8 %	41.5 %	62.2 %	80.7 %	97.1 %

4.2.3 CO₂-Emissionen der D-SNF in der Schweiz

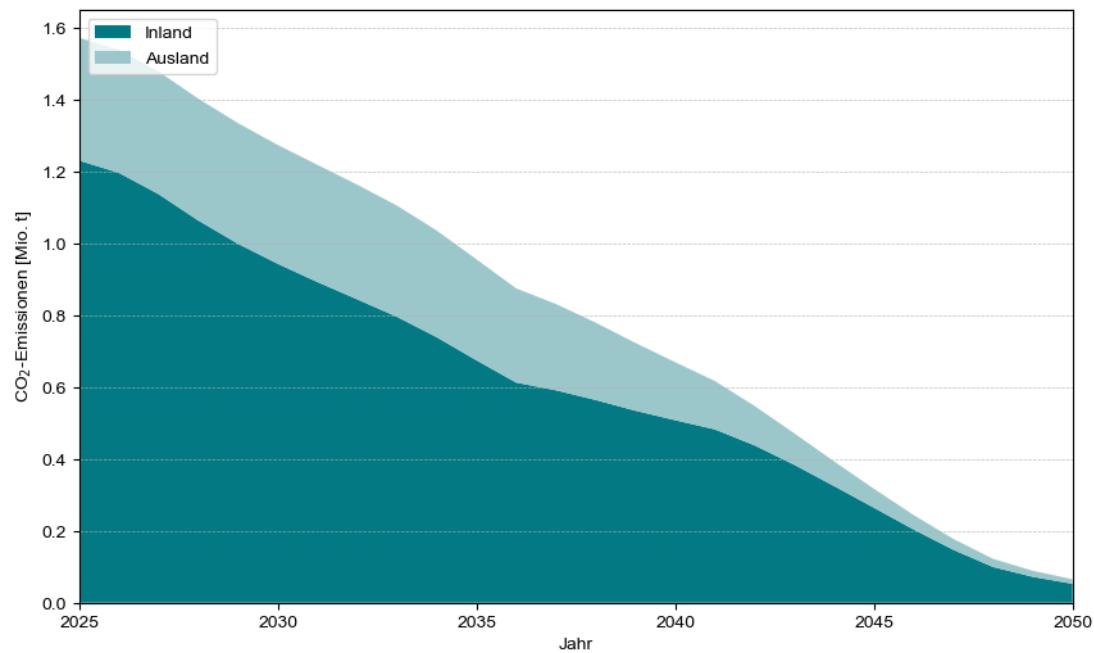
In diesem Abschnitt wird dargestellt, welche Auswirkungen der modellierte Markthochlauf der E-SNF auf die CO₂-Emissionen der Schweizer SNF-Flotte hat. Die Modellierung erfolgt gemäss dem in Kapitel 2.2.5 (Abschnitt 1) beschriebenen Vorgehen und berücksichtigt sowohl die inländischen als auch die ausländischen Fahrzeuge.

Abbildung 4-11 zeigt für das Basisszenario die Entwicklung der CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz bis 2050. Der Verlauf der Emissionen folgt dabei direkt der Entwicklung des Fahrzeugbestands. Die von den Diesel-SNF (Gesamtverkehr) verursachten CO₂-Emissionen liegen im Jahr 2025 bei rund 1.6 Millionen Tonnen und sinken bis 2045 deutlich auf etwa 320'000 Tonnen.

Im Anhang C ist zudem für das Basisszenario dargestellt, wie sich die unterschiedlichen LSA-Szenarien auf den Verlauf der CO₂-Emissionen auswirken. Ergänzend werden dort auch die drei Hauptszenarien («Optimistisch», «Basis», «Pessimistisch») im direkten Vergleich gezeigt.



Abbildung 4-11: Entwicklung der CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz,
Hauptszenario «Basis»





4.2.4 Auswirkungen der Abgabe auf Elektrofahrzeuge (Variante «Fahrleistung»)

Aufgrund der zum Zeitpunkt der Erarbeitung der Studie hohen Unsicherheiten hinsichtlich Ausgestaltung einer künftigen Abgabe auf Elektrofahrzeuge wurde dieses Instrument nicht in die Hauptszenarien integriert. In diesem Kapitel wird ergänzend untersucht, welchen Einfluss eine Abgabe auf Elektrofahrzeuge auf die TCO, die Marktanteile, den Bestand sowie die daraus resultierenden CO₂-Emissionen haben könnte.

Im Fokus steht die Variante «Fahrleistung», wie sie in der Vernehmlassungsvorlage skizziert ist, weil diese bereits ab 2030 auch für E-SNF eingeführt werden soll. Die Ergebnisse zeigen, wie sich die relevanten Kennzahlen im Vergleich zum Referenzfall (Basisszenario, ohne Abgabe) entwickeln.

TCO-Entwicklung mit Einbezug der Abgabe Variante «Fahrleistung»

Abbildung 4-12 zeigt die Entwicklung der TCO der E-SNF für alle Anschaffungsjahre bis 2050 im Segment Sattelzug > 32 t und für alle drei Fahrleistungsklassen, jeweils mit und ohne Abgabe sowie im Vergleich zu den entsprechenden D-SNF.

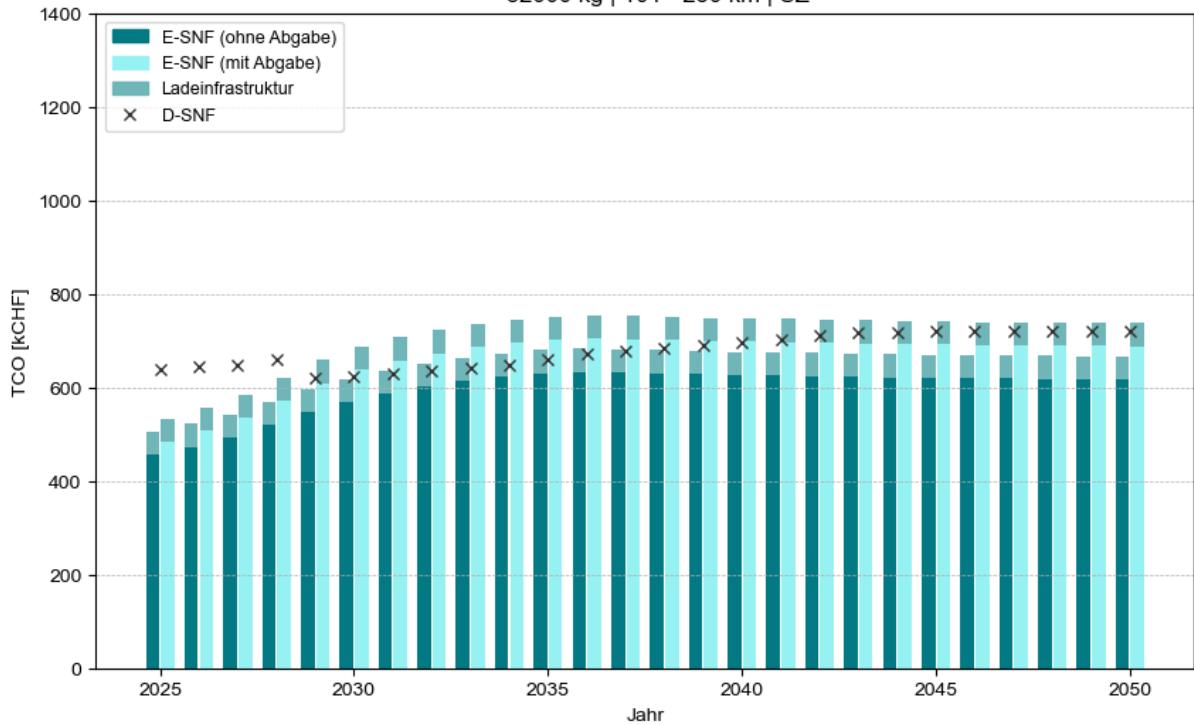
Für die Fahrleistungsklasse 101 – 250 km zeigt sich, dass die TCO der E-SNF in den Jahren 2025 bis 2028 – selbst unter Einbezug der Ladeinfrastrukturkosten sowie der bereits wirksamen Abgabe (aufgrund der achtjährigen Betriebszeit in der TCO-Berechnung) – unterhalb derjenigen der Dieselfahrzeuge liegen. Ab 2029 führt jedoch die Einführung der Abgabe im 2030 zu einem deutlichen Anstieg der TCO der E-SNF, wodurch diese bis ins Jahr 2050 oberhalb der Diesel-TCO liegen. Zwar steigen die TCO der D-SNF infolge der LSVA-Verschärfungen über die Zeit kontinuierlich an, sie bleiben jedoch bis etwa 2048 leicht unterhalb der TCO der E-SNF, bevor sich bis 2050 nahezu Kostenparität einstellt.

Im Fahrleistungssegment 50 – 100 km verschärft sich die Situation für die E-SNF: Die TCO der E-SNF liegen hier über den gesamten Betrachtungszeitraum deutlich über jenen der D-SNF. Hingegen zeigt sich im Hochfahrleistungssegment (> 250 km), dass die E-SNF selbst mit Abgabe ab etwa 2040 wieder kostengünstiger als Dieselfahrzeuge sind.

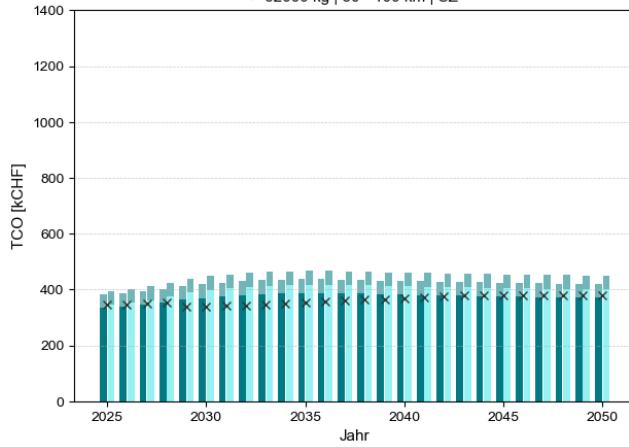
An dieser Stelle sei erneut darauf hingewiesen, dass weitere potenziell relevante Faktoren – etwa CO₂-Emissionsvorschriften oder Förderbeiträge für Ladeinfrastruktur – nicht berücksichtigt sind. Diese würden die Kostenrelationen zugunsten der E-SNF verschieben.



> 32000 kg | 101 - 250 km | SZ



> 32000 kg | 50 - 100 km | SZ



> 32000 kg | > 250 km | SZ

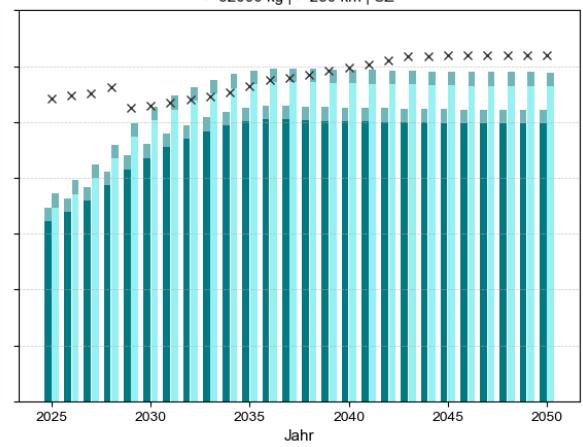


Abbildung 4-12: Entwicklung der TCO von E- und D-SNF, Segment «> 32 t, alle Fahrleistungsklassen, Sattelzug», mit- und ohne Abgabe, Hauptzenario «Basis»

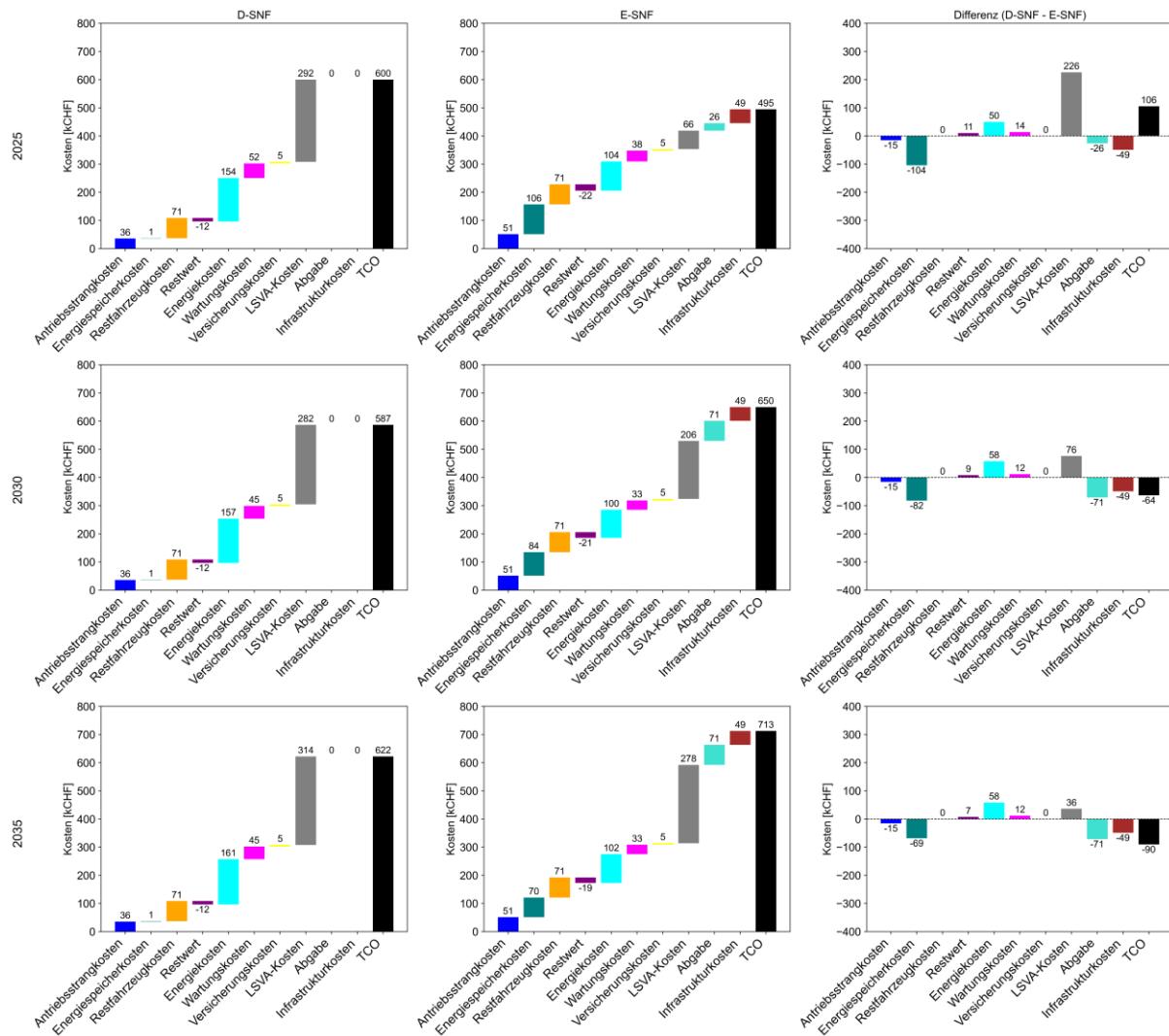


Abbildung 4-13: Kostenaufschlüsselung für die Jahre 2025, 2030 und 2035, Segment «> 32 t, 101–250 km, SZ», mit Abgabe, Hauptszenario «Basis»

Abbildung 4-13 zeigt die detaillierte Kostenaufschlüsselung für das Fahrleistungssegment 101–250 km. Dabei wird deutlich, dass sich die Abgabe in den TCO für das Anschaffungsjahr Jahr 2025 mit rund 26'000 Franken niederschlägt. Dieser Betrag ergibt sich daraus, dass die Abgabe gemäss Annahmen erst ab 2030 eingeführt wird und die TCO jeweils über eine Betriebsdauer von acht Jahren berechnet werden. Entsprechend sind in den 2025er TCO lediglich drei Jahre mit Abgabe enthalten.

In den Anschaffungsjahren 2030 und 2035 ist die Abgabe hingegen vollumfänglich in den TCO berücksichtigt und beträgt für dieses Segment rund 70'000 Franken. Im Jahr 2035 entspricht dies etwa einem Viertel der LSVA-Kosten, welche in den 2035er TCO fast vollumfänglich abgebildet ist.



Marktanteile und Bestand unter Einbezug der Abgabe Variante «Fahrleistung»

Abbildung 4-14 zeigt die Entwicklung der E-SNF-Marktanteile an den Neuzulassungen mit und ohne Berücksichtigung der Abgabe für das Hauptszenario «Basis». Zusätzlich ist ein Szenario mit Abgabe und ohne LSVA sowie als Referenz ein Szenario ohne Abgabe und ohne LSVA dargestellt. Wie in Kapitel 4.2.2 beschrieben, sinken die Marktanteile im Szenario ohne Abgabe mit LSVA zwischen 2029 und 2033 infolge der Einführung der LSVA zunächst auf rund 30 %. Unter Einbezug der Abgabe ab 2030 liegen die Marktanteile in sämtlichen Jahren deutlich tiefer, da sich die höheren TCO bereits ab dem Anschaffungsjahr 2025 auswirken. Mit Abgabe verläuft der Markthochlauf somit spürbar flacher: Der Marktanteil im Szenario mit Abgabe sinkt im Jahr 2032 von rund 30 % im Jahr auf etwa 12 % – ein Rückgang um 18 Prozentpunkte. Die Abweichung ist zwischen den Jahren 2028 und 2035 am grössten, da in diesem Zeitraum die TCO-Differenz zwischen E-SNF und D-SNF am höchsten ist. In der Darstellung wird zudem ersichtlich, wie stark der Einfluss der Abgabe auf Elektrofahrzeuge im Vergleich zur LSVA ausfällt. So liegt beispielsweise im Jahr 2033 der Marktanteil im Szenario mit Abgabe, aber ohne LSVA rund 20 Prozentpunkte tiefer als in einem Szenario ohne Abgabe und ohne LSVA. Gleichzeitig zeigt sich, dass der Marktanteil im Szenario ohne Abgabe, aber mit LSVA rund 70 Prozentpunkte unter der Referenz ohne Abgabe und ohne LSVA liegt. Dies verdeutlicht, dass die LSVA einen wesentlich stärkeren Einfluss auf die Wettbewerbsfähigkeit der E-SNF hat als die Abgabe.

Abbildung 4-15 zeigt im Vergleich dazu die Entwicklung der E-SNF-Marktanteile im Hauptszenario «Optimistisch». Dieses Szenario unterstellt insbesondere tiefere Batteriepreise, eine verzögerte Einführung der LSVA, geringere Ladeinfrastrukturkosten sowie für E-SNF günstigere Energiepreise im Vergleich zu D-SNF. Aus der Kurve ohne Abgabe, mit LSVA wird ersichtlich, dass der Marktanteil im Jahr 2032 im optimistischen Szenario rund 14 Prozentpunkte höher liegt als im Hauptszenario «Basis» – jeweils ohne Abgabe. Vergleicht man die Kurven mit LSVA und mit Abgabe zwischen den beiden Hauptszenarien, zeigt sich zudem, dass der Tiefpunkt der durch die LSVA verursachten Delle im optimistischen Szenario in Abbildung 4-15 bei etwa 30 % liegt, während er im Basisszenario bis auf rund 12 % absinkt. Damit fällt die LSVA-bedingte Delle zwar auch im optimistischen Szenario deutlich aus, befindet sich jedoch insgesamt auf einem spürbar höheren Marktanteilsniveau als im Basisszenario.

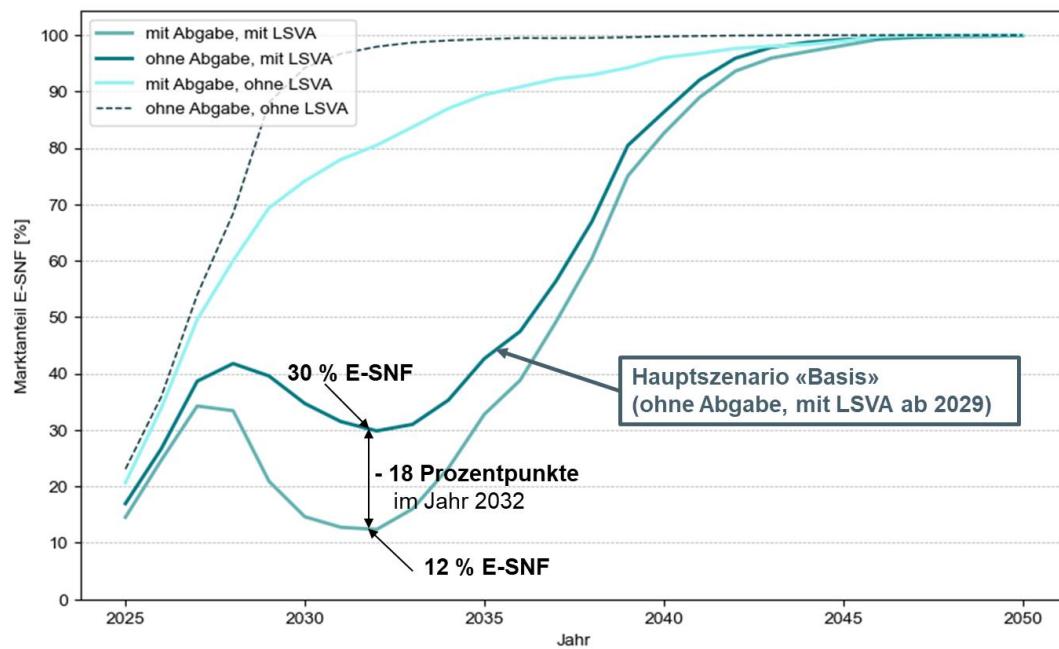


Abbildung 4-14: Entwicklung der E-SNF Marktanteile an den Neuzulassungen, mit- und ohne Abgabe, Hauptszenario «Basis» (mit LSVA) und zusätzliche Szenarien ohne LSVA

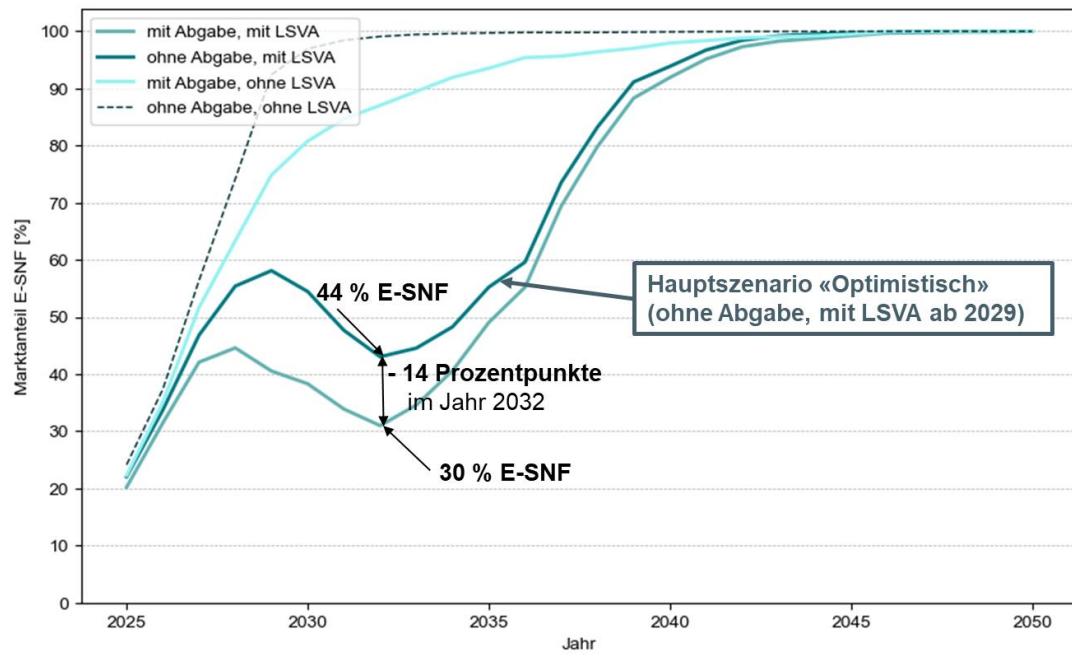


Abbildung 4-15: Entwicklung der E-SNF Marktanteile an den Neuzulassungen, mit- und ohne Abgabe, Hauptszenario «Optimistisch» (mit LSVA) und zusätzliche Szenarien ohne LSVA



Für den Fahrzeugbestand bedeutet dies, dass der Anteil der E-SNF unter Einbezug der Abgabe und der LSVA in allen Jahren entsprechend tiefer liegt als im Fall ohne Abgabe (vgl. Abbildung 4-16 und Tabelle 4-3 für das Hauptscenario «Basis»). Im Jahr 2030 beträgt der Unterschied rund 5 Prozentpunkte, im Jahr 2035 bereits 11 Prozentpunkte. Bis 2040 weitet sich die Differenz auf 12 Prozentpunkte aus bevor sich diese bis 2050 auf 2 Prozentpunkte verringert. Die Verringerung kommt dabei zustande, weil im Modell – analog zu Kapitel 4.2.2 – eine abnehmende Kostensensitivität der Logistikunternehmen unterstellt wird. Dies reflektiert die Annahme, dass bis dahin wesentliche Anfangsinvestitionen bereits getätigt und betriebliche Prozesse weitgehend auf den Einsatz von Elektrofahrzeugen ausgerichtet sind. Im Szenario mit Abgabe, aber ohne LSVA erreicht die E-SNF-Flotte im Jahr 2050 einen Anteil von nahezu 100 %, allerdings rund fünf Jahre später als im Referenzfall ohne Abgabe und ohne LSVA. Im Szenario ohne Abgabe, aber mit LSVA liegt der Elektrifizierungsgrad im Jahr 2050 bei rund 94 %, und im Szenario mit Abgabe und mit LSVA bei etwa 92 %. Dies zeigt, dass die Dekarbonisierung des Schwerverkehrs grundsätzlich auch unter beiden regulatorischen Belastungen möglich bleibt – sich jedoch spürbar verlangsamt und zu einem späteren Zeitpunkt vollständig realisiert wird.

An dieser Stelle ist hervorzuheben, dass die dargestellten Entwicklungen der Marktanteile von E-SNF bei den Neuzulassungen und damit des E-SNF-Bestands an verschiedene Annahmen und Unsicherheiten gekoppelt sind, die den tatsächlichen Markthochlauf mitbeeinflussen können. Zu erwähnen sind insbesondere:

- Batteriepreise: Die in Kapitel 4.2.2 dargestellte Sensitivitätsanalyse zeigt, dass eine Reduktion der Batteriepreise um 30 % zu einem Anstieg der Marktanteile um rund zehn Prozentpunkte führt.
- CO₂-Emissionsvorschriften: Die Auswirkungen der CO₂-Emissionsvorschriften auf die Marktpreise von SNF sind in den TCO nicht abgebildet. Würde bei den Neuzulassungen von E-SNF in den 30er Jahren ein Einbruch erfolgen wie im Basisszenario dargelegt, würden die CO₂-Zielwerte für schwere Nutzfahrzeuge (vgl. Kapitel 3.4.4) für Importeure erhebliche Sanktionszahlungen auslösen. Dies dürfte entweder zu einer deutlichen Vergünstigung der E-SNF oder entsprechend zu einer Verteuerung der Dieselmodelle führen – in beiden Fällen mit marktstützendem Effekt zugunsten der E-SNF.
- Zudem sind weder Förderbeiträge für den Aufbau von Depot-Ladeinfrastruktur noch mögliche Stromkostensenkungen durch den kombinierten Einsatz von PV-Anlagen und stationären Speichern berücksichtigt. Beide Faktoren würden die TCO-Vorteile der E-SNF zusätzlich vergrössern und den Markthochlauf gegenüber den hier aufgeführten Szenarien weiter beschleunigen.



Zusätzlich ist in den Abbildungen mit den gestrichelten Linien ein theoretisches Szenario ohne Ersatzabgabe und ohne LSVA dargestellt. In einem solchen Szenario wären – selbst unter den in dieser Studie angenommenen kurz- bis mittelfristig hohen Kostensensitivitäten der Logistikunternehmen – bereits bis 2030 Marktanteile von gegen 95 % denkbar. Dies widerspiegelt die in diesem Fall klar tieferen TCO von E-SNF im Vergleich zu Dieselfahrzeugen. Allerdings wurde in den Berechnungen mögliche Liquiditätsengpässe der Unternehmen nicht direkt berücksichtigt, die bei den dafür erforderlichen hohen Investitionen insbesondere für kleine Logistikunternehmen durchaus auftreten könnten. Dies könnte den schnellen Markthochlauf in diesem theoretischen Szenario etwas bremsen.

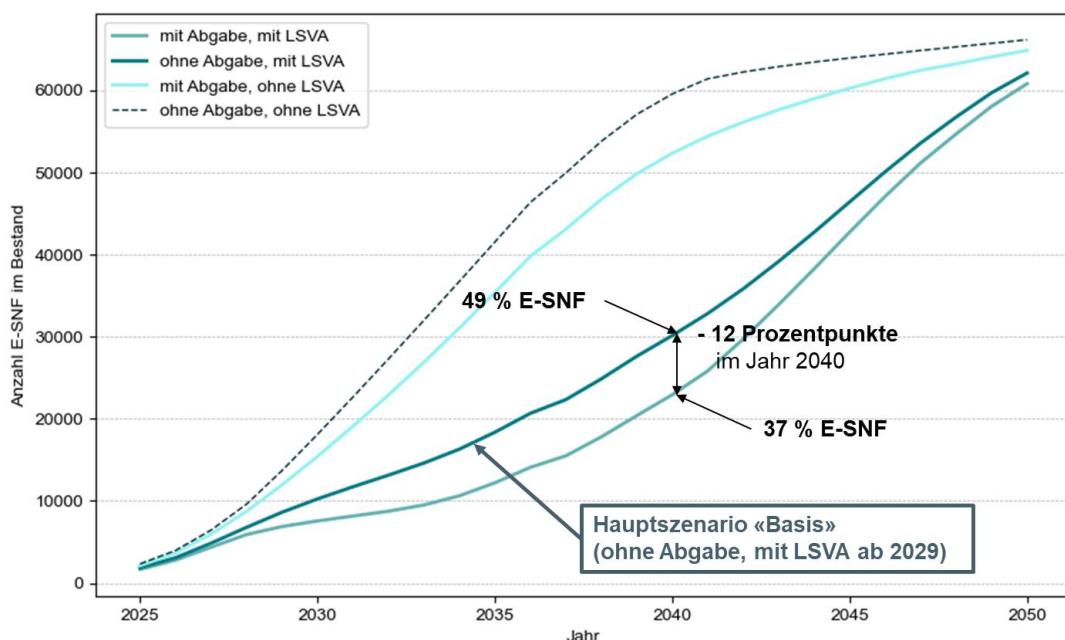


Abbildung 4-16: Entwicklung des E-SNF Bestands, mit- und ohne Abgabe, Hauptszenario «Basis» (mit LSVA) und zusätzliche Szenarien ohne LSVA

Tabelle 4-3: E-SNF-Anteile am Gesamtbestand, mit- und ohne Abgabe, Hauptszenario «Basis» (mit LSVA) und zusätzliche Szenarien ohne LSVA

Szenario	2030	2035	2040	2045	2050
mit Abgabe, mit LSVA	13%	20%	37%	67%	92%
ohne Abgabe, mit LSVA	18%	31%	49%	72%	94%
mit Abgabe, ohne LSVA	27%	59%	84%	94%	98%
ohne Abgabe, ohne LSVA	31%	69%	96%	100%	100%



CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz unter Einbezug der Abgabe Variante «Fahrleistung»

Abbildung 4-17 zeigt den Einfluss der Abgabe auf die CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz. Durch die verzögerte Marktdurchdringung und das geringere Wachstum des E-SNF-Bestands sinken die CO₂-Emissionen im Szenario mit Abgabe langsamer als im Vergleichsszenario ohne Abgabe mit LSVA. Über den Zeitraum 2025 bis 2050 liegen die kumulierten CO₂-Emissionen im Szenario mit Abgabe um rund 1.02 Millionen Tonnen höher. Dies entspricht einer Zunahme von rund 5 % gegenüber dem Szenario ohne Abgabe (vgl. schraffierte Fläche in Abbildung 4-17).

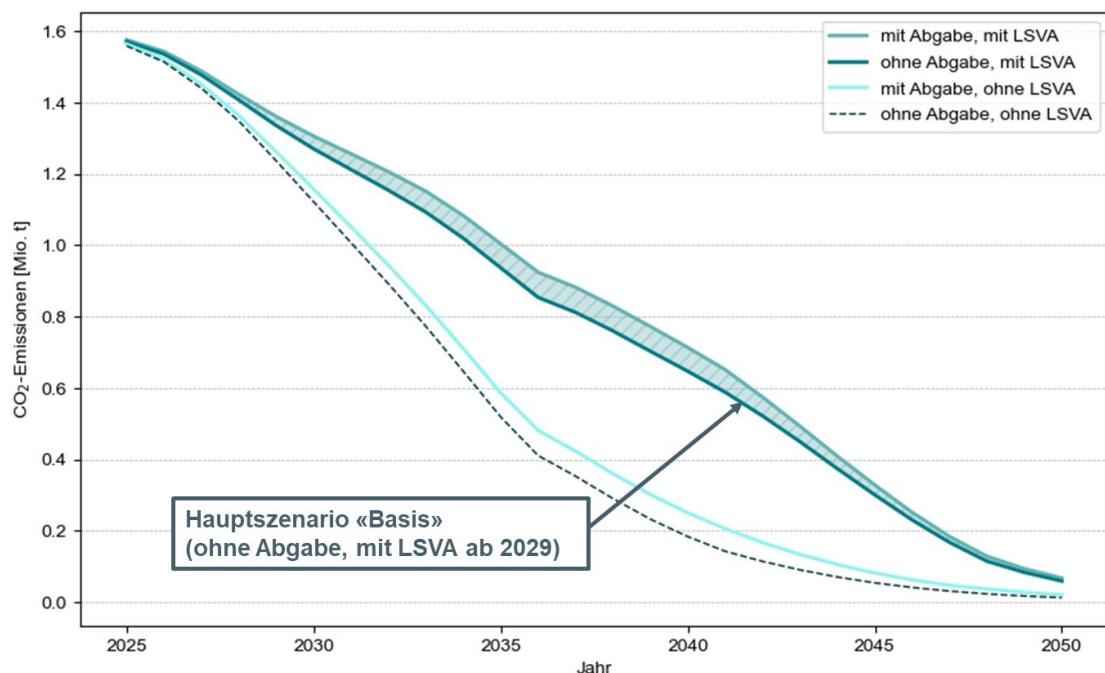


Abbildung 4-17: Entwicklung der CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz, mit- und ohne Abgabe, Hauptszenario «Basis» (mit LSVA) und zusätzliche Szenarien ohne LSVA



4.3 Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zum Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF für das **Hauptszenario «Basis»** präsentiert. Ausgehend vom modellierten Markthochlauf der inländischen und ausländischen E-SNF wird zunächst in Kapitel 4.3.1 der daraus resultierende Gesamtenergiebedarf dargestellt. Darauf aufbauend wird analysiert, wie sich der öffentliche La-debedarf räumlich verteilt, was die Grundlage für die Abschätzung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs und der erforderlichen Anzahl Ladepunkte bildet (Kapitel 4.3.2). In Kapitel 4.3.3 wird schliesslich gezeigt, welche installierte Ladeleistung sich aus der Anzahl der Ladepunkte und den angenommenen Ladeleistungen pro Ladepunkt ergibt.

Annahmen zum Ladeverhalten der E-SNF

Wie in Kapitel 2.2.5 (Methodik) beschrieben, unterscheidet sich das Ladeverhalten zwischen inländischen und ausländischen Fahrzeugen.

Für die **inländischen** E-SNF ergibt sich das Verhältnis zwischen Depot- und öffentlichem Laden direkt endogen aus der Modellierung, basierend auf den Annahmen zur Batteriekapazität, den Fahrleistungen und dem spezifischen Energieverbrauch der einzelnen Segmente. Dies ermöglicht es, zusätzlich aufzuzeigen, inwiefern unterschiedliche Batteriekapazitäten den öffentlichen Ladebedarf der inländischen Fahrzeuge beeinflussen und welche Anteile an öffentlichem Laden sich daraus ergeben.

Für die **ausländischen** Fahrzeuge wurde der Anteil des öffentlichen Ladens in der Schweiz hingegen exogen vorgegeben. Dabei wurde vereinfacht angenommen, dass 100 % der in der Schweiz verbrauchten Energie auch in der Schweiz nachgeladen wird. Da sich das Ladeverhalten je nach Verkehrsart unterscheiden kann, wurde zusätzlich zwischen Transitverkehr und Import-/Exportverkehr differenziert.

- Für den **Transitverkehr** wurde angenommen, dass dieser aufgrund der ausschliesslichen Durchfahrt durch die Schweiz vollständig auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen sein wird. Entsprechend wurde unterstellt, dass **100 %** der Energie an öffentlichen Ladestatio-nen bezogen wird.
- Beim ausländischen **Import-/Exportverkehr** wurde dagegen angenommen, dass – sofern entsprechende Ladeinfrastruktur vorhanden ist – ein Teil der Energie in Kundendepots ge-laden wird. Da die künftige Verfügbarkeit solcher Ladepunkte bei Kunden mit hohen Unsi-cherheiten behaftet ist, wurden drei Szenarien modelliert:
 - Tiefer öffentlicher Anteil: **40 %** der Energie wird an öffentlichen Standorten geladen,
 - Mittlerer öffentlicher Anteil: **60 %** der Energie wird an öffentlichen Standorten geladen,
 - Hoher öffentlicher Anteil: **80 %** der Energie wird an öffentlichen Standorten geladen.

Unter Berücksichtigung des Transitanteils an der Gesamtfahrleistung der Auslandfahrzeuge ergeben sich daraus für den ausländischen Schwerverkehr in der Schweiz entsprechende **Ge-samtanteile des öffentlichen Ladens am Gesamtladebedarf der Auslandfahrzeuge** von rund **55 %, 70 %** und **85 %**.



4.3.1 Energiebedarf der E-SNF

Energiebedarf der Inlandfahrzeuge

Abbildung 4-18 zeigt den Energiebedarf der inländischen E-SNF, differenziert nach Depot- und öffentlichem Laden, für das Hauptszenario «Basis». Der Energiebedarf steigt entsprechend dem Markthochlauf der E-SNF kontinuierlich an – von rund 580 GWh im Jahr 2030 auf etwa 2'200 GWh im Jahr 2050. Die Spanne zwischen dem Hauptszenario «Pessimistisch» und «Optimistisch» liegt im Jahr 2030 bei 450 – 700 und im Jahr 2050 bei 2'100 – 2'300 GWh.

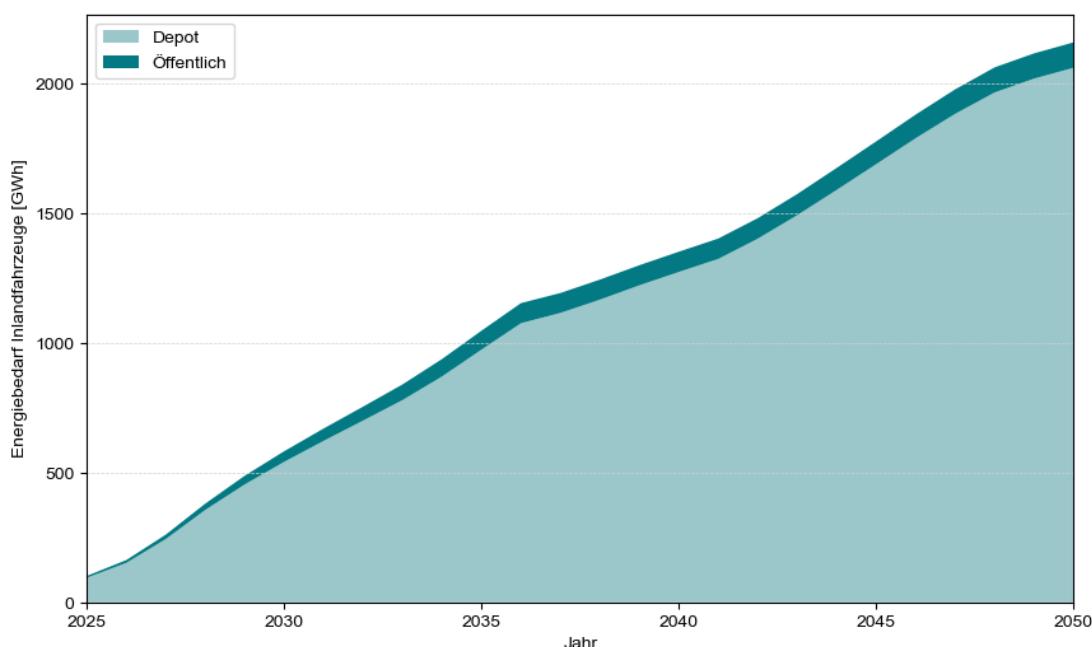


Abbildung 4-18: Entwicklung des Energiebedarfs der inländischen E-SNF, differenziert nach Depot- und öffentlichem Laden, Hauptszenario «Basis»

Abbildung 4-19 zeigt die Auswirkungen unterschiedlicher Batteriekapazitäten auf den öffentlichen Ladebedarf der inländischen E-SNF für das Hauptszenario «Basis». Die Ergebnisse zeigen, dass bei einer Reduktion der Batteriekapazität um 20 % der öffentliche Ladebedarf im Durchschnitt um rund 75 % ansteigt. Umgekehrt führt eine Erhöhung der Batteriekapazität um 20 % zu einer durchschnittlichen Reduktion des öffentlichen Ladebedarfs um rund 25 %. Zusätzlich ist eine Abflachung des öffentlichen Ladebedarfs ab 2036 ersichtlich. Der Grund dafür liegt in den auslaufenden Rabatten bei der LSVA: für kleinere Segmente mit kleineren Batteriekapazitäten, die den öffentlichen Energiebedarf massgeblich bestimmen, wirkt sich ein Auslaufen der Rabatte besonders negativ auf die TCO-Differenz zwischen E-SNF und D-SNF aus. Dadurch werden weniger solche Fahrzeuge ne zugelassen, was zu einem weniger starken Anstieg des öffentlichen Energiebedarfs führt.



Tabelle 4-4 zeigt die entsprechenden Anteile des öffentlichen Ladens. Unter Berücksichtigung der Referenzbatterie liegt der Anteil im Jahr 2030 bei rund 7 % und sinkt bis 2050 auf etwa 4 %. Bei - 20 % Batteriekapazität liegt der Anteil im Jahr 2030 bei 11 % und sinkt bis 2050 auf 8 %, während er bei + 20 % Batteriekapazität von 5 % (2030) auf 2.5 % (2050) abnimmt.

Diese Ergebnisse verdeutlichen den wesentlichen Einfluss der Batteriekapazität auf den öffentlichen Ladebedarf – und damit auch auf den erforderlichen Ausbau der Ladeinfrastruktur für inländische Fahrzeuge. Die in Kapitel 4.2.1 dargestellten TCO-Analysen zur Wahl der Batteriekapazität (vgl. Abbildung 4-3) haben gezeigt, dass grössere Batterien sowohl aus TCO- als auch aus betriebsstrategischer Sicht langfristig vorteilhaft sind. Daher ist davon auszugehen, dass sich Logistikunternehmen künftig eher für grössere Batteriekapazitäten entscheiden werden. Entsprechend dürfte sich der Anteil des öffentlichen Ladens der inländischen Fahrzeuge im Bereich zwischen der Referenzbatterie und + 20 % bewegen – was einem öffentlichen Ladebedarf von etwa 65 bis 100 GWh im Jahr 2050 entspricht.

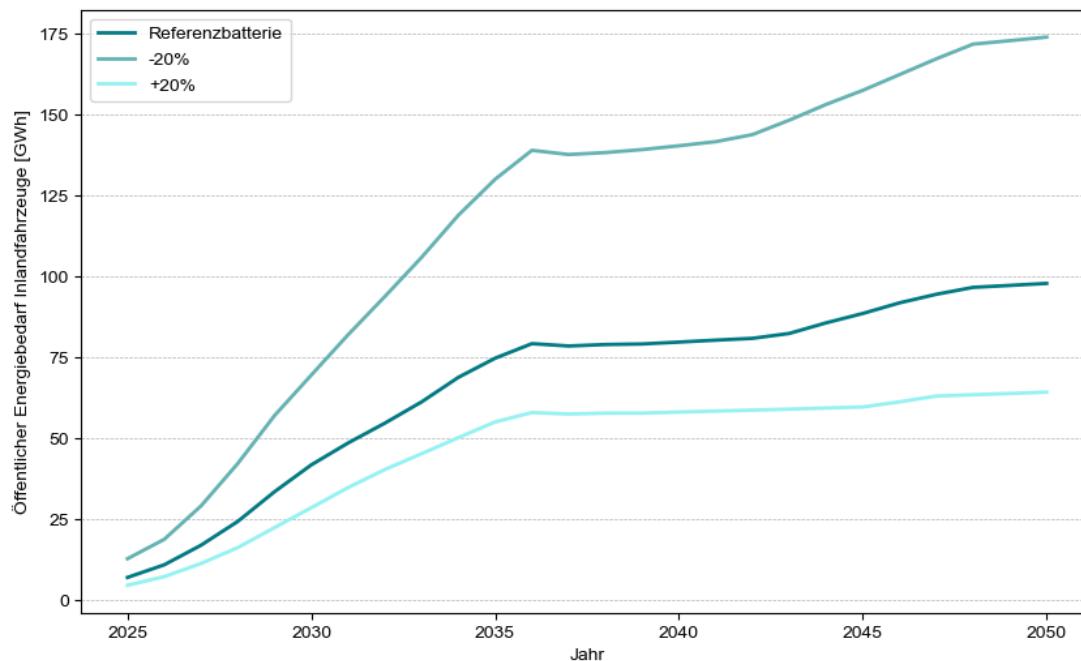


Abbildung 4-19: Entwicklung des öffentlichen Energiebedarfs der inländischen E-SNF für verschiedene Batteriekapazitäten, Hauptszenario «Basis»

Tabelle 4-4: Entwicklung der Anteile öffentliches Laden der inländischen E-SNF für verschiedene Batteriekapazitäten, Hauptszenario «Basis»

	2030	2035	2040	2045	2050
Referenzbatterie	7.0 %	7.0 %	6.0 %	5.0 %	4.0 %
- 20 %	11.0 %	11.0 %	9.5 %	8.5 %	8.0 %
+ 20 %	5.0 %	5.0 %	4.5 %	3.0 %	2.5 %



Energiebedarf der Auslandfahrzeuge

Abbildung 4-20 zeigt die Entwicklung des Energiebedarfs der ausländischen E-SNF für das Szenario mit einem mittleren Anteil des öffentlichen Ladens von 60 %, welches als Referenzfall dient. Der Energiebedarf steigt dabei von rund 24 GWh im Jahr 2030 auf etwa 520 GWh im Jahr 2050 an.

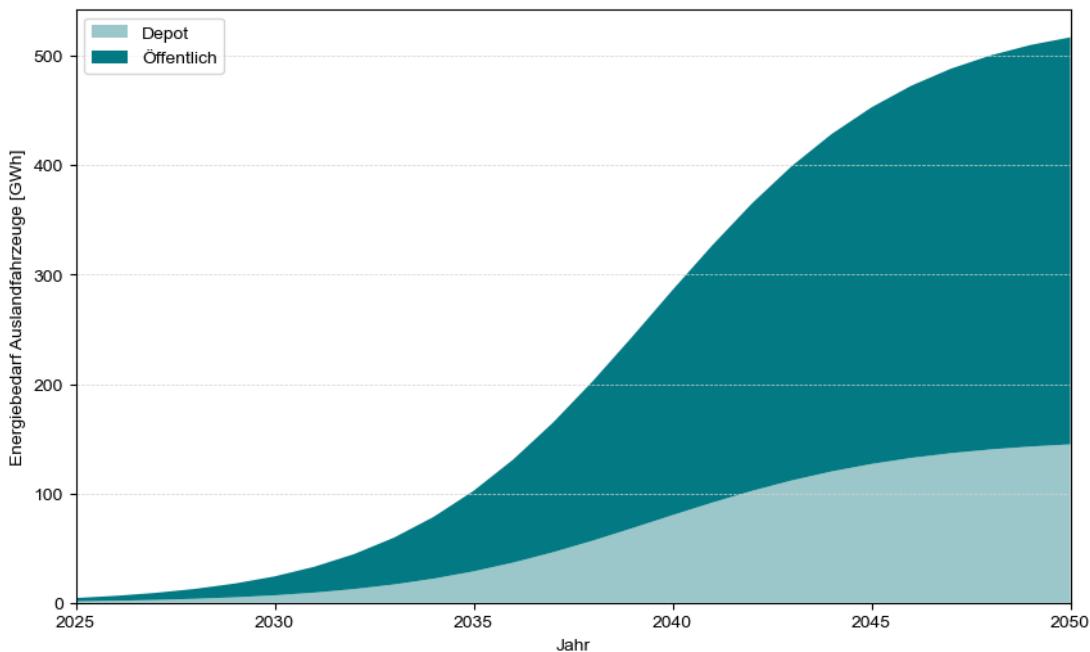


Abbildung 4-20: Entwicklung des Energiebedarfs der ausländischen E-SNF in der Schweiz für einen Anteil öffentlichen Ladens von 70 %

Abbildung 4-21 illustriert die Auswirkungen unterschiedlicher Ladeanteile auf den öffentlichen Energiebedarf. Verglichen wurden ein tiefer öffentlicher Ladeanteil des ausländischen Import-/Exportverkehrs von 40 % (d. h. hohe Nutzung von Kundendepots) und ein hoher Anteil von 80 % (d. h. geringe Verfügbarkeit von Depotlademöglichkeiten) mit dem Referenzfall von 60 %.

Die Ergebnisse zeigen, dass bei einem tiefen öffentlichen Ladeanteil im Jahr 2050 rund 70 GWh weniger Energie an öffentlichen Stationen geladen werden müsste als im Referenzfall. Umgekehrt steigt der öffentliche Ladebedarf bei einem hohen öffentlichen Ladeanteil um rund 70 GWh auf insgesamt etwa 450 GWh im Jahr 2050.

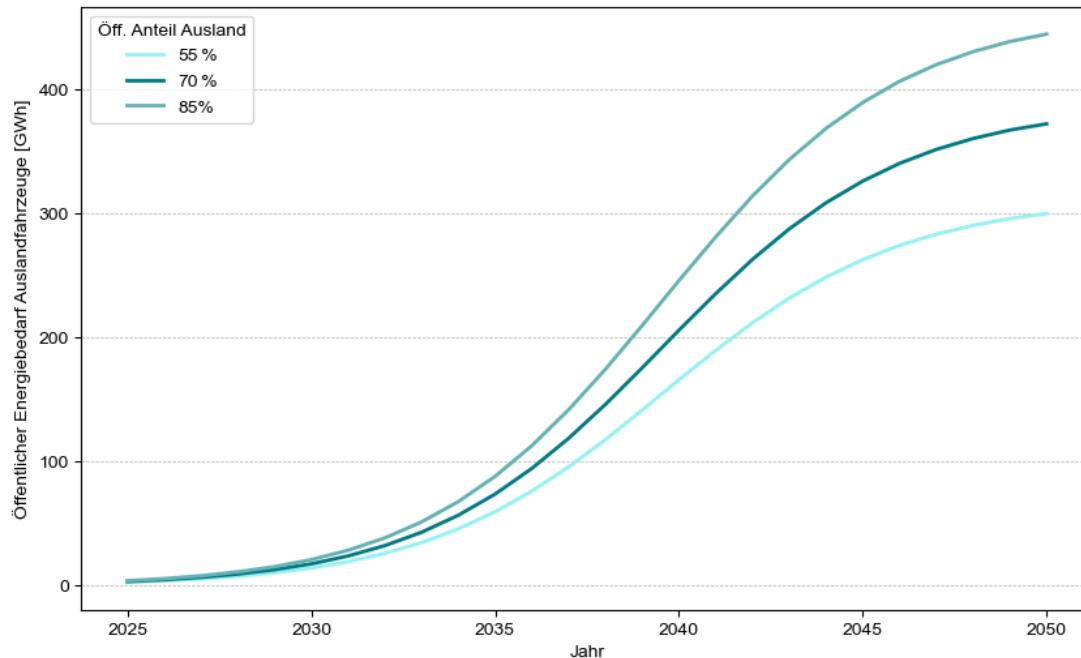


Abbildung 4-21: Entwicklung des öffentlichen Energiebedarfs der ausländischen E-SNF in der Schweiz für verschiedene Anteile öffentlichen Ladens

Gesamtenergiebedarf der E-SNF in der Schweiz für die drei Hauptszenarien

Abbildung 4-22 zeigt den Gesamtenergiebedarf der inländischen und ausländischen E-SNF in der Schweiz für die drei Hauptszenarien «Basis», «Optimistisch» und «Pessimistisch», jeweils für den Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 70 %.

Im Basisszenario steigt der Energiebedarf von rund 606 GWh im Jahr 2030 auf etwa 2'675 GWh im Jahr 2050 an. Damit entspricht der Energiebedarf der E-SNF im Jahr 2050 rund 4 % des in den Energieperspektiven 2050+ prognostizierten gesamtschweizerischen Stromverbrauchs von rund 63 TWh.

Der kumulierte Energiebedarf im Zeitraum 2025 bis 2050 beträgt im Basisszenario rund 37'100 GWh. Im optimistischen Szenario liegt der kumulierte Bedarf um rund 4'000 GWh höher, im pessimistischen Szenario dagegen etwa 8'000 GWh tiefer als im Basisszenario.

Eine Übersicht über die Kombination der drei Szenarien zum Anteil des öffentlichen Ladens der ausländischen Fahrzeuge mit den drei Hauptszenarien befindet sich im Anhang D.

Hinsichtlich der Aufteilung des öffentlichen Gesamtenergiebedarfs zwischen inländischen und ausländischen Fahrzeugen zeigt sich, dass dieser in den Jahren 2025 bis 2035 noch überwiegend durch die inländischen Fahrzeuge geprägt wird. Ab etwa 2035 verschiebt sich das Verhältnis jedoch zunehmend zugunsten der ausländischen Fahrzeuge. Dies ist darauf zurückzuführen, dass der Anteil des öffentlichen Ladens bei den inländischen E-SNF gemäss Tabelle 4-4 aufgrund der steigenden Batteriekapazitäten und der damit verbundenen Zunahme des Depotladens kontinuierlich abnimmt.

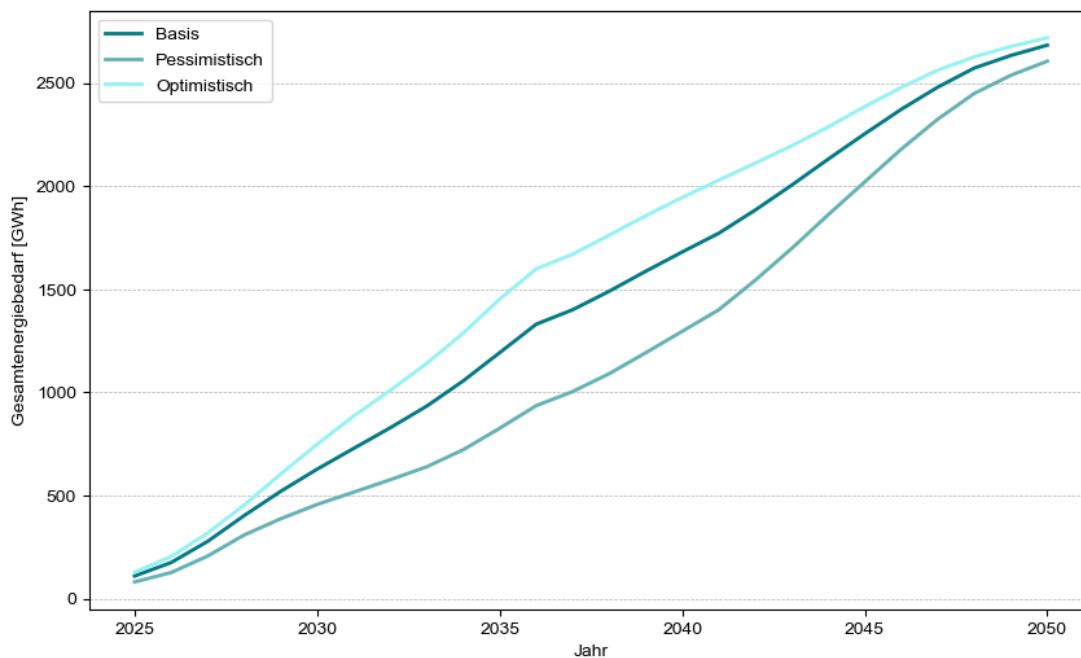


Abbildung 4-22: Entwicklung des Gesamtenergiebedarfs der E-SNF in der Schweiz für die drei E-SNF-Markthochlauf Hauptszenarien, öff. Anteil Auslandfahrzeuge von 70%

Im mittleren Szenario mit einem öffentlichen Ladeanteil von 70 % für die ausländischen Fahrzeuge (d. h. 70 % der von den Auslandfahrzeugen in der Schweiz verbrauchten Energie wird an öffentlichen Stationen nachgeladen) ergibt sich für das Hauptszenario «Basis» im Jahr 2030 eine Aufteilung des öffentlichen Energiebedarfs von rund 70 % inländische zu 30 % ausländische Fahrzeuge (vgl. Tabelle 4-5). Bis 2050 kehrt sich dieses Verhältnis weitgehend um: Der öffentliche Ladebedarf wird dann zu rund 80 % durch ausländische Fahrzeuge und nur noch zu 20 % durch inländische Fahrzeuge bestimmt. Langfristig wird der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf in der Schweiz somit massgeblich durch die ausländischen Fahrzeuge geprägt.

Tabelle 4-5: Entwicklung der Anteile öffentliches Laden der Inlandfahrzeuge am öffentlichen Gesamtladebedarf, Hauptszenario «Basis»

Öff. Anteil Auslandfahrzeuge	2030	2035	2040	2045	2050
55 %	75.0 %	55.8 %	32.5 %	25.2 %	24.6 %
70 %	70.7 %	50.4 %	27.9 %	21.4 %	20.8 %
85 %	66.9 %	46.0 %	24.5 %	18.5 %	18.0 %



4.3.2 Räumliche Verteilung der öffentlichen Ladeinfrastruktur und Anzahl Ladepunkte

Für die Abschätzung des Ladeinfrastrukturbedarfs wurde zwischen drei Ladearten unterschieden:

- Öffentliches Megawattladen (bis 1'000 kW),
- Öffentliches Schnellladen (100–400 kW),
- Depotladen (bis 100 kW).

Beim öffentlichen Laden wurden zwei Teilstromen betrachtet:

- Transitverkehr,
- Non-Transitverkehr, welcher den Binnenverkehr sowie den inländischen und ausländischen Import-/Exportverkehr umfasst.

Für den Transitverkehr wurde ein Ladezeitfenster von 30 Minuten und eine zusätzliche Wartezeit von 5 Minuten unterstellt (vgl. Methodik, Kapitel 2.2.5 und Anhang A). Dies ermöglicht einen zeitlichen Puffer von insgesamt 10 Minuten innerhalb der gesetzlich vorgeschriebenen 45-minütigen Ruhepause. Um in dieser kurzen Zeit möglichst viel Energie nachladen zu können, ist Megawattladen (bis 1 MW) notwendig und wurde entsprechend in den Annahmen hinterlegt. Da der Transitverkehr aufgrund des Nachtfahrverbots zusätzlich über Nacht laden kann, wobei geringere Ladeleistungen notwendig wären, stellt der im Rahmen dieser Studie ermittelte Bedarf an Megawattladepunkten eine Obergrenze dar.

Für den Non-Transitverkehr wurde dagegen Schnellladen bis 400 kW unterstellt.

- Beim Binnenverkehr und beim inländischen Import-/Exportverkehr wurde angenommen, dass nur so viel Energie öffentlich nachgeladen wird, wie nötig ist, um die Rückfahrt ins eigene oder ein kundenseitiges Depot sicherzustellen, wobei die Auswertungen gezeigt haben, dass die effektiv benötigten Ladeleistungen bei einer unterstellten Ladezeit von 30 Minuten maximal 200 kW betragen.
- Beim ausländischen Import-/Exportverkehr wurde angenommen, dass aufgrund der geringeren Fahrleistungen im Vergleich zum Transitverkehr und der damit zu erwartenden höheren Batterieladezustände ein öffentliches Nachladen mit 400 kW Ladeleistung ausreichend ist.

Öffentlicher Ladeinfrastrukturbedarf

Im Folgenden wird dargestellt, wo und in welchem Umfang öffentliche Ladeinfrastruktur für die unterschiedlichen Flotten – Transit- und Non-Transitverkehr – im Zeitverlauf benötigt wird. Der Fokus liegt auf den Transitrouten, da – wie in Kapitel 4.3.1 gezeigt – der öffentliche Ladebedarf langfristig überwiegend durch ausländische Fahrzeuge bestimmt wird. Gleichzeitig stellen die Transitrouten auch zentrale Hauptverkehrsachsen für den inländischen Schwerverkehr dar. Bei der räumlichen Modellierung wurde sichergestellt, dass entlang dieser Routen künftig ein vergleichbar dichtes Ladenetz besteht wie in den Nachbarländern gemäss den AFIR-Vorgaben. Diese sehen eine maximale Distanz zwischen Ladepunkten von 60 bis 100 km vor.



Dadurch wird gewährleistet, dass die ausländischen Fahrzeuge auf ein in der Schweiz gleichwertiges Netz treffen. Für die Verteilung der Ladeinfrastruktur wurde zusätzlich die Verkehrsbelastung der einzelnen Achsen berücksichtigt, sodass die Ladeinfrastruktur in einem räumlichen Gebiet positioniert wird, wo der Energiebedarf am höchsten ist. Insgesamt ergeben sich 18 Standorte (zu verstehen als Perimeter und weniger als exakter Standort) für die Bereitstellung einer öffentlichen Ladeinfrastruktur für E-SNF, die sich gemäss den obengenannten Kriterien auf das gesamte Nationalstrassennetz verteilen. Auf dieser Grundlage wurde berechnet, wie viele Schnellladepunkte (100–400 kW) und Megawattladepunkte (800–1'000 kW) für die einzelnen Standorte entlang der jeweiligen Korridore im Zeitverlauf erforderlich sind. Für die Bestimmung der Anzahl Ladepunkte pro Standort wurde zudem die in diesem Gebiet auftretende maximale E-SNF Verkehrsbelastung berücksichtigt, welche als Haupteingangsgrösse des Warteschlangenmodells (vgl. Kapitel 2.2.5) diente. Die folgenden Abbildungen zeigen die Ergebnisse für das Hauptszenario «Basis» und den mittleren Fall mit 70 % öffentlichem Laden der ausländischen Fahrzeuge und deren öffentlichen Gesamtladebedarf für die Jahre 2030, 2040 und 2050. Dargestellt sind jeweils:

- die E-SNF Verkehrsbelastung des Gesamtverkehrs (grau) und des Transitverkehrs (dunkelrot),
- sowie die erforderliche Anzahl Ladepunkte gemäss Farblegende.

Kreise kennzeichnen dabei Megawattladepunkte für den Transitverkehr,

Kreuze hingegen Schnellladepunkte (100–400 kW) für den Non-Transitverkehr.

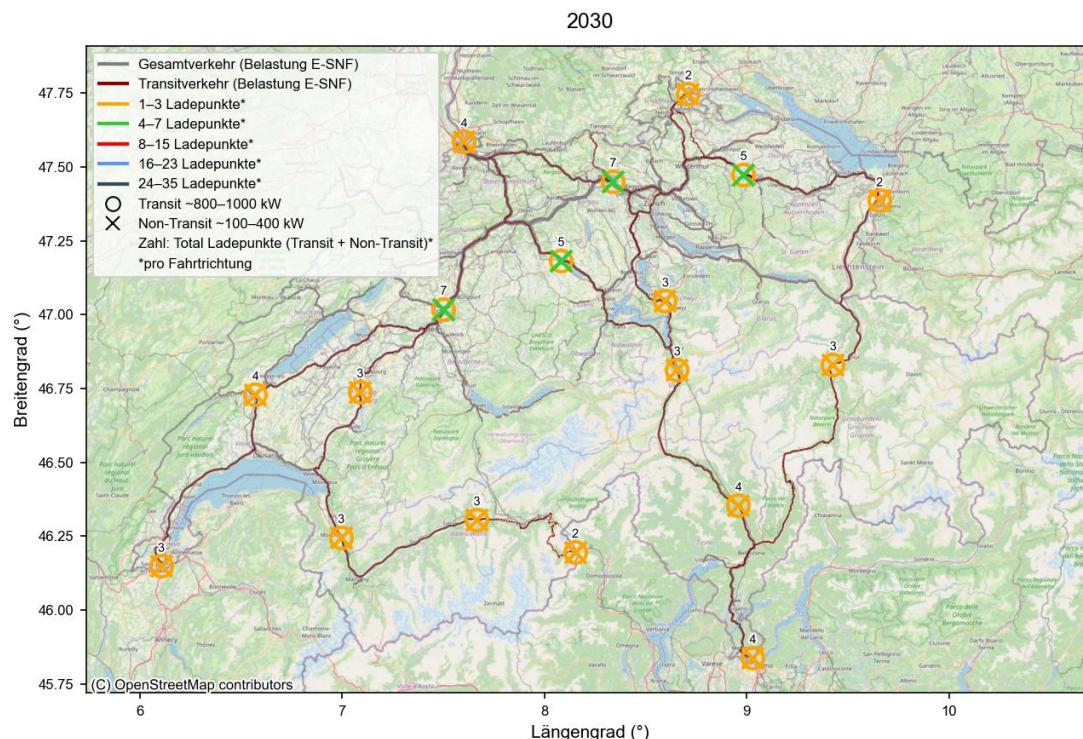


Abbildung 4-23: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2030, Hauptszenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 70%



Abbildung 4-23 zeigt die Resultate für das Jahr 2030:

- Der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur fällt entlang der Transitrouten sowohl für den Transitverkehr als auch für den Non-Transitverkehr relativ gering aus. Entlang der meisten Korridore sind gemäss der modellierten Nachfrage pro Fahrtrichtung ein bis drei Ladepunkte erforderlich, dies sowohl für den Transit- als auch für den Non-Transitverkehr. Zu berücksichtigen ist dabei, dass im Jahr 2030 voraussichtlich nicht an allen der 18 vorgesehenen Standorte bereits Megawattladepunkte erforderlich sind – insbesondere entlang der Hauptverkehrsachsen des Non-Transitverkehrs zwischen Bern und Zürich. Für den schrittweisen Ausbau der Megawattladeinfrastruktur sollten daher die zentrale Transitroute Basel – Chiasso prioritätär behandelt werden.
- Ein leicht erhöhter Ladeinfrastrukturbedarf zeigt sich bereits auf der zentralen West-Ost Achse zwischen Bern – Zürich, sowie entlang des Abschnitts Basel – Luzern. Hier werden für den Non-Transitverkehr bereits vier bis sieben Schnellladepunkte pro Korridor erforderlich, wobei es sich hier grösstenteils um inländische Fahrzeuge handelt.

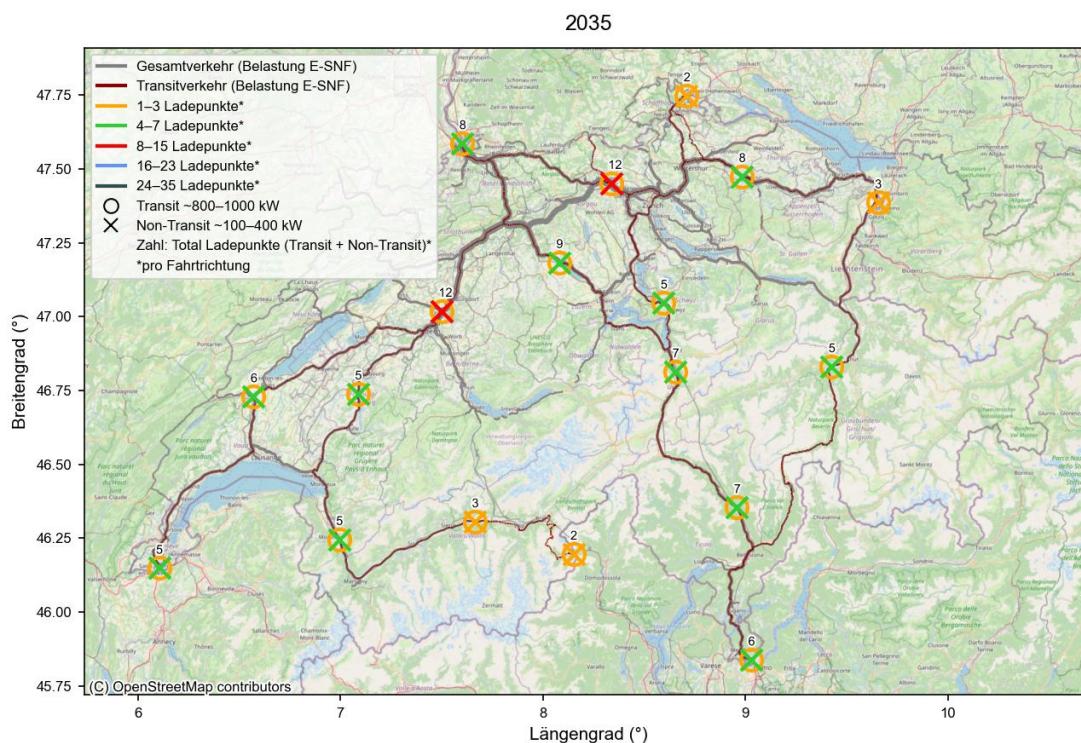


Abbildung 4-24: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2035, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 70%

Abbildung 4-24 zeigt die Ergebnisse für das Jahr 2035, das bei der Planung der öffentlichen Ladeinfrastruktur als wichtiges Zieljahr gilt. Gegenüber 2030 steigt der Ladeinfrastrukturbedarf insbesondere im Non-Transitverkehr an. An den meisten Standorten liegt der Bedarf an Schnellladepunkten mit bis zu 400 kW Leistung bei rund 4 bis 7 Ladepunkten pro Fahrtrichtung.



Der Bedarf des Transitverkehrs nimmt zwischen 2030 und 2035 hingegen weniger stark zu. Entscheidend ist vielmehr, dass – wie bereits im Zusammenhang mit der 2030er-Karte erläutert – in diesem Zeitraum ein schrittweiser Ausbau der Megawattladeinfrastruktur erfolgt, wobei die Haupttransitrouten (dunkelrot), prioritär behandelt werden sollten.

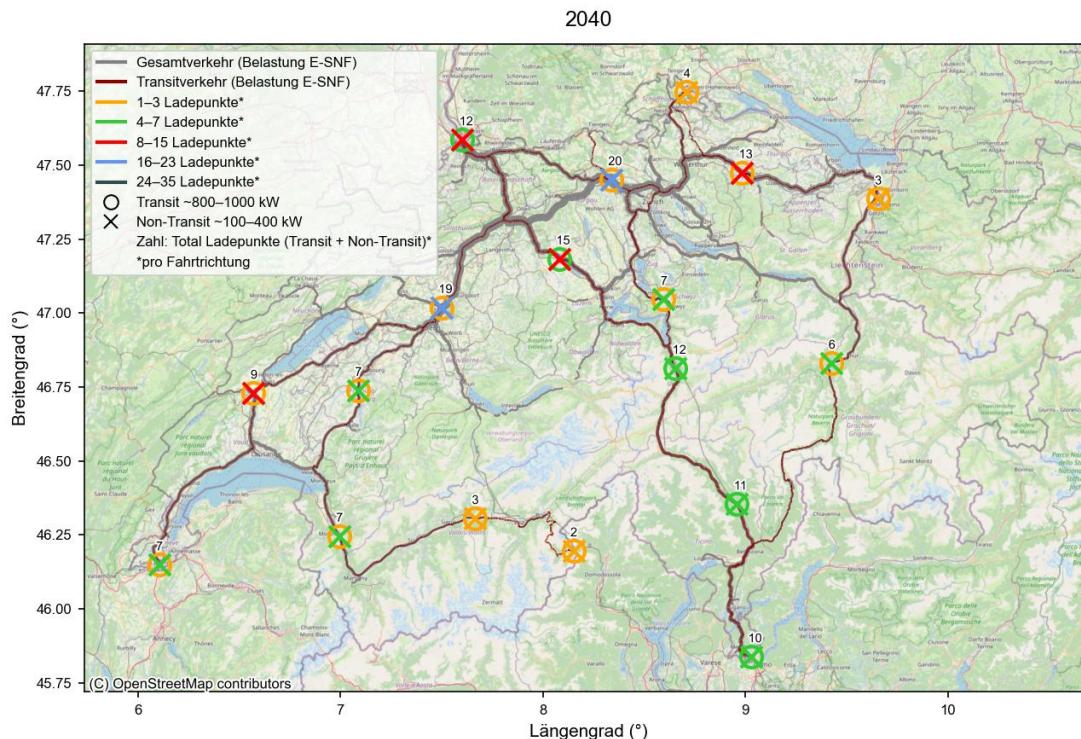


Abbildung 4-25: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2040, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 70%

Bis im Jahr 2040 steigt die Belastung durch E-SNF auf den Schweizer Nationalstrassen deutlich an – entsprechend dem fortschreitenden Markthochlauf der inländischen und ausländischen Fahrzeuge (vgl. Abbildung 4-25). Dies führt zu einem höheren Energie- und damit auch Ladeinfrastrukturbedarf entlang der Hauptverkehrsachsen. Besonders ausgeprägt ist der Anstieg entlang der wichtigsten Nord-Süd-Transitroute Basel–Chiasso. Dort liegt der Bedarf des Transitverkehrs pro Standort und Fahrtrichtung bei 4 bis 7 Megawattladepunkten. Auch der Non-Transitverkehr weist eine deutliche Zunahme auf, insbesondere auf den stark frequentierten Abschnitten Bern–Zürich sowie Basel–Luzern. In diesen Bereichen werden acht bis fünfzehn Schnellladepunkte pro Standort und Fahrtrichtung erforderlich.

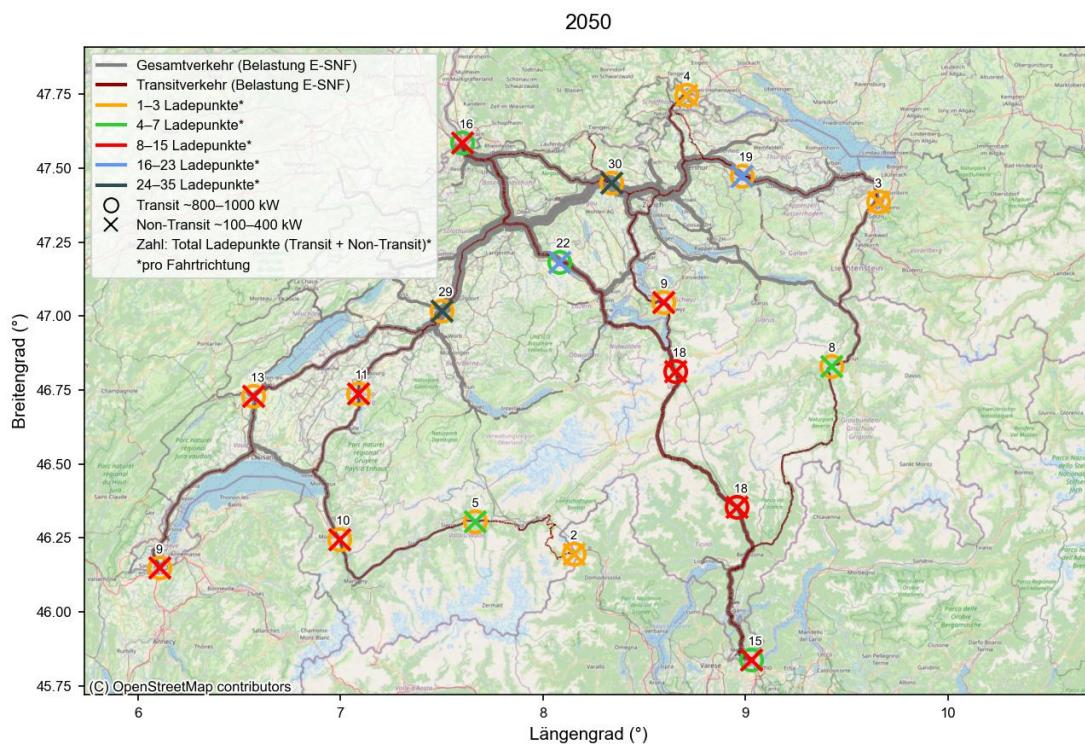


Abbildung 4-26: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2050, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 70%

Bis ins Jahr 2050 steigt der Ladeinfrastrukturbedarf weiter an (vgl. Abbildung 4-26). Entlang der zentralen Nord-Süd-Transitroute Basel–Chiasso steigt der Bedarf des Transitverkehrs auf acht bis fünfzehn Megawattladepunkte pro Standort und Fahrtrichtung. Für den Non-Transitverkehr, der im Jahr 2050 überwiegend aus ausländischem Import- und Exportverkehr besteht, nimmt der Ladebedarf vor allem auf der West-Ost-Achse Bern–Zürich deutlich zu. Hier werden 25 bis 35 Schnellladepunkte pro Standort und Fahrtrichtung benötigt. Auch auf weiteren wichtigen Streckenabschnitten – insbesondere zwischen Zofingen und Luzern sowie zwischen Winterthur und St. Gallen – ist ein weiterer Ausbau erforderlich, mit 16 bis 23 Schnellladepunkten pro Standort und Fahrtrichtung.

Insgesamt ergibt sich damit bis 2050 ein flächendeckendes öffentliches Ladenetz verteilt auf 18 Standorte (bzw. 36 Standorte pro Fahrtrichtung). Dabei handelt es sich um kleinere bis mittelgrosse und einzelne wenige grössere Standorte, die durchschnittlich rund 75 km voneinander entfernt liegen.

Abbildung 4-27 zeigt die Entwicklung des schweizweiten Bedarfs an öffentlicher Ladeinfrastruktur. Dabei zeigt die Darstellung oben wiederum den Fall für das mittlere Szenario (70%) hinsichtlich des Anteils öffentlichen Ladens der Auslandfahrzeuge, entsprechend den oben aufgeführten Kartendarstellungen. Zusätzlich ist unten links das tiefe Szenario (55 %) und unten rechts das hohe Szenario (85 %). Dargestellt ist jeweils die Anzahl der Schnellladepunkte (bis 400 kW) und Megawattladepunkte (bis 1 MW) pro Jahr.



Im mittleren Szenario (70 %) werden im Jahr 2030 rund 100 Schnellladepunkte und 25 Megawattladepunkte benötigt. Bis 2050 steigt der Bedarf auf etwa 380 Schnellladepunkte und 95 Megawattladepunkte, was einem Total von rund 475 öffentlichen Ladepunkten. Dies entspricht im Jahr 2030 etwa 3 Ladepunkten und im Jahr 2050 rund 11 Ladepunkten pro 100 km Nationalstrasse pro Fahrtrichtung.

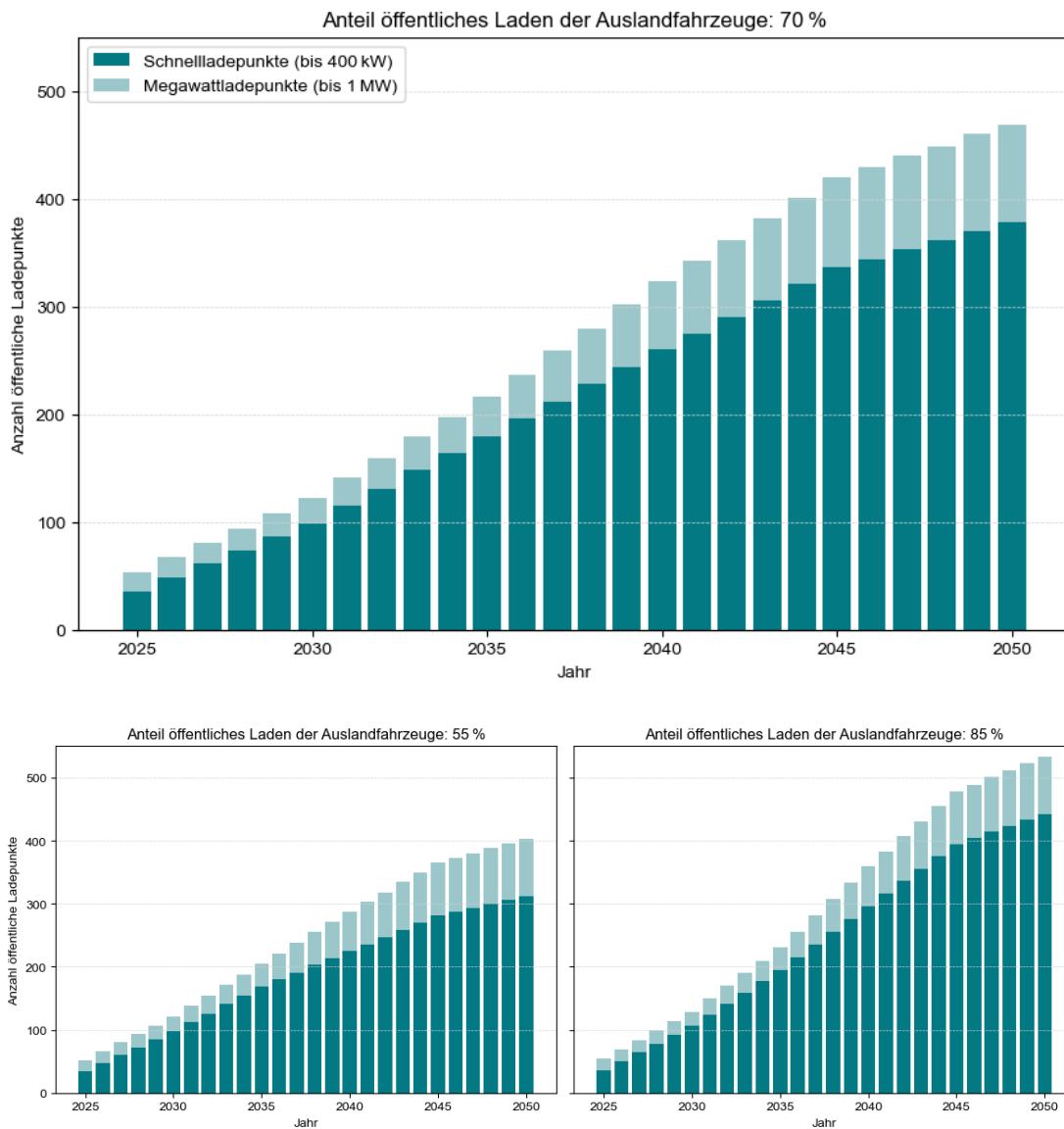


Abbildung 4-27: Entwicklung des Bedarfs an öffentlichen Ladepunkten, Hauptszenario «Basis»

Im tiefen Szenario (55 %) werden rund 110 Ladepunkte im Jahr 2030 und 400 im Jahr 2050 benötigt; im hohen Szenario (85 %) liegen die Werte bei 130 im Jahr 2030 und 530 im Jahr 2050. Zwischen dem tiefen und dem hohen Szenario ergibt sich im Jahr 2050 eine zusätzliche an öffentlichen Ladestationen nachzuladende Energiemenge von rund 150 GWh (vgl. Kapitel 4.3.1).



Diese Differenz entspricht einer Zunahme um etwa 130 Ladepunkte, was einer durchschnittlichen Zunahme von knapp einem Ladepunkt pro zusätzliche Gigawattstunde entspricht. Die durchschnittliche Auslastung der öffentlichen Ladeinfrastruktur liegt dabei im Jahr 2050 bei rund 20 %, was eine realistische Größenordnung für ein ausgebautes, gut ausgelastetes Schnellladernetz darstellt.

Im Hauptszenario «Optimistisch» und «Pessimistisch» unterscheidet sich der Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur nur marginal vom Basisszenario. Der Grund dafür liegt darin, dass – wie im Kapitel 4.3.1 zum Energiebedarf gezeigt – der öffentliche Ladebedarf kurz- bis mittelfristig (bis etwa 2035) hauptsächlich durch die inländischen Fahrzeuge geprägt ist. In dieser Phase führen die geringen absoluten Unterschiede im Energiebedarf zwischen den Hauptszenarien zu keiner wesentlich anderen Größenordnung der erforderlichen Schnellladepunkte.

Betrachtet man den Einfluss der LSVA und der Abgabe auf Elektrofahrzeuge auf den öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf der inländischen Fahrzeuge, zeigt sich ein deutliches Bild: Im Szenario mit LSVA, aber ohne Abgabe verringert sich der Bedarf im Jahr 2035 um rund 56 % gegenüber dem Referenzfall (ohne LSVA und ohne Abgabe). Wird hingegen nur die Abgabe, jedoch keine LSVA berücksichtigt, reduziert sich der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf um etwa 15 %. Werden LSVA und Abgabe kombiniert, sinkt der Bedarf insgesamt um rund 71 % gegenüber dem Referenzfall.

Ab etwa 2035 nimmt der Anteil des öffentlichen Ladens der inländischen Fahrzeuge aufgrund der zunehmenden Batteriekapazitäten und der damit verbundenen höheren Reichweiten stetig ab. In der Folge wird der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf zunehmend durch die ausländischen Fahrzeuge bestimmt. Da sich die Hauptszenarien («Basis», «Optimistisch», «Pessimistisch») auf die inländischen Fahrzeuge beziehen, ergeben sich in den späteren Jahren, in welchen der Anteil öffentliches Laden sowie der absolute öffentliche Energiebedarf der inländischen Fahrzeuge gering ist, kaum noch Unterschiede in der Anzahl der benötigten öffentlichen Ladepunkte. Die entsprechenden Abbildungen sind in Anhang D aufgeführt.

Ladeinfrastrukturbedarf im Depot

Abbildung 4-28 zeigt die Entwicklung der Anzahl erforderlicher Ladepunkte in den Depots entsprechend dem im Kapitel 4.2.2 dargestellten Markthochlauf der Schweizer E-SNF-Flotte im Hauptszenario «Basis». In diesem Szenario wurde unterstellt, dass vier Fahrzeuge von einem Ladepunkt bedient werden können. Auf dieser Grundlage ergeben sich folgende Werte: Im Jahr 2030 entfallen auf die rund 10'650 E-SNF insgesamt 2'660 Ladepunkte. Im Jahr 2040 geht die E-SNF-Flotte mit 30'650 Fahrzeugen mit 7'660 Ladepunkten einher, und im Jahr 2050 entsprechen die 62'100 Fahrzeuge rund 15'525 Ladepunkten.

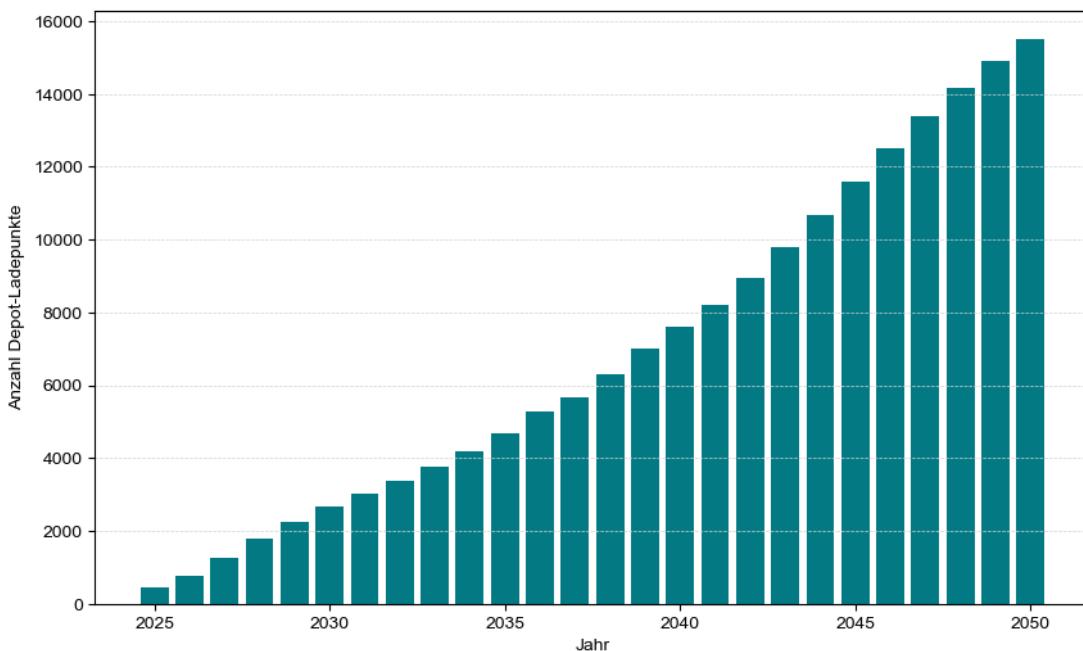


Abbildung 4-28: Entwicklung der Anzahl Depot-Ladepunkte, Hauptszenario «Basis»

Die Berechnung basiert auf der Annahme, dass jeder Ladepunkt im Depot eine mittlere Ladeleistung von 100 kW bereitstellen kann. Theoretisch wäre es möglich, bei gleicher installierter Gesamtleistung eine grössere Anzahl Ladepunkte zu installieren, wobei dann die durchschnittliche Leistung pro Ladepunkt entsprechend sinken würde. Für die Modellierung wurde jedoch – in Übereinstimmung mit den Annahmen im Rahmen der TCO-Analysen (vgl. Kapitel 4.2.1) – davon ausgegangen, dass alle Ladepunkte gleichzeitig mit 100 kW betrieben werden können. Da die Fallstudien gezeigt haben, dass in der Praxis vielfach geringere Ladeleistungen pro Ladepunkt ausreichen würden, um den Energiebedarf der Fahrzeuge während der verfügbaren Ladefenster zu decken, könnte die tatsächliche Anzahl Ladepunkte effektiv höher ausfallen.

Im Hauptszenario «Optimistisch», in dem das Ladeinfrastrukturszenario «Kostenoptimiert» mit einem Verhältnis von einem Ladepunkt pro fünf Fahrzeuge (1:5) unterstellt wurde, verläuft der Markthochlauf aufgrund der geringeren TCO im Vergleich zum Basisszenario schneller. Trotz der höheren Zahl an E-SNF führt das grössere Verhältnis von Fahrzeugen zu Ladepunkten dazu, dass im Jahr 2050 im Vergleich zum Basisszenario insgesamt weniger Ladepunkte erforderlich sind: bis 2050 steigt die Zahl auf rund 12'860.

Im Hauptszenario «Pessimistisch» wurde dagegen das betriebsoptimierte Szenario mit einem Verhältnis von einem Ladepunkt pro drei Fahrzeuge (1:3) angenommen. Aufgrund des langsameren Markthochlaufs werden zwar weniger E-SNF eingesetzt, doch der höhere Ladeinfrastrukturbedarf pro Fahrzeug führt dazu, dass mehr Ladepunkte erforderlich sind: bis 2050 steigt die Zahl auf rund 18'736 Ladepunkte.

Die entsprechenden Abbildungen für das Hauptszenario «Optimistisch» und «Pessimistisch» sind im Anhang D aufgeführt.



4.3.3 Installierte Leistung

Installierte öffentliche Ladeleistung

Abbildung 4-29 zeigt die Entwicklung der installierten öffentlichen Ladeleistung für das Haupt-szenario «Basis», jeweils für die drei Szenarien zum Anteil öffentlichen Ladens der ausländischen Fahrzeuge: 70 % (oben), 55 % (unten links) und 85 % (unten rechts).

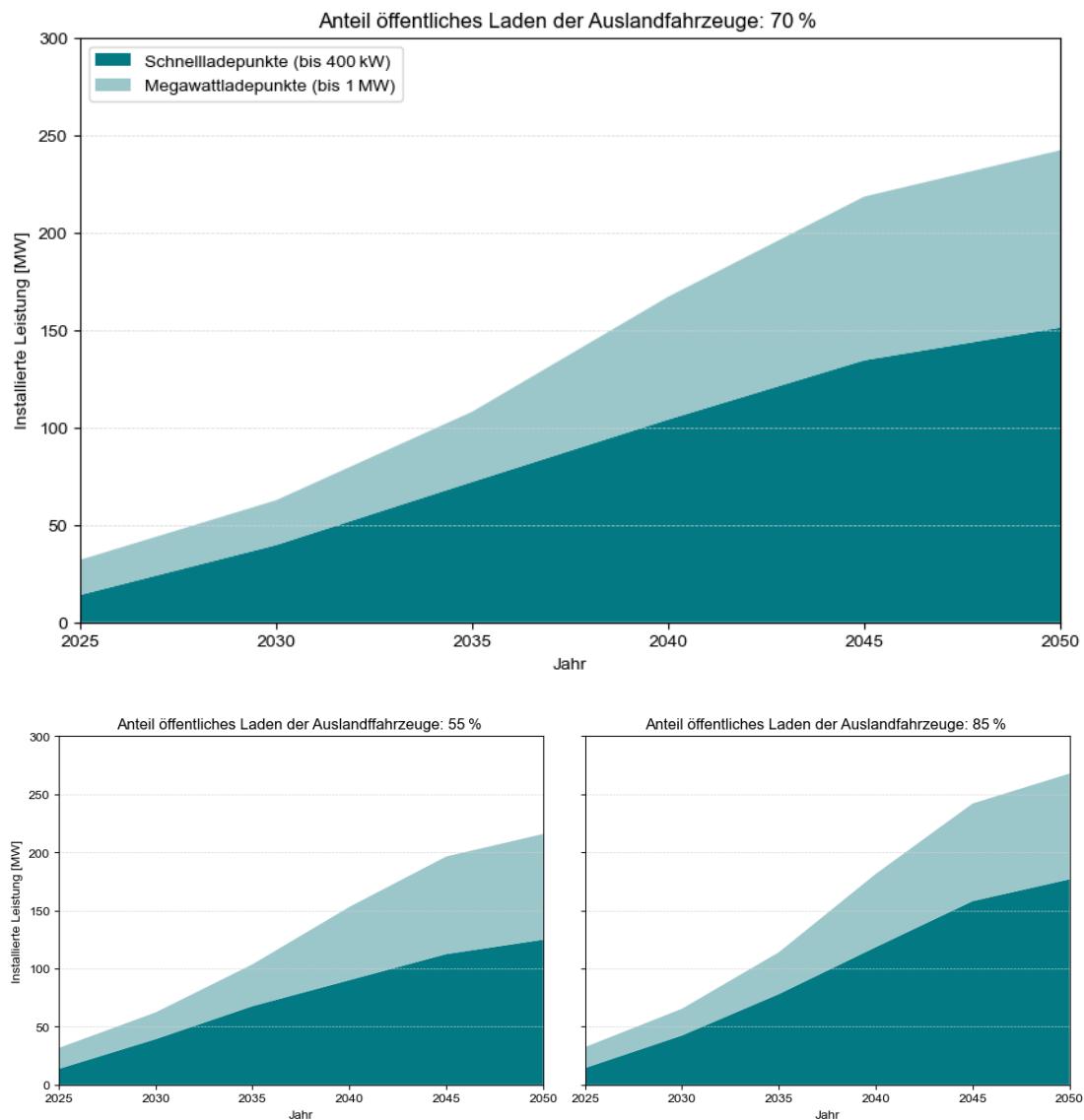


Abbildung 4-29: Entwicklung der installierten Ladeleistung an öffentlichen Standorten, Hauptszenario «Basis»



Im Szenario mit 70 % öffentlichem Laden werden im Jahr 2030 rund 100 Schnellladepunkte und 25 Megawattladepunkte benötigt, was einer installierten Gesamtleistung der öffentlichen Ladepunkte von etwa 65 MW entspricht. Bis 2050 steigt diese auf knapp 250 MW. Der Anteil des Megawattladens an der gesamten installierten öffentlichen Ladeleistung liegt dann bei rund 37 %.

Im Szenario mit 55 % öffentlichem Laden (geringerer Anteil ausländischer Import-/Exportverkehr) verschiebt sich die Zusammensetzung zugunsten des Megawattladens, dessen Anteil auf rund 43 % steigt. Umgekehrt liegt der Anteil beim 85 %-Szenario – also bei einem hohen öffentlichen Ladeanteil der ausländischen Fahrzeuge – bei etwa 32 %.

Analog zu den Auswertungen zur Gesamtzahl öffentlicher Ladepunkte unterscheiden sich auch die installierten Leistungen zwischen den Hauptszenarien «Basis», «Optimistisch» und «Pessimistisch» nur geringfügig.

Installierte Depot-Ladeleistung

Abbildung 4-30 zeigt die Entwicklung der installierten Depot-Ladeleistung für das Hauptszenario «Basis». Die rund 2'660 Ladepunkte im Jahr 2030 entsprechen einer installierten Leistung von etwa 266 MW, 7'660 Ladepunkte im Jahr 2040 entsprechen rund 766 MW, und 15'525 Ladepunkte im Jahr 2050 entsprechen einer installierten Gesamtleistung von etwa 1.6 GW.

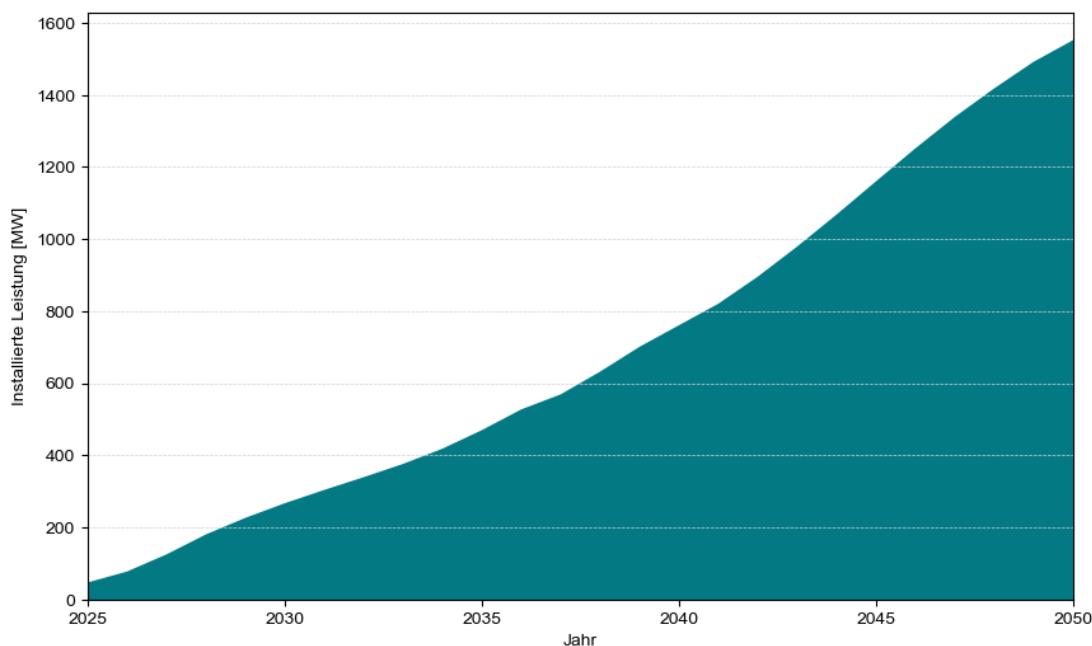


Abbildung 4-30: Entwicklung der installierten Ladeleistung im Depot, Hauptszenario «Basis»



Im Hauptszenario «Optimistisch» beträgt die installierte Leistung im Jahr 2050 rund 1.3 GW, während sie im Szenario «Pessimistisch» mit etwa 1.9 GW am höchsten liegt. Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Verhältnissen von Fahrzeugen zu Ladepunkten: Im Optimistischen Szenario werden aufgrund des höheren Auslastungsverhältnisses (mehr Fahrzeuge pro Ladepunkt) insgesamt weniger Ladepunkte benötigt, während im Pessimistischen Szenario durch das geringere Verhältnis (weniger Fahrzeuge pro Ladepunkt) eine höhere installierte Leistung resultiert.

Installierte Gesamtladeleistung

Eine Übersicht der installierten Gesamtladeleistung, differenziert nach Depotladen, öffentlichem Schnellladen und öffentlichem Megawattladen, findet sich im Anhang D. Dabei sind in Abbildung 10-14 alle Kombinationen der drei Hauptszenarien («Basis», «Optimistisch», «Pessimistisch») mit den drei Szenarien zum Anteil des öffentlichen Ladens der ausländischen Fahrzeuge (55 %, 70 %, 85 %) dargestellt.

Die höchste Gesamtladeleistung im Jahr 2050 ergibt sich im Hauptszenario «Pessimistisch» in Kombination mit einem hohen Anteil öffentlichen Ladens (85 %). In dieser Variante beträgt die installierte Gesamtleistung rund 2'170 MW. Das Minimum liegt im Hauptszenario «Optimistisch» mit einem tiefen Anteil öffentlichen Ladens (55 %) und beläuft sich auf etwa 1'500 MW.



4.4 Fallstudie «Einfluss des Depot-Ladens auf das BKW-Verteilnetz»

Die Elektrifizierung des Schwerverkehrs stellt die Schweizer Verteilnetze vor neue Herausforderungen – und eröffnet zugleich Chancen für eine effizientere, resilenter und nachhaltigere Energieversorgung. Diese Fallstudie untersucht, wie sich der zunehmende E-SNF-Ladebedarf auf die Verteilnetzinfrastruktur der BKW auswirkt. Da wie die Ergebnisse in Kapitel 4.3 zeigen, dass langfristig vor allem das Depot-Laden dominant sein wird, richtet sich der Fokus dieser Untersuchung entsprechend auf die netzseitigen Auswirkungen des Depot-Ladens.

Im Fokus steht dabei die Analyse technischer und ökonomischer Auswirkungen auf die Mittel- und Niederspannungsebene des BKW-Netzes. Dabei werden konkrete E-SNF-Flottenstandorte betrachtet und deren Lastprofile mit Blick auf Netzausbaubedarfe und Kosten bewertet. Die übergeordnete Methodik und Annahmen sind im Kapitel 2.2.7 dokumentiert. Die Resultate der Fallstudie sind als strategische Entscheidungsgrundlage zu verstehen; Detailprojekte (inkl. Integration der Hochspannungsebene) können die Kostenschätzungen verändern.

Grundlage: Flottenstandorte und -grössen der ASTAG-Mitglieder im BKW-Versorgungsgebiet

Für die Abschätzung der netzseitigen Auswirkungen des Depot-Ladens wurden die Flottenstandorte der ASTAG-Mitglieder innerhalb des BKW-Versorgungsgebiets herangezogen. Auf Basis der dortigen Flottengrössen sowie des zu erwartenden Ladeverhaltens – abgeleitet aus den Erkenntnissen der Fallstudien mit Logistikunternehmen (vgl. Kapitel 3.3) – wurden zeitliche Lastprofile erstellt, die die elektrische Leistung als Funktion der Zeit abbilden. Diese Profile bilden die Grundlage für die Identifikation potenzieller Netzengpässe sowie für die Bestimmung des erforderlichen Netzausbau und der damit verbundenen Kosten.

Für die Ermittlung der Netzausbaukosten wurden sämtliche wesentlichen netzseitigen Elemente berücksichtigt, die für den Aufbau von Depot-Ladeinfrastruktur relevant sind, insbesondere:

- Kosten für Transformatorenstationen und Niederspannungsanschlüsse (lokale Versorgung)
- Kosten für Mittelspannungsabgänge und deren Verstärkung (überregionale Versorgung)
- Kosten für Planung und Realisierung neuer Trassen

Zudem wurden Kosten für Redundanzen, Kapazitätsreserven sowie behördliche Abgaben zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit einbezogen. Nicht berücksichtigt wurden hingegen Aspekte wie die Einbindung von Energiespeichern und Photovoltaik, netzdienliches Lastmanagement (Peak Shaving) sowie Erweiterungen im Hochspannungsnetz. Als Ausgangslage wurde eine detaillierte Analyse der bestehenden Netzstruktur durchgeführt. Dabei wurden sowohl Transformatorenstationen als auch Mittelspannungsabgänge systematisch hinsichtlich ihrer verfügbaren Leistung bewertet. Grundlage bildete eine Kombination aus öffentlich zugänglichen Informationen zum BKW-Verteilnetz sowie internen Daten aus der Netzplanung. Auf dieser Basis konnten jene Standorte identifiziert werden, an denen bis 2050 – also in einem Zustand weitgehender Elektrifizierung der Schweizer SNF-Flotte – ein zusätzlicher Netzausbau erforderlich sein wird.



Ergebnisse am Beispiel Ittigen / Worblaufen

Ein Gebiet, das künftig besonders stark durch zusätzliche Lasten aus dem Depot-Laden von E-SNF beeinflusst wird, ist der Raum Ittigen / Worblaufen. Die Unterstation Worblaufen spielt dabei als zentraler Knotenpunkt im Versorgungsgebiet der BKW eine wesentliche Rolle, da sie mehrere Gemeinden der Agglomeration Bern speist und damit eine wichtige Funktion im regionalen Verteilnetz übernimmt.

Für dieses Gebiet wird exemplarisch die Zielnetzplanung dargestellt (vgl. Abbildung 4-31). Die Analyse zeigt deutlich, dass die verschiedenen Mittelspannungsabgänge unterschiedlich stark von den zusätzlichen Lasten betroffen sind. Besonders der Mittelspannungsabgang «Aespliz» weist ausgeprägte Lastspitzen auf, welche die bestehenden Leitungen und Transformatoren bis an ihre Kapazitätsgrenzen belasten. Daraus ergibt sich ein konkreter Netzausbaubedarf, der insbesondere folgende Massnahmen umfasst:

- Verstärkung bestehender Leitungstrassen durch dimensionale Erweiterungen oder Neubauten
- Errichtung zusätzlicher Transformatorenstationen entlang des Mittelspannungsabgangs «Aespliz»

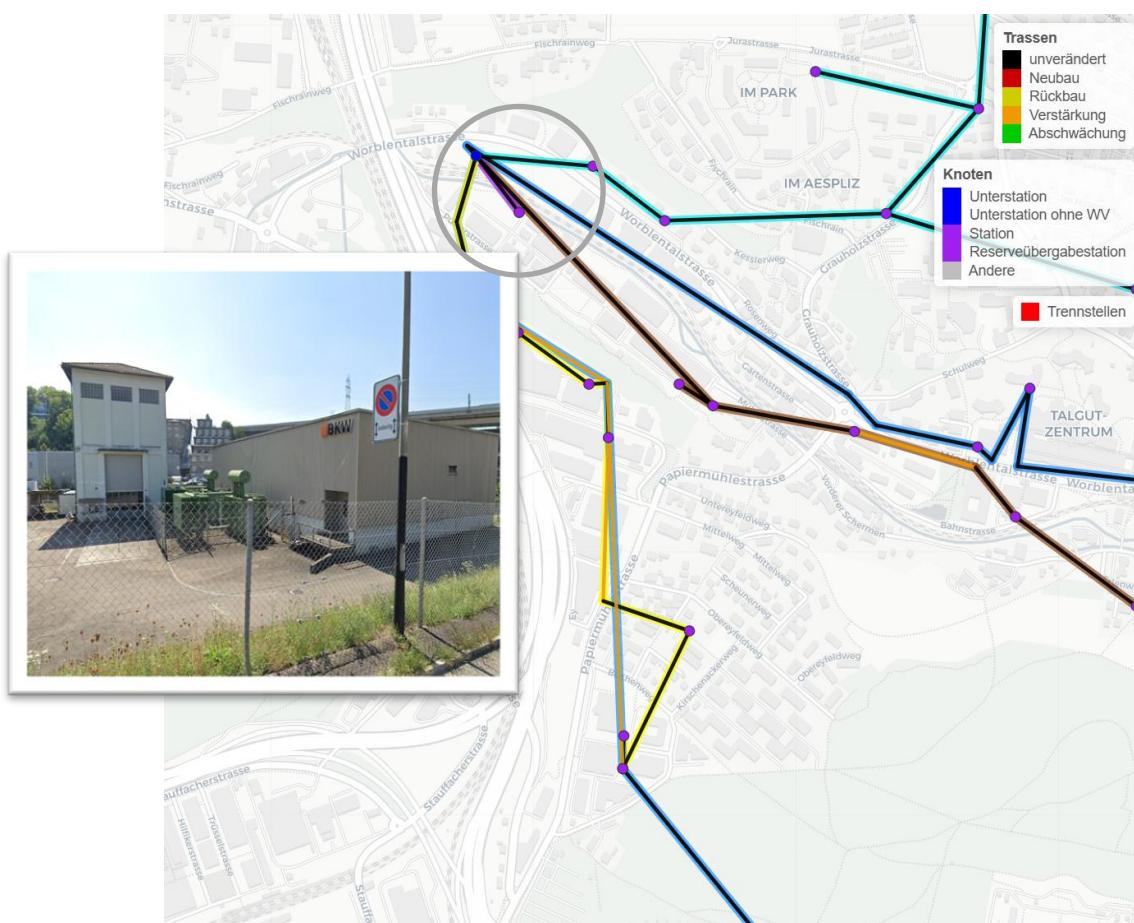


Abbildung 4-31: Ausbaubeispiel Zielnetzplanung Worblaufen



Standortübergreifende Ergebnisse

Die Analyse aller betrachteten Standorte zeigt, dass die netzseitigen Kosten stark von der jeweiligen Lage und der vorhandenen Netzerschliessung abhängen. Depots, die nahe an leistungsfähigen Netzabgängen liegen, verursachen deutlich geringere Investitionen als Standorte in schwach ausgebauten Gebieten. Zudem kann die Bündelung mehrerer Ladepunkte an einem Standort («Clustering») die Wirtschaftlichkeit verbessern, da Skaleneffekte bei Netzan schlüssen und Infrastruktur realisiert werden können.

In räumlicher Hinsicht erweist sich insbesondere das ländliche Mittel- und Niederspannungsnetz als ausbaubedürftig. Dies unterscheidet sich von bisherigen Studien, die aufgrund weniger differenzierter Annahmen zum Ladeverhalten von Elektrofahrzeugen teils geringere Herausforderungen auf dieser Netzebene erwartet hatten.⁹⁸

Über das gesamte BKW-Versorgungsgebiet ergibt sich im Jahr 2050 ein zusätzlicher Leistungsbedarf von rund 256 MW durch das Depot-Laden der E-SNF. Zur Integration dieser Spitzenlasten sind Investitionen von insgesamt rund 145 Millionen Franken erforderlich. Etwa die Hälfte entfällt auf lokale Transformatorenstationen und Niederspannungsanschlüsse, die übrige Hälfte auf Ausbauten im Mittelspannungsnetz.

Rund 50 % der betrachteten 80-kVA-Netzanschlüsse können ohne zusätzlichen Netzausbau versorgt werden. Bei den verbleibenden Anschlüssen zeigen sich hingegen lokal stark varii rende Ausbaubedarfe, abhängig von Netztopologien, verfügbaren Reserven und den gelgenden n-1-Kriterien⁹⁹.

Nicht berücksichtigt wurden in dieser Analyse die Einbindung stationärer Batteriespeicher, Photovoltaik sowie netzdienliche Lastmanagementsysteme wie Peak Shaving. Diese könnten die erforderlichen Netzausbauten und Kosten signifikant reduzieren und wären Gegenstand zukünftiger Untersuchungen.

⁹⁸ BKW (2025)

⁹⁹ Das n-1-Kriterium ist ein Grundsatz der Systemsicherheit, der besagt, dass ein Stromnetz auch beim Ausfall eines beliebigen einzelnen Elements (n-1) weiterhin funktionsfähig und stabil bleiben muss, ohne dass es zu Überlastungen oder grösseren Störungen kommt.



5 Diskussion und Empfehlungen

In diesem Kapitel werden die zentralen Ergebnisse zu den TCO, dem Markthochlauf der E-SNF sowie dem Ladeinfrastrukturbedarf übergreifend diskutiert und daraus Handlungsempfehlungen abgeleitet.

In Kapitel 5.1 erfolgt hierzu eine zusammenfassende Diskussion der Ergebnisse. Sie greift die zentralen Annahmen dieser Studie auf – insbesondere zu LSVA, Abgabe auf Elektrofahrzeuge, Batteriepreisen, Energiepreisen sowie den Kosten der Ladeinfrastruktur – und ordnet deren Bedeutung für die Interpretation der Resultate ein. Darüber hinaus werden die wichtigsten Limitationen der Untersuchungen sowie die damit verbundenen Unsicherheiten erläutert, um die Aussagekraft der Ergebnisse angemessen einzurordnen.

Auf dieser Grundlage werden in Kapitel 5.2 Handlungsempfehlungen für den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur formuliert. Diese richten sich sowohl an die öffentliche Hand als auch an relevante Akteure des privaten Sektors, die in den kommenden Jahren massgeblich zur Elektrifizierung des Schwerverkehrs beitragen werden.

5.1 Diskussion der Ergebnisse

5.1.1 TCO und E-SNF Markthochlauf

Die TCO-Analysen haben gezeigt, dass die zentralen Kostentreiber, welche die Wirtschaftlichkeit von E-SNF gegenüber D-SNF bestimmen, insbesondere die Batteriekosten, die Energiekosten, die Ladeinfrastrukturkosten, die LSVA sowie eine mögliche Ersatzabgabe auf Elektrofahrzeuge sind. Zur Beeinflussung des Markthochlaufs der E-SNF kann folglich gezielt an diesen Kostenhebeln angesetzt werden.

Batteriekosten

Die Batterie stellt auf der Seite der Investitionskosten den mit Abstand grössten Einzelkostentreiber dar. Entsprechend stark beeinflusst die künftige Entwicklung der Batteriepreise die TCO-Differenz und damit auch die Geschwindigkeit des Markthochlaufs. Allerdings sind die Prognosen zur Batteriepreis-Entwicklung mit erheblichen Unsicherheiten behaftet. Technologische Fortschritte, Preisschwankungen bei Batterierohstoffen und geopolitische Faktoren wie die Industriepolitik in Asien und Europa spielen dabei eine entscheidende Rolle. Gespräche mit Branchenakteuren, etwa Scania, lassen offen, ob die Preise mittelfristig weiterhin sinken oder eher stagnieren werden. Demgegenüber stehen aktuelle Prognosen internationaler Analysten (z. B. BloombergNEF), die von deutlich tieferen Batteriepreisen auf Packebene ausgehen als jene, die in dieser Studie unterstellt werden. Diese Werte sind jedoch mit Vorsicht zu interpretieren, da sie in der Regel nicht direkt auf den Schweizer Markt übertragbar sind. Insgesamt dürften die in dieser Studie verwendeten Annahmen eine konservative Einschätzung der künftigen Batteriepreise darstellen. Konkret zeigt die Sensitivitätsanalyse in Kapitel 4.2.2, dass um 30% tiefere Batteriepreise in den 30er Jahren zu rund 10 Prozentpunkten höheren Marktanteilen von E-SNF an den Neuzulassungen führen würde.



Energiekosten

Bei den Energiekosten wurde für Strom und Diesel auf die Energieperspektiven 2050+ des BFE abgestützt, wobei die in dieser Studie unterstellten Annahmen der Dieselpreise im Szenario «Netto-Null» von den Energieperspektiven abweichen. Im Basisszenario («Weiter wie bisher», WWB) wird von moderat steigenden Strom- und Dieselpreisen ausgegangen, verursacht durch eine zunehmende Nachfrage und ansteigende CO₂-Preise. Im Szenario «Netto-Null» steigen die Energiepreise nochmals deutlich stärker. Der Grund für die steigenden Dieselpreise liegt in den höheren CO₂-Preisen infolge der Einführung des Emissionshandelssystems EHS 2, das ab 2030 auch in der Schweiz zur Anwendung kommen soll. Hinsichtlich der Strompreise kommen ab etwa 2040 vermehrt Wasserstoff und Biogas bzw. Biomethan im europäischen Stromsystem zum Einsatz. Diese vergleichsweise teuren Energieträger werden in Backupkraftwerken genutzt, die preisbestimmend am Strommarkt agieren, was die Strompreise zusätzlich erhöht. Aus heutiger Sicht erscheint das Szenario «Weiter wie bisher» jedoch realistischer – insbesondere aufgrund der künftig zunehmenden PV-Überschussproduktion, die an sonnigen Tagen zu häufigeren Niedrig- oder sogar Negativpreisen führen dürfte. Zudem haben die Fallstudien mit den Logistikunternehmen gezeigt, dass sich die durchschnittlichen Stromkosten im Depot durch den kombinierten Einsatz von Photovoltaik-Anlagen und stationären Batteriespeichern substanziell reduzieren lassen. Weiter liegen die in dieser Studie unterstellten Annahmen zu den Strompreisen für das öffentliche Laden über den von Milence ausgewiesenen Preisen für Deutschland und Dänemark, wo die Strompreise gegenüber der Schweiz tendenziell höher liegen. Daher ist insgesamt davon auszugehen, dass die in Kapitel 4.2 dargestellten TCO-Ergebnisse aus Sicht der Energiekosten tendenziell konservativ sind – d. h., die tatsächlichen Energiekosten für E-SNF könnten künftig tiefer ausfallen als in den Modellergebnissen hinterlegt worden ist.

Ladeinfrastrukturkosten

Bei den Ladeinfrastrukturkosten wurden reale Kostendaten für das DC-Grid-System von «eLoaded» als Grundlage verwendet. Dabei wurden sämtliche relevanten Hardwarekomponenten berücksichtigt – darunter Gleichrichtereinheiten, Kabel, Rückkühler, Ladepunkte sowie die Montage, Inbetriebnahme und Betriebskosten. Nicht berücksichtigt wurden hingegen potenziell erforderliche Netzanschlussverstärkungen oder Ausbaukosten auf der vorgelagerten Netzseite, also alle Investitionen, die hinter der eigentlichen Ladeinfrastruktur liegen. Die Fallstudien mit den Logistikunternehmen haben diesbezüglich klar gezeigt, dass ein optimiertes Zusammenspiel von PV-Anlagen, stationären Speichersystemen und Lastmanagement die Netzanschlusskosten erheblich reduzieren kann. Weiter wurden keine Förderbeiträge einbezogen, die über das Klimaschutzgesetz (KIG) auf Bundesebene zur Verfügung stehen könnten. Vor diesem Hintergrund dürften die im Modell verwendeten Ladeinfrastrukturkosten als realistisch bis konservativ betrachtet werden, sofern Fördermittel genutzt und intelligente Netzan schlusslösungen (z. B. Lastmanagement oder geteilte Netzanschlüsse) implementiert werden.



Um die depotbezogenen Ladeinfrastrukturkosten pro Fahrzeug zu berechnen, wurden die drei Szenarien «Basis» (vier Fahrzeuge pro Ladepunkt), «Kostenoptimiert» (fünf Fahrzeuge pro Ladepunkt) und «Betriebsoptimiert» (drei Fahrzeuge pro Ladepunkt) modelliert. Das Basisszenario stellt dabei einen ausgewogenen Kompromiss zwischen Investitionskosten und betrieblichem Rangieraufwand dar. Langfristig dürfte diese Annahme zusätzlich realistischer werden, da im Bereich des autonomen Rangierens derzeit intensiv geforscht wird und entsprechende Technologien künftig den operativen Aufwand weiter reduzieren könnten.

Politische Instrumente

Auf regulatorischer Ebene wurden sowohl die Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) als auch eine potenzielle Abgabe auf Elektrofahrzeuge berücksichtigt.

Bei der LSVA erfolgte die Szenarienbildung in enger Abstimmung mit dem Bundesamt für Verkehr. Für E-SNF wurden drei Varianten eines Rabattsystems analysiert. Im Basisszenario (Vorschlag des Bundesrats) wird die LSVA ab 2029 mit einem Rabatt von 70 % eingeführt. Dabei zeigt sich, dass sich die LSVA spürbar auf die TCO auswirkt und insbesondere zwischen 2030 und 2040 den Markthochlauf deutlich bremsen wird. So liegt der E-SNF Anteil im Bestand im Jahr 2035 mit LSVA um 38 Prozentpunkte tiefer im Vergleich zu einem Szenario ohne LSVA.

Bei der Abgabe auf Elektrofahrzeuge wurde die Variante «Fahrleistung» untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass diese Abgabe auf TCO-Ebene etwa einem Viertel der LSVA-Kosten entspricht. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Studie lässt sich jedoch nur schwer abschätzen, wann und in welcher Form diese Abgabe tatsächlich eingeführt wird, da sich das Instrument noch im Entwicklungsstadium befindet. Klar ist jedoch, dass eine solche Abgabe die TCO von E-SNF erhöht und somit zu ungünstigen Wirtschaftlichkeit wirkt. Insgesamt liegt im Jahr 2035 der E-SNF Anteil im Bestand um rund 10 Prozentpunkte tiefer gegenüber einem Szenario ohne Abgabe.

Nicht berücksichtigt wurden CO₂-Emissionsvorschriften, die seit dem 1. Januar 2025 für Importeure von schweren Nutzfahrzeugen gelten. Werden die flottenspezifischen CO₂-Zielwerte nicht erreicht, sind Sanktionszahlungen fällig. Diese könnten dazu führen, dass sich Dieselfahrzeuge verteuern, falls die Importeure die zusätzlichen Kosten auf die Verkaufspreise überwälzen. Alternativ wäre auch denkbar, dass E-SNF gezielt günstiger angeboten werden, um Sanktionen zu vermeiden und die Flottenziele zu erreichen. Beide Mechanismen würden sich zugunsten der E-SNF auswirken und damit den Markthochlauf beschleunigen. Mit den im Kapitel 4 dargestellten Markthochläufen zeichnet sich ab, dass die individuellen Zielvorgaben deutlich überschritten werden – insbesondere dann, wenn die Schweiz die Absenkungsraten der EU für die Zeit nach 2030 übernimmt.

Zusätzlich wurden keine Förderbeiträge für die Realisierung von Depot-Ladeinfrastruktur berücksichtigt. Gerade für kleinere Logistikunternehmen könnten solche Beiträge jedoch potenzielle Liquiditätsengpässe bei den notwendigen Investitionen abfedern und damit den Übergang zur Elektromobilität erleichtern.



Fahrzeugrestwerte

Hinsichtlich der Restwerte der Fahrzeuge zeigen die Gespräche mit den Logistikunternehmen Planzer, Schöni und Krummen Kerzers im Rahmen der Fallstudien, dass Elektrofahrzeuge derzeit in der Regel nach acht Jahren vollständig abgeschrieben werden. Ein funktionierender Occasionsmarkt für E-SNF existiert aktuell noch nicht – im Gegenteil: Unternehmen müssen teilweise sogar für die fachgerechte Entsorgung der Fahrzeuge bezahlen. Mittelfristig ist jedoch mit der Entstehung eines Sekundärmarkts zu rechnen – sowohl für gebrauchte Fahrzeuge als auch für Batteriespeicher, die in Second-Life-Anwendungen (z. B. stationäre Energiespeichersysteme) weiterverwendet werden können. In den Modellrechnungen wurden die Recyclingkosten der Batterien bereits im Kaufpreis berücksichtigt, was gemäss Angaben der Berner Fachhochschule (BFH) dem heutigen Branchenstandard entspricht. Für die Fahrzeuge wurde nach acht Jahren ein Restwert von 15 % des Anschaffungspreises angenommen. Vor dem Hintergrund der Aussagen der Logistikunternehmen erscheint dieser Wert für E-SNF kurzfristig tendenziell zu optimistisch, da gegenwärtig kaum Wiederverkaufsoptionen bestehen. Entsprechend dürften die TCO der E-SNF in der Anfangsphase leicht unterschätzt sein. Langfristig ist jedoch davon auszugehen, dass sich die Marktmechanismen stabilisieren, ein Occasionsmarkt etabliert und die angenommenen Restwerte eher konservativ geschätzt sind.

Markthochlauf

Die auf Basis der TCO-Berechnungen für die 23 repräsentativen Fahrzeugsegmente abgeleiteten Resultate zeigen, dass der Markthochlauf der E-SNF insbesondere durch die Einführung der LSVA und zusätzlich auch durch eine Abgabe auf Elektrofahrzeuge spürbar gebremst werden wird, jedoch nicht zum Stillstand kommt. Die beiden Instrumente treiben die TCO von E-SNF deutlich in die Höhe und führen zu einer Delle beim Markthochlauf von E-SNF in den 30er Jahren.

Es gibt mehrere Gründe, wieso diese Delle weniger stark ausfallen könnte, als im Basisszenario anhand der Bottom-up-Berechnungen der TCO berechnet wird: Die Entwicklung der Batteriepreise ist unsicher, deutlich tiefere Batteriepreise sind nicht ausgeschlossen. Die Strompreise für das Depotladen könnten dank Photovoltaik, Energiespeichersystemen und netzdienlichem Laden spürbar gesenkt werden. Die seit 2025 geltenden CO₂-Emissionsvorschriften für Neufahrzeuge sowie Förderbeiträge für die Realisierung von Depotladeinfrastruktur könnten dazu beitragen, dass die TCO von E-SNF im Vergleich zu denjenigen von Dieselfahrzeugen vorteilhafter ausfallen. Schliesslich könnten die Dieselpreise durch die Einbindung des Schweizer Treibstoffmarkts in das Emissionshandelssystem der EU weiter ansteigen, was die Wettbewerbsfähigkeit der E-SNF wiederum stützen würde.

Unter dem Strich bleibt die Dekarbonisierung des Strassengüterverkehrs durch Elektrifizierung unter den diskutierten Rahmenbedingungen weiterhin realistisch, sie wird sich jedoch nur langsam umsetzen lassen. Aus Kostensicht eignen sich insbesondere schwere Fahrzeuge mit hohen jährlichen Fahrleistungen für eine frühzeitige Elektrifizierung, da hier die Energie- und LSVA-Kostenanteile im Betrieb besonders stark ins Gewicht fallen und sich dadurch wirtschaftliche Vorteile schneller realisieren lassen.



5.1.2 Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF

Inländische E-SNF-Flotte

Auf Grundlage des angewandten Modellansatzes ergeben sich der Energiebedarf im Depot und an öffentlichen Stationen sowie der daraus abgeleitete Depotladeinfrastrukturbedarf direkt aus den TCO- und Markthochlaufmodellierungen. Damit wird auch das Verhältnis zwischen Depotladen und öffentlichem Laden der inländischen E-SNF endogen bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Energiebedarf der inländischen E-SNF bis zum Jahr 2050 – wenn nahezu der gesamte Fahrzeugbestand elektrifiziert ist – bei rund 2.2 TWh pro Jahr liegt. Dieser Energiebedarf wird durch etwa 16'000 Depotladepunkte mit einer durchschnittlichen Ladeleistung von 100 kW gedeckt, was einer installierten Depotladeleistung von rund 1.6 GW entspricht. Die tatsächliche Anzahl der Ladepunkte kann jedoch deutlich höher ausfallen, ohne dass sich die Gesamtleistung verändert. Dies wäre der Fall, wenn die durchschnittliche Ladeleistung pro Ladepunkt sinkt – beispielsweise durch ein intelligentes Lastmanagement oder geringere Leistungsanforderungen einzelner Fahrzeuge. Wie die Fallstudien mit den Logistikunternehmen gezeigt haben, reichen in der Praxis oftmals bereits deutlich geringere Ladeleistungen aus, um den täglichen Energiebedarf im Depot zuverlässig zu decken.

Hinsichtlich der Aufteilung des Energiebedarfs zwischen Depot- und öffentlichem Laden der inländischen Fahrzeuge stellen insbesondere die Batteriekapazität und die Fahrzeugeinsatzprofile die zentralen Einflussgrössen dar. Für die künftige Entwicklung der Batteriekapazitäten kann davon ausgegangen werden, dass diese weiter ansteigen werden. Die TCO-Analysen haben gezeigt, dass die Mehrkosten grösserer Batterien auf der Investitionsseite durch geringere Energiekosten infolge eines höheren Anteils an Depotladen weitgehend kompensiert werden – selbst wenn dadurch der Depotladeinfrastrukturbedarf sowie der Energieverbrauch aufgrund des höheren Fahrzeuggewichts zunehmen. Dieser Effekt verstärkt sich über die Zeit, da Batteriepreise sinken und Energiedichten steigen.

Im Ergebnis werden inländische Fahrzeuge nur 2,5 bis 4 % ihres Energiebedarfs durch öffentliches Laden decken. Dies entspricht einem Energiebedarf von etwa 65 bis 100 GWh (vgl. Kapitel 4.3). Dafür wird eine öffentliche Ladeinfrastruktur von rund 80 bis 120 Schnellladepunkten mit einer Leistung von je 400 kW benötigt. Hinzu kommt, dass künftig vermehrt Kooperationen zwischen Logistikunternehmen entstehen dürften, beispielsweise über Depot-Sharing-Plattformen, die derzeit in Entwicklung sind. Dadurch dürfte sich langfristig der effektive Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur für inländische Fahrzeuge zusätzlich verringern.

Kurz- bis mittelfristig sind inländische Fahrzeuge etwas stärker auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen, insbesondere solange die eigenen Depots nicht vollständig elektrifiziert sind. Besonders kleinere Logistikunternehmen stehen hierbei vor hohen Investitionshürden. Gleichzeitig wird ein rascher Ausbau der Depotladeinfrastruktur grosser Logistikunternehmen und - Standorte häufig durch technische Netzrestriktionen und langwierige Bewilligungsverfahren begrenzt werden, wodurch auch sie kurz- bis mittelfristig etwas mehr auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen sind.



Ausländische E-SNF-Flotte

Für die ausländischen E-SNF, die durch die Schweiz verkehren, zeigt sich bis 2050 – wenn der Grossteil dieser Fahrzeuge elektrifiziert ist – ein Energiebedarf von rund 520 GWh. Im Szenario, in dem 70 % dieser Energiemenge an öffentlichen Stationen in der Schweiz nachgeladen werden, ergibt sich daraus ein Bedarf von rund 300 Schnellladepunkten (bis 400 kW) für den Import-/Exportverkehr sowie rund 100 Megawattladepunkten (bis 1 MW) für den Transitverkehr.

Der tatsächliche öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf hängt jedoch stark davon ab, ob der Markthochlauf in der EU wirklich so rasch voranschreitet, und wie viel der in der Schweiz verbrauchten Energie tatsächlich in der Schweiz nachgeladen wird. In der Studie wurde angenommen, dass 100 % der in der Schweiz verbrauchten Energie auch in der Schweiz geladen wird. Dabei wurde für den Transitverkehr unterstellt, dass dieser zu 100 % an öffentlichen Ladestationen lädt. Beim Import-/Exportverkehr wurde in verschiedenen Szenarien davon ausgegangen, dass 40 %, 60 % oder 80 % der Energie an Kundendepots oder Logistik-Hubs bezogen wird, um von günstigeren Strompreisen und betriebsnahen Ladebedingungen zu profitieren. Dabei sind die Schätzungen zum tatsächlichen Anteil der in der Schweiz nachgeladenen Energie mit erheblicher Unsicherheit behaftet. Sollten die Strompreise in der Schweiz künftig günstiger als im umliegenden Ausland sein, könnte sich der Ladebedarf weiter erhöhen – theoretisch bis hin zu einem Ladetourismus, bei dem mehr Energie in der Schweiz geladen würde, als im Land selbst verbraucht wird. Umgekehrt würde ein höheres Preisniveau in der Schweiz den Ladebedarf und damit den öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf reduzieren. Da die Ergebnisse zeigen, dass langfristig der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf von den ausländischen E-SNF bestimmt wird (vgl. Kapitel 4.3.1), reagieren die Resultate entsprechend sensitiv auf diese Annahmen.

Kurz- bis mittelfristig stellt sich zudem die Frage, wie schnell der Ausbau der Ladeinfrastruktur im benachbarten Ausland voranschreitet. Da in der EU die AFIR-Vorgaben gelten, kann davon ausgegangen werden, dass der Infrastrukturausbau dort vergleichsweise rasch erfolgen wird. Dies könnte zur Folge haben, dass insbesondere der Import-/Exportverkehr vermehrt im Ausland laden würde, wodurch das tiefe Szenario (40 % des Import-/Exportverkehrs lädt an öffentlichen Stationen in der Schweiz, entsprechend rund 55 % aller ausländischen Fahrzeuge) als realistischer einzustufen wäre als das Basisszenario (60 % des Import-/Exportverkehrs lädt an öffentlichen Stationen in der Schweiz, entsprechend rund 70 % aller ausländischen Fahrzeuge). Vor diesem Hintergrund relativiert sich der bei den Inlandfahrzeugen beschriebene kurz- bis mittelfristige Ausbaubedarf der öffentlichen Ladeinfrastruktur weiter, da die für den ausländischen Verkehr vorgesehenen Ladepunkte auch von inländischen Fahrzeugen mitgenutzt werden können.



E-SNF-Gesamtflotte

Aus Sicht des Gesamtenergie- und Ladeinfrastrukturbedarfs zeigt sich, dass im Jahr 2030 ungefähr 450 bis 700 GWh benötigt werden. Im Jahr 2050, wenn in allen Szenarien der Grossteil der E-SNF in der Schweiz elektrifiziert sind, liegt der elektrische Gesamtenergiebedarf der inländischen- und ausländischen Fahrzeuge bei rund 2.7 TWh. Davon entfallen rund 520 GWh auf ausländische Fahrzeuge. Der öffentliche Gesamtenergiebedarf liegt im Jahr 2030 ja nach Szenario zwischen 55 und 65 GWh und im Jahr 2050 zwischen 400 GWh und 550 GWh. Daraus resultiert ein öffentlicher Ladeinfrastrukturbedarf von 110 – 130 Ladepunkten im Jahr 2030 resp. 400 – 530 Ladepunkten im Jahr 2050. Der Anteil der Megawattladepunkte liegt dabei zwischen 18 % und 23 %.

Im Vergleich dazu weisen die beiden vorliegenden Studien von EBP und INFRAS zum öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf für E-SNF in der Schweiz deutlich höhere Bedarfswerte aus (vgl. Kapitel 1.3). EBP und INFRAS gehen in ihren Studien von einem öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf von 180 – 200 Ladepunkten bis 2030 aus. Bis 2050 rechnet INFRAS mit einem Bedarf von 600 – 2'400 öffentlichen Ladepunkten.

Die Ursachen hierfür liegen im unterschiedlichen methodischen Vorgehen und in den verwendeten Datengrundlagen und Modellannahmen: Beide Studien basieren auf den Verkehrsperspektiven 2050 des ARE, die aber – wie in Kapitel 2.2.1 und 3.1 dargelegt – nach Einschätzung der Autoren dieser Studie die künftigen Fahrleistungen und Verkehrsbelastungen von SNF bis 2050 um rund 20 % überschätzen. Entsprechend resultiert dort auch ein höherer Ladeinfrastrukturbedarf.

Zudem wird in den bisherigen Studien der Anteil des öffentlichen Ladens der inländischen Fahrzeuge exogen vorgegeben und über die Zeit als konstant angenommen. Die dabei unterstellte Größenordnung liegt deutlich über den in dieser Studie resultierten Werten. In der vorliegenden Analyse wurde dieser Anteil endogen abgeleitet – basierend auf der Entwicklung der Batteriekapazitäten, den Einsatzprofilen der Fahrzeuge sowie den Erkenntnissen aus den Fallstudien mit Logistikunternehmen. Dies erklärt den im Vergleich tieferen öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf, der sich in dieser Studie ergibt.

Darüber hinaus wurde auch die Anzahl öffentlicher Ladepunkte nicht auf Grundlage exogener Annahmen zur Auslastung der Ladeinfrastruktur bestimmt, sondern endogen über ein Warteschlangenmodell berechnet. Dieses berücksichtigt die tatsächliche Verkehrsbelastung und La-debedarfe entlang der relevanten Korridore, wodurch die resultierende Ladeinfrastrukturplanung direkt an die auftretende Spitzennachfrage gekoppelt werden kann.



5.1.3 Einfluss des Depot-Ladens auf das Stromnetz

Die von der BKW durchgeführte Netzausbaustudie zeigt, dass bis 2050 rund 50 % der untersuchten Netzzuschlüsse im BKW-Versorgungsgebiet verstärkt oder ausgebaut werden müssen. Der dazu erforderliche Investitionsbedarf wird auf rund 145 Mio. Franken geschätzt. In der Fallstudie nicht berücksichtigt wurde jedoch die potenzielle Integration von stationären Speichersystemen, Photovoltaikanlagen sowie intelligenten Lastmanagementsystemen. Gerade beim Depot-Laden ist deren Einbindung zentral, da damit Netzausbaukosten reduziert werden können.

Die Analyse der Fahrprofile der Logistikunternehmen Planzer, Schöni und Krummen Kerzers (vgl. Kapitel 3.3) zeigt, dass die Fahrzeuge häufig für längere Zeit im Depot stehen – insbesondere aufgrund des Nachtfahrverbots von 22:00 bis 5:00 Uhr. Damit steht während eines Grossteils der Nacht ein breites Ladefenster zur Verfügung. In Kombination mit stationären Speichern und PV-Anlagen kann der tagsüber erzeugte Solarstrom zwischengespeichert und nachts zum Laden der E-SNF bereitgestellt werden. Dies ist besonders vorteilhaft, wenn mehrere Fahrzeuge gleichzeitig geladen werden müssen oder wenn sich das Laden zeitlich mit anderen nächtlichen Verbrauchern (z. B. Warmwasserboilern) überschneidet. Durch Peak Shaving lassen sich so sowohl Lastspitzen als auch entsprechende Leistungskosten reduzieren. Die Fallstudien mit den drei Logistikunternehmen haben gezeigt, dass sich lokale Netzausbaukosten mit PV und stationären Speichersystemen um 25 – 55 % reduzieren lassen.

Die typischen Ladeleistungen von rund 100 kW pro Ladepunkt eröffnen zudem ein erhebliches Potenzial zur zeitlichen Verschiebung und Streckung der Ladevorgänge. Intelligente Lastmanagementsysteme können diese Flexibilität gezielt nutzen, um die Netzbelastrung zu glätten und die verfügbare Anschlussleistung optimal auszunutzen.

Zusätzliche Vorteile ergeben sich durch bidirektionales Laden. Neben der Steuerung der Ladevorgänge kann dabei auch Energie aus Fahrzeughärtierungen in das Gebäude (Vehicle-to-Building, V2B) oder ins Stromnetz (Vehicle-to-Grid, V2G) zurückgespeist werden. Damit lassen sich etwa Lastspitzen abfedern oder Regelenergie bereitstellen. Eine aktuelle Studie des ICCT zeigt für eine Fallstudie in Frankreich, dass intelligentes Lastmanagement die Lastspitzen durch das Laden von Elektrofahrzeugen (elektrische Personewagen und E-SNF) bereits ohne bidirektionales Laden um rund 6 % reduzieren kann. Mit bidirektionalem Laden steigt das Reduktionspotenzial auf rund 9 %.¹⁰⁰

Eine spezifische Potenzialabschätzung für die Schweiz, die sich ausschliesslich auf E-SNF konzentriert und sowohl Lastmanagement als auch bidirektionales Laden berücksichtigt, ist Gegenstand des BFE-Forschungsprojekts «TEC-OFF» von DPD, der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW), Sun2Wheel, novatlantis, IWB und SBB Immobilien.

¹⁰⁰ ICCT / RAP (2025)



5.2 Empfehlungen für den Ausbau einer öffentlichen E-SNF-Ladeinfrastruktur in der Schweiz

Die in dieser Studie gewonnenen Ergebnisse zeigen den Ladeinfrastrukturbedarf in Depots und an öffentlichen Standorten im Zeitverlauf, jeweils differenziert nach inländischer und ausländischer Flotte. Kurz- bis mittelfristig wird der öffentliche Ladebedarf primär durch die inländischen Fahrzeuge bestimmt, während langfristig zunehmend die ausländischen E-SNF den Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur dominieren.

Die Analysen zum Markthochlauf und Ladeinfrastrukturbedarf der inländischen Fahrzeuge haben gezeigt, dass sich die Grössenordnungen insbesondere kurz bis mittelfristig unter zusätzlicher Berücksichtigung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge deutlich verändern. So verringert sich der öffentliche Ladeinfrastrukturbedarf der Inlandflotte im Jahr 2035 – bei zusätzlicher Berücksichtigung der Abgabe und ohne Einbezug der Effekte der CO₂-Emissionsvorschriften und Förderbeiträge für Depot-Ladeinfrastruktur – um rund 15 % gegenüber dem Hauptszenario «Basis», in dem die Einführung der LSVA ab 2029 berücksichtigt wird. Mit Abgabe und zusätzlich mit LSVA verringert sich der Bedarf im 2035 sogar um 71 %.

Damit der Ausbau der Ladeinfrastruktur realistisch und zielgerichtet geplant werden kann, ist Planungssicherheit über die zukünftige Ausgestaltung dieser Instrumente entscheidend. Solange unklar ist, wann und in welcher Form die LSVA oder die Abgabe auf Elektrofahrzeuge umgesetzt werden, bleiben die Unsicherheiten für Investitionen in E-SNF und Ladeinfrastruktur hoch. Eine frühzeitige Klärung der regulatorischen Leitplanken ist daher zentral, um den markthochlaufabhängigen Ladeinfrastrukturausbau zielgerichtet planen zu können. Zudem wird empfohlen, eine Verlängerung oder Ausweitung des Förderrahmens für Depot-Ladeinfrastruktur gemäss Klima- und Innovationsgesetz (KIG) zu prüfen. Eine solche Anpassung könnte helfen, die kostensteigernden Effekte von LSVA und Abgabe auf Elektrofahrzeuge abzufedern und damit den Umstieg auf E-SNF zusätzlich zu unterstützen.

Wird der Ladeinfrastrukturbedarf ohne Berücksichtigung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge und ohne Einbezug der Effekte der CO₂-Emissionsvorschriften sowie Förderbeiträge für Depot-Ladeinfrastruktur betrachtet – deren Wirkungen sich gegenseitig teilweise kompensieren könnten –, ergibt sich im Basisszenario ein Bedarf von rund 110 bis 130 öffentlichen Ladepunkten im Jahr 2030. Dieser Bedarf wird in erster Linie durch die inländischen Fahrzeuge verursacht. Da der tatsächliche Bedarf aufgrund des hohen Zeitbedarfs für die Elektrifizierung der Logistikdepots kurzfristig eher höher ausfallen dürfte, wird empfohlen, den Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur vorausschauend mit einer gewissen Reserve zu gestalten. Konkret könnte dies bedeuten, dass bis 2030 schon ein Ausbau für den erwarteten Bedarf im Jahr 2035 erfolgen soll. Dies stellt sicher, dass fehlende öffentliche Lademöglichkeiten nicht zu einem limitierenden Faktor des Markthochlaufs von E-SNF werden. Gleichzeitig wird so vermieden, dass Überkapazitäten an öffentlicher Ladeinfrastruktur mit entsprechenden Kostenfolgen entstehen.



Der Ladeinfrastrukturbedarf der ausländischen E-SNF fällt kurz- bis mittelfristig etwas tiefer aus, da für diese Fahrzeuge ein langsamerer Markthochlauf zu erwarten ist. Gleichzeitig stellt sich insbesondere kurz- bis mittelfristig die Frage, welcher Anteil der ausländischen Fahrzeuge tatsächlich in der Schweiz laden wird – insbesondere dann, wenn das öffentliche Ladenetz im Ausland im Rahmen der AFIR-Vorgaben schneller ausgebaut wird oder die Strompreise dort tiefer liegen. Trotz dieser Unsicherheiten kann sich die Planung der schweizweiten Ladeinfrastruktur an den in dieser Studie ausgewiesenen Größenordnungen für die Jahre 2030 und 2035 orientieren. Dies hält die Gefahr für eine potenzielle Überdimensionierung des öffentlichen Ladenetzes in Grenzen, selbst wenn der effektive Bedarf der ausländischen Fahrzeuge geringer ausfallen würde.

In den späteren Phasen bis 2050 geraten dann zunehmend Netz- und Platzfragen in den Vordergrund. Vor diesem Hintergrund wird empfohlen, die Netzplanung frühzeitig in den Planungsprozess des Ladeinfrastrukturausbau zu integrieren und netzdienliches Laden gezielt zu fördern. Ladeinfrastrukturstandorte sollten skalierbar ausgelegt und mit Blick auf den Endbedarf 2050 dimensioniert werden. Zudem sind intelligente Lastmanagementsysteme bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen, um Lastspitzen zu vermeiden und die Netzkapazitäten effizient zu nutzen.

Hinsichtlich der räumlichen Verteilung und des Platzbedarfs der öffentlichen Ladeinfrastruktur stellt sich die Frage, ob künftig eher viele kleinere oder wenige zentrale, grosse Standorte realisiert werden sollen. In der vorliegenden Studie wurde mögliche Gebiete für die Realisierung von öffentlicher Ladeinfrastruktur auf Basis der AFIR-Vorgaben und der modellierten Nachfrage identifiziert. Grundsätzlich wird dabei empfohlen, die AFIR-Vorgaben auch in der Schweiz zu berücksichtigen – insbesondere für den Ausbau entlang der wichtigsten Transit- und Hauptverkehrsachsen. Damit wird sichergestellt, dass die ausländischen E-SNF, die ab etwa 2035 den überwiegenden Teil des öffentlichen Ladebedarfs ausmachen werden, auf ein vergleichbar dichtes Ladenetz treffen wie im angrenzenden Ausland. Gleichzeitig sollten die inländischen Verkehrsströme in die Standortwahl einfließen, sodass Ladeinfrastruktur prioritätär dort errichtet wird, wo die kombinierte Nachfrage von in- und ausländischen Fahrzeugen am höchsten ist. Mit einem durchschnittlichen Abstand von rund 75 km zwischen den Standorten ergibt sich ein Netz aus überwiegend kleineren bis mittelgrossen sowie einzelnen wenigen grösseren Ladeparks. Diese Struktur mit rund 18 Ladestandorten pro Fahrtrichtung ist vorteilhaft, da sie weniger Flächenbedarf verursacht und geringere Netzverstärkungen an den einzelnen Standorten erfordert als wenige und dafür grössere Ladehubs. Kurz- bis mittelfristig wird empfohlen, den Ausbau auf die zentralen Korridore Basel–Chiasso (Nord–Süd-Achse) sowie Genf–Bern–Zürich (West–Ost-Achse) zu konzentrieren, da dort die höchste Nachfrage zu erwarten ist. In einem zweiten Schritt sollte das Ladenetz kontinuierlich auf weitere Achsen ausgeweitet werden, um eine flächendeckende Versorgung sicherzustellen.



Für den Ausbau der Ladeinfrastruktur im Depot zeigen die Fallstudien für Planzer, Schöni und Krummen Kerzers sowie die Netzfallstudie für das BKW-Verteilnetz, dass eine sorgfältige Planung und der kombinierte Einsatz von PV, stationären Speichersystemen und intelligentem Lastmanagement sowohl Netzausbaukosten als auch Stromkosten deutlich reduzieren können. Für Logistikunternehmen ergeben sich daraus mehrere zentrale Empfehlungen im Umgang mit Netzanschlussfragen: Einerseits sollte der notwendige Ausbaupfad frühzeitig und gemeinsam mit dem zuständigen Verteilnetzbetreiber definiert werden – insbesondere, um mögliche Engpässe zu vermeiden und realistische Realisierungsfristen zu berücksichtigen. Weiter empfiehlt sich eine skalierbare Anschlussplanung, also ein stufenweiser Ausbau der Anschlussleistung, der den heutigen Bedarf abdeckt und gleichzeitig künftige Erweiterungen ermöglicht (z. B. über modulare Trafostationen oder vorausschauende Kabeldimensionierung). Schliesslich sollten technische Flexibilitätsoptionen wie Lastmanagement, PV-Integration, stationäre Speicher sowie – wo sinnvoll – bidirektionale Anwendungen systematisch in die Netzauslegung einbezogen werden, da sie den benötigten Netzanschlussausbau erheblich reduzieren können. Insgesamt ist eine enge Abstimmung zwischen Logistikunternehmen, Anlagenplanern und Verteilnetzbetreiber zentral, um eine kosteneffiziente, praxistaugliche und netzverträgliche Elektrifizierung der Depotstandorte sicherzustellen.



6 Schlussbetrachtung und Ausblick

Die Studie hat gezeigt, dass der Ladeinfrastrukturbedarf der inländischen E-SNF-Flotte massgeblich von der Entwicklung der Batteriepreise, Energiepreise, Ladeinfrastrukturkosten sowie den regulatorischen Rahmenbedingungen abhängt. Diese Faktoren bestimmen die Wettbewerbsfähigkeit der batterieelektrischen schweren Nutzfahrzeuge (E-SNF) gegenüber Dieselfahrzeugen und beeinflussen damit sowohl den Markthochlauf als auch den daraus resultierenden Energie- und Ladeinfrastrukturbedarf.

Die Analysen verdeutlichen, dass die Elektrifizierung des Schwerverkehrs wirtschaftlich machbar ist. Zwar führen die Einführung der LSVA sowie eine mögliche Abgabe auf Elektrofahrzeuge zu einer deutlichen Verlangsamung des Markthochlaufs von E-SNF in den 30er Jahren. Mit Förderbeiträgen für den Aufbau von Depot-Ladeinfrastruktur, den CO₂-Emissionsvorschriften für Neufahrzeuge, sowie weiter steigenden Dieselpreisen durch die Einbindung des Schweizer Treibstoffmarkts in das EHS-2 der EU kann dies zumindest teilweise ausgeglichen werden. Entscheidend wird grundsätzlich sein, dass belastende und entlastende Elemente der Regulierung sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Ein unausgewogenes System könnte den Markthochlauf entweder unnötig bremsen oder fiskalische Zielkonflikte verstärken. Zudem braucht die Branche langfristige Planungssicherheit, damit Investitionen in Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur rechtzeitig und verlässlich getätigt werden können. Unter diesen Bedingungen erscheint das Ziel einer weitgehenden Elektrifizierung der Schweizer SNF-Flotte bis 2050 als realistisch.

Damit dieses Ziel erreicht werden kann, ist - nebst der Vermeidung von regulatorischen Unsicherheiten – schon kurz- bis mittelfristig ein gezielter Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur erforderlich. Dies gilt vor allem, weil die Elektrifizierung der Logistikdepots, zeit- und planungsintensiv ist und insbesondere für kleinere Unternehmen eine erhebliche Hürde darstellt. Vorrang beim Ausbau sollten dabei Standorte entlang der wichtigsten Transit- und Hauptverkehrssachsen der Schweiz haben. Vor allem in der frühen Ausbauphase sind Gebiete mit hohem Verkehrsaufkommen zu priorisieren.

Mit fortschreitender Elektrifizierung der Depots und zunehmenden Reichweiten der Fahrzeuge nimmt der Anteil des öffentlichen Ladens bei inländischen Fahrzeugen kontinuierlich ab, während die ausländischen Fahrzeuge langfristig den öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarf dominieren werden. Deren tatsächlicher Energie- und Ladeinfrastrukturbedarf hängt wesentlich davon ab, wie attraktiv das Laden in der Schweiz im Vergleich zum umliegenden Ausland ist und wie rasch die Elektrifizierung der europäischen Flotte voranschreitet.

Langfristig zeigt sich, dass der Gesamtbedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur tiefer liegt, als intuitiv erwartet und von bisherigen Studien prognostiziert worden ist. Insbesondere beschränkt sich der Bedarf an Megawattladepunkten im Wesentlichen auf den Transitverkehr, während alle übrigen Teilflotten ihren öffentlichen Energiebedarf über Schnellladepunkte bis 400 kW decken können.



Darüber hinaus muss die Netzintegration von Beginn an mitgedacht werden. Die insgesamt hohen installierten Ladeleistungen in den Depots und an öffentlichen Standorten werden langfristig erhebliche Anforderungen an das Stromnetz stellen und erfordern eine vorausschauende, koordinierte Netzplanung. Durch den kombinierten Einsatz von PV-Anlagen, stationären Speichersystemen und intelligentem Laden kann der Bedarf an zusätzlichen Netzkapazitäten deutlich reduziert werden. Gleichzeitig eröffnen sich dadurch zusätzliche Potenziale, um die effektiven Stromkosten für das Depotladen spürbar senken zu können.

Ausblick

In künftigen Studien könnte der langfristige Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur noch vertiefter untersucht werden, insbesondere im Hinblick auf den wachsenden Einfluss der ausländischen Fahrzeugflotten. Wie gezeigt, wird der öffentliche Ladebedarf langfristig massgeblich von diesen bestimmt. Eine detailliertere Betrachtung der Marktentwicklungen im europäischen Ausland wäre daher sinnvoll – insbesondere hinsichtlich der Faktoren, welche den Markthochlauf dort beeinflussen. Zwar gelten auch in der EU CO₂-Emissionsvorschriften, jedoch unterscheiden sich die finanziellen Möglichkeiten teilweise deutlich von jenen in der Schweiz.

Die vorliegende Studie legt den Fokus auf das stationäre Laden von E-SNF. Dabei stellen wie gezeigt der Flächenbedarf, die Netzanschlusskosten und lokale Netzkapazitäten zentrale Herausforderungen dar. Zukünftige Untersuchungen könnten daher prüfen, inwiefern elektrische Strassensysteme für das dynamische Laden während der Fahrt (z. B. über Oberleitungen oder induktive Systeme) einen weiteren Beitrag zur Entlastung leisten und – trotz steigender Batteriekapazitäten und sinkender Kosten – als ergänzende Option eingesetzt werden könnten.



7 Anhang A: Modellansatz im Detail

E-SNF-Markthochlauf

Um die Marktdurchdringung von E-SNF realitätsnah abzubilden, erfolgte die Modellierung differenziert nach Fahrzeugsegmenten und dynamisch über die Zeit.

Konkret wurde die Marktdurchdringung für repräsentative Fahrzeugsegmente $i \in I$ über den Zeitraum $t \in T$ hinweg modelliert. Für jedes Segment wurde jeweils die Adoptionswahrscheinlichkeit bestimmt, aus der sich die Anzahl neu zugelassener E-SNF und deren Bestand ableiten lässt. Dabei wurde eine ökonomische Lebensdauer von N Jahren pro Fahrzeug angenommen.

Die verwendeten Indizes sind wie folgt definiert:

- $t \in T = \{2025, 2026, 2027, \dots, 2050\}$ bezeichnet den Zeithorizont der Modellierung.
- $i \in I = \{0, 1, 2, \dots, 22\}$ steht für die repräsentativen SNF-Segmente.
- $n \in N$ mit $n = 1, \dots, N$ bezeichnet die Betriebsjahre eines Fahrzeugs innerhalb seiner Nutzungsdauer ab dem Zeitpunkt der Erstzulassung im Jahr t , also im Zeitraum $t + 1$ bis $t + N$.

Segmentierung der Schweizer SNF-Flotte und Zuweisung von Referenzfahrzeugen

Der Strassengüterverkehr ist durch eine hohe Vielfalt an Fahrzeugen, Einsatzprofilen und betrieblichen Rahmenbedingungen geprägt. Fahrzeuge sind in der Regel spezifisch auf einen bestimmten Anwendungszweck zugeschnitten – sei es hinsichtlich Reichweite, Nutzlast, Fahrzeugaufbau oder Einsatzgebiet.

Um dieser Vielfalt gerecht zu werden und den Elektrifizierungspotenzialen unterschiedlicher Fahrzeugtypen Rechnung zu tragen, wird die bestehende Schweizer SNF-Flotte entlang drei zentraler Dimensionen segmentiert:

- Fahrzeuggewicht
- Tagesfahrleistung
- Fahrzeugkonfiguration

Bei der Fahrzeugkonfiguration wird gemäss Kapitel 2.3 «Abgrenzung der Studie» zwischen Lastwagen ohne Anhänger (Lastensolo), Lastwagen mit wechselndem Anhängerbetrieb (Lastensolo/Lastenzug) sowie Sattelschleppern (Sattelzügen) unterschieden. Das Fahrzeuggewicht bezieht sich bei Solofahrzeugen auf das Gesamtgewicht und bei Fahrzeugen mit Anhängern auf das Gesamzugsgewicht. Die tägliche Fahrleistung wird in drei Einsatztypen klassiert: Kurzstreckenverkehr (50 – 100 km), Mittelstreckenverkehr (101 – 250 km) und Langstreckenverkehr (> 250 km). Aus der Kombination dieser drei Dimensionen ergeben sich insgesamt 45 Segmente, welche die Vielfalt des Strassengüterverkehrs in strukturierter Form abbilden (vgl. Abbildung 7-1).



	Tagesfahrleistung		
	50 – 100 km	101 – 250 km	> 250 km
3.5 – 12 t	Fahrzeugsegment $i = 0$	Fahrzeugsegment $i = 1$	...
12.001 – 18 t	Fahrzeugsegment $i = 3$	...	...
18.001 – 26 t	...	...	...
26.001 – 32 t	...	...	...
> 32 t	...	...	...

Fahrzeugkonfiguration

Lastensolo (LS)

Lastensolo/Lastenzug (LS/LZ)

Sattelzug (SZ)

Abbildung 7-1: Matrix zur Segmentierung der Schweizer SNF-Flotte (eigene Darstellung basierend auf ¹⁰¹)

Für die anschliessenden segmentspezifischen TCO-Berechnungen sind durchschnittliche Kenngrössen zur Fahrleistung und zum Fahrzeuggewicht je Segment notwendig. Grundlage dafür bilden die Daten aus der Erhebung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) des Jahres 2023. Die LSVA-Daten enthalten detaillierte Informationen zu den täglichen Fahrleistungen, Fahrzeugkonfigurationen und Gesamtgewichten der Fahrzeuge und stellen damit eine geeignete Datengrundlage für die Ermittlung dieser Kenngrössen dar.

Im Rahmen der Segmentierung wurden Fahrzeuge ausgeschlossen, die älter als acht Jahre sind. Diese Einschränkung erfolgt, da die TCO-Berechnungen – entsprechend den Erkenntnissen aus den Fallstudien mit Logistikunternehmen (AP3) – über die Erstnutzungsdauer von acht Jahren durchgeführt werden.

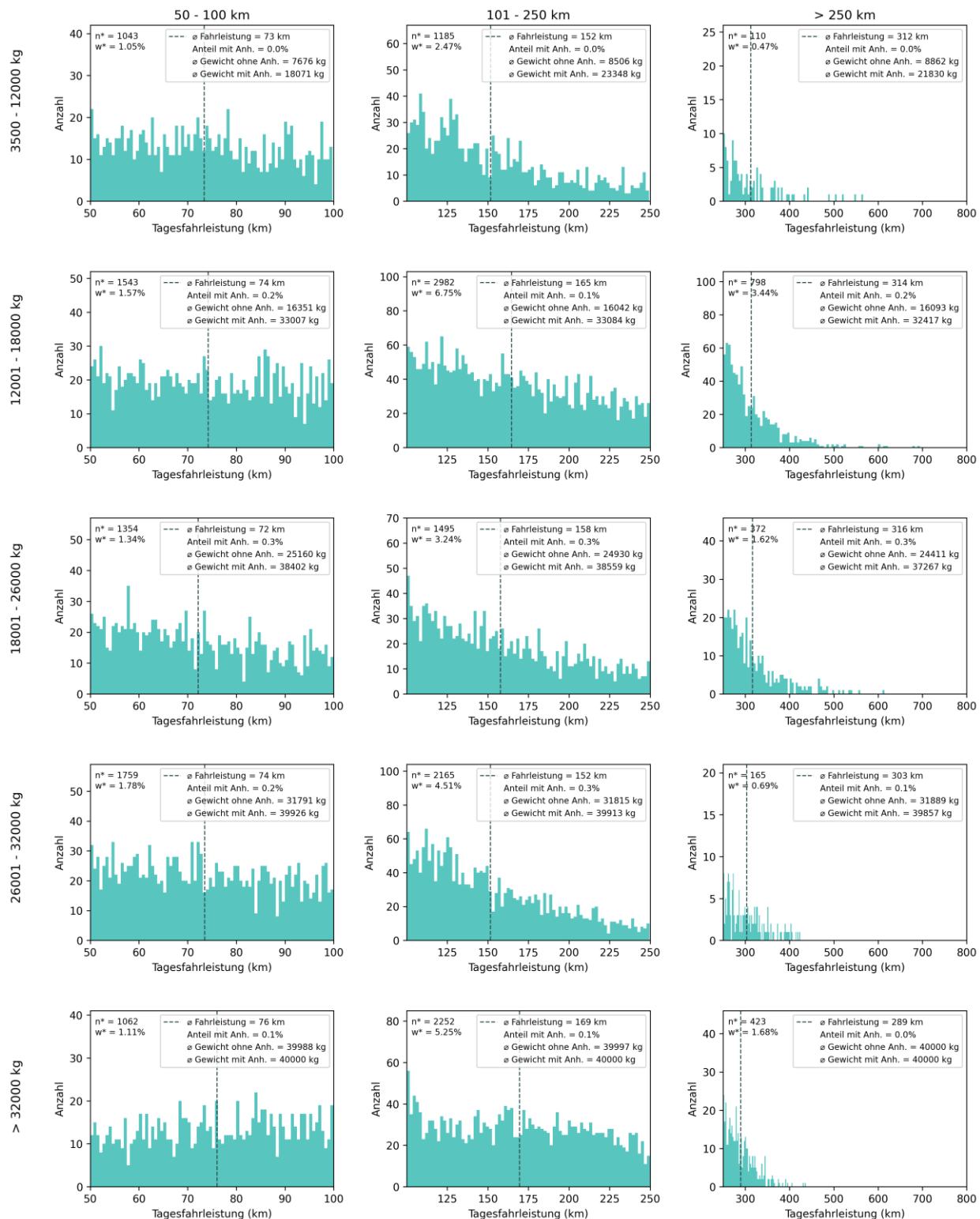
In Abbildung 7-2 ist für jedes Segment die Verteilung der täglichen Fahrleistungen sowie die durchschnittlichen Kennwerte zu Fahrleistung und Gewicht dargestellt.

¹⁰¹ Noll; Del Val; Schmidt; u. a. (2022)



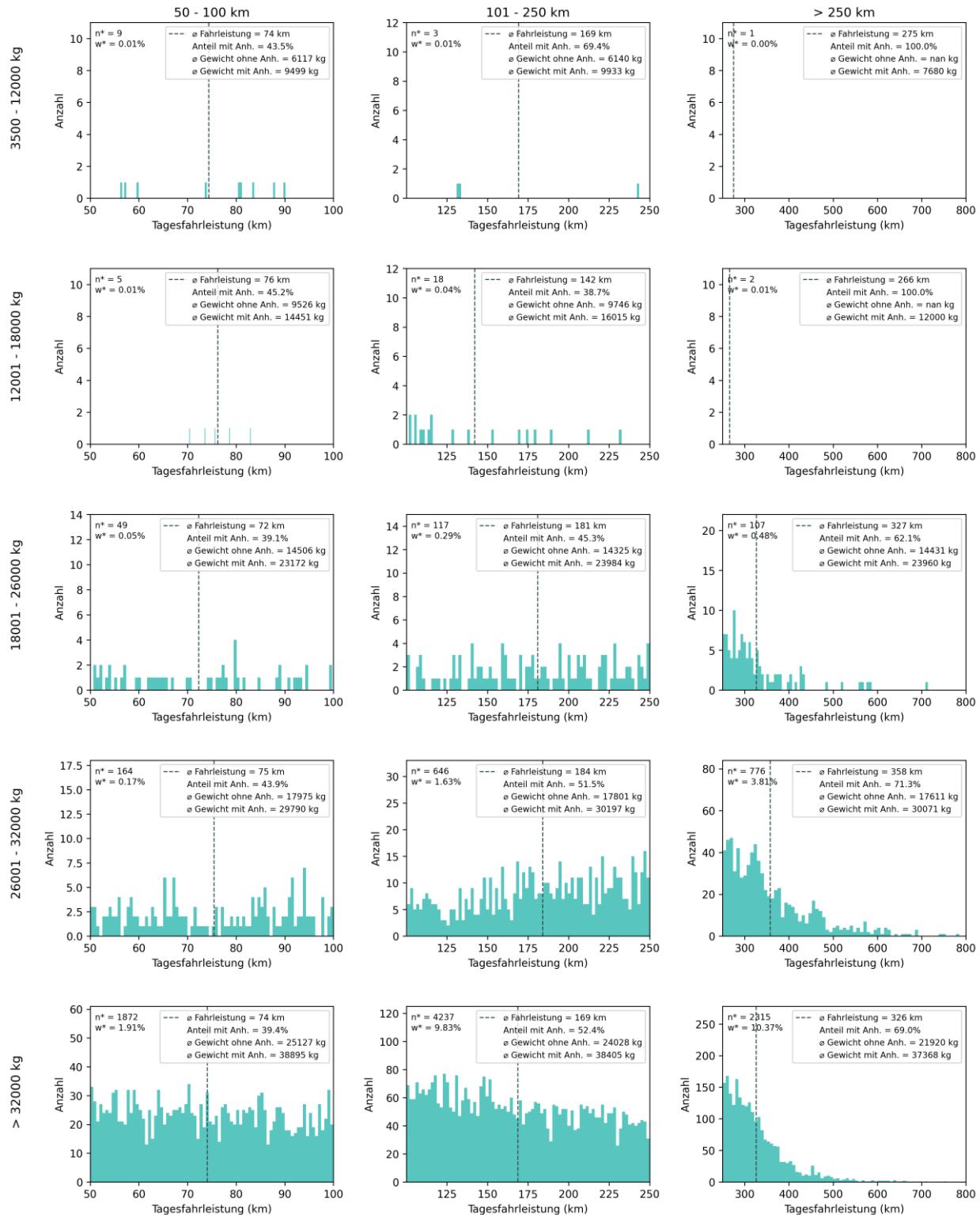
n*: Anzahl Beobachtungen
w*: Gewichtung (Anteil an der täglichen Gesamtfahrleistung)

Verteilung der Tagesfahrleistung, Lasten-Solo





n*: Anzahl Beobachtungen
w*: Gewichtung (Anteil an der täglichen Gesamtfahrleistung) Verteilung der Tagesfahrleistung, Lasten-Solo / Lasten-Zug





n*: Anzahl Beobachtungen
w*: Gewichtung (Anteil an der täglichen Gesamtfahrleistung)

Verteilung der Tagesfahrleistung, Sattel-Zug

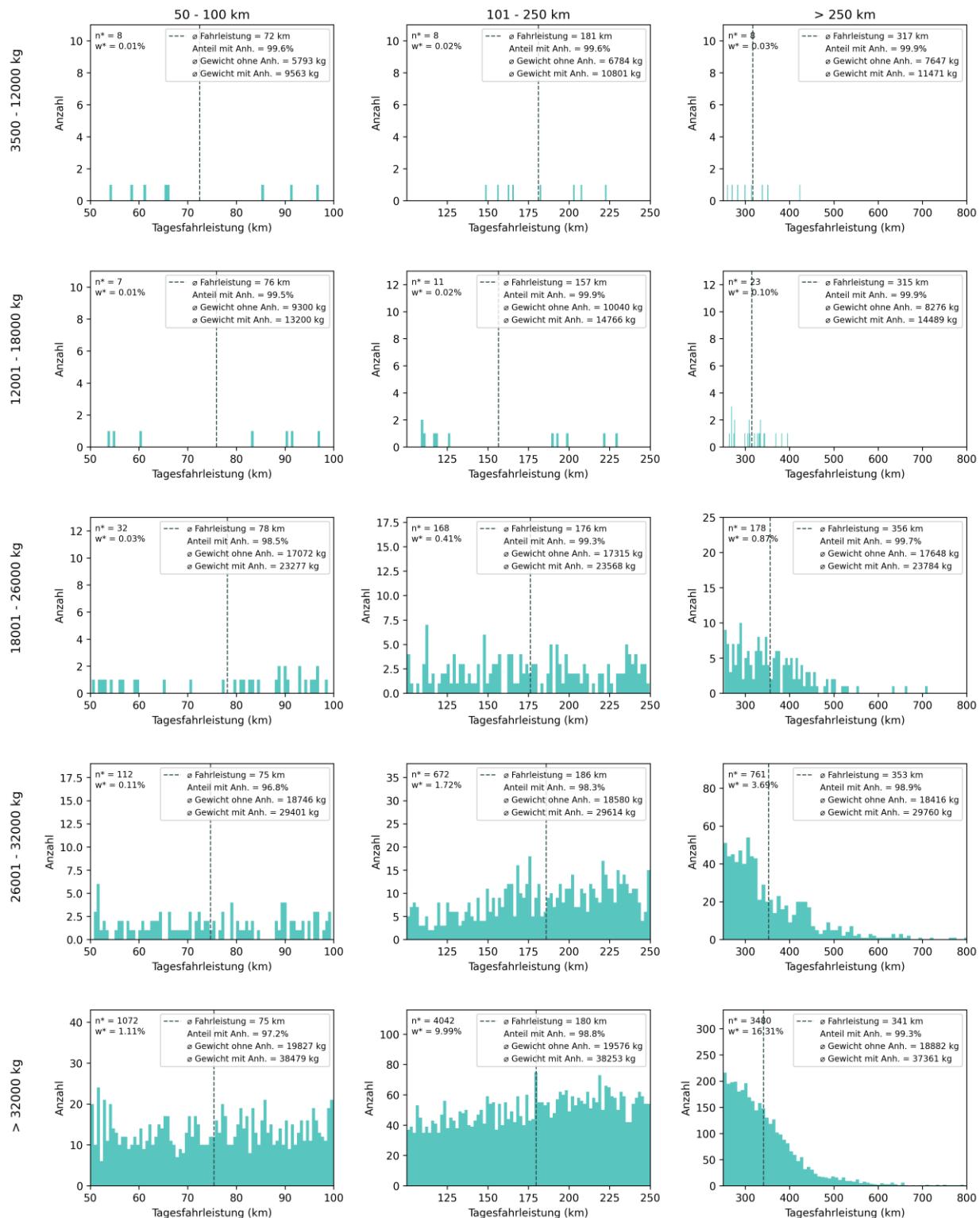


Abbildung 7-2: Verteilung der Tagesfahrleistungen und durchschnittliche Kennwerte für alle Segmente



Um daraus eine Auswahl repräsentativer Modellsegmente für die weitere Modellierung zu treffen, wurden die Segmente auf ihre relative Relevanz untersucht.

Abbildung 7-3 zeigt dazu zwei sich ergänzende Perspektiven: Auf der linken Seite wird die absolute Anzahl Fahrzeuge pro Segment dargestellt, auf der rechten Seite deren prozentualer Anteil an der täglichen Gesamtfahrleistung. Daraus wird ersichtlich, welche Segmente sowohl flottenbezogen als auch verkehrlich besonders von Bedeutung sind. Hervorzuheben sind dabei die schweren Sattelzüge mit hohen Tagesfahrleistungen (>250 km) sowie Lastenzüge mit mittlerer Fahrleistung – diese tragen massgeblich zur Gesamtfahrleistung bei und sind damit besonders relevante Segmente für die Modellierung des Markthochlaufs.

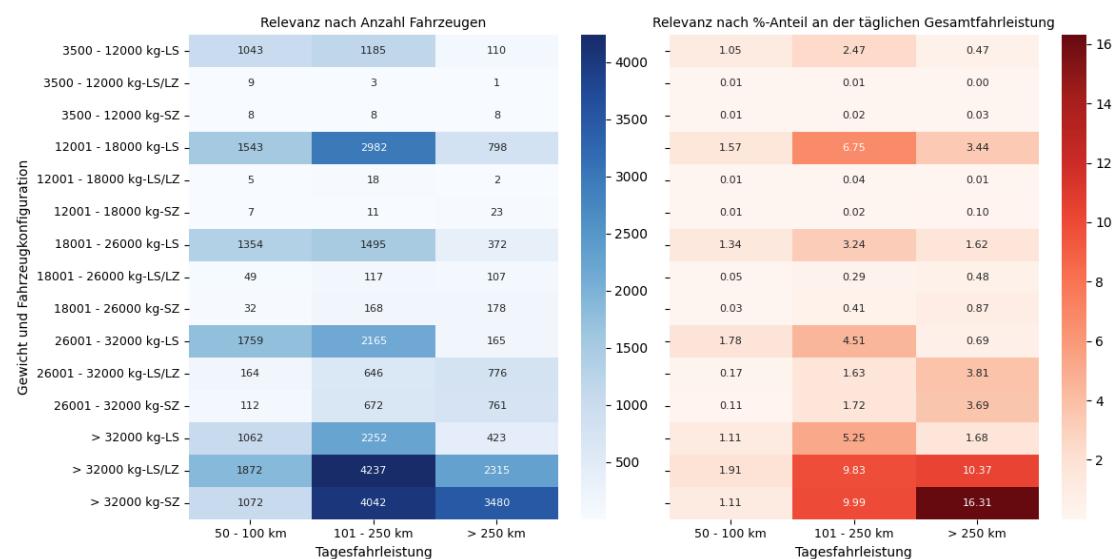


Abbildung 7-3: Relevanz der Segmente nach Anzahl Fahrzeugen und %-Anteil an der täglichen Gesamtfahrleistung

Zur quantitativen Abgrenzung wurde definiert, dass jene Segmente als repräsentativ gelten, welche mindestens 1 % zur gesamten täglichen Fahrleistung der SNF-Gesamtflotte beitragen (vgl. rechte Seite in Abbildung 7-3). Daraus ergeben sich insgesamt 23 repräsentative Segmente. Die nicht-repräsentativen Segmente wurden anschliessend den jeweils naheliegendsten repräsentativen Segmenten zugewiesen. Dies mit dem Ziel, einen möglichst ähnlichen und realistischen Vertreter für jedes nicht-repräsentative Segment zu finden, um im Rahmen der Markthochlaufmodellierung auch nicht explizit berücksichtigte Teilflotten angemessen im Modell abzubilden. Die nachfolgende Tabelle 7-1 und Tabelle 7-2 bieten einen Überblick über die repräsentativen Segmente sowie deren durchschnittliche Kennwerte zu Gewicht, Fahrleistung und Anteil der Fahrleistung mit Anhänger an der Gesamttagess Fahrleistung. Da für die TCO-Berechnung weitere technische Parameter erforderlich sind – wie etwa Batteriekapazität, Leistung etc. – wurde jedem repräsentativen Segment jeweils ein elektrisches und ein dieselbetriebenes Referenzfahrzeug zugewiesen. Diese Referenzfahrzeuge basieren auf aktuell am Markt verfügbaren und zugelassenen Modellen aus den IVZ-Daten und wurden jeweils passend zum Gewichtssegment ausgewählt.



Tabelle 7-1: Repräsentative Segmente inkl. zugewiesener E-SNF-Referenzfahrzeuge

Fahr-zeug-konfigu-ration	Gewichtsseg-ment	Fahrleis-tungsseg-ment	Referenzfahrzeug	Gesamt-gewicht (kg)	Gesamt-zugsge-wicht (kg)	Leergewicht ohne Anhänger (kg)	Leerge-wicht mit Anhä-nger (kg)	Nutzlast ohne Anhänger (kg)	Nutzlast mit Anhänger (kg)	Batteriekapazität (kWh)	Spitzenleis-tung (kW)
LS	3500 - 12000 kg	50 - 100 km	BYD ETM6	7490	-	3500	-	3990	-	126	150
LS	3500 - 12000 kg	101 - 250 km	BYD ETM6	7490	-	3500	-	3990	-	126	150
LS	12001 - 18000 kg	50 - 100 km	Renault D16 Z.E	16700	-	5900	-	10800	-	265	185
LS	12001 - 18000 kg	101 - 250 km	Renault D16 Z.E	16700	-	5900	-	10800	-	265	185
LS	12001 - 18000 kg	> 250 km	Renault D16 Z.E	16700	-	5900	-	10800	-	265	185
LS	18001 - 26000 kg	50 - 100 km	Mercedes-Benz eActros 300	27000	-	12500	-	14500	-	336	400
LS	18001 - 26000 kg	101 - 250 km	Mercedes-Benz eActros 300	27000	-	12500	-	14500	-	336	400
LS	18001 - 26000 kg	> 250 km	Mercedes-Benz eActros 300	27000	-	12500	-	14500	-	336	400
LS	26001 - 32000 kg	50 - 100 km	Volvo Designwerk MC 8x2R	34000	-	20000	-	14000	-	340	568
LS	26001 - 32000 kg	101 - 250 km	Volvo Designwerk MC 8x2R	34000	-	20000	-	14000	-	340	568
LS/LZ	26001 - 32000 kg	101 - 250 km	Volvo Designwerk MCX 4x2R	20000	34000	12100	17100	7900	16900	340	568
LS/LZ	26001 - 32000 kg	> 250 km	Volvo Designwerk MCX 4x2R	20000	34000	12100	17100	7900	16900	340	568
SZ	26001 - 32000 kg	101 - 250 km	Volvo FH Aero Electric	20000	34000	10700	15700	-	18300	360	400
SZ	26001 - 32000 kg	> 250 km	Volvo FH Aero Electric	20000	34000	10700	15700	-	18300	360	400
LS	> 32000 kg	50 - 100 km	Volvo FM Futuricum Concrete	42000	-	17500	-	24500	-	340	500
LS	> 32000 kg	101 - 250 km	Volvo FM Futuricum Concrete	42000	-	17500	-	24500	-	340	500
LS	> 32000 kg	> 250 km	Volvo FM Futuricum Concrete	42000	-	17500	-	24500	-	340	500
LS/LZ	> 32000 kg	50 - 100 km	Mercedes-Benz eActros 300	27000	40000	12500	17500	14500	22500	336	400
LS/LZ	> 32000 kg	101 - 250 km	Mercedes-Benz eActros 300	27000	40000	12500	17500	14500	22500	336	400



LS/LZ	> 32000 kg	> 250 km	Mercedes-Benz eActros 300	27000	40000	12500	17500	14500	22500	336	400
SZ	> 32000 kg	50 - 100 km	Mercedes-Benz eActros 600	20000	42000	11700	16700	-	25300	600	600
SZ	> 32000 kg	101 - 250 km	Mercedes-Benz eActros 600	20000	42000	11700	16700	-	25300	600	600
SZ	> 32000 kg	> 250 km	Mercedes-Benz eActros 600	20000	42000	11700	16700	-	25300	600	600

Tabelle 7-2: Repräsentative Segmente inkl. zugewiesener D-SNF-Referenzfahrzeuge

Fahr-zeug-konfigu-ration	Gewichtsseg-ment	Fahrleis-tungsseg-ment	Referenzfahrzeug	Gesamt-gewicht (kg)	Gesamt-zugsge-wicht (kg)	Leergewicht ohne Anhänger (kg)	Leerge-wicht mit An-hänger (kg)	Nutzlast ohne Anhänger (kg)	Nutzlast mit An-hänger (kg)	Tankka-pazität (kWh)	Leistung (kW)
LS	3500 - 12000 kg	50 - 100 km	Mercedes-Benz Atego 816	7490	-	5200	-	2290	-	1174.8	115
LS	3500 - 12000 kg	101 - 250 km	Mercedes-Benz Atego 816	7490	-	5200	-	2290	-	1174.8	115
LS	12001 - 18000 kg	50 - 100 km	Renault D16.240	16000	-	7000	-	9000	-	1958	180
LS	12001 - 18000 kg	101 - 250 km	Renault D16.240	16000	-	7000	-	9000	-	1958	180
LS	12001 - 18000 kg	> 250 km	Renault D16.240	16000	-	7000	-	9000	-	1958	180
LS	18001 - 26000 kg	50 - 100 km	Mercedes-Benz Actros 2548	26000	-	11600	-	14400	-	2937	350
LS	18001 - 26000 kg	101 - 250 km	Mercedes-Benz Actros 2548	26000	-	11600	-	14400	-	2937	350
LS	18001 - 26000 kg	> 250 km	Mercedes-Benz Actros 2548	26000	-	11600	-	14400	-	2937	350
LS	26001 - 32000 kg	50 - 100 km	Volvo FH500 8X2	32000	-	24400	-	7600	-	4895	375
LS	26001 - 32000 kg	101 - 250 km	Volvo FH500 8X2	32000	-	24400	-	7600	-	4895	375
LS/LZ	26001 - 32000 kg	101 - 250 km	Volvo FM-380 4x2R	17000	32000	10950	15950	6050	16050	1958	285
LS/LZ	26001 - 32000 kg	> 250 km	Volvo FM-380 4x2R	17000	32000	10950	15950	6050	16050	1958	285
SZ	26001 - 32000 kg	101 - 250 km	Volvo FH-460 4x2T	18000	32000	7450	12450	-	19550	5874	345



SZ	26001 - 32000 kg	> 250 km	Volvo FH-460 4x2T	18000	32000	7450	12450	-	19550	5874	345
LS	> 32000 kg	50 - 100 km	Volvo FM-500 10x4R	40000	-	15860	-	24140	-	5874	375
LS	> 32000 kg	101 - 250 km	Volvo FM-500 10x4R	40000	-	15860	-	24140	-	5874	375
LS	> 32000 kg	> 250 km	Volvo FM-500 10x4R	40000	-	15860	-	24140	-	5874	375
LS/LZ	> 32000 kg	50 - 100 km	Mercedes-Benz Actros 2548	26000	40000	11600	16600	14400	23400	2937	350
LS/LZ	> 32000 kg	101 - 250 km	Mercedes-Benz Actros 2548	26000	40000	11600	16600	14400	23400	2937	350
LS/LZ	> 32000 kg	> 250 km	Mercedes-Benz Actros 2548	26000	40000	11600	16600	14400	23400	2937	350
SZ	> 32000 kg	50 - 100 km	Mercedes-Benz Actros 1851	18000	40000	8200	13200	-	26800	5874	375
SZ	> 32000 kg	101 - 250 km	Mercedes-Benz Actros 1851	18000	40000	8200	13200	-	26800	5874	375
SZ	> 32000 kg	> 250 km	Mercedes-Benz Actros 1851	18000	40000	8200	13200	-	26800	5874	375



TCO-Framework zur Modellierung der Lebenszykluskosten

In Anlehnung an eine Studie der ETH Zürich wurde zur Abschätzung der $TCO_{t,i}^{eSNF}$ des Segments i im Jahr t folgendes Berechnungsframework verwendet:¹⁰²

$$TCO_{t,i}^{eSNF} = CAPEX_{t,i}^{eSNF} - \frac{RV_{t+N,i}^{eSNF}}{(1+i)^N} + \sum_{n=1}^N \frac{OPEX_{t+n,i}^{eSNF}}{(1+i)^n} + \frac{CAPEX_t^{LI} + \sum_{n=1}^N OPEX_{t+n}^{LI}}{F_{t,i}}$$

Dabei bezeichnet $CAPEX_t^{eSNF}$ die anfänglichen Investitionskosten des E-SNF-Segments i im Jahr t , während $RV_{t+N,i}^{eSNF}$ den erwarteten Restwert am Ende der angenommenen Nutzungsdauer $N = 8$ Jahre darstellt. Die jährlich anfallenden Betriebskosten im Zeitraum $t + 1$ bis $t + N$ sind in $OPEX_{t+n,i}^{eSNF}$ enthalten und werden diskontiert aufsummiert. Analog dazu umfassen $CAPEX_t^{LI}$ und $OPEX_{t+n}^{LI}$ die Investitions- bzw. laufenden Betriebskosten der Depot-Ladeinfrastruktur pro Fahrzeug. Um eine verursachergerechte Zurechnung sicherzustellen, wurden die Ladeinfrastrukturkosten auf Fahrzeugebene umgelegt. Der Umlegungsfaktor $F_{t,i}$ entspricht dabei der Anzahl Fahrzeuge des Segments i , die im jeweiligen Jahr t durch einen Ladepunkt bedient werden können. Als Grundannahme diente dabei $F_{t,i} = 3$ gemäss den Erkenntnissen aus den Fallstudien mit den Logistikunternehmen (AP3).

Da für die Kaufentscheidung der Vergleich der TCO von E-SNF gegenüber den TCO dieselbetriebenen Fahrzeugen (D-SNF) von Interesse ist, wurden die TCO jeweils auch für vergleichbare D-SNF berechnet und den TCO der E-SNF gegenübergestellt. Dabei wurde für die D-SNF dasselbe Berechnungsframework angewendet, wobei lediglich der Kostenterm für die Ladeinfrastruktur entfällt.

Die Fahrzeug-TCO wurden im Rahmen des Modells bottom-up abgeleitet. Für jedes Fahrzeugsegment i und Jahr t wurden die Hauptkostenbestandteile – die Investitionskosten ($CAPEX_t^{SNF}$), die Betriebskosten ($OPEX_{t+n,i}^{SNF}$) sowie der erwartete Restwert am Ende der Nutzungsdauer ($RV_{t+N,i}^{SNF}$) – in ihre jeweiligen Kostenkomponenten zerlegt.

Bei der Berechnung der Restwerte am Ende der Nutzungsdauer besonders hervorzuheben ist die Bewertung des Batterierestwerts, welche in Zusammenarbeit mit der Berner Fachhochschule (BFH) im Rahmen von AP2 durchgeführt wurde (siehe Methodik in Kapitel 2.2.2). Dabei wurden sowohl die verbleibende nutzbare Kapazität als auch der Materialwert berücksichtigt, jeweils beeinflusst durch kalendarische und zyklische Alterungsprozesse. Die Modellierung erfolgte für drei typische Fahrprofile – Kurz-, Mittel- und Langstreckenverkehr – entsprechend den im Modell definierten Fahrleistungssegmenten.

Zur Berücksichtigung der Depot-Ladeinfrastrukturkosten wurden reale Preisdaten zum modularen Hochleistungsladesystem «eLoaded» berücksichtigt, welches von der BKW als zukünftiger Standard für Depotanwendungen angesehen wird (Details dazu sind in Kapitel 3.2.2 aufgeführt).

¹⁰² Noll; Del Val; Schmidt; u. a. (2022)



Energieverbrauchsmodell, Modellierung der Energiekosten

Ein zentraler Bestandteil des TCO-Modells ist die realitätsnahe Berechnung der fahrzeug- bzw. segmentspezifischen Energiekosten. Diese hängen direkt vom Energieverbrauch eines Fahrzeugs ab, welcher unter anderem durch das effektive Fahrzeuggewicht im Betrieb bestimmt wird. Dabei setzt sich das effektive Gewicht aus dem Leergewicht und der Zuladung zusammen. Das Leergewicht ist wiederum abhängig von der Batteriekapazität und der Energiedichte der zugrundeliegenden Zellchemie.

Die verfügbare Batteriekapazität hat zudem einen unmittelbaren Einfluss auf den Anteil des Energiebezugs, der an öffentlichen Ladestandorten erfolgt. Reicht die Kapazität nicht aus, um den täglichen Energiebedarf zu decken, muss zusätzliche Energie unterwegs geladen werden – meist zu höheren Kosten als im Depot - was wiederum die Betriebskosten beeinflusst.

Um diese Wechselwirkungen konsistent zu erfassen, wurde ein Verbrauchsmodell implementiert, welches auf einem Regressionsansatz basiert¹⁰³:

Der spezifische Energieverbrauch pro Kilometer $e_{const_{t,i}}$ des Fahrzeugs i im Jahr t ergibt sich in Abhängigkeit des effektiven Fahrzeuggewichts w_{op_i} über ein logarithmisches Regressionsmodell. Dabei wurde ein Effizienzfaktor δ_t zur Abbildung technologischer Fortschritte im Jahr t berücksichtigt.

$$e_{const_{t,i}} = [a \cdot \ln(w_{op_i}) + b] * \delta_t$$

Das effektive Gewicht ergibt sich aus dem Leergewicht w_{leer_i} des Fahrzeugs und einem segmentabhängigen Nutzlast-Auslastungsgrad α_i . Dieser Auslastungsgrad berücksichtigt unterschiedliche Transportgüterprofile zwischen Segmenten (z. B. volumen- vs. gewichtsgetriebene Transporte).

$$w_{op_i} = w_{leer_i} + \alpha_i \cdot w_{nutzi}$$

Das Leergewicht w_{leer_i} setzt sich zusammen aus dem fahrzeugspezifischen Basisleergewicht und dem Gewicht der Batterie. Letzteres wurde aus der Batteriekapazität C_{bat_i} und der Energiedichte ρ_{bat_t} im jeweiligen Jahr berechnet.

$$w_{bat_{i,t}} = \frac{C_{bat_i}}{\rho_{bat_t}} \Rightarrow w_{leer_i} = w_{basis_i} + w_{bat_{t,i}}$$

Für die Lastensolo / Lastenzug - Segmente wurde der Energieverbrauch gewichtet nach dem Anteil der Fahrleistung mit Anhänger modelliert, um dem erhöhten Energiebedarf im Anhängerbetrieb Rechnung zu tragen.

¹⁰³ Noll; Del Val; Schmidt; u. a. (2022)



Fazit TCO-Modellansatz und Energieverbrauchsmodell: Der vorgestellte Bottom-up-Ansatz bietet den wichtigen Vorteil, dass sich Batteriekapazitäten im Rahmen von Szenarioanalysen variieren lassen und dabei die resultierenden Rückwirkungen auf Gewicht, Verbrauch, Strom- und Ladeinfrastrukturkosten explizit berücksichtigt werden. Damit kann untersucht werden, welche Batteriekapazitäten sich bei der Anschaffung neuer E-SNF aus Kostensicht lohnen, was wiederum grundlegend ist für die Abbildung der Wechselwirkung zwischen Depot- und öffentlichem Laden (vgl. Kapitel 1.2 Problemstellung und Forschungsfragen).

Binäres Logit Modell zur Modellierung von Adoptionswahrscheinlichkeiten

Auf Basis der jahres- und segmentspezifischen TCO-Differenzen zwischen D- und E-SNF wurden Adoptionswahrscheinlichkeiten über ein binäres Logit-Modell abgeleitet.

Die Grundform des Modells kann gemäss folgendermassen formuliert werden:¹⁰⁴

$$P_k = \frac{1}{1 + e^{-\gamma(V_k - V_l) + \mu}}$$

Wobei P die Wahlwahrscheinlichkeit eines Entscheidungsträgers – hier eines Logistikunternehmens – für eine von zwei Alternativen k oder l (Kauf eines E-SNF oder Diesel-SNF) beschreibt. Die Wahrscheinlichkeit, dass die Alternative k gewählt wird, hängt von der Differenz des deterministischen Nutzens $V_k - V_l$ der beiden Optionen ab.

Der Nutzen V_k bzw. V_l entspricht in vorliegenden Fall den TCO-Werten für E-SNF und D-SNF im Jahr t . Daher ergibt sich für die Adoptionswahrscheinlichkeit $P_{t,i}^{eSNF}$, mit der ein Logistikunternehmen im Jahr t auf ein E-SNF des Segments i umsteigt, folgende Beziehung:

$$P_{t,i}^{eSNF} = \frac{1}{1 + e^{-\gamma_t(TCO_{t,i}^{eSNF} - TCO_{t,i}^{dSNF}) + \mu_t}}$$

Der Parameter γ_t bestimmt die Sensitivität der Wahlentscheidung gegenüber Unterschieden im Nutzen – d.h. in hier gegenüber TCO-Unterschieden zwischen E-SNF und D-SNF, und kann zeitabhängig sein. Ein hoher γ -Wert bedeutet, dass schon kleine Unterschiede in den TCO-Werten zu einer klaren Entscheidung führen (z. B. starke Präferenz für das günstigere Fahrzeug). Ein niedriger γ -Wert steht für eine «weichere» Entscheidung mit gröserer Unsicherheit. Zur Bestimmung von γ wird ein Schwellenwert für die TCO-Differenz $\Delta TCO_{t,i}^{Threshold}$ definiert, bei dem ein Logistikunternehmen mit einer Wahrscheinlichkeit von 99 % auf ein E-SNF des Segments i umsteigt:

$$\beta_t = \frac{\ln\left(\frac{1}{0.99} - 1\right)}{\Delta TCO_{t,i}^{Threshold}}$$

¹⁰⁴ Moll; Plötz; Hadwich; u. a. (2020)



Der Parameter μ_t ist der Lageparameter, der die Position der Verteilungsfunktion verschiebt. Für $\mu_t = 0$ ist bei exakt gleichen TCO für E-SNF und D-SNF die Adoptionswahrscheinlichkeit 50%. Ist $\mu_t \neq 0$, besteht eine systematische Präferenz oder Abneigung, z.B. wegen psychologischer Barrieren, technischer Skepsis oder Vorinvestitionen, selbst wenn die TCO identisch sind.



Öffentlicher Ladeinfrastrukturbedarf

Dimensionierung der öffentlichen Ladeinfrastruktur

Zur Bestimmung der Anzahl Ladepunkte wurde ein Warteschlangen-Modell verwendet.¹⁰⁵

Das implementierte Modell basiert auf einem M/G/c-System. Dabei wird angenommen, dass Ankünfte zufällig erfolgen (Poisson-Verteilung, M), die Ladezeit eine allgemeine (normalverteilte) Verteilung aufweist (G), und c Ladepunkte gleichzeitig verfügbar sind.

Die mittlere Wartezeit in einem M/G/c-System wird folgendermassen angenähert:

$$W_q^{M|G|c} = \frac{C^2 + 1}{2} \cdot W_q^{M|M|c}$$

mit

$$W_q^{M|M|c} = \frac{1}{1 - \rho} * \frac{1}{c\mu} * \frac{(c\rho)^c}{c!} \left((1 - \rho) \sum_{n=0}^{c-1} \frac{(c\rho)^n}{n!} + \frac{(c\rho)^c}{c!} \right)^{-1}$$

und

$$\rho = \frac{\lambda}{c\mu}$$

Für jeden Standort wurde damit jene Anzahl Ladepunkte c bestimmt, bei der die erwartete Wartezeit unter 5 Minuten bleibt. Dadurch kann eine Ladezeit von 30 Minuten inklusive Puffer (z. B. gesetzliche Pausenvorgabe von 45 Minuten) eingehalten werden.

Die mittlere Wartezeit W_q beschreibt dabei die durchschnittliche Zeit, die ein Fahrzeug im Ladesystem wartet, bevor es mit dem Ladevorgang beginnen kann. Der Variationskoeffizient C quantifiziert die Schwankungen der Ladezeiten und ergibt sich aus dem Verhältnis von Standardabweichung zur mittleren Ladezeit. In den Modellrechnungen wird ein mittlerer Ladevorgang von 30 Minuten und eine Standardabweichung von 5 Minuten angenommen, woraus sich $C = \frac{5}{30}$ ergibt. Der Auslastungsgrad ρ beschreibt das Verhältnis zwischen der tatsächlichen Ankunftsrate und der maximalen Bedienkapazität des Standorts. Er ergibt sich aus dem Quotienten der Ankunftsrate λ und der Gesamtbedienrate $c * \mu$ wobei μ die durchschnittliche Bedienrate (hier 2 Fahrzeuge pro Stunde bei 30 Minuten Ladezeit) darstellt. Die Ankunftsrate λ gibt an, wie viele Fahrzeuge pro Stunde im betrachteten Zeitraum an einem Ladepunkt ankommen. Diese wurde für den Transitverkehr auf Basis der stündlichen Verteilung der Fahrzeuganzahl entlang aller identifizierten Transitrouten gemäss EETS-Daten bestimmt.

¹⁰⁵ Speth; Plötz; Funke; u. a. (2022)



Dabei wurde jeweils der Stundenwert mit der höchsten Belastung (Maximalwert) verwendet. Für die identifizierten Standorte entlang der Strecke Basel - Mendrisio wurde beispielsweise jeweils ein Anteil von 12% der täglichen Ladevorgänge in der Spitzstunde angenommen. Je nach Transitkorridor variiert dieser Wert entsprechend der Verkehrsbelastung. Für den Binnenverkehr sowie den Import- und Exportverkehr wurde die Ankunftsrate auf Basis der Belastungen der Morgen- und Abendspitzen gemäss VP-2050 berechnet. Daraus wurde der jeweilige Anteil der Belastung am Tagesgesamtwert ermittelt, und der höhere der beiden Werte (Morgen- oder Abendspitze) als Spitzstundenanteil verwendet.

Für die Bestimmung der erforderlichen Ladeleistung pro Ladepunkt wurde untersucht, welche Leistung notwendig ist, um den an öffentlichen Ladepunkten zu deckenden Energiebedarf vollständig nachzuladen.



8 Anhang B: Technologische Entwicklung Fahrzeuge und Ladinfrastruktur

Fahrzeuge und Batterien: Ergebnisse Batteriefallstudie

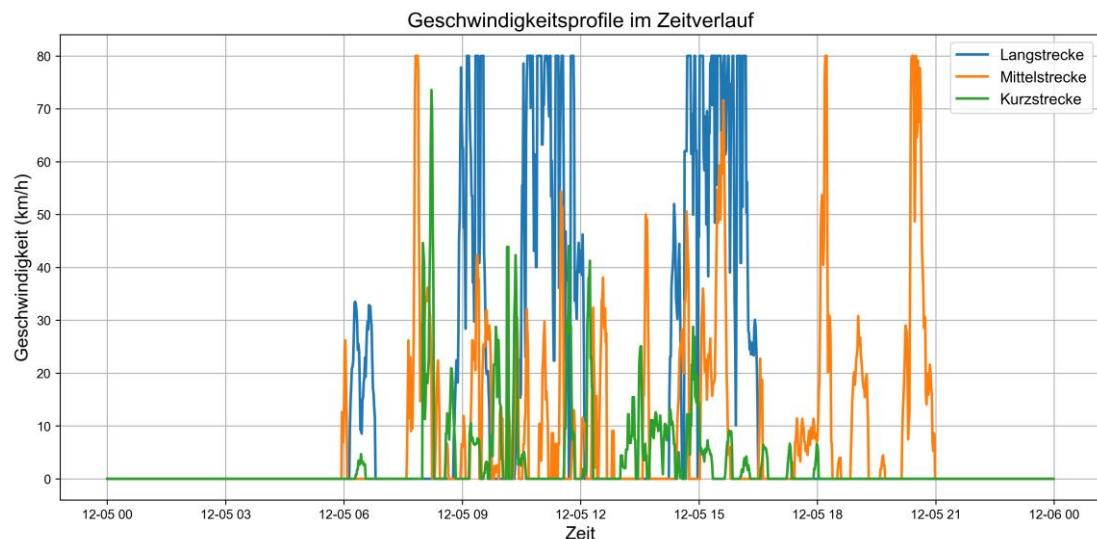


Abbildung 8-1: Geschwindigkeitsprofile für die drei Anwendungsfälle

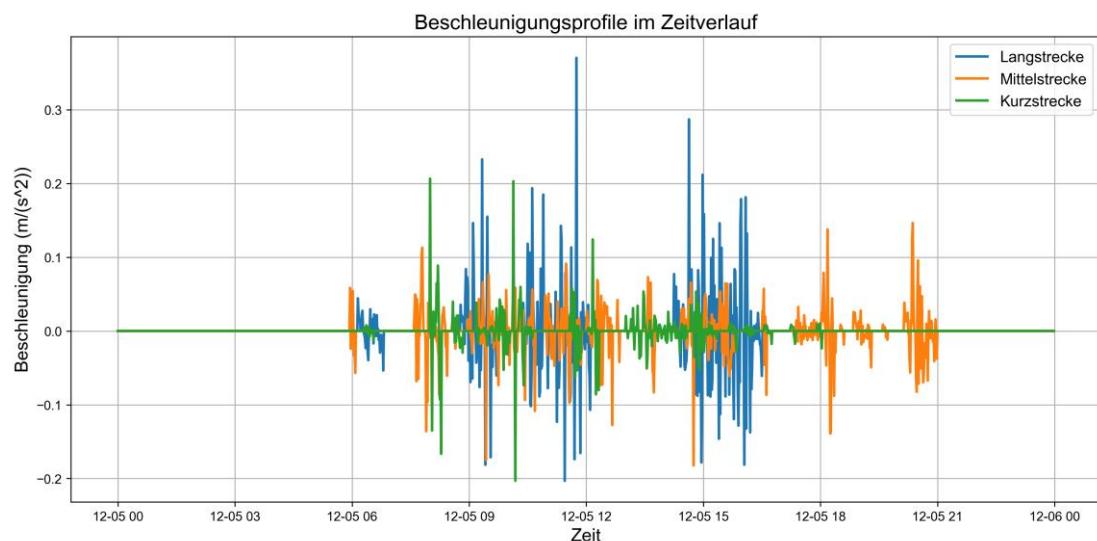


Abbildung 8-2: Beschleunigungsprofile für die drei Anwendungsfälle

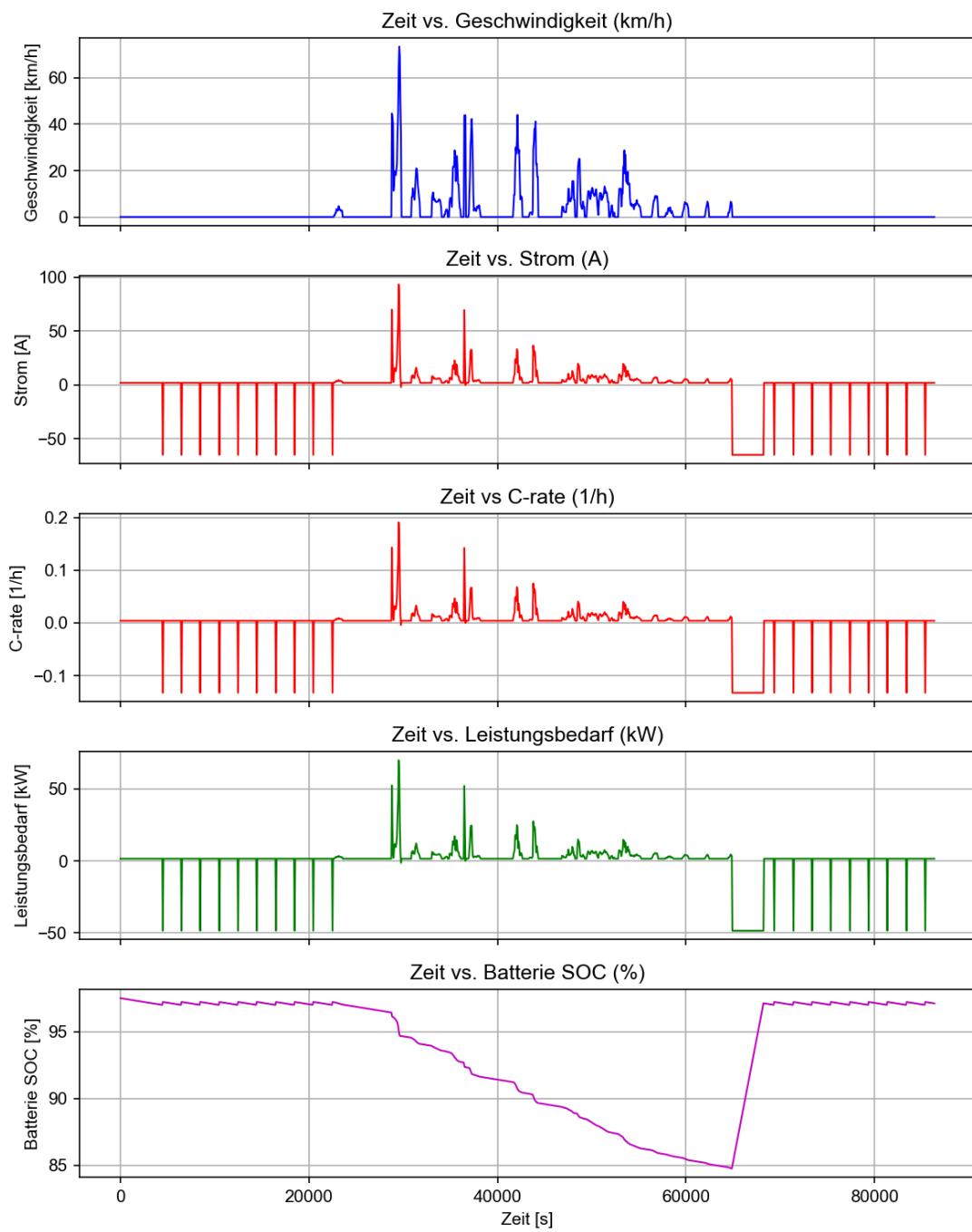


Abbildung 8-3: Modellierung des Fahrzeugeinsatzes auf Grundlage des Mittelstrecken-Fahrprofils



Batteriealterungseffekte am SoC-Profil

Die folgenden Abbildungen zeigen die Batteriealterungseffekte im Jahr 2025 sowie im Jahr 2030. Die Abbildungen veranschaulichen den Verlauf des Ladezustands (State of Charge, SoC) über die Simulationszeitdauer.

Die roten Kurven zeigen jeweils den SoC-Verlauf am ersten Betriebstag bei einer neuen Batterie. Die orangen Kurven (nach 4 Jahren Nutzung) und die blauen Kurven (nach 8 Jahren Nutzung) verdeutlichen die zunehmende Alterung der Batterie über die Zeit. Dabei ist zu erkennen, dass die Batterien nach vier bzw. acht Jahren stärker entladen werden, was sich in tiefer liegenden SoC-Minima zeigt. Zudem wird ersichtlich, dass bei der Batterie im Jahr 2025 im Vergleich zum Technologiestand im Jahr 2030 häufigere Nachladevorgänge erforderlich sind. Dies lässt sich auf die höhere Energiedichte der Batterien im Jahr 2030 zurückführen, die eine längere elektrische Reichweite ermöglicht.

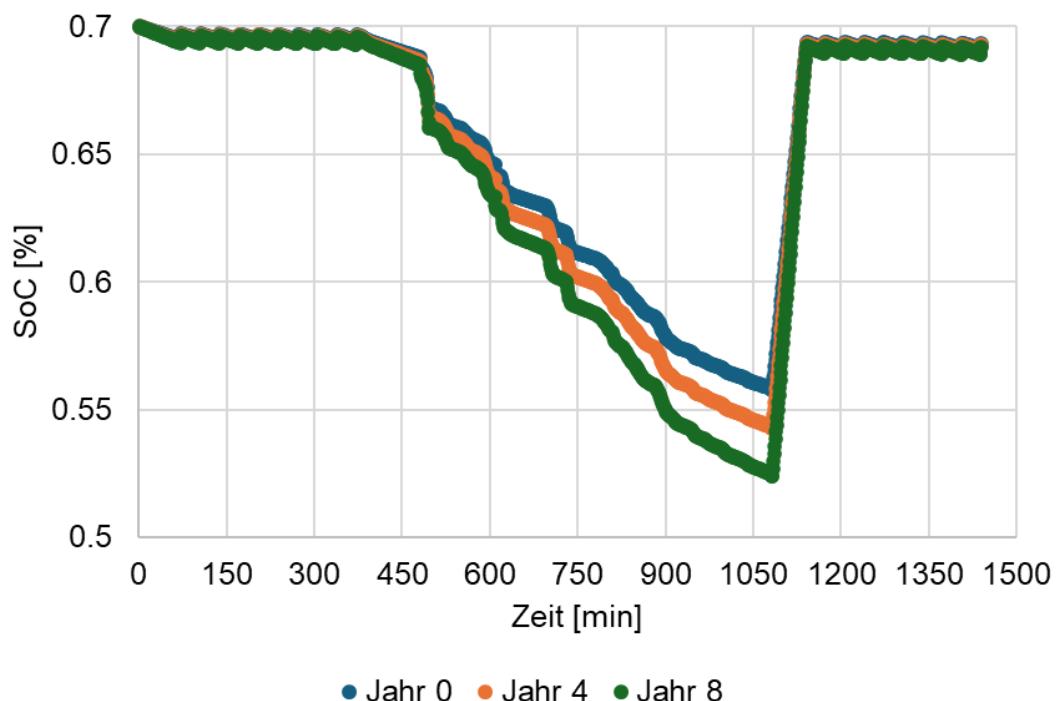


Abbildung 8-4: Batteriealterungseffekte nach 4 und 8 Jahren im Vergleich zum ersten Tag, Kurzstreckenanwendung im Jahr 2025

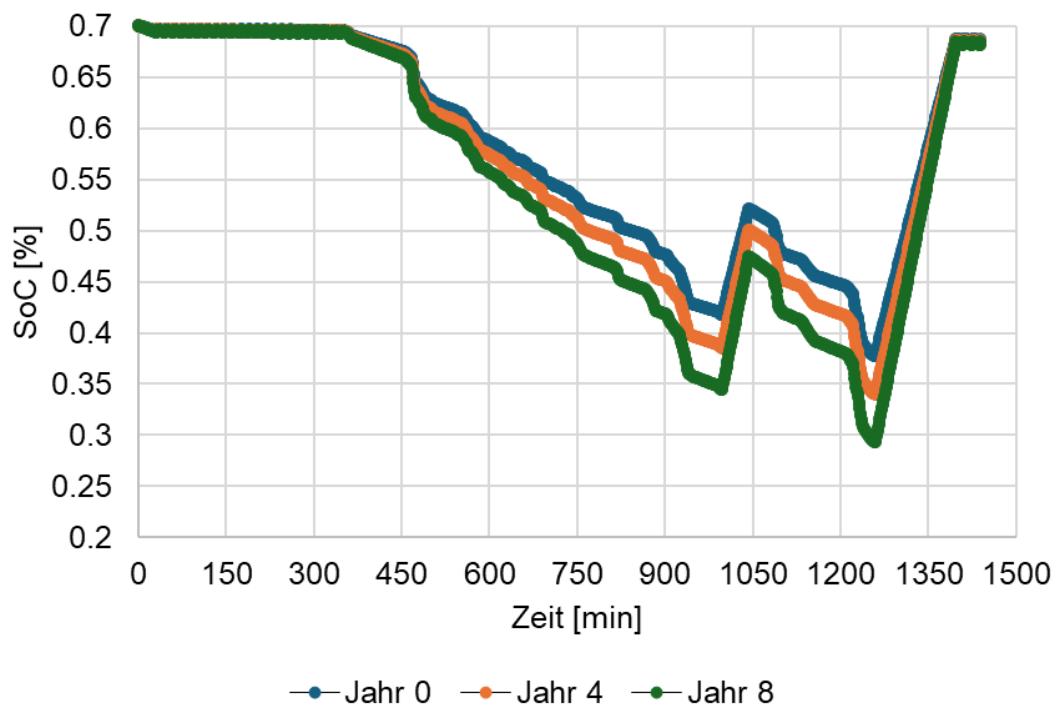


Abbildung 8-5: Batteriealterungseffekte nach 4 und 8 Jahren im Vergleich zum ersten Tag, Mittelstreckenanwendung im Jahr 2025

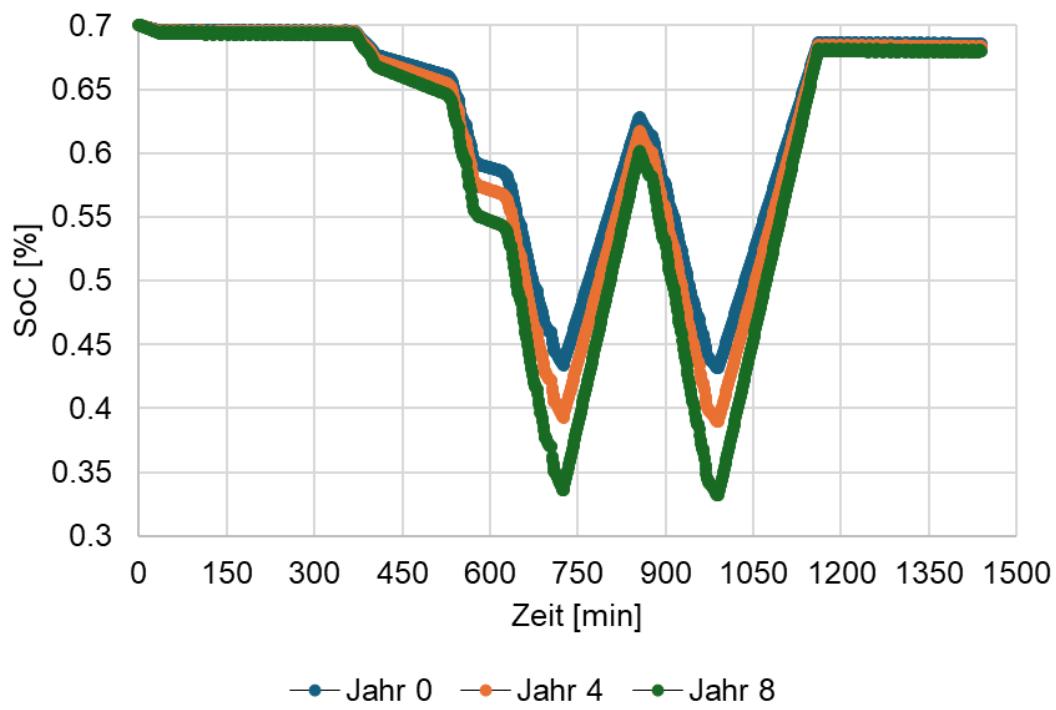


Abbildung 8-6: Batteriealterungseffekte nach 4 und 8 Jahren im Vergleich zum ersten Tag, Langstreckenanwendung im Jahr 2025

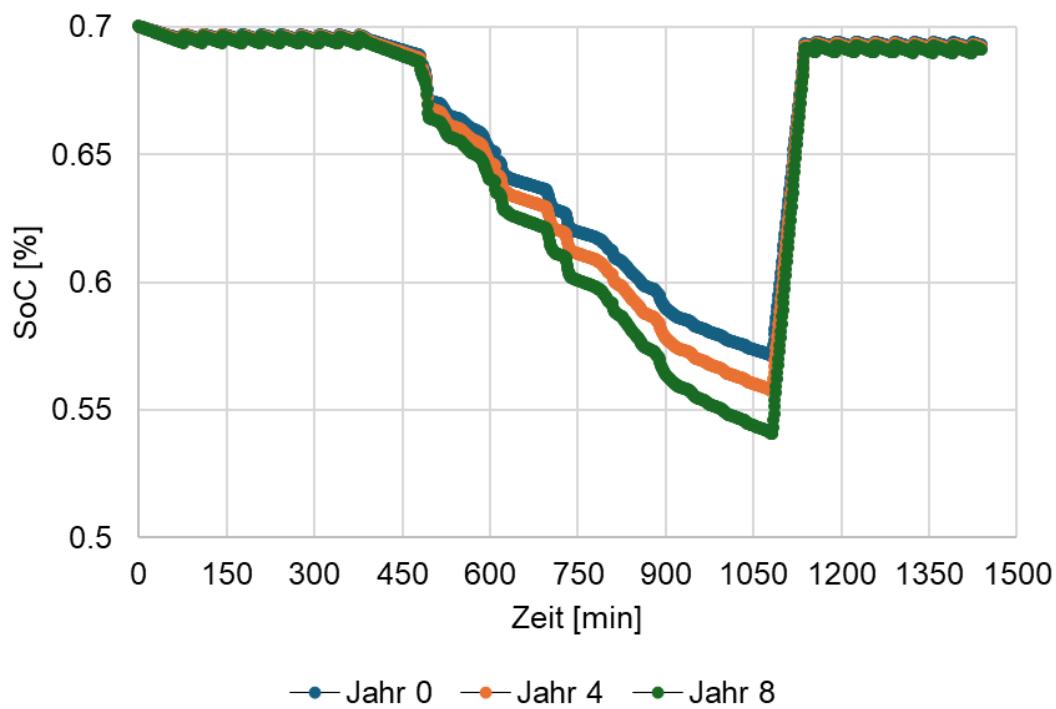


Abbildung 8-7: Batteriealterungseffekte nach 4 und 8 Jahren im Vergleich zum ersten Tag, Kurzstreckenanwendung im Jahr 2030

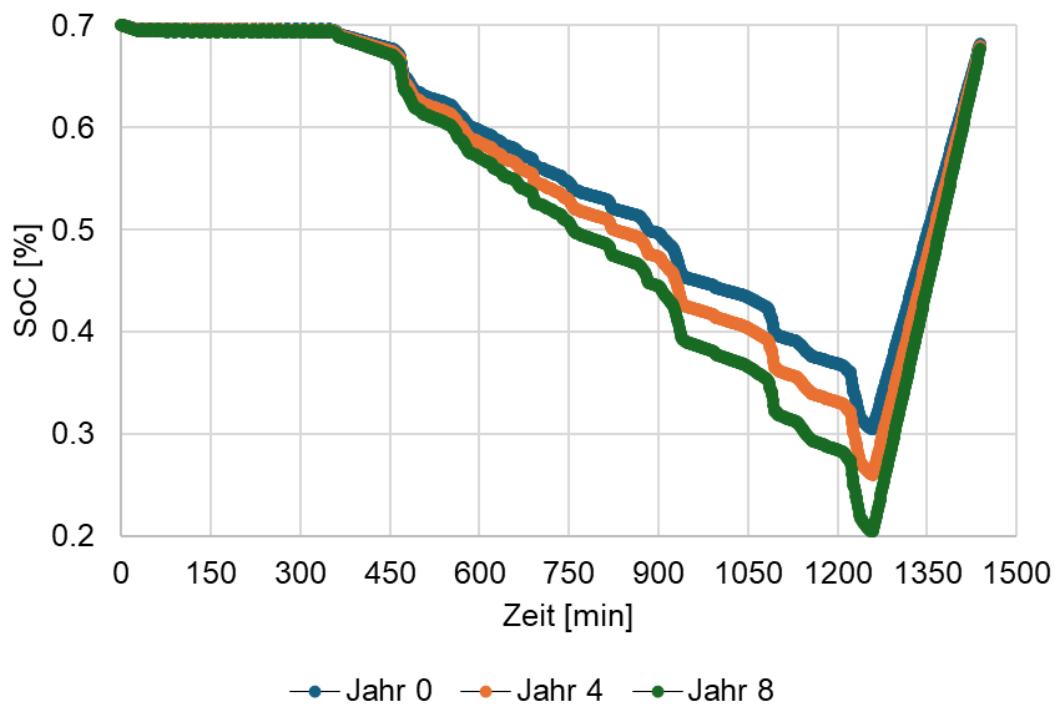


Abbildung 8-8: Batteriealterungseffekte nach 4 und 8 Jahren im Vergleich zum ersten Tag, Mittelstreckenanwendung im Jahr 2030

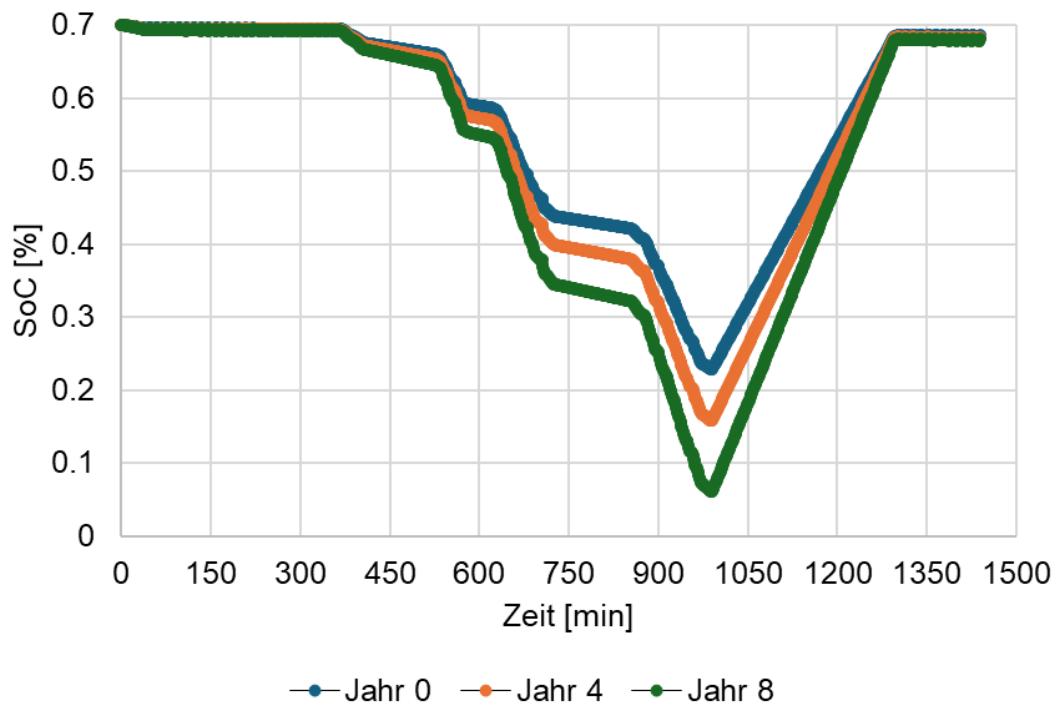


Abbildung 8-9: Batteriealterungseffekte nach 4 und 8 Jahren im Vergleich zum ersten Tag, Langstreckenanwendung im Jahr 2030

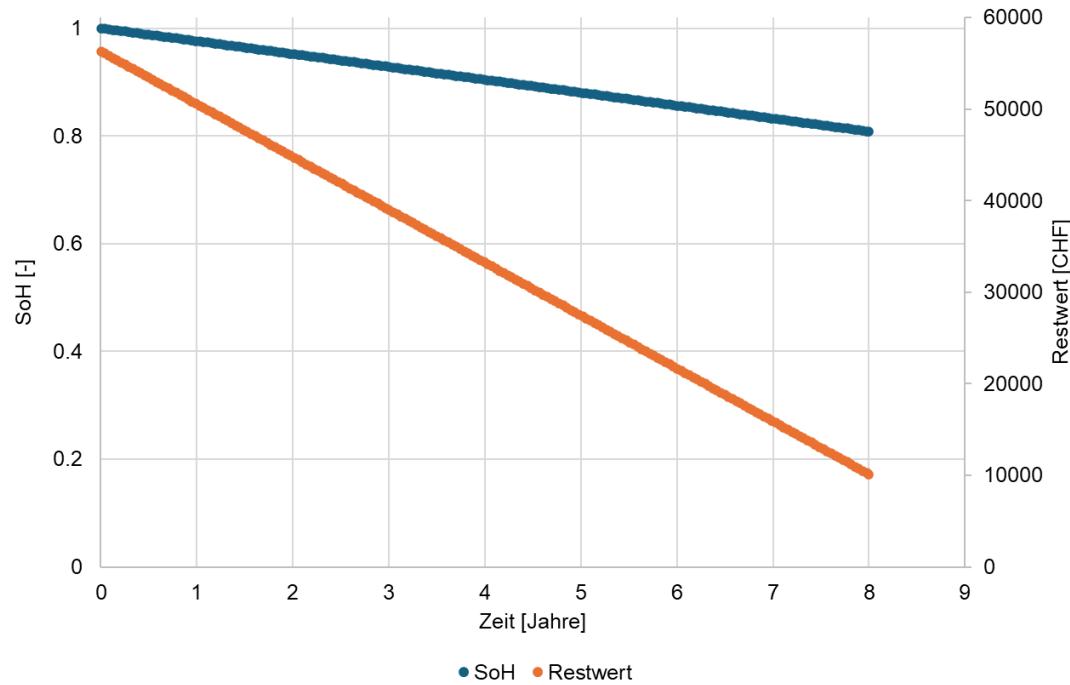


Abbildung 8-10: Batteriealterung und Restwert als Funktion der Zeit, Kurzstreckenanwendung, Jahr 2025

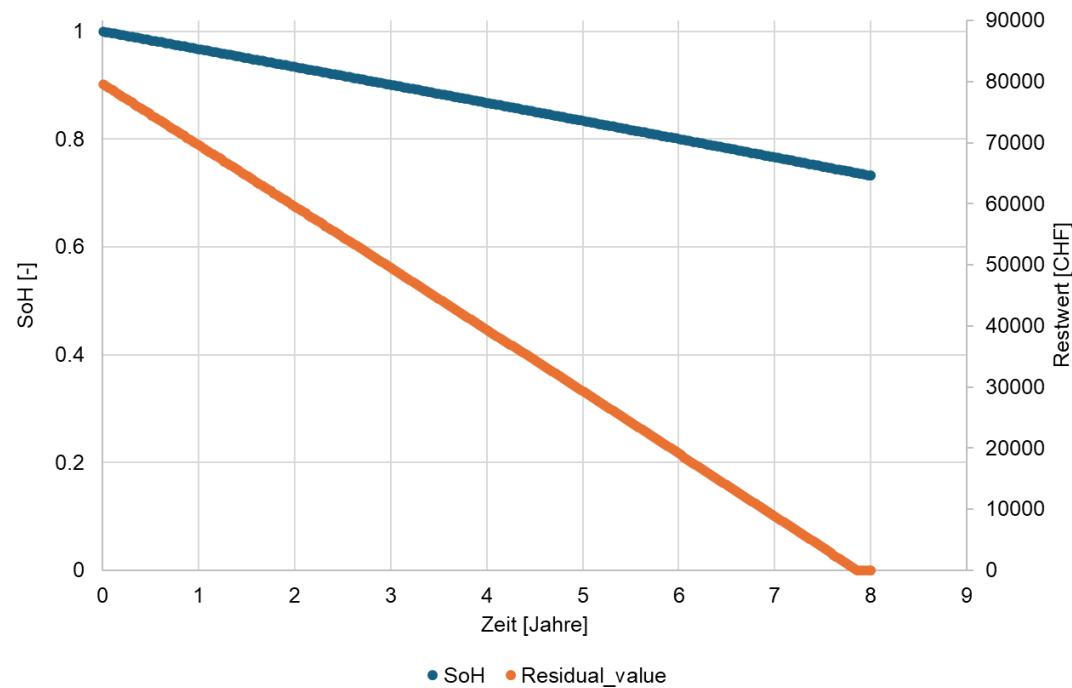


Abbildung 8-11: Batteriealterung und Restwert als Funktion der Zeit, Langstreckenanwendung, Jahr 2025

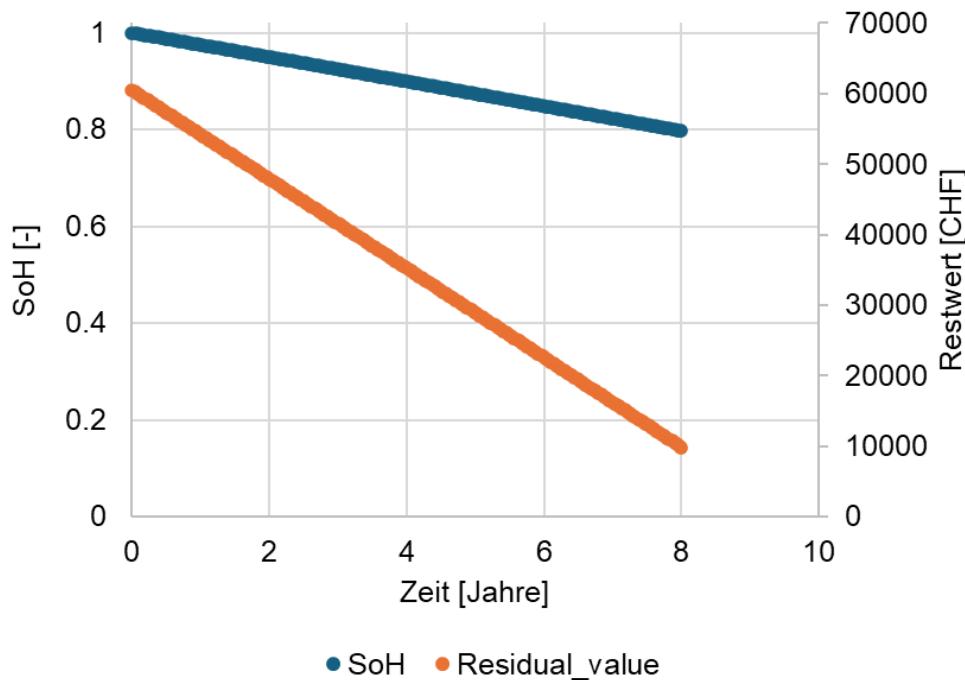


Abbildung 8-12: Batteriealterung und Restwert als Funktion der Zeit, Mittelstreckenanwendung, Jahr 2030

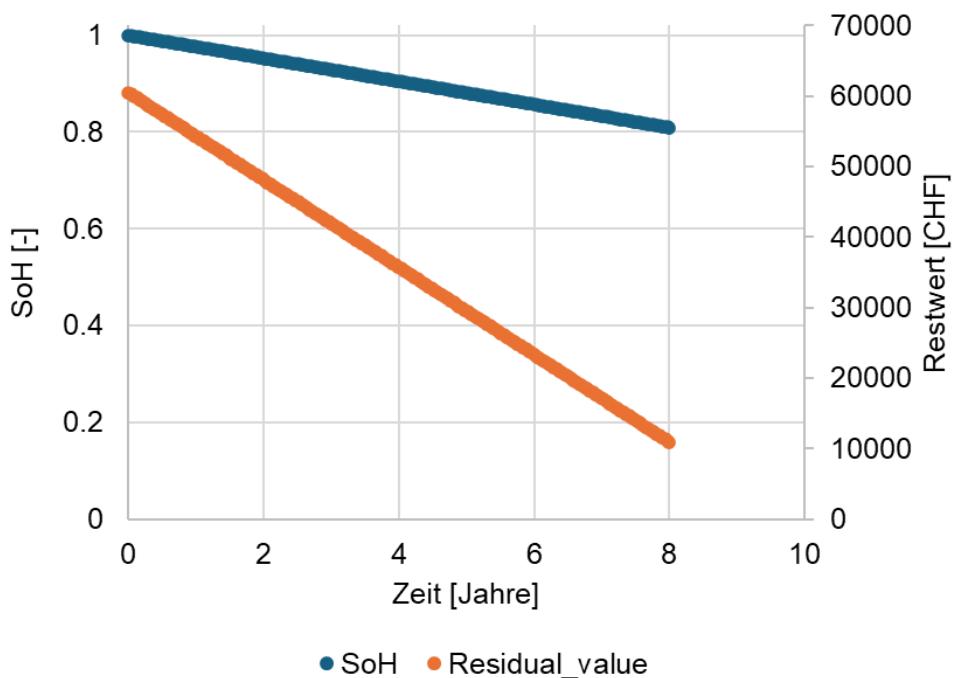


Abbildung 8-13: Batteriealterung und Restwert als Funktion der Zeit, Kurzstreckenanwendung, Jahr 2030

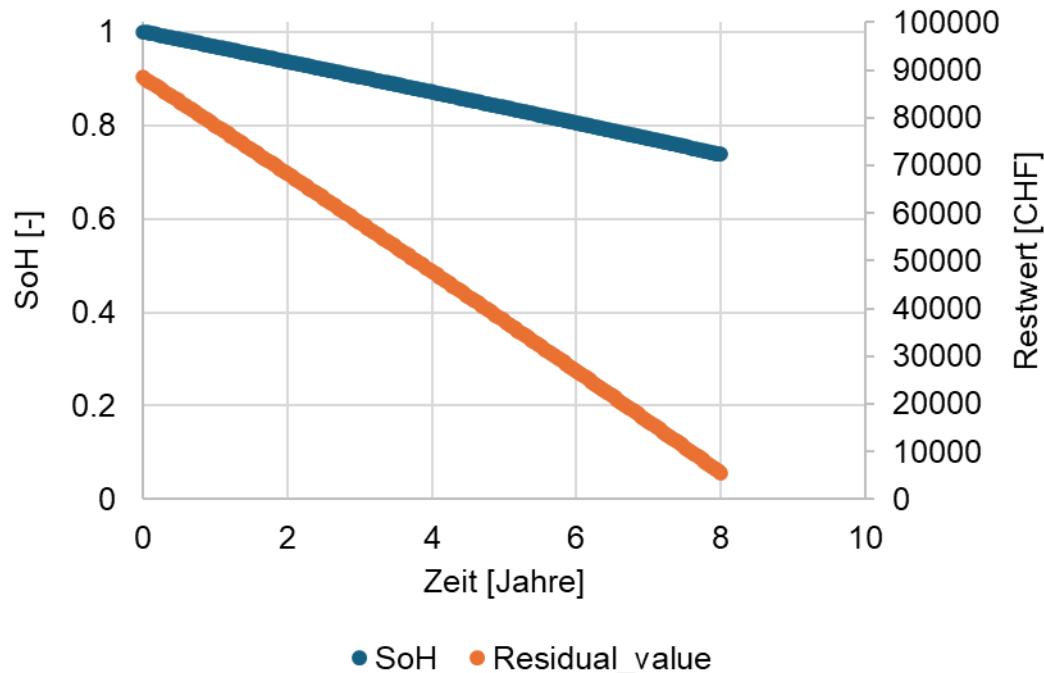


Abbildung 8-14: Batteriealterung und Restwert als Funktion der Zeit, Langstreckenanwendung, Jahr 2030



9 Anhang C: TCO und E-SNF-Markthochlauf

TCO

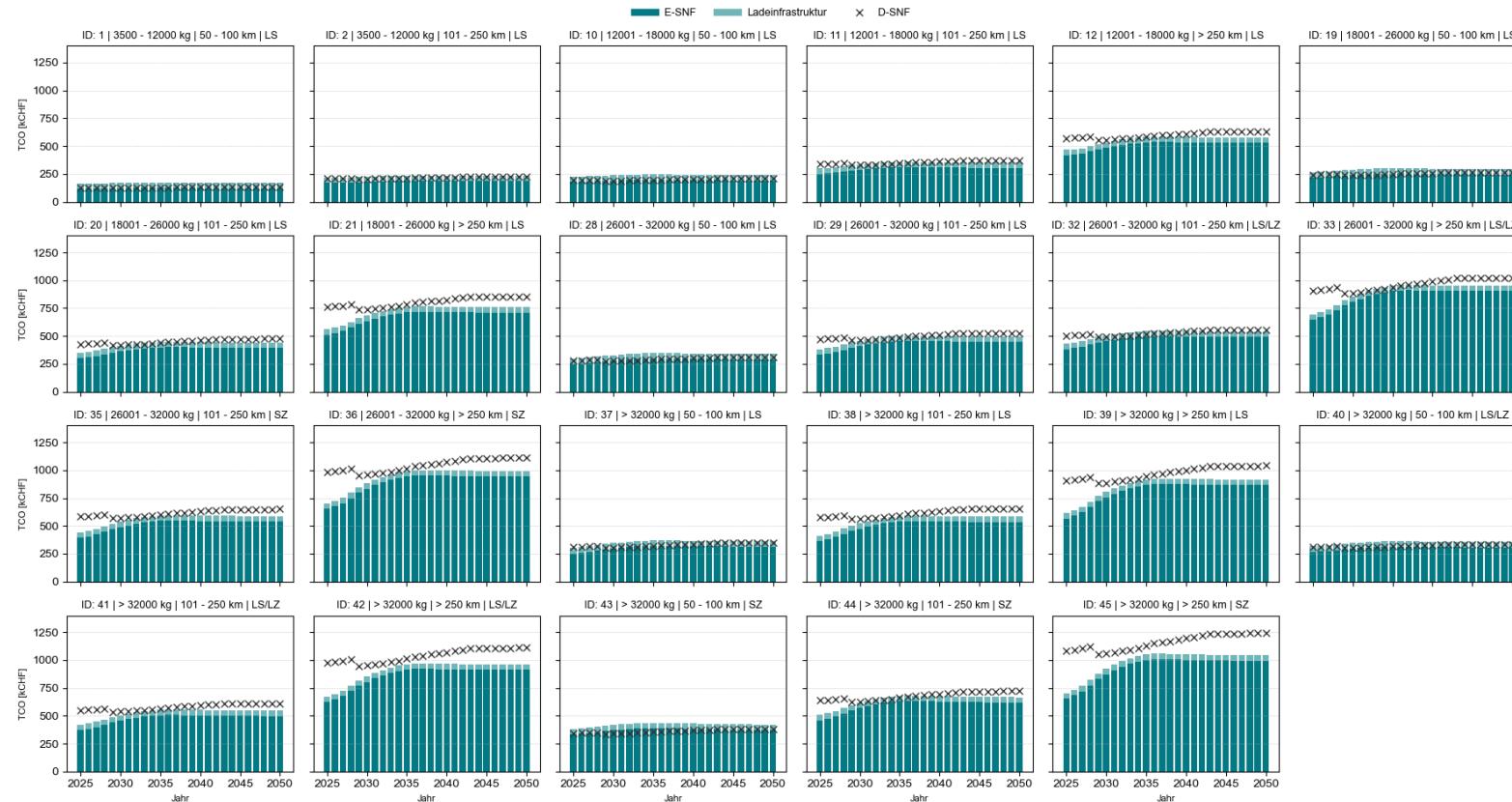


Abbildung 9-1: TCO: alle Segmente – Hauptszenario «Basis»

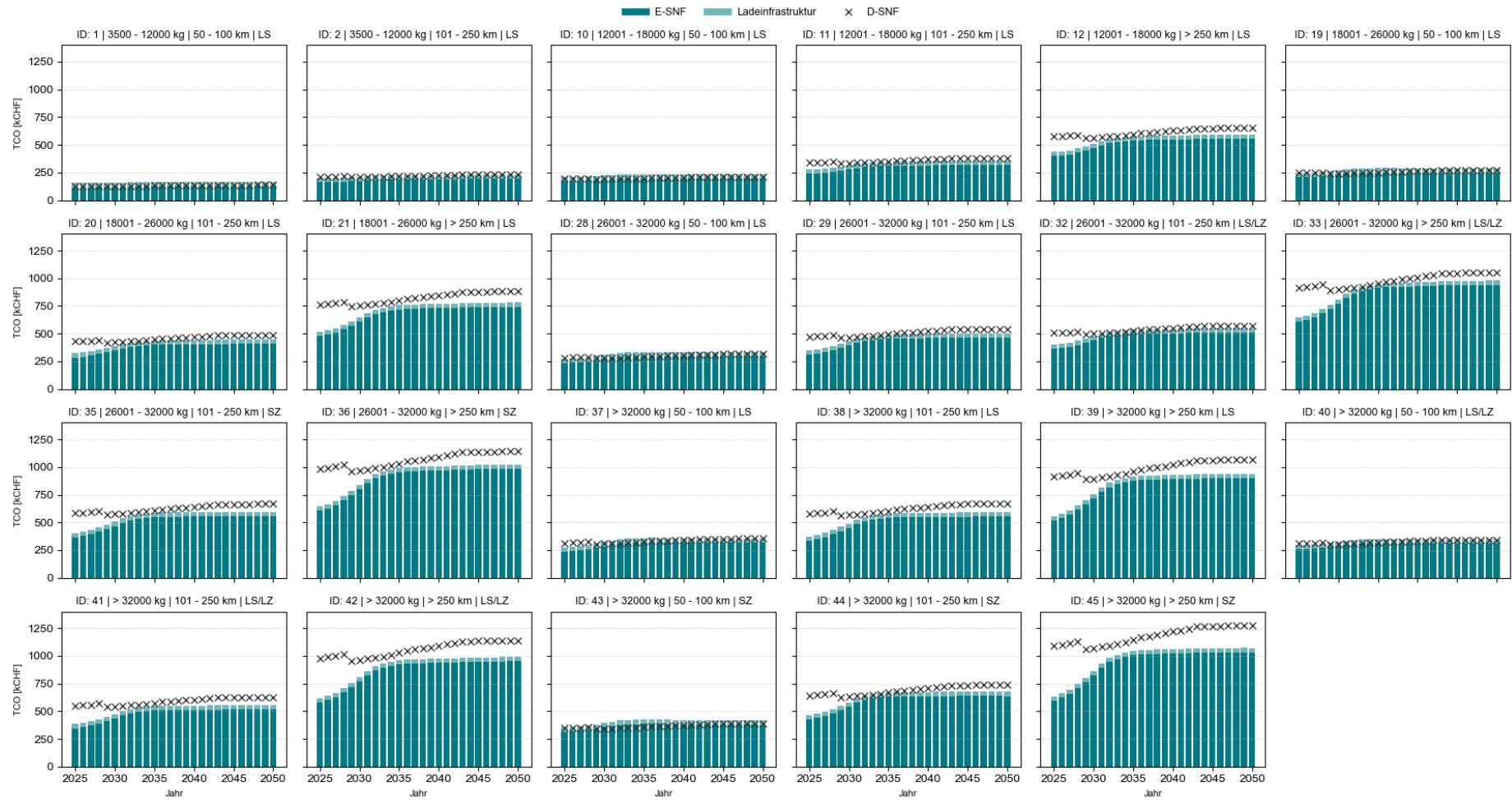


Abbildung 9-2: TCO: alle Segmente – Hauptszenario «Optimistisch»

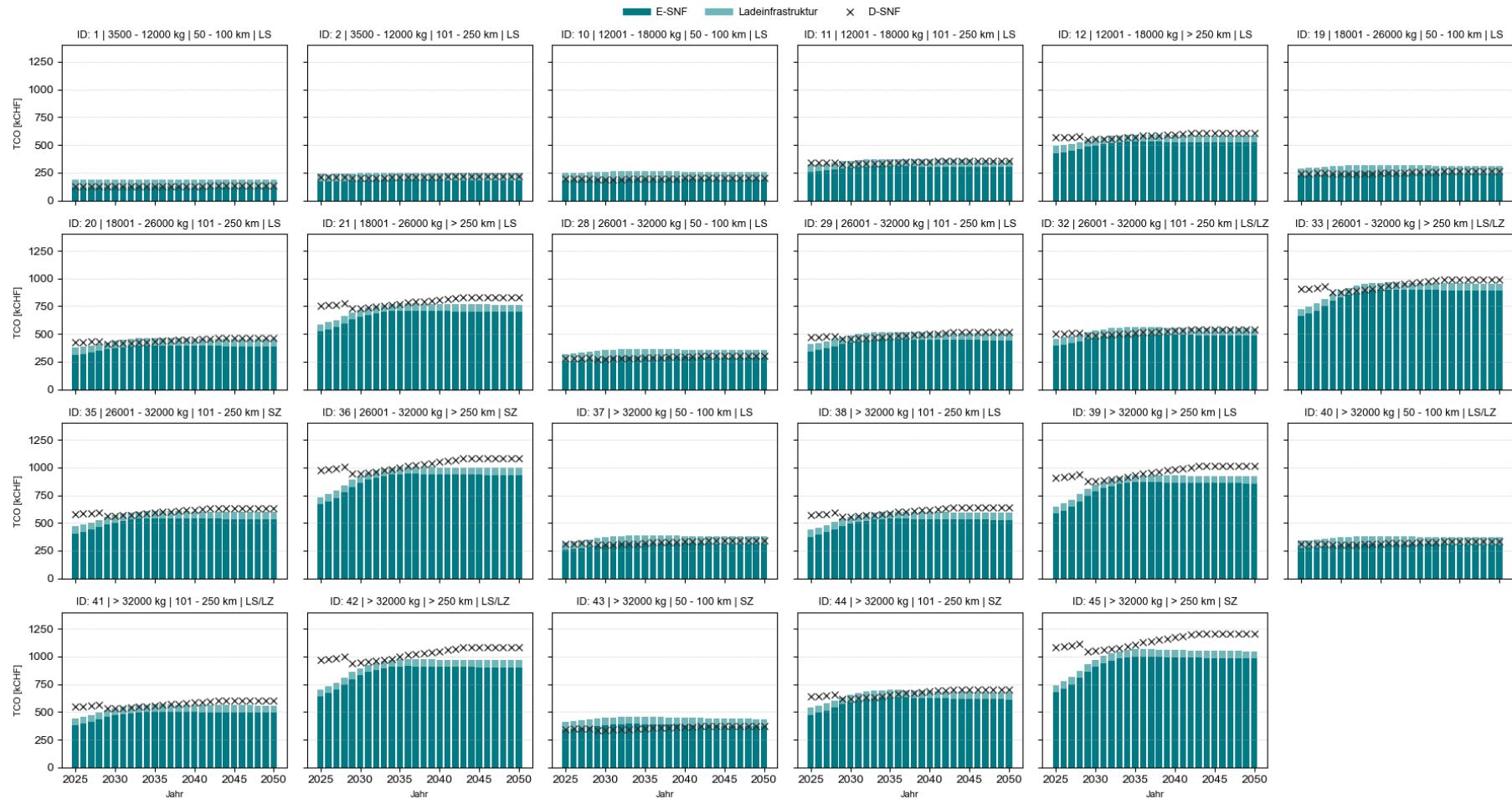


Abbildung 9-3: TCO: alle Segmente – Hauptszenario «Pessimistisch»



E-SNF-Markthochlauf

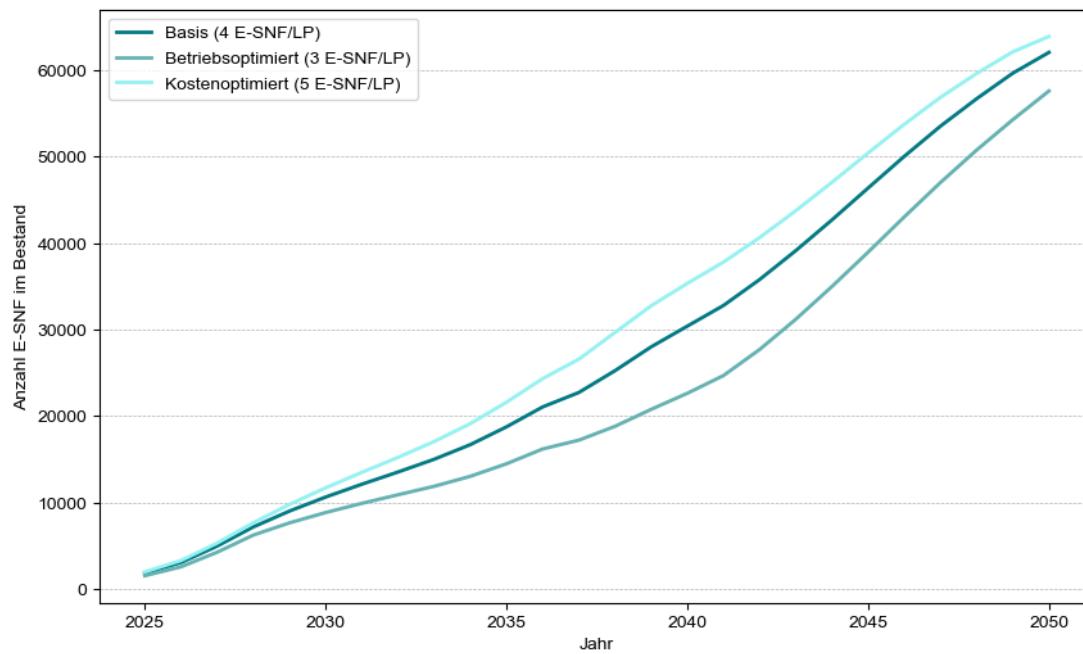


Abbildung 9-4: Entwicklung des E-SNF-Bestands für verschiedene Szenarien zu den Depot-Ladeinfrastrukturkosten auf Grundlage des Hauptzenarios «Basis»

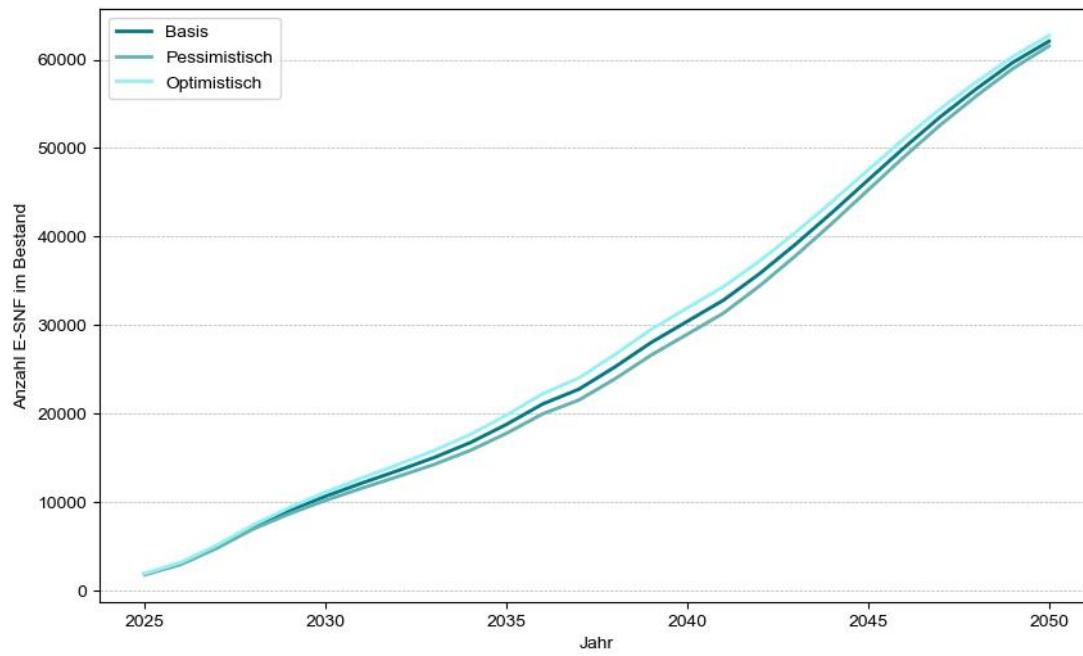


Abbildung 9-5: Entwicklung des E-SNF-Bestands für verschiedene Batteriepreis-Szenarien auf Grundlage des Hauptzenarios «Basis»

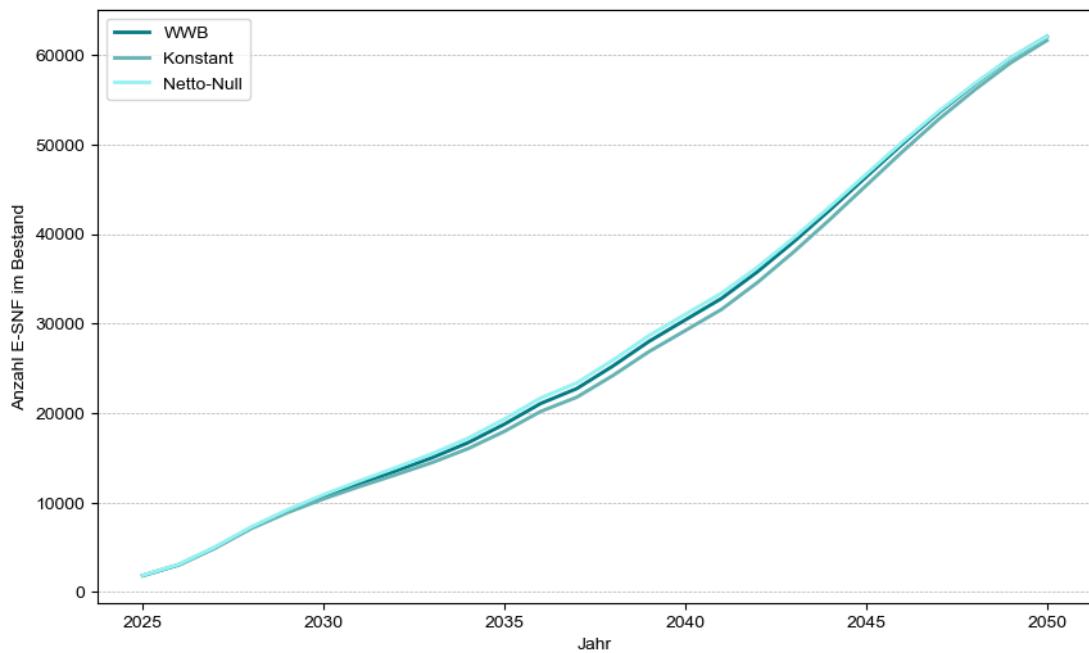


Abbildung 9-6: Entwicklung des E-SNF-Bestands für verschiedene Energiepreis-Szenarien auf Grundlage des Hauptszenarios «Basis»

CO₂-Emissionen der D-SNF in der Schweiz

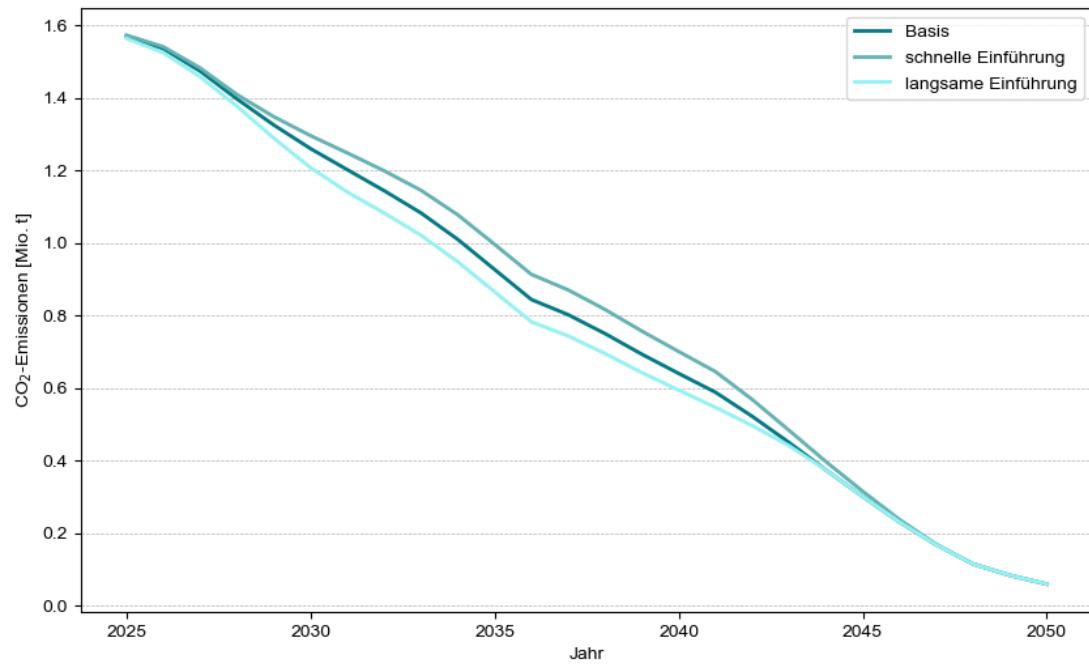


Abbildung 9-7: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz für verschiedene LSVA-Szenarien auf Grundlage des Hauptszenarios «Basis»

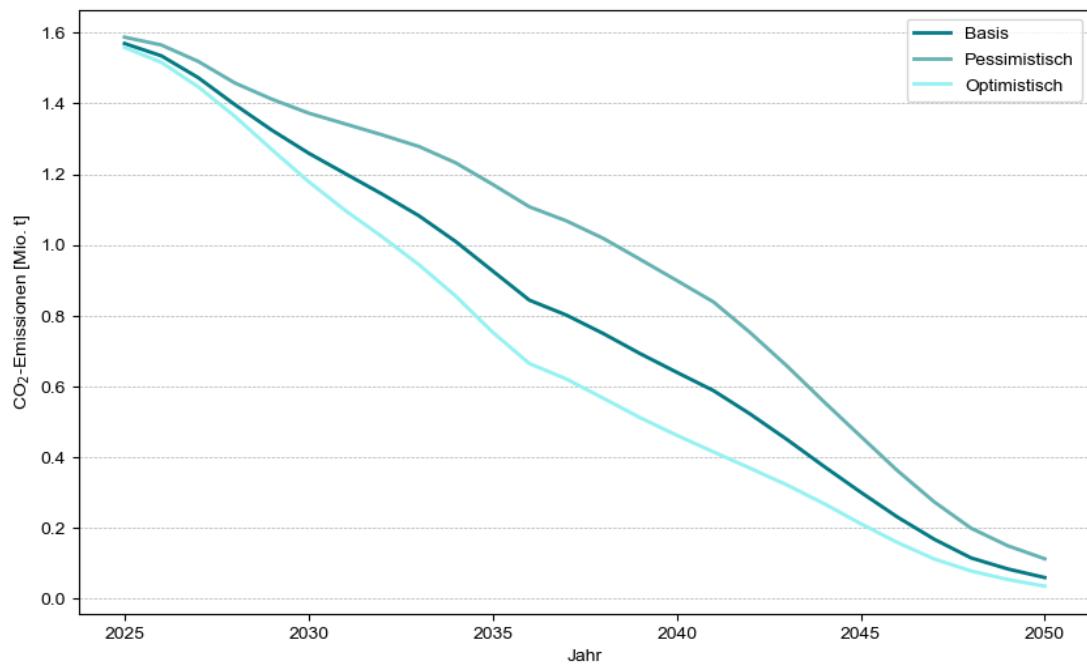


Abbildung 9-8: Entwicklung der direkten CO₂-Emissionen der SNF in der Schweiz für die drei Haupt-szenarien



10 Anhang D: Ladeinfrastrukturbedarf der E-SNF

Energiebedarf der E-SNF

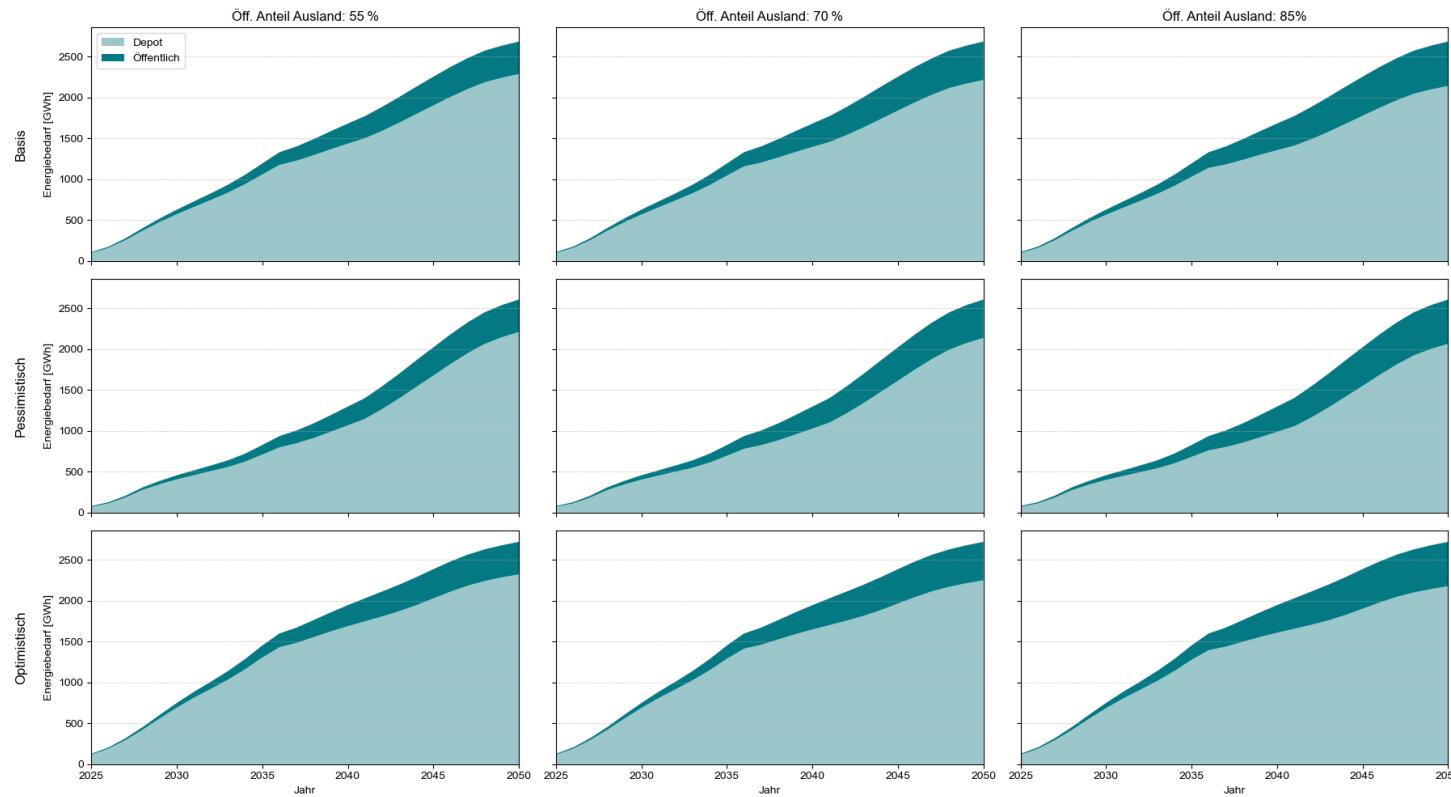


Abbildung 10-1: Entwicklung des Gesamtenergiebedarfs der E-SNF in der Schweiz, alle Szenarien



Räumliche Verteilung der öffentlichen Ladeinfrastruktur und Anzahl Ladepunkte

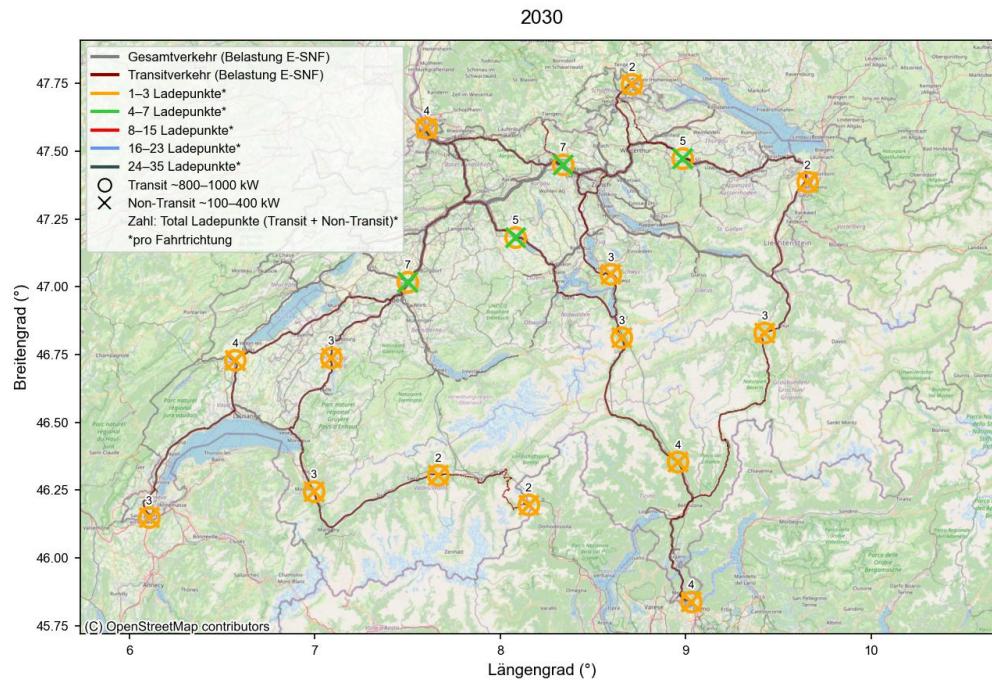


Abbildung 10-2: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2030, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 55%

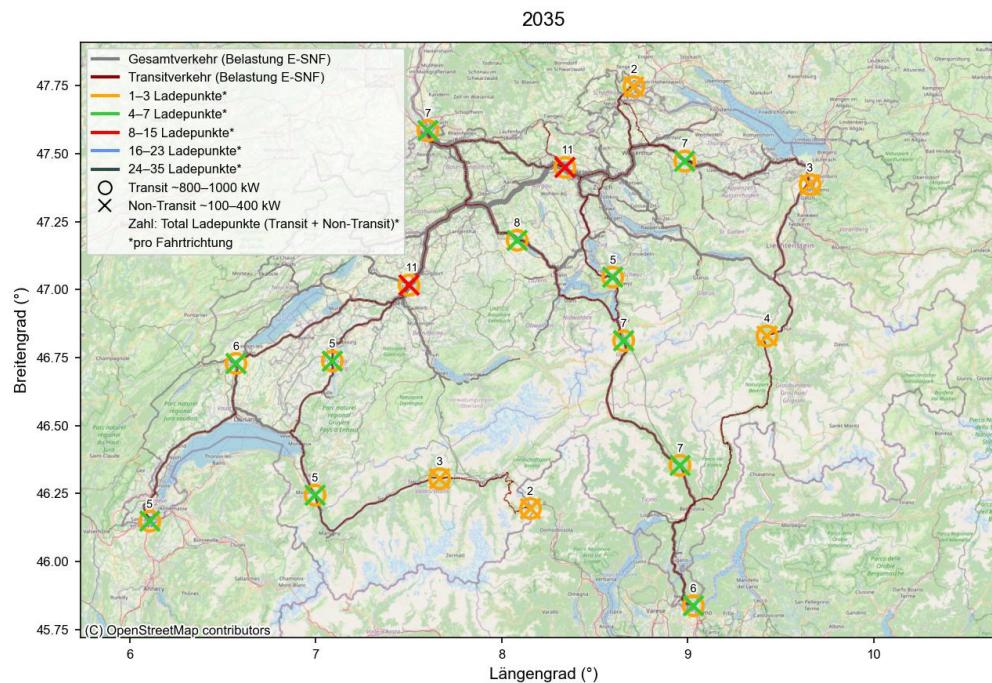


Abbildung 10-3: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2035, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 55%

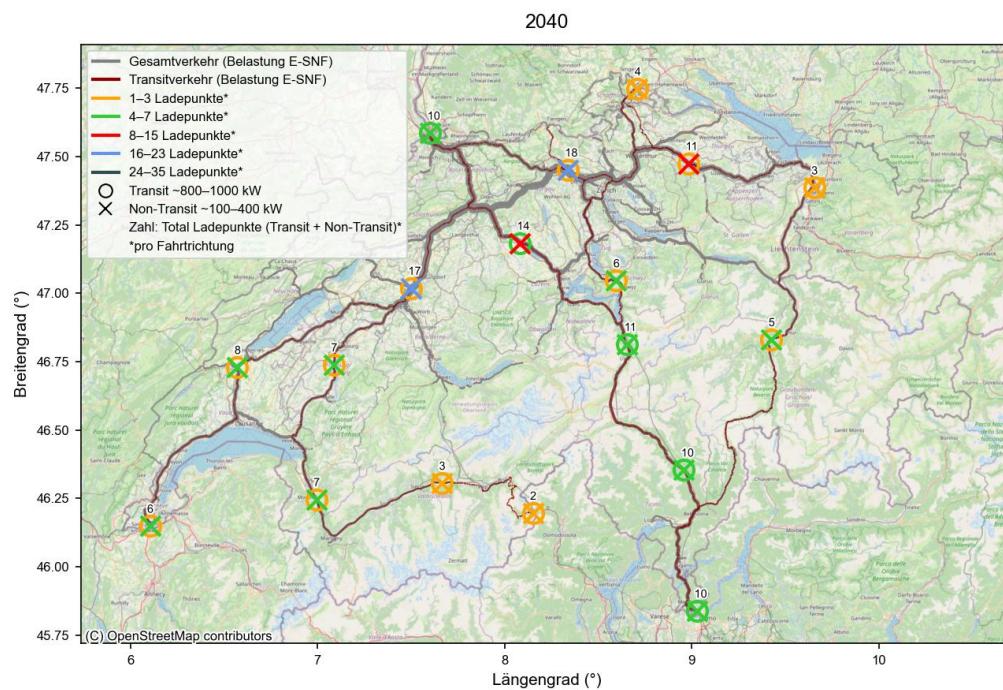


Abbildung 10-4: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2040, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 55%

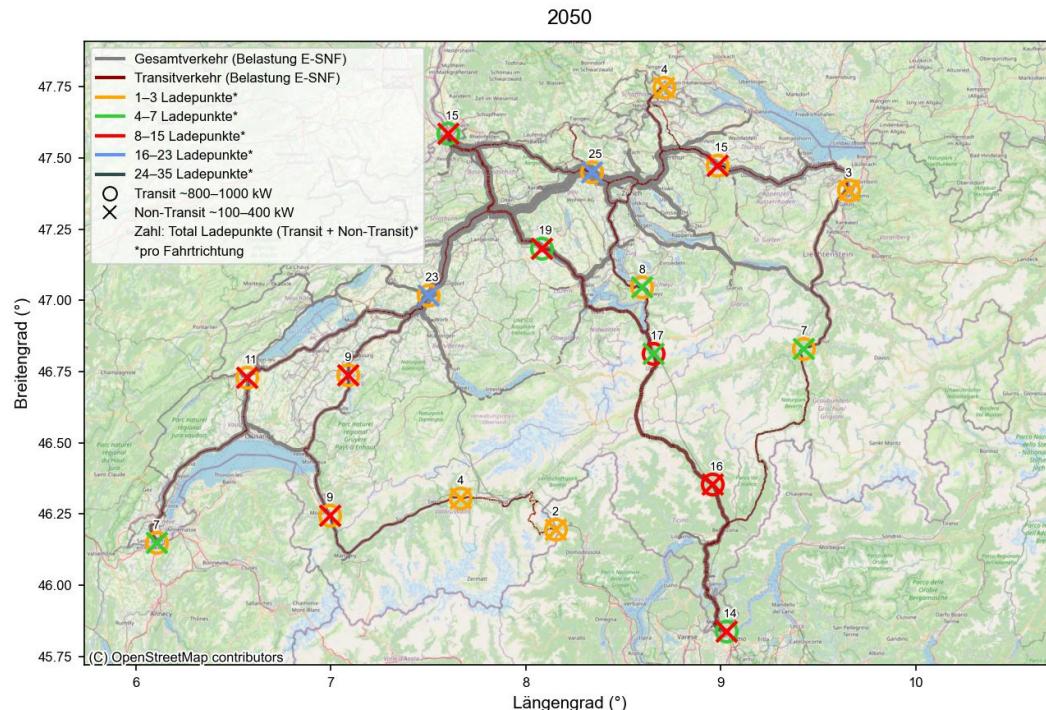


Abbildung 10-5: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2050, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 55%

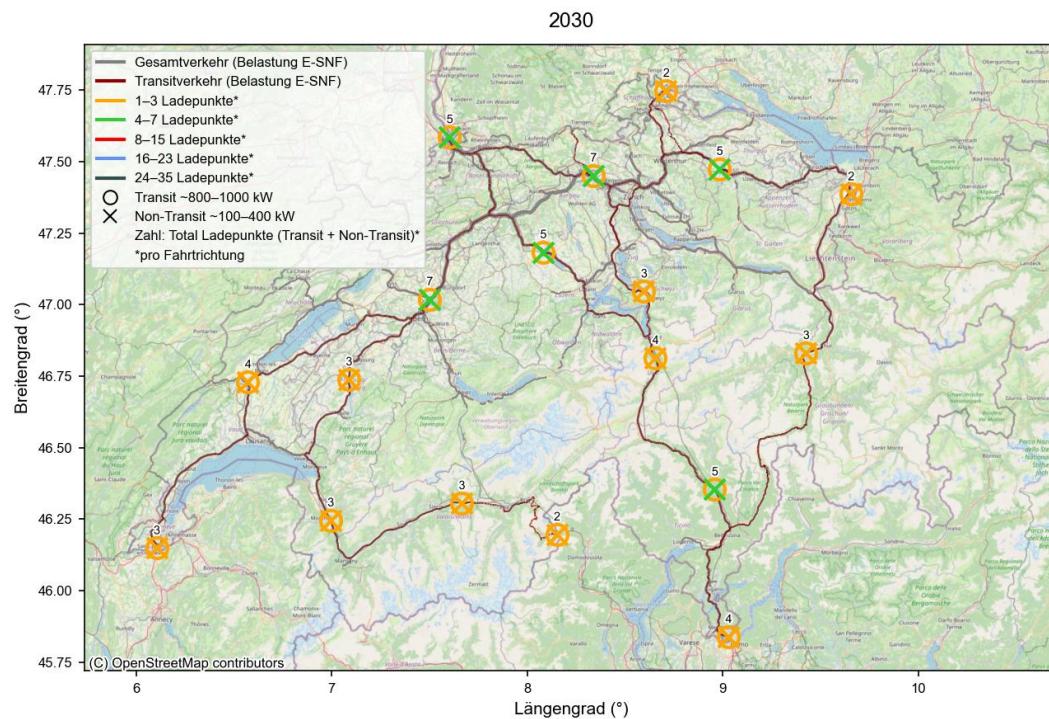


Abbildung 10-6: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2030, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 85%

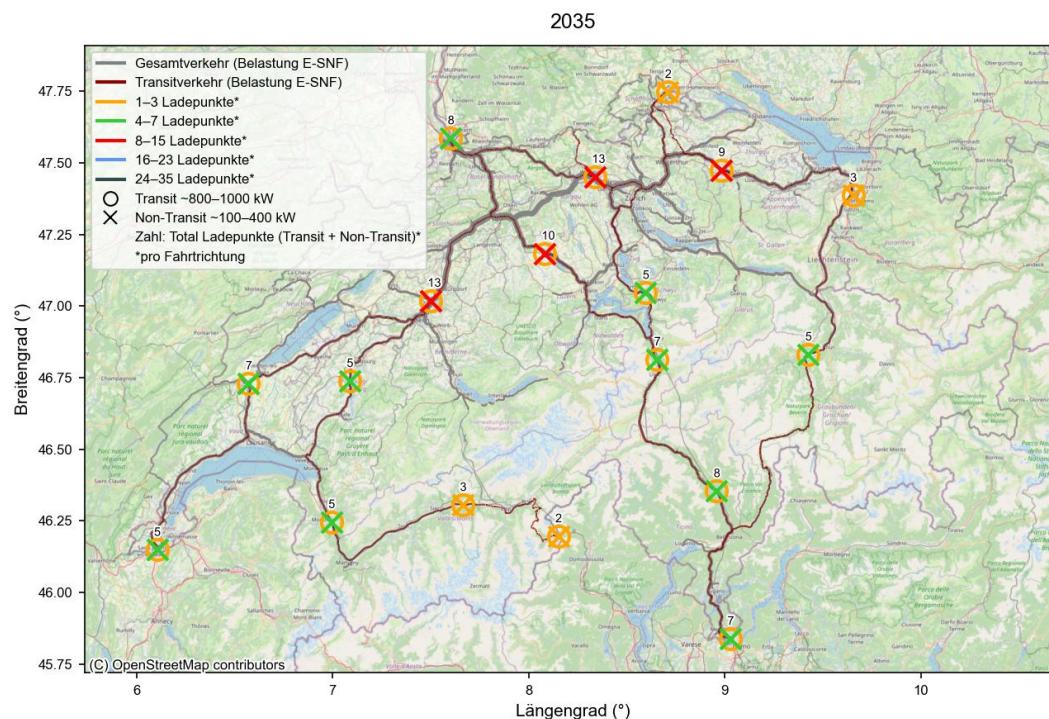


Abbildung 10-7: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2035, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 85%

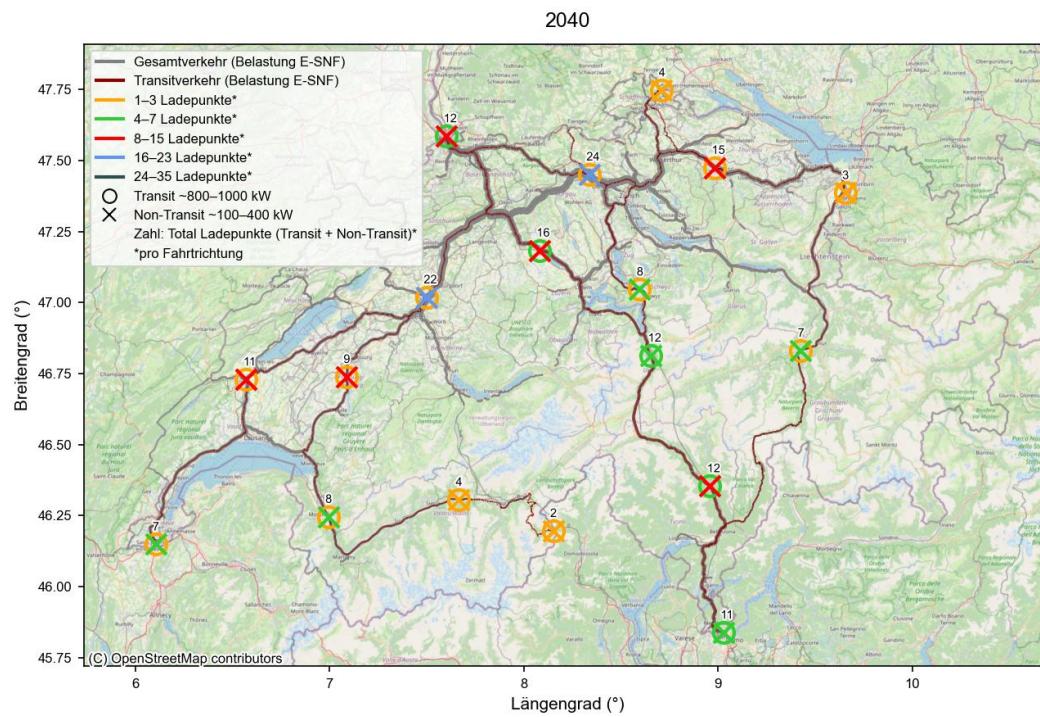


Abbildung 10-8: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2040, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 85%

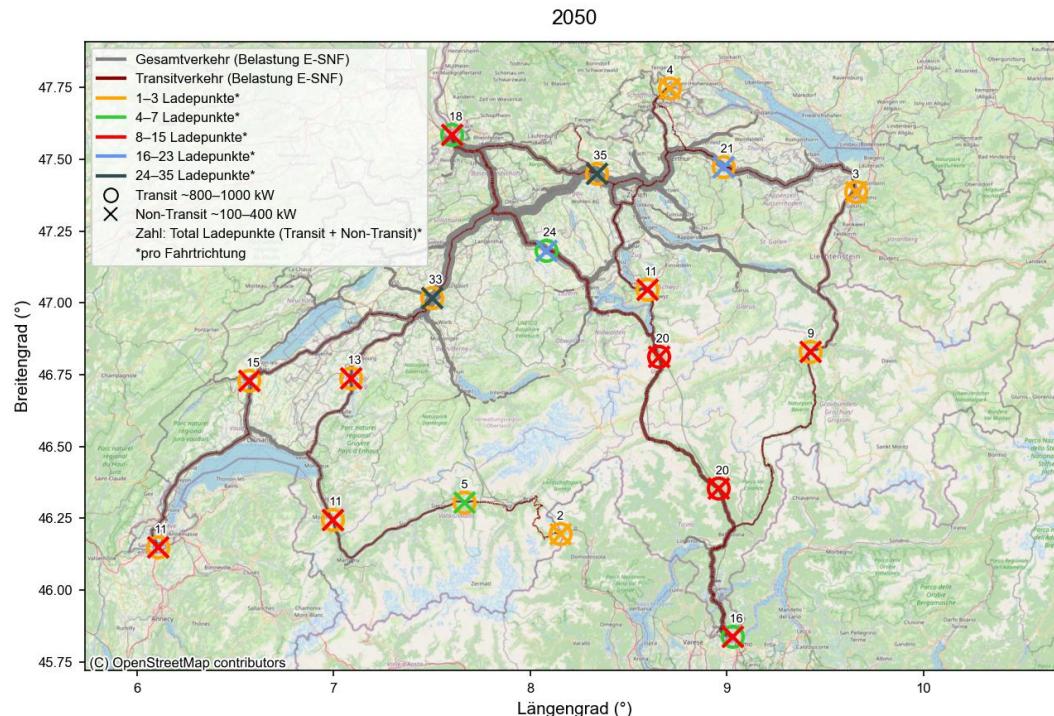
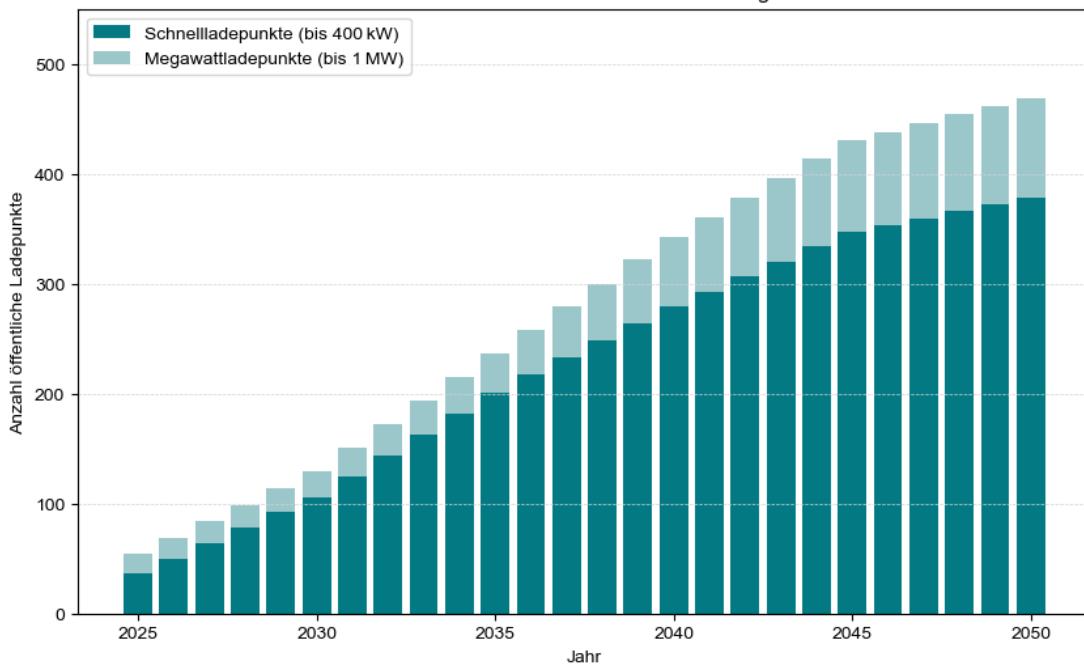


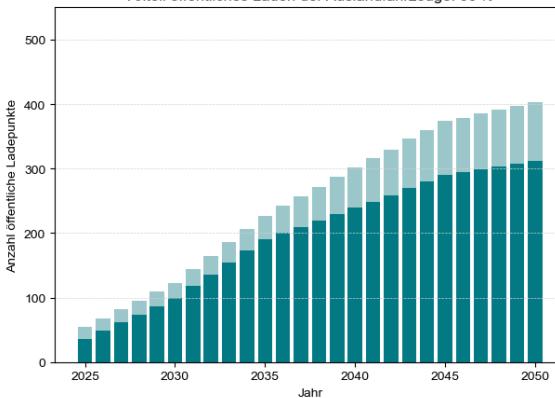
Abbildung 10-9: Räumliche Verteilung des öffentlichen Ladeinfrastrukturbedarfs im Jahr 2050, Haupt-szenario «Basis», Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge von 85%



Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge: 70 %



Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge: 55 %



Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge: 85 %

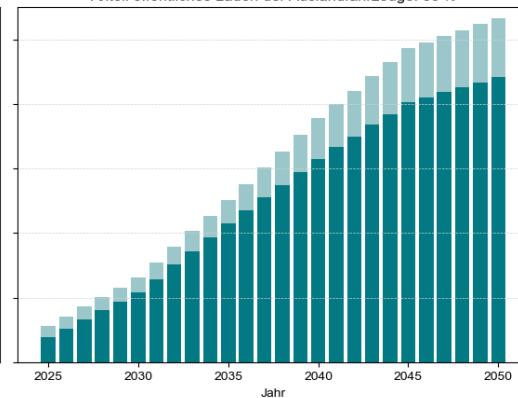
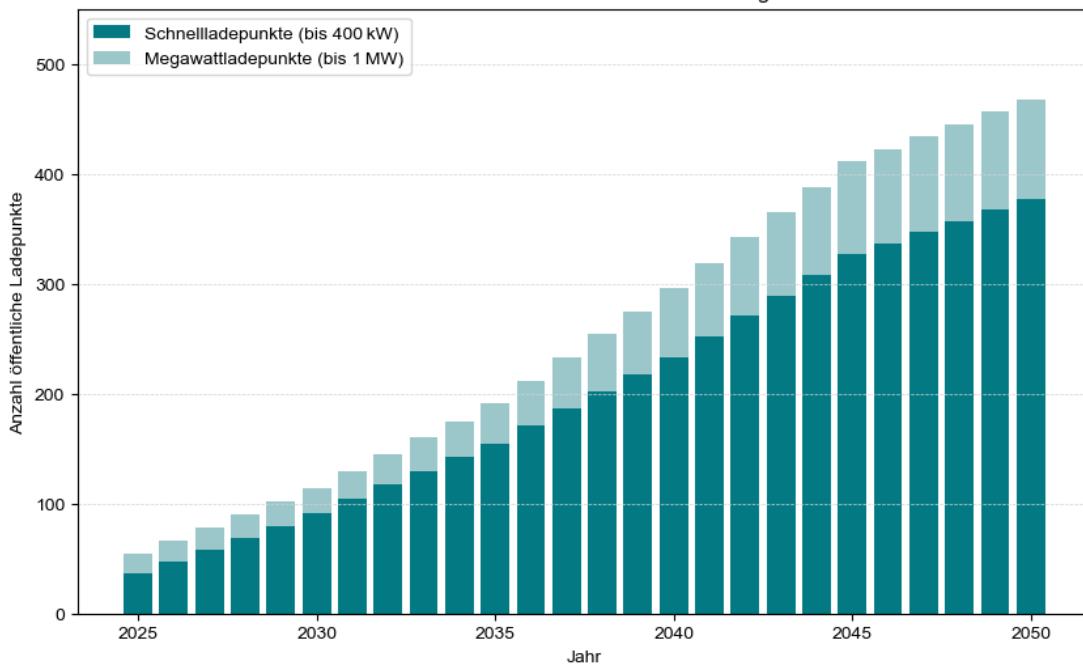


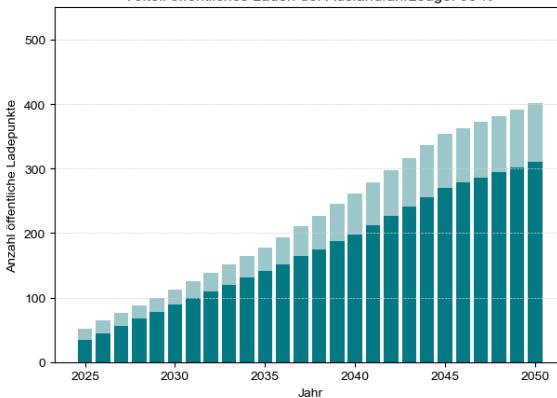
Abbildung 10-10: Entwicklung der Anzahl öffentlicher Ladepunkte, Hauptszenario «Optimistisch»



Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge: 70 %



Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge: 55 %



Anteil öffentliches Laden der Auslandfahrzeuge: 85 %

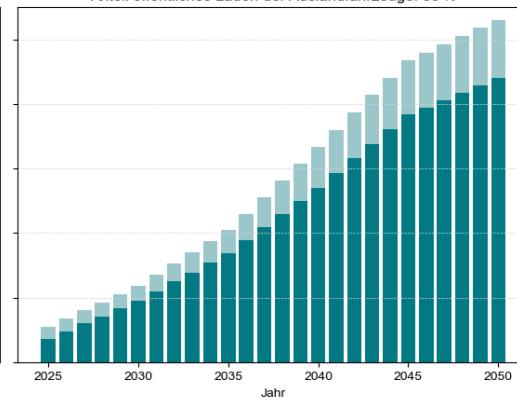


Abbildung 10-11: Entwicklung der Anzahl öffentlicher Ladepunkte, Hauptszenario «Pessimistisch»

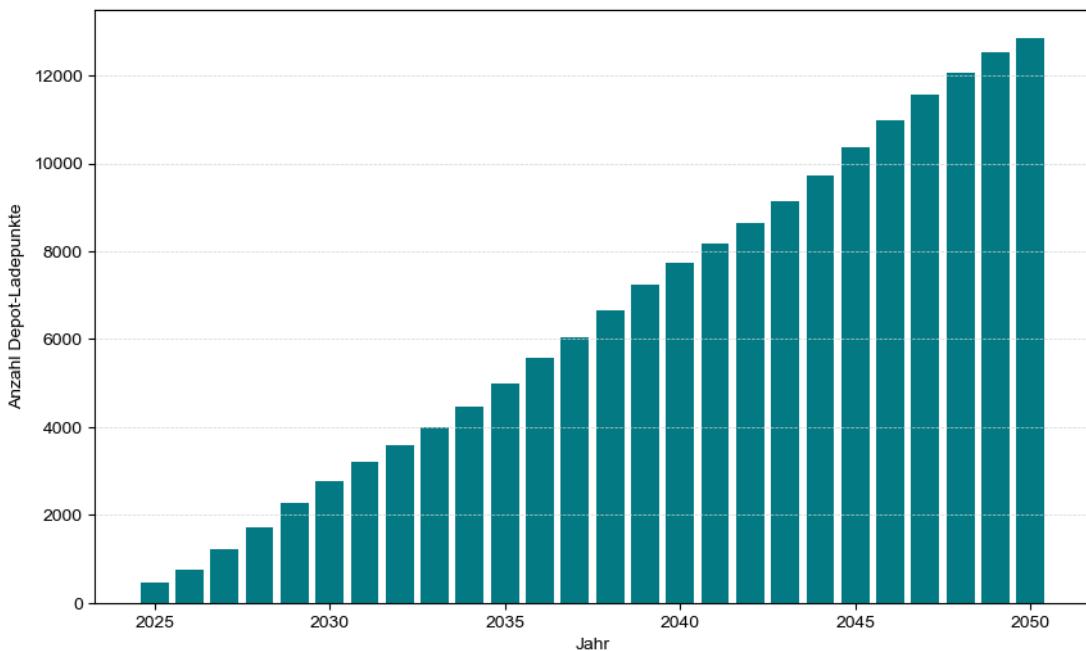


Abbildung 10-12: Entwicklung der Anzahl Depot-Ladepunkte, Hauptszenario «Optimistisch»

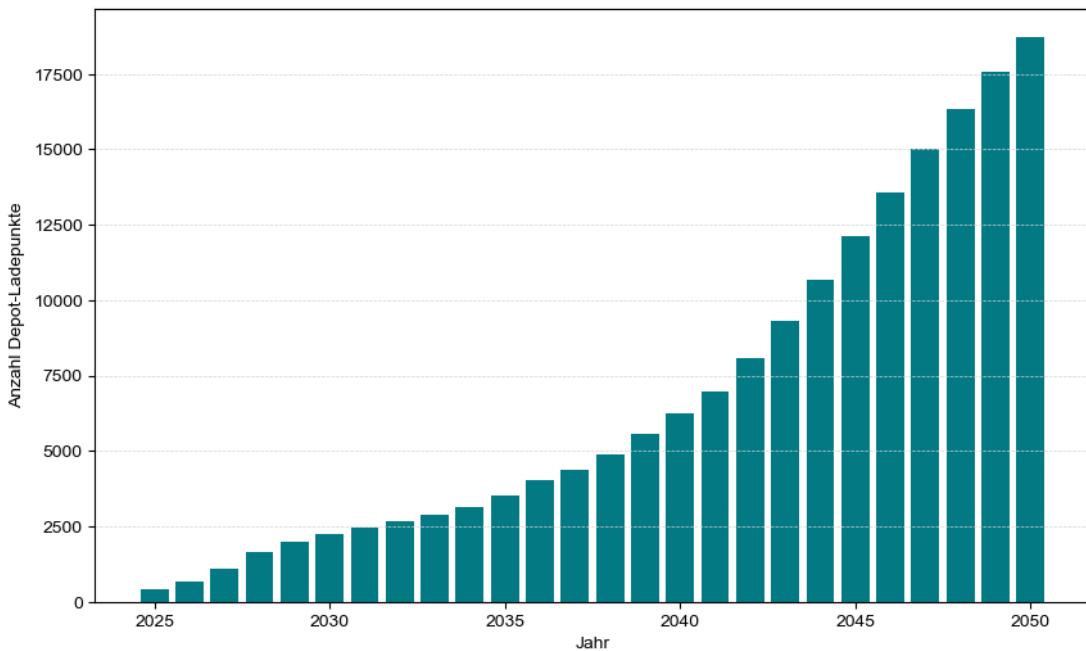


Abbildung 10-13: Entwicklung der Anzahl Depot-Ladepunkte, Hauptszenario «Pessimistisch»



Installierte Leistung

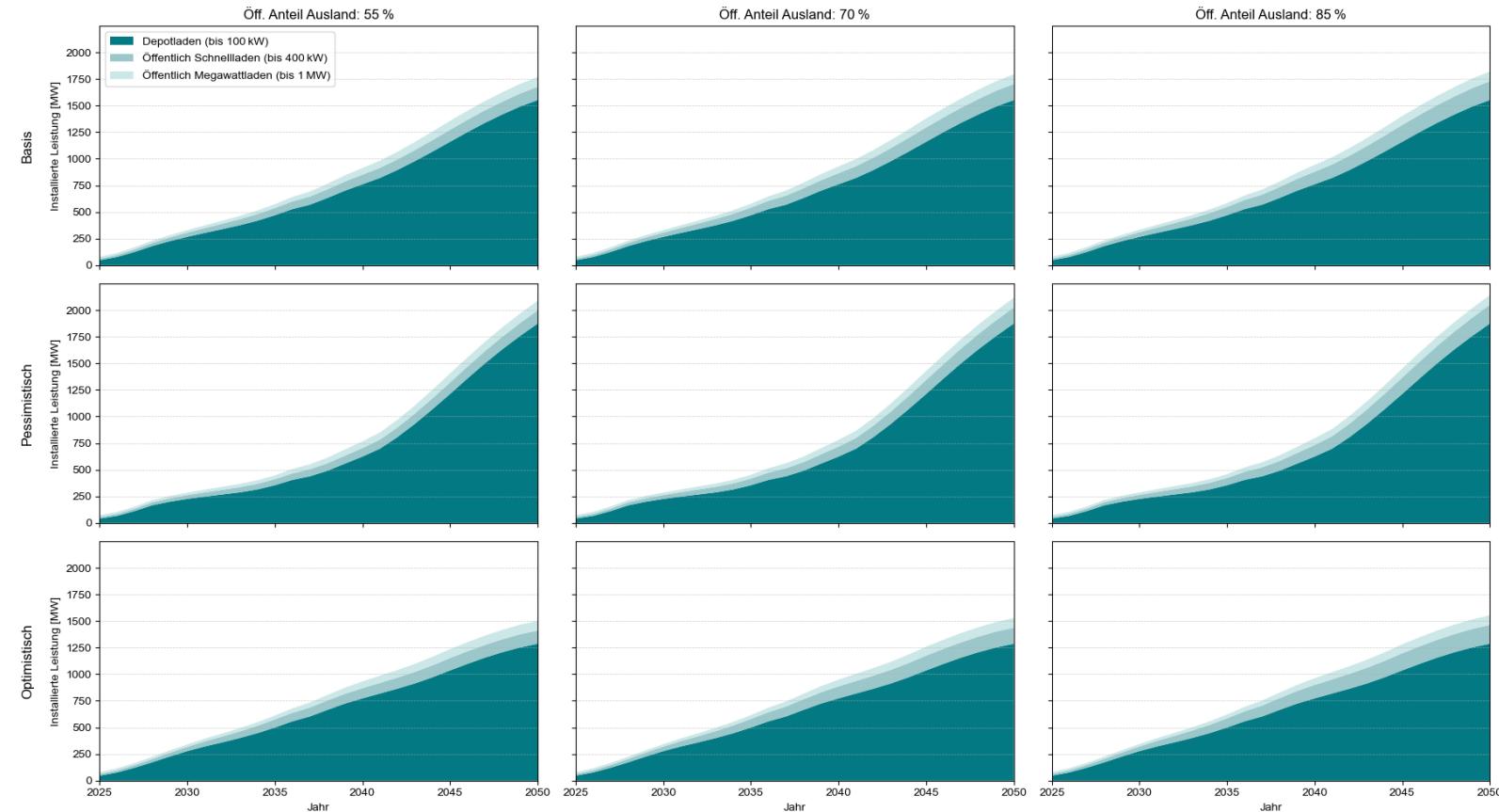


Abbildung 10-14: Entwicklung der installierten Gesamtladeleistung in der Schweiz, alle Szenarien



Literaturverzeichnis

Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union (2024): Summary of Regulation (EU) 2023/1804 on the deployment of alternative fuels infrastructure. URL <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/LSU/?uri=CELEX:32023R1804>, abgerufen am 19. September 2024.

Basma, Hussein und Schmidt, Jakob (2025): Charging infrastructure needs for battery electric trucks in the European Union by 2030.

Bianchetti, Roberto; Cox, Brian; Zwankhuizen, Alexandra; u. a. (2025): Swiss e-Cargo: Entscheidungsgrundlagen und nationale Szenarien für die Elektrifizierung der schweren Nutzfahrzeuge in der Schweiz.

BKW (2025): BKW Verteilnetzstudie 2025.

Bundesamt für Energie BFE (2021): Energieperspektiven 2050+ (Stand 2021).

Bundesamt für Energie BFE (2024): Die Roadmap Elektromobilität des Bundes wird bis 2030 verlängert und ausgeweitet. Medienmitteilung vom 3.9.2025.

Bundesamt für Energie BFE (2025a): Alternative Fuel Infrastructure Regulation AFIR und die Schweiz. Präsentation von Christoph Schreyer am E-Mobile Lade Forum von Electrosuisse.

Bundesamt für Energie BFE (2025b): Ausschreibung Programmträgerschaft Branchenprogramm Ladeinfrastruktur für E-LKW, gestützt auf Art. 6 Klimaschutzgesetz KIG.

Bundesamt für Energie BFE (2025c): Förderung von neuartigen Technologien und Prozessen: Richtlinie, Version vom 3.4.2025.

Bundesamt für Strassen ASTRA (2025): Roadmap Elektromobilität: Neue Ziele bis 2030. URL <https://blog.astra.admin.ch/roadmap-elektromobilitaet-neue-ziele-bis-2030/>, abgerufen am 8. Oktober 2025.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2024a): Effizienzverbesserung bei Personentransport oder Güterverkehr. URL <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmassnahmen/kompensation/inland/registrierte-projekte/5-1.html>, abgerufen am 5. August 2024.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2024b): Kompensation von CO2-Emissionen. Projekte und Programme. Vollzugsmitteilung des BAFU.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2024c): Verknüpfung der Emissionshandelssysteme Schweiz-EU. URL <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/fachinformationen/verminderungsmassnahmen/ehs/verknuepfung-schweiz-eu.html>, abgerufen am 6. Mai 2025.

Bundesamt für Umwelt BAFU (2025): Treibhausgasinventar BAFU.

Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit BAZG (2025): LSVA - Allgemeines / Tarife. URL https://www.bazg.admin.ch/bazg/de/home/informationen-firmen/verkehrsabgaben-und-strassenverkehrsrecht/schwerverkehrsabgaben-lsva-und-psva/lsva_allgemeines_tarife.html, abgerufen am 19. Februar 2025.

CharIN (2025): CharIN White Paper Megawatt Charging System (MCS).



CRU Group (2025): Content & analysis provided courtesy of CRU Group.

Eidgenössisches Departement für auswärtige Angelegenheiten EDA (2025): Paket «Stabilisierung und Weiterentwicklung der Beziehungen Schweiz–EU». Erläuternder Bericht zur Eröffnung des Vernehmlassungsverfahrens.

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK und Eidgenössisches Finanzdepartement EFD (2025): Abgabe auf der Fahrleistung von Elektrofahrzeugen oder Steuer auf dem Ladestrom für Elektrofahrzeuge. Erläuternder Bericht zur Eröffnung des Vernehmlassungsverfahrens.

Endo, Chie; Kaufmann, Tanja; Schmuck, Richard; u. a. (2024): Benchmarking International Battery Policies. Fraunhofer-Gesellschaft.

Energie-Agentur der Wirtschaft EnAW (2024): Anmeldung zur Aufnahme von Vorhaben im Fahrzeug- und Fahrteneffizienzprogramm (Elektro-SNF).

Energie-Agentur der Wirtschaft EnAW (2025): Transportprogramm. Förderprogramm für mehr Fahrzeug- und Fahrteneffizienz. URL <https://enaw.ch/angebot/transportprogramm>, abgerufen am 20. März 2025.

EnergieSchweiz (2025a): Charta und prioritäre Herausforderungen der Roadmap Elektromobilität 2030. URL <https://www.energieschweiz.ch/programme/roadmap-elektromobilitaet/charta-roadmap-elektromobilitaet-2030/>, abgerufen am 8. Oktober 2025.

EnergieSchweiz (2025b): Rückblick auf die Konsultation und Ausblick auf die nächste Etappe. Roadmap Elektromobilität. URL <https://www.energieschweiz.ch/programme/roadmap-elektromobilitaet/news/rueckblick-konsultation-und-ausblick-auf-die-naechste-etappe/>.

Europäische Kommission (2024a): Fragen und Antworten: Überarbeitete CO₂-Emissionsnormen für schwere Nutzfahrzeuge.

Europäische Kommission (2024b): Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles. URL https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/reducing-co2-emissions-heavy-duty-vehicles_en, abgerufen am 22. Juli 2024.

Europäische Kommission (2025): ETS2: buildings, road transport and additional sectors. URL <https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets/ets2-buildings-road-transport-and-additional-sectors>, abgerufen am 14. Januar 2025.

Europäisches Parlament (2025): EU-Klimaziel 2040: Abgeordnete wollen 90% Emissionsreduktion im EU-Klimagesetz. Medienmitteilung vom 13.11.2025.

Hagberg, Aric; Schult, Daniel und Swart, Pieter (2008): Exploring Network Structure, Dynamics, and Function using NetworkX.

ICCT / RAP (2025): Savings from smart charging electric cars and trucks in Europe: A case study for France in 2040.

Mauler, Lukas; Duffner, Fabian; Zeier, Wolfgang G.; u. a. (2021): Battery cost forecasting: a review of methods and results with an outlook to 2050.

Moll, Cornelius; Plötz, Patrick; Hadwich, Karsten; u. a. (2020): Are Battery-Electric Trucks for 24-Hour Delivery the Future of City Logistics?—A German Case Study. In: World Electric Vehicle Journal, 11, 1, 16.



- Noll, Bessie; Del Val, Santiago; Schmidt, Tobias S.; u. a. (2022): Analyzing the competitiveness of low-carbon drive-technologies in road-freight: A total cost of ownership analysis in Europe. In: *Applied Energy*, 306, 118079.
- Plötz, P.; Speth, D.; Kappeler, L.; u. a. (2024): Megawatt-Laden im Lkw-Fernverkehr: Erste Erkenntnisse zu Herausforderungen und Lösungsansätzen.
- Rat der EU (2025): 2040 climate target: Council agrees its position on a 90% emissions reduction. Medienmitteilung vom 5. November 2025.
- Ristova, Monika und Wicki, Andrej (2025): Energieverbrauch eines DC-Gebäudes im Vergleich zu einem AC-Gebäude.
- Rosser, Silvan; Chamberlin, Michele und De Haan, Peter (2023): Schnell-Ladehubs für E-LKWs in der Schweiz.
- Schweizerischer Bundesrat (2025a): Bericht über die Verkehrsverlagerung Juli 2023–Juni 2025 vom 19. November 2025.
- Schweizerischer Bundesrat (2025b): Botschaft zur Änderung des Schwerverkehrsabgabegesetzes (Weiterentwicklung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe).
- Schweizerischer Bundesrat (2025c): Bundesrat befasste sich mit Klimapolitik nach 2030. Medienmitteilung vom 12.9.2025.
- Schweizerischer Bundesrat (2025d): Bundesrat legt Varianten zur Besteuerung von Elektrofahrzeugen vor. Medienmitteilung vom 26.9.2025.
- Schweizerischer Bundesrat (2025e): Paket Schweiz-EU: Der Bundesrat heisst die Abkommen gut und eröffnet die Vernehmlassung. Medienmitteilung vom 13. Juni 2025.
- Shoman, Wasim; Yeh, Sonia; Sprei, Frances; u. a. (2023): Battery electric long-haul trucks in Europe: Public charging, energy, and power requirements. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 121, 103825.
- Speth, Daniel; Plötz, Patrick; Funke, Simon; u. a. (2022): Public fast charging infrastructure for battery electric trucks—a model-based network for Germany. In: *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability*, 2, 2, 025004.
- Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation KliK (2024): Programm elektrische schwere Nutzfahrzeuge. Mit Dieselöl betriebene schwere Nutzfahrzeuge durch elektrisch betriebene ersetzen. URL <https://www.klik.ch/schweiz/verkehr/elektrische-nutzfahrzeuge>, abgerufen am 5. August 2024.
- Tietz, Tobias; Fay, Tu-Anh; Schlenther, Tilmann; u. a. (2025): Electric Long-Haul Trucks and High-Power Charging: Modelling and Analysis of the Required Infrastructure in Germany. In: *World Electric Vehicle Journal*, 16, 2, 96.
- Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2023): Einführung eines Emissionshandelssystems für Gebäude, Straßenverkehr und zusätzliche Sektoren in der EU.
- Umweltbundesamt der Bundesrepublik Deutschland (2025): Der Europäische Emissionshandel. URL <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#teilnehmer-prinzip-und-umsetzung-des-europaischen-emissionshandels>, abgerufen am 6. Mai 2025.
- Volta Foundation (2023): 2023 Battery Report: Annual Battery Report 2023.



Volta Foundation (2024): 2024 Battery Report: Annual Battery Report 2024.