



Schlussbericht vom 29. Oktober 2025

---

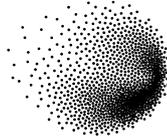
## Swiss e-Cargo

# Entscheidungsgrundlagen und nationale Szenarien für die Elektrifizierung der schweren Nutzfahrzeuge in der Schweiz

---



Quelle: © iStock 2022



PSI



DW DESIGN  
WERK

**Datum:** 29. Oktober 2025

**Ort:** Bern

**Subventionsgeberin:**

Bundesamt für Energie BFE  
Sektion Energieforschung und Cleantech  
CH-3003 Bern  
[www.bfe.admin.ch](http://www.bfe.admin.ch)

**Subventionsempfänger/innen:**

INFRAS AG  
Binzstrasse 23, 8045 Zürich  
[www.infras.ch](http://www.infras.ch)

Paul Scherrer Institut PSI  
Technology Assessment Group  
Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen  
[www.psi.ch](http://www.psi.ch)

Die Schweizerische Post AG  
Engelhaldenstrasse 39, 3030 Bern  
[www.post.ch](http://www.post.ch)

Designwerk Technologies AG  
Wülflingerstrasse 147, 8408 Winterthur  
[www.designwerk.com](http://www.designwerk.com)

**Autor/in:**

Roberto Bianchetti, INFRAS AG, [roberto.bianchetti@infras.ch](mailto:roberto.bianchetti@infras.ch)  
Dr. Brian Cox, INFRAS AG, [brian.cox@infras.ch](mailto:brian.cox@infras.ch)  
Julien McTighe, INFRAS AG, [julien.mctighe@infras.ch](mailto:julien.mctighe@infras.ch)  
Alexandra Zwankhuizen, INFRAS AG, [alexandra.zwankhuizen@infras.ch](mailto:alexandra.zwankhuizen@infras.ch)  
Lukas Gafner, INFRAS AG, [lukas.gafner@infras.ch](mailto:lukas.gafner@infras.ch)  
Sandro Tanner, INFRAS AG, [sandro.tanner@infras.ch](mailto:sandro.tanner@infras.ch)  
Christian Bauer, PSI, [christian.bauer@psi.ch](mailto:christian.bauer@psi.ch)  
Dr. Romain Sacchi, PSI, [romain.sacchi@psi.ch](mailto:romain.sacchi@psi.ch)  
Michael Graf, Die Schweizerische Post AG, [michael.graf@postauto.ch](mailto:michael.graf@postauto.ch)  
Niels Ross, Designwerk Technologies AG, [niels.ross@designwerk.com](mailto:niels.ross@designwerk.com)

**BFE-Projektkoordination:**

Dr. Luca Castiglioni, [luca.castiglioni@bfe.admin.ch](mailto:luca.castiglioni@bfe.admin.ch)

**BFE-Vertragsnummer:** SI/502764-01

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



**Begleitgruppe:**

Janis Geissbühler, ASTAG, [j.geissbuehler@astag.ch](mailto:j.geissbuehler@astag.ch)

Stefanie Katic, ASTAG, [s.katic@astag.ch](mailto:s.katic@astag.ch)

Hélène Columberg, ASTRA, [helena.columberg@astra.admin.ch](mailto:helena.columberg@astra.admin.ch)

Thomas Rücker, auto-schweiz, [thomas.ruecker@auto.swiss](mailto:thomas.ruecker@auto.swiss)

Yoann Carnal, BAV, [yoann.carnal@bav.admin.ch](mailto:yoann.carnal@bav.admin.ch)

Stany Rochat, BAV, [stany.rochat@bav.admin.ch](mailto:stany.rochat@bav.admin.ch)

Dr. Luca Castiglioni, BFE, [luca.castiglioni@bfe.admin.ch](mailto:luca.castiglioni@bfe.admin.ch)

Christoph Schreyer, BFE, [christoph.schreyer@bfe.admin.ch](mailto:christoph.schreyer@bfe.admin.ch)

Elia Limarzo, ECOPLAN, [elia.limarzo@ecoplan.ch](mailto:elia.limarzo@ecoplan.ch)

Dr. Stephan Walter, eMobilityLab, [stephan.walter@emobilitylab.ch](mailto:stephan.walter@emobilitylab.ch)

Sarah Dähler, Go Fast, [s.daehler@gofast.swiss](mailto:s.daehler@gofast.swiss)

Gregory Germann, swisscleantech, [gregory.germann@swisscleantech.ch](mailto:gregory.germann@swisscleantech.ch)

Marco Wyss, Swiss e-Mobility, [marco.wyss@swiss-emobility.ch](mailto:marco.wyss@swiss-emobility.ch)

Olivier Stössel, VSE, [olivier.stoessel@strom.ch](mailto:olivier.stoessel@strom.ch)



## Zusammenfassung

Viele Schweizer Unternehmen stehen vor der Herausforderung, ihre Flotten zu elektrifizieren. Die technischen Möglichkeiten entwickeln sich rasch, doch es fehlt häufig an klaren, praxisnahen Entscheidungsgrundlagen. Unterschiede bei Reichweite, Ladezeiten, Fahrzeugtypen und Kosten erschweren eine einheitliche Strategie. Gleichzeitig ist der Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur – insbesondere für schwere Nutzfahrzeuge (SNF) – noch unzureichend koordiniert. Vor diesem Hintergrund verfolgt das Forschungsprojekt Swiss e-Cargo das Ziel, Schweizer Unternehmen bei der Elektrifizierung ihrer Flotten gezielt zu unterstützen, Entscheidungsgrundlagen zu schaffen und öffentliche Behörden beim Aufbau einer bedarfsgerechten öffentlichen Ladeinfrastruktur zu begleiten.

Das Projekt wurde von INFRAS, PSI, der Schweizerischen Post und Designwerk in Zusammenarbeit mit einer Vielzahl von Praxispartnern realisiert – unter der Federführung des Bundesamts für Energie (BFE) und mit fachlicher Begleitung durch eine breit zusammengesetzte Begleitgruppe. In einem mehrstufigen Vorgehen wurden zunächst die Anforderungen an die Elektrifizierung im Rahmen von diversen Workshops mit Unternehmen aus den Branchen Logistik, Lebensmittel, Bauwesen und Fahrzeughersteller identifiziert. Daraus wurden Hemmnisse für die Elektrifizierung des Güterverkehrs abgeleitet und repräsentative Anwendungsfälle für den Einsatz von batterieelektrischen schweren Nutzfahrzeugen (e-SNF) abgeleitet. Für diese wurden zudem umfangreiche Datenauswertungen durchgeführt und verschiedene Parameter analysiert. Darüber hinaus wurde ein Excel-Tool entwickelt, um Gesamtbetriebskosten («Total Cost of Ownership», TCO) und Treibhausgasemissionen (auf Lebenszyklusanalysen beruhend) verschiedener Anwendungsfälle zu quantifizieren.

Darauf basierend wurden ein nationales Flottenszenario für den Markthochlauf sowie das Ladeverhalten der e-SNF bis 2060 modelliert. Anschliessend wurden drei unterschiedliche nationale Ladeszenarien für den regionalisierten Ladebedarf («Selbstständig», «Basis» und «Flächendeckend») ermittelt. Diese gehen von verschiedenen Ladeverhalten der Unternehmen aus und beeinflussen den Ausbau einer bedarfsgerechten öffentlichen Ladeinfrastruktur in der Schweiz. Während das Depotladen in allen Szenarien dominiert, wird im Szenario «Flächendeckend» ein dichteres öffentliches Ladenetz erforderlich. Die Nord-Süd-Achse weist dabei den grössten Bedarf auf. Im Rahmen eines Fallbeispiels wurden für den Autobahnabschnitt Airolo–Chiasso potenzielle Standorte für die Errichtung von Schnellladehubs geprüft und das realisierbare Potenzial ermittelt. In einem zweiten Fallbeispiel wurde die vollständige Elektrifizierung eines regionalen Verteilzentrums bis 2030 untersucht.

Die Studie kommt zum Schluss, dass die Elektrifizierung des Güterverkehrs in der Schweiz technisch machbar ist und massgeblich zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beiträgt, aber klare regulatorische Rahmenbedingungen und Investitionssicherheit voraussetzt. Das Projekt liefert dafür konkrete Entscheidungsgrundlagen, Handlungsempfehlungen und ein praxistaugliches Modellierungstool zur Modellierung der erforderlichen Ladeinfrastruktur und Netzanschlussleistung bei der Elektrifizierung von Depots.



## Résumé

De nombreuses entreprises suisses sont confrontées au défi de l'électrification de leurs flottes. Les possibilités techniques évoluent rapidement, mais il manque souvent des bases décisionnelles claires et pratiques. Les différences en matière d'autonomie, de temps de recharge, de types de véhicules et de coûts rendent difficile l'élaboration d'une stratégie uniforme. Parallèlement, le développement d'une infrastructure publique de recharge – en particulier pour les véhicules utilitaires lourds – reste encore insuffisamment coordonné. Dans ce contexte, le projet de recherche Swiss e-Cargo vise à soutenir de manière ciblée les entreprises suisses dans l'électrification de leurs flottes, à élaborer des bases décisionnelles solides et à accompagner les autorités dans la mise en place d'une infrastructure de recharge publique adaptée aux besoins.

Le projet a été réalisé par INFRAS, l'Institut Paul Scherrer (PSI), La Poste Suisse et Designwerk, en collaboration avec de nombreux partenaires issus de la pratique – sous la direction de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) et avec l'accompagnement technique d'un groupe de suivi composé de divers acteurs. Dans une approche en plusieurs étapes, les besoins liés à l'électrification ont d'abord été identifiés lors de divers ateliers réunissant des entreprises issues des secteurs de la logistique, de l'alimentation, du bâtiment et de la construction de véhicules. À partir de ces échanges, les obstacles à l'électrification du transport de marchandises ont été définis, ainsi que des cas d'application représentatifs pour l'utilisation de poids lourds électriques à batterie (e-PL). Pour ces cas d'application, des analyses de données approfondies ont été menées et différents paramètres ont été étudiés. En outre, un outil Excel a été développé afin de quantifier les coûts totaux de possession (Total Cost of Ownership, TCO) et les émissions de gaz à effet de serre, sur la base d'analyses de cycle de vie, pour différents scénarios d'utilisation.

Sur cette base, un scénario national de flotte pour la montée en puissance du marché, ainsi que le comportement de recharge des e-PL jusqu'en 2060, ont été modélisés. Trois scénarios nationaux de recharge ont ensuite été élaborés pour estimer la demande régionale en infrastructures : « Autonome », « De base » et « Couverture complète ». Ces scénarios reposent sur différents comportements de recharge des entreprises et influencent le développement d'une infrastructure publique de recharge adaptée aux besoins en Suisse. Alors que la recharge en dépôt domine dans tous les scénarios, le scénario « Couverture complète » nécessite un réseau public de recharge plus dense, la corridor nord-sud présentant la demande la plus importante. Dans le cadre d'une étude de cas, des sites potentiels pour l'installation de hubs de recharge rapide ont été analysés le long du tronçon autoroutier Airolo–Chiasso, et le potentiel réalisable a été évalué. Une seconde étude de cas a examiné l'électrification complète d'un centre de distribution régional à l'horizon 2030.

L'étude conclut que l'électrification du transport de marchandises en Suisse est techniquement réalisable et contribue de manière significative à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Sa réussite nécessite un cadre réglementaire clair et une sécurité des investissements. Le projet fournit à cet effet des bases décisionnelles concrètes, des recommandations d'action et un outil de modélisation pratique.



## Summary

Many Swiss transport companies face the challenge of electrifying their fleets. The technical possibilities are evolving rapidly, but clear and practical foundations for decision-making are often lacking. Differences in range, charging times, vehicle types, and costs make the development of a unified strategy difficult. At the same time, the expansion of public charging infrastructure – especially for heavy-duty vehicles – is still insufficiently coordinated.

In this context, the research project Swiss e-Cargo aims to provide targeted support for Swiss companies in the electrification of their fleets, establish basic principles for decision-making, and assist public authorities in developing an appropriately scaled public charging infrastructure.

The project was carried out by INFRAS, PSI, Swiss Post, and Designwerk in collaboration with numerous industry partners – under the leadership of the Swiss Federal Office of Energy (SFOE) and with technical guidance from a broad-based advisory group. In a multi-stage process, the requirements for electrification were first identified through various workshops with companies from the logistics, food, construction, and vehicle manufacturing sectors. From this work, barriers to the electrification of freight transport were identified, along with representative use cases for the deployment of battery-electric heavy-duty vehicles (e-HDV). Extensive data analysis was conducted for these use cases, examining various parameters. Additionally, an Excel tool was developed to quantify the Total Cost of Ownership (TCO) and greenhouse gas emissions (based on life cycle analyses) for different use cases.

Based on this analysis, a national fleet scenario was created for the market penetration and the charging behavior of e-HDVs through 2060. Three different national charging scenarios for regionalized charging demand were subsequently developed («Independent», «Basic», and «Comprehensive»). These scenarios assume different charging behaviors by companies and influence the scale of the public charging infrastructure in Switzerland required to meet commercial demand. While depot charging dominates in all scenarios, the «Comprehensive» scenario requires a denser public charging network. The North-South axis shows the greatest demand. As part of a case study, potential locations for fast-charging hubs along the Airolo – Chiasso motorway section were examined, and the feasible charging potential was determined. In a second case study, the complete electrification of a regional distribution center by 2030 was investigated.

The study concludes that electrifying freight transport in Switzerland is technically feasible and significantly contributes to reducing greenhouse gas emissions. However, fleet electrification requires clear regulatory framework and investment security. The project provides concrete decision-making principles, recommendations for action, and a practical modelling tool to support these efforts.



## Wichtigste Erkenntnisse

Das Forschungsprojekt liefert folgende zentrale Erkenntnisse für Schweizer Unternehmen, politische Entscheidungsträger sowie relevante Akteure der Branche:

**1. Die Elektrifizierung des Güterverkehrs ist technisch machbar und schreitet weiter voran.** Bis 2030 werden gemäss der in dieser Studie entwickelten Flottenszenarien je nach Grössenklasse zwischen 28% und 54% der Neuzulassungen von SNF elektrisch sein. Ab 2040 liegt der Anteil bei rund 80% über sämtliche Fahrzeuggrössen hinweg. Für die Entwicklung des Bestands bedeutet dies, dass im Jahr 2030 rund 13% der SNF elektrisch sein werden und im Jahr 2040 etwas mehr als 50%. Andere fossilfreie Antriebstechnologien werden lediglich eine Nischenrolle spielen. Der Energiebedarf der e-SNF in der Schweiz beträgt langfristig rund 3 TWh. Die in der Schweiz immatrikulierten e-SNF sind dabei für rund 78% dieses Energiebedarfs verantwortlich, die restlichen ca. 22% werden durch ausländische Fahrzeuge verursacht, die in der Schweiz verkehren.

**2. Die Elektrifizierung des Güterverkehrs ist jedoch noch von zahlreichen Hemmnissen geprägt.** Dazu zählen die hohen Anschaffungskosten für Fahrzeuge und die erforderlichen Investitionen in die private Ladeinfrastruktur, Unsicherheiten bezüglich der technologischen Weiterentwicklung, offene Fragen zur künftigen Ausgestaltung der LSVa und zur Einführung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge sowie die bislang noch begrenzte Verfügbarkeit öffentlicher Ladeinfrastruktur. Hinzu kommen Herausforderungen wie Netzanschluss, Nutzlastverlust oder verlängerte Stillstandzeiten der Fahrzeuge. In einzelnen Segmenten ist zudem die Fahrzeugverfügbarkeit noch beschränkt.

**3. Ein zentraler Hebel zur Beschleunigung der Elektrifizierung besteht darin, Planungs- und Investitionssicherheit für Unternehmen zu schaffen.** Viele Akteure zögern aktuell mit wichtigen Investitionsentscheidungen, etwa in Fahrzeuge oder Ladeinfrastruktur, aus Sorge vor unklaren zukünftigen Regulierungen. Klare, verlässliche Rahmenbedingungen und langfristig angekündigte politische Zielsetzungen können hier wesentlich zur Beschleunigung beitragen. Auch die gezielte finanzielle Unterstützung beim Aufbau privater bzw. halböffentlicher Ladeinfrastruktur ist von zentraler Bedeutung.

**4. Die Mehrheit der in der Schweiz zugelassenen e-SNF verfügt bereits heute über eine ausreichende Reichweite, um die durchschnittliche Tagesfahrleistung zu decken.** Der Grossteil der Schweizer SNF legt kürzere Tagesdistanzen von unter 200 km zurück, insbesondere in den niedrigeren Gewichtsklassen. Ein erheblicher Teil der Transportleistung im Bereich von 200-400 km wird von SNF der Gewichtsklassen 14-32 t erbracht. Gerade diese Fahrzeugkategorie sollte vorrangig elektrifiziert werden, da sich mit relativ wenigen Fahrzeugen ein hoher Anteil der gefahrenen Tonnenkilometer elektrifizieren liesse. Zudem gibt es einen kleinen, aber relevanten Anteil von Fahrzeugen, die täglich mehr als 400 km zurücklegen. Fahrzeuge dieser Kategorie eignen sich gut für die Elektrifizierung, sofern sie über die nötige Reichweite verfügen oder tagsüber (privat oder öffentlich) nachgeladen werden können.

**5. Die grossen Unternehmen in der Schweiz verfolgen eine depotzentrierte Elektrifizierungsstrategie – oft ergänzt durch «Lade-Communities».** Viele Unternehmen haben bereits klare Vorstellungen davon, wie sie ihre Flotten elektrifizieren wollen. Sie setzen bevorzugt auf den Ausbau der Ladeinfrastruktur am eigenen Standort und versuchen das öffentliche Laden zu minimieren. Weiterhin bilden Unternehmen sogenannte Ladegemeinschaften, in dem sie ihre private Ladeinfrastruktur gegenseitig nutzen. Kleine und mittlere Unternehmen spielen eine relevante Rolle bei der Dekarbonisierung. Bei vielen von ihnen ist jedoch unklar, ob eine Elektrifizierung des eigenen Depots überhaupt umsetzbar ist.

**6. Der Ladebedarf batterieelektrischer SNF liegt in der Schweiz bei rund 0.5 TWh im Jahr 2030 und bei 1.9 TWh im Jahr 2040.** Die in diesem Forschungsprojekt entwickelten Ladeszenarien «Selbständig», «Basis» und «Flächendeckend» konkretisieren eine Vielzahl möglicher künftiger Entwicklungen der Ladeinfrastruktur für e-SNF. Der Aufbau der Ladeinfrastruktur erfolgt schwerpunktmässig in den Depots, mit dem Grossteil der Ladepunkte für alle untersuchten Ladeszenarien (94–99%). Je nach Szenario deckt das Depotladen 70–90% des Ladebedarfs der inländischen Flotte ab. Trotz der relativ niedrigen Anzahl an öffentlichen Ladepunkten spielt das öffentliche Laden eine relevante Rolle, insbesondere für ausländische Transitfahrzeuge, die zu 90–100% öffentlich laden.



**7. Die öffentliche Schnellladeinfrastruktur für e-SNF wird durch mehrere kleine bis mittelgrosse Ladehubs entlang der Nationalstrassen geprägt sein.** Dies liegt vor allem an den begrenzten Platz- und Netzanschlussmöglichkeiten an potenziellen Standorten. Im Ladeszenario «Basis» ist der Transitverkehr für 70% des öffentlichen Ladebedarfs zuständig. Es sind im Jahr 2030 rund 216 öffentliche Ladepunkte entlang der Nationalstrassen nötig, 84% davon als HPC (400 kW) und 16% als MCS (1 MW), für eine totale installierte Ladeleistung von 107 MW. Eine erste Ausbaustufe sollte bis 2030 umgesetzt werden, prioritär entlang der wichtigsten Nord-Süd-Transitachse, wo der grösste öffentliche Ladebedarf zu erwarten ist.

**8. Batterieelektrische SNF weisen deutlich geringere Treibhausgasemissionen auf als Diesel-SNF.** Heute, wie auch in Zukunft, können e-SNF einen wichtigen Beitrag zum Erreichen der Klimaziele leisten. Dank einer Stromversorgung in der Schweiz, welche mit geringen Treibhausgasemissionen verbunden ist, sind die THG-Emissionen der e-SNF rund 60-70% tiefer als jene der Diesel-SNF – dies unter Berücksichtigung der Emissionen aus Herstellung, Betrieb und Entsorgung der Fahrzeuge. Da die CO<sub>2</sub>-arme Stromversorgung den wichtigsten Faktor in diesem Zusammenhang darstellt, muss die Elektrifizierung der SNF mit einem Ausbau der CO<sub>2</sub>-armen Stromversorgung einhergehen.

**9. Batterieelektrische SNF weisen heute oft noch (leicht) höhere Gesamtbetriebskosten («TCO») auf als Diesel-SNF – für bestimmte Anwendungen sind sie aber bereits wirtschaftlich.** In einigen Fällen sind die TCO von e-SNF heute schon tiefer als jene von Diesel-SNF, wie exemplarisch in diesem Bericht dargestellt für 34-40t Sattelzüge im Fernverkehr. Eine Schlüsselrolle spielen auch die Einsatzprofile der e-SNF: je höher die jährliche Fahrleistung, umso tiefer die entsprechenden TCO. Die oft höheren TCO der batterieelektrischen SNF sind vor allem den heute noch deutlich höheren Anschaffungskosten der e-SNF geschuldet. Dieser Kostennachteil wird teilweise von tieferen Betriebskosten (Schlüssel dazu: geringe Stromkosten) und der heutigen LSVA-Befreiung der e-SNF kompensiert. Entscheidend wird sein, ob die Gesamtkosten der Elektromobilität dank technologischer Fortschritte, Skaleneffekten und stabilen Strompreisen rasch genug sinken, um die Kostenparität für die meisten Fahrzeugkategorien – und damit die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Verbrennerfahrzeugen – zu erreichen.

**10. Die Elektrifizierung grosser, regionaler Verteilzentren ist bis 2030 grundsätzlich realisierbar, wobei der Ausbau der nötigen Netzkapazitäten einen kritischen Faktor darstellt.** Die aktuellen Tourdistanzen liegen überwiegend unterhalb der erwartbaren Reichweite der e-SNF. Dennoch ist eine gezielte Optimierung der Einsatzplanung auf eine e-SNF-Flotte entscheidend, um Spitzenleistungen beim Depotladen zu minimieren und das aus Unternehmensperspektive unvorteilhafte öffentliche Laden möglichst vollständig zu vermeiden. Eine frühzeitige Anpassung der Tourenplanung ist dabei eng mit der Planung einer optimalen Ladeinfrastruktur verknüpft. Weiter ermöglichen stationäre Batteriespeicher in Kombination mit Photovoltaik die grösste Wirkung zur Reduktion der Netzspitzen.



# Inhaltsverzeichnis

|   |           |
|---|-----------|
| Zusammenfassung.....  | 4         |
| Résumé.....   | 5         |
| Summary .....   | 6         |
| Wichtigste Erkenntnisse.....  | 7         |
| Inhaltsverzeichnis .....  | 9         |
| Abkürzungsverzeichnis .....   | 11        |
| <b>1 Einleitung .....</b>   | <b>12</b> |
| 1.1 Kontext und Ziel.....   | 12        |
| 1.2 Zielgruppen und Forschungsfragen .....  | 13        |
| 1.3 Politische und regulatorische Rahmenbedingungen .....   | 13        |
| <b>2 Vorgehen und Methode.....</b>  | <b>15</b> |
| 2.1 Methodisches Vorgehen in der Übersicht .....  | 15        |
| 2.2 Definition Systemgrenzen und Abgrenzung der Studie .....  | 16        |
| 2.3 Verwendete Datenquellen .....   | 16        |
| 2.4 Dialog mit der Branche und Vertiefungen in Fallstudien .....  | 17        |
| <b>3 Ergebnisse .....</b>   | <b>18</b> |
| 3.1 Erkenntnisse aus den Workshops und Hemmnisanalyse .....   | 18        |
| 3.1.1. Technischer Bereich .....  | 18        |
| 3.1.2. Ökonomischer Bereich .....   | 19        |
| 3.1.3. Regulatorischer Bereich .....  | 20        |
| 3.1.4. Sonstige Hemmnisse.....  | 21        |
| 3.1.5. Anforderungen der Branche .....  | 21        |
| 3.1.6. Zwischenfazit.....   | 22        |
| 3.2 Gesamtkosten und Treibhausgasemissionen .....   | 23        |
| 3.2.1. Ergebnisse für LKW, die im Jahr 2025 hergestellt, gekauft und in Betrieb gesetzt werden («heutige LKW»).....     | 26        |
| 3.2.2. Ergebnisse für LKW, die im Jahr 2030 hergestellt, gekauft und in Betrieb gesetzt werden («zukünftige LKW») ..... | 33        |
| 3.2.3. Zwischenfazit .....  | 35        |
| 3.3 Nationale Ladeszenarien für die e-SNF .....   | 36        |
| 3.3.1. Allgemeine Überlegungen zu den Neuzulassungsanteilen.....  | 36        |
| 3.3.2. Entwicklung Neuzulassungen, Bestand, Fahrleistung und Energiebedarf.....   | 36        |
| 3.3.3. Festlegung der Anwendungsfälle .....   | 39        |
| 3.3.4. Modellierung des Auslands- und Transitverkehrs .....   | 41        |
| 3.3.5. Ladeverhalten .....  | 43        |
| 3.3.6. Ladeszenarien .....  | 44        |



|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 3.4      | Schnellladenetz für e-SNF auf Nationalstrassen.....  | 48        |
| 3.4.1.   | Modellierung der regionalen Verteilung des öffentlichen Ladebedarfs auf Nationalstrassen ..... | 48        |
| 3.4.2.   | Regionale Verteilung des öffentlichen Ladebedarfs: Ergebnisse.....                             | 49        |
| 3.4.3.   | Empfehlungen für ein Schweizer Schnellladenetz .....   | 52        |
| 3.4.4.   | Bewertungskriterien .....  | 52        |
| 3.5      | Case Study «Potenzielle Standorte für e-SNF-Ladehubs im Tessin» .....                          | 53        |
| 3.5.1.   | Untersuchtes Gebiet.....   | 53        |
| 3.5.2.   | Ergebnisse der Beurteilung potenzieller Standorte .....  | 54        |
| 3.5.3.   | Abgleich von Ladebedarf und bestehenden Standorten .....                                       | 55        |
| 3.5.4.   | Wichtigste Erkenntnisse .....  | 56        |
| 3.6      | Case Study «Elektrifizierung regionales Verteilzentrum» .....                                  | 58        |
| 3.6.1.   | Ausgangslage und Vorgehen .....  | 58        |
| 3.6.2.   | Einsatzdaten und Inputparameter .....  | 59        |
| 3.6.3.   | Berücksichtigte Use Cases.....   | 60        |
| 3.6.4.   | Ergebnisse .....   | 61        |
| 3.6.5.   | Stromverbrauch im Vergleich .....  | 65        |
| 3.6.6.   | Schlussfolgerungen aus der Fallstudie Lidl.....  | 65        |
| <b>4</b> | <b>Schlussfolgerungen und Ausblick .....</b>   | <b>66</b> |
| <b>5</b> | <b>Literaturverzeichnis .....</b>  | <b>68</b> |
| <b>6</b> | <b>Anhang .....</b>  | <b>71</b> |
| 6.1      | Schnellladenetz e-SNF Nationalstrasse.....   | 71        |
| 6.1.1.   | Ergebnisse Szenarien 2035 .....  | 71        |
| 6.1.2.   | Ergebnisse Szenarien 2040 .....  | 72        |
| 6.1.3.   | Ergebnisse Szenarien 2050 .....  | 74        |
| 6.2      | Case Study «Elektrifizierung regionales Verteilzentrum» .....                                  | 76        |
| 6.2.1.   | Berücksichtigte Use Cases.....   | 76        |
| 6.2.2.   | Exemplarischer Strombezug und -erzeugung für Case 14 .....                                     | 77        |
| 6.2.3.   | Ergebnisse .....   | 78        |
| 6.3      | Berücksichtigung der LSVA in den TCO-Berechnungen .....  | 81        |
| 6.4      | Berücksichtigung der Kosten der Depotladeinfrastruktur in den TCO-Berechnungen.....            | 81        |



## Abkürzungsverzeichnis

|       |  |
|-------|--|
| ASTRA | Bundesamt für Strassen   |
| BFE   | Bundesamt für Energie  |
| BESS  | Battery Energy Storage System (zur Speicherung elektrischer Energie)                   |
| BEV   | Battery Electric Vehicle   |
| e-SNF | Batterieelektrische schwere Nutzfahrzeuge  |
| FCEV  | Fuel Cell Electric Vehicle   |
| HBEFA | Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs  |
| HPC   | High Power Charging (Schnellladen mit hoher Leistung bis 400 kW)                       |
| IVZ   | Informationssystem Verkehrszulassung des Bundes (IVZ-Register)                         |
| KMU   | Kleine und mittlere Unternehmen  |
| KW    | Kalenderwoche  |
| kW    | Kilowatt (Einheit für Leistung)  |
| kWh   | Kilowattstunde (Einheit für elektrische Energie)                                       |
| LCA   | Life Cycle Assessment  |
| LNF   | Leichte Nutzfahrzeuge  |
| LSVA  | Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe  |
| LKW   | Lastkraftwagen   |
| LZ    | Lastzug  |
| MW    | Megawatt (1 MW = 1'000 kW)   |
| MCS   | Megawatt Charging System für e-SNF mit sehr hoher Leistung bis zu 3.75 MW              |
| PV    | Photovoltaik   |
| SNF   | Schwere Nutzfahrzeuge  |
| SZ    | Sattelzug  |
| TCO   | Total Cost of Ownership (entspricht den Kosten über die gesamte Betriebsdauer der LKW) |
| THG   | Treibhausgas   |
| zGG   | zulässiges Gesamtgewicht   |



# 1 Einleitung

## 1.1 Kontext und Ziel

Der Fokus der Elektrifizierung lag in den letzten Jahren stark auf dem Personenverkehr. Nun steht auch der Güterverkehr vor einer vergleichbaren Transformation. Der Strassengüterverkehr stellt jedoch deutlich komplexere Herausforderungen mit einer Vielzahl von Fahrzeugtypen und unterschiedlichen Einsatzprofilen. Kosten, Zuverlässigkeit und Zeitdruck sind im Logistikbereich von zentraler Bedeutung – deutlich stärker als im Personenverkehr, wo Entscheidungen oft weniger rational getroffen werden. Darüber hinaus sind batterieelektrische Schwerlastfahrzeuge mit teilweise widersprüchlichen Anforderungen konfrontiert – etwa hinsichtlich Reichweite, maximaler Ladekapazität und zeitlicher Begrenzung der Ladezeiten. Hinzu kommen die hohen Investitionskosten für Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur sowie zusätzliche Kosten und Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Nutzung öffentlicher Ladeinfrastruktur. Diese Herausforderungen machen es besonders anspruchsvoll, eine geeignete Flottenzusammensetzung sowie eine optimale Ladestrategie zu definieren.

Die Elektromobilitätszenarien, die im Rahmen der Konzeption einer Abgabe auf Elektrofahrzeugen für diverse Bundesämter (INFRAS 2024) entwickelt wurden, stellen den aktuellen Wissensstand in Bezug auf potenzielle Dekarbonisierungsszenarien für die Schweizer Güterverkehrsflotte dar. Schweizer Unternehmen benötigen jedoch detailliertere und aktuellere Informationen, bevor sie Investitionen in die Elektrifizierung ihrer Flotten tätigen können. So sind beispielsweise Entscheidungen über die Fahrzeuggrösse, die Batteriegrösse und -chemie sowie die Ladestrategien wichtig für die Kosten- und Umweltleistung (Sacchi et al. 2021, Sacchi und Bauer 2021, INFRAS 2022, INFRAS 2023) sowie für die Auswirkungen auf die lokalen Stromnetze (Luh et al. 2023). Während die neue EU-Verordnung über die Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR) voraussichtlich dafür sorgen wird, dass die öffentliche Ladeinfrastruktur in Europa wächst, um mit der Nachfrage nach Ladeinfrastruktur für schwere Nutzfahrzeuge Schritt zu halten (Transport & Environment 2023), ist die Entwicklung einer öffentlich zugänglichen Ladeinfrastruktur für den Güterverkehr in der Schweiz noch nicht garantiert. Hierfür braucht die öffentliche Hand fundierte Grundlagen, um den bedarfsgerechten Ausbau eines öffentlichen Ladenetzes zu koordinieren. Einige Studien haben den Ladebedarf bereits untersucht, sowohl im Ausland (Fraunhofer ISI 2024) als auch auf Schweizer Ebene (BKW Smart Mobility 2023). Selbst wenn eine öffentliche Ladeinfrastruktur vorhanden ist, müssen Unternehmen Kompromisse zwischen Bequemlichkeit, Kosten und Zeitverfügbarkeit für das Laden während des Tages oder über Nacht bzw. für die Nutzung öffentlicher oder privater Ladeinfrastruktur eingehen (ICCT 2023a). Die Ausgestaltung der Ladeinfrastruktur ist auch für die Stabilität der lokalen Stromverteilungsnetze von grosser Bedeutung (Das et al. 2020, Ashfaq et al. 2021).

Unternehmen kennen ihre typischen Anwendungsfälle und damit verbundenen Anforderungen an die Fahrzeuge sehr genau. Oft fehlt ihnen jedoch das detaillierte Verständnis der Elektrifizierungstechnologien und ihrer möglichen zukünftigen Entwicklungen, um fundierte Entscheidungen treffen zu können. Es fehlen ihnen ausserdem die Ressourcen, die die Einarbeitung in das Thema benötigen. Trotz erster Fortschritte ist weiterhin unklar, wie und wo elektrische Lastwagen künftig geladen werden. Die Elektrifizierung von Betriebshöfen und Depots erfordert erhebliche Investitionen – eine Herausforderung insbesondere für mittlere und kleinere Unternehmen. Der Aufbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur setzt wiederum ein bedarfsgerechtes und rechtzeitig verfügbares Schnellladenetz voraus, insbesondere für den Transitverkehr. Dabei sind der Platzbedarf und der Netzanschluss zentrale Faktoren.

Ziel des vorliegenden Forschungsprojekts ist es, datenbasiert die spezifischen Anforderungen an elektrische schwere Nutzfahrzeuge (e-SNF) in der Schweiz zu analysieren und daraus Entscheidungsgrundlagen für die Flottenelektrifizierung, für eine bedarfsgerechte öffentliche Ladeinfrastruktur sowie geeignete politische und planerische Rahmenbedingungen abzuleiten. Die bereitgestellten Informationen sollen es Schweizer Unternehmen und öffentliche Behörde ermöglichen, fundierte und effiziente Elektrifizierungsstrategien zu entwickeln bzw. frühzeitig den Aufbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur zu koordinieren und damit einen relevanten Beitrag zur beschleunigten Dekarbonisierung des Güterverkehrs in der Schweiz zu leisten.



## 1.2 Zielgruppen und Forschungsfragen

Das Projekt liefert fundierte Grundlagen und relevante Ergebnisse, um den Umstieg auf elektrische Flotten zu erleichtern und den gezielten Ausbau einer öffentlichen Ladeinfrastruktur zu unterstützen. Die Zielgruppen des Forschungsprojekts sind somit Schweizer Unternehmen aus den Bereichen Logistik, Lebensmittel und Bau sowie Spediteure, Fahrzeughersteller, Energieversorger, Betreiber von Ladestationen und politische Entscheidungsträger.

Die folgenden Forschungsfragen stehen dabei im Fokus des Projekts:

- 1) Mit welchen Herausforderungen und spezifischen Anforderungen sind Schweizer Unternehmen konfrontiert, wenn sie ihre Nutzfahrzeugflotten elektrifizieren wollen?
- 2) Welche betrieblichen Anwendungsfälle sind für die Elektrifizierung besonders relevant?
- 3) Welche Strategien verfolgen Unternehmen zur Elektrifizierung ihrer Flotten und zum Aufbau der erforderlichen Ladeinfrastruktur?
- 4) Wie unterscheiden sich die Gesamtbetriebskosten (TCO) und Umweltauswirkungen verschiedener Antriebsoptionen?
- 5) Wie und wo werden e-SNF künftig laden? Welcher Bedarf besteht an öffentlicher Ladeinfrastruktur?
- 6) Welche besonderen Anforderungen stellt der Güterfernverkehr an Ladeleistung, Standortwahl und Verfügbarkeit von Ladeinfrastruktur?
- 7) Welche betrieblichen, technischen und netzseitigen Auswirkungen hat die vollständige Elektrifizierung eines regionalen Verteilzentrums?

## 1.3 Politische und regulatorische Rahmenbedingungen

Die Elektrifizierung der schweren Nutzfahrzeuge (über 3.5 Tonnen) schreitet in der Schweiz voran. Mitte 2025 betrug der Anteil batterieelektrischer Antriebe (BEV) bei den Neuzulassungen in der Schweiz 16.3%, was einem Anstieg von 5 Prozentpunkten gegenüber 2024 entspricht (ASTRA 2025). Der Markthochlauf hat somit begonnen, befindet sich jedoch noch in einer frühen Phase. Derzeit sind rein elektrisch angetriebene SNF von der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) befreit, was ihnen deutlich niedrigere Betriebskosten ermöglicht. Die LSVA gilt für schwere Güterfahrzeuge von mehr als 3.5 Tonnen zulässiges Gesamtgewicht (zGG), sowohl für inländische als auch für ausländische Fahrzeuge für alle gefahrenen Kilometer in der Schweiz. Seit 2017 beträgt der Tarif zwischen 2.28 und 3.10 Rappen pro Tonnenkilometer. Die Einnahmen werden zu einem Drittel an die Kantone und zu zwei Dritteln an den Bund verteilt. Im Jahr 2022 beliefen sich die Einnahmen auf rund 1.7 Milliarden CHF (BAV 2024). Die LSVA-Befreiung wirkt sich aktuell in der Schweiz für die Elektromobilität sehr positiv aus, insbesondere bei Fahrzeugen mit hohen Fahrleistungen. Ab 2029 soll gemäss Botschaft des Bundesrates auch für elektrisch angetriebene SNF die LSVA erhoben werden – zunächst mit einem Rabatt, der bis 2035 schrittweise reduziert werden soll. Diese Massnahme stellt sicher, dass der Schwerverkehr weiterhin seine Infrastrukturkosten und externen Kosten trägt und die Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene unterstützt wird. Die Unternehmen sollen zudem eine gewisse Planungssicherheit erhalten. Gleichzeitig beeinflusst sie jedoch die Betriebskosten und darüber hinaus die Gesamtkosten von e-SNF deutlich. Abhängig von der weiteren Technologie- und Kostenentwicklung wird der Markthochlauf dadurch beeinflusst.

Der Bund prüft zudem die Einführung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge ab ca. 2030 zur Kompensation der wegfallenden Mineralölsteuereinnahmen. Die Vernehmlassung dazu läuft derzeit. Mit der Einführung dieser neuen Abgabe würden die Betriebskosten von Elektrofahrzeugen steigen, was sich zusätzlich auf die Marktakzeptanz auswirken dürfte. Damit entsteht ein Zielkonflikt zwischen der Förderung der Elektromobilität und der Sicherung staatlicher Einnahmen. Entscheidend wird sein, ob die Gesamtkosten der Elektromobilität dank technologischer Fortschritte und Skaleneffekten rasch genug sinken, um den Wegfall staatlicher Unterstützung auszugleichen.



Eine zentrale Rolle bei der Marktdurchdringung von e-SNF spielen die CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften im Rahmen des revidierten CO<sub>2</sub>-Gesetzes. Die neuen Zielwerte für schwere Nutzfahrzeuge, in Anlehnung an den EU-Beschluss, sehen Reduktionen von -45% bis 2030, -65% bis 2035 und -90% bis 2040 vor. Während das Produktsortiment an e-SNF stetig ausgebaut wird, werden ab 2029 Euro 7-Regulierungen verpflichtend. Beides wird dazu beitragen, dass eine Defossilisierung stattfinden kann.

Die EU-Verordnung über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe (AFIR, EU 2023) soll eine einheitliche Entwicklung der Ladeinfrastruktur in der EU fördern sowie Interoperabilität und Benutzerfreundlichkeit zwischen den Ländern schaffen. Die Verordnung legt folgende Ziele für die öffentlich zugängliche Ladeinfrastruktur des Schwerverkehrs fest (Art. 4):

- Bis Ende 2025 haben mind. 15% der Länge des TEN-V-Strassennetzes Ladestandorte, mit mind. 1'400 kW, wovon jeder mind. einem Ladepunkt von mind. 350 kW hat.
- Bis Ende 2027 sind es mind. 50% der Länge des TEN-V-Strassennetzes, mit mind. 2'800 kW pro Ladestandort entlang des TEN-V-Kernstrassennetzes und mind. 1'400 kW entlang des TEN-V-Gesamtstrassennetzes.
- Bis 2030 gibt es entlang des TEN-V-Kernstrassennetzes Ladestandorte in einer Entfernung von höchstens 60 km voneinander (100 km für TEN-V-Gesamtstrassennetz). Jeder Standort hat eine Ladeleistung von mind. 3'600 kW (1'500 kW für TEN-V-Gesamtstrassennetz) und mind. zwei Ladepunkte mit mind. 350 kW.
- Weitere Ziele für Ladepunkte auf Parkplätzen und an städtischen Knoten.

Weitere relevante Entwicklungen auf EU-Ebene betreffen die Einführung des EU-Emissionshandelsystems II (EU ETS II) ab dem 1. Januar 2027. Es dient als zentrales Steuerungsinstrument für die Emissionen u.a. aus dem Gebäude- und Strassenverkehrssektor. ETS II sieht eine feste CO<sub>2</sub>-Obergrenze vor, bis 2030 sollen die THG-Emissionen in den betroffenen Sektoren um -42% gegenüber 2005 sinken. Inwiefern die Schweiz – analog zum EU ETS 1 – ebenfalls ein EHS mit Einbezug des Strassenverkehrs einführt, bleibt abzuwarten.

In den nächsten fünf Jahren werden entscheidende Weichen gestellt: Unternehmen müssen sich festlegen, ob sie primär auf private oder öffentliche Ladeinfrastruktur setzen – diese Entscheidungen prägen den künftigen Ausbau der öffentlichen Ladeinfrastruktur massgeblich. Das ASTRA plant Ende 2025 einen Projektauftrag zum Ausbau von Schnellladehubs für elektrisch betriebene schwere Nutzfahrzeuge (e-SNF) entlang der Nationalstrassen in der Schweiz. Dadurch wird sichergestellt, dass ein bedarfsgerechtes Schnellladernetz entlang der Hauptverkehrsachsen rechtzeitig und koordiniert entsteht. Die kommenden Jahre sind ebenfalls entscheidend, um die richtigen Rahmenbedingungen für den geplanten Markthochlauf zu schaffen und wirksam zu unterstützen. Das BFE und das ASTRA haben in diesem Sinne die Roadmap Elektromobilität bis 2030 verlängert und auf den Güterverkehr ausgeweitet.

Auf Bundesebene sind unter anderem im Rahmen des Klimaschutzgesetzes (KIG) Finanzhilfen für die Errichtung von nicht- oder halböffentlicher AC- und/oder DC-Ladeinfrastruktur in KMU des Strassengüterverkehrssektors (Transportunternehmen) und der Transportlogistik (z.B. Logistikzentren) geplant. Dies unterstützt den Aufbau der Ladeinfrastruktur. Die Beiträge pro Ladepunkt sind abhängig von der Ladeleistung und decken maximal 40% der effektiven, anrechenbaren Kosten. Zusätzlich sind auch Unterstützungsbeiträge für die Planung der Ladeinfrastruktur sowie für besonders innovative Lösungen vorgesehen.

Hinzu kommen das Kompensationsprogramm für e-SNF der EnAW, einzelne kantonale Förderprogramme und steuerliche Anreize sowie teilweise reduzierte Motorfahrzeugsteuern.



## 2 Vorgehen und Methode

### 2.1 Methodisches Vorgehen in der Übersicht

Das Forschungsprojekt hat sich über drei Phasen entwickelt (vgl. Abbildung 1). In der **ersten Phase** wurden die Grundlagen analysiert. Hierfür wurden verschiedene Datenquellen zum Schwerverkehr auf Schweizer Strassen ausgewertet. Ergänzend wurden vorhandene Studien gesichtet. Die zu berücksichtigenden Marktsegmente und Anwendungsfälle mit unterschiedlichen Anforderungen an die Elektrifizierung identifiziert. Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden mehrere Workshops mit verschiedenen Vertiefungen durchgeführt. Stakeholder aus diversen Bereichen waren involviert – u.a. Logistiker, der Nahrungsmittelhandel, Baubranche und Hersteller – und deren spezifischen Anforderungen an der Elektrifizierung wurden vertieft diskutiert.

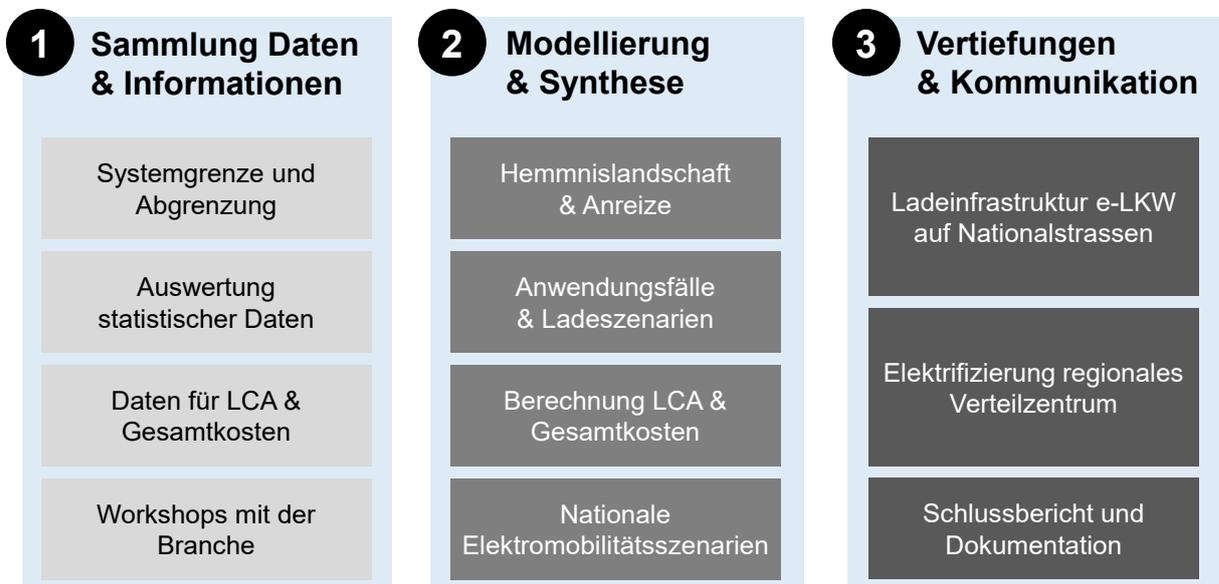


Abbildung 1: Übersicht der Phasen des Forschungsprojekts.

In der **zweiten Phase** wurden aus den gesammelten Informationen und Erkenntnissen aus den Workshops Hemmnisse und mögliche Anreize/Massnahmen strukturiert bzw. zusammengefasst. Die Auswertungen der Daten und die Ergebnisse der Workshops wurden genutzt, um die identifizierten Anwendungsfälle zu schärfen und Ladeszenarien zu entwickeln. Dazu gehört die Untersuchung der Ladeanteile zwischen privater und öffentlicher Ladeinfrastruktur. Die Gesamtbetriebskosten sowie die Umweltwirkungen (fokussierend auf Treibhausgasemissionen) über den gesamten Lebenszyklus wurden für jeden Anwendungsfall quantifiziert. Hierzu wurde ein Excel-Tool entwickelt, das die Kosten- und Lebenszyklusanalyse (LCA) fallbezogen modellieren kann, indem verschiedene Parameter – beispielsweise die Gesamtfahrleistung der Fahrzeuge, die Art des genutzten Stroms der batterieelektrischen Fahrzeuge, oder die Strom- bzw. Dieselposten – fallspezifisch definiert werden. Abschliessend wurden die Ergebnisse dann auf die nationale Ebene verallgemeinert und nationale Ladeszenarien für e-SNF für die Schweiz entwickelt.

In der **dritten Phase** wurde der regionalisierte Ladebedarf auf Nationalstrassen modelliert. Darüber hinaus wurde im Rahmen eines Fallbeispiels der Aufbau von Schnellladehubs entlang des Autobahnabschnitts Airolo–Chiasso konkret untersucht. Ein weiterer Vertiefungsschwerpunkt betraf die Elektrifizierung von regionalen Logistikzentren. Dies wurde anhand eines Lidl-Standorts in der Schweiz detailliert analysiert und modelliert.



## 2.2 Definition Systemgrenzen und Abgrenzung der Studie

Das Forschungsprojekt umfasst alle Kategorien von schweren Nutzfahrzeugen (SNF) ab 3.5 Tonnen. Es wird unterschieden zwischen Lastwagen und Last- und Sattelzügen in verschiedenen Gewichtsklassen gemäss den Kategorien des Handbuchs der Emissionsfaktoren für den Strassenverkehr (HBEFA). Berücksichtigt wird die in der Schweiz zurückgelegte Fahrleistung – inklusive Auslandfahrten sowie Transitverkehr von ausländischen Fahrzeugen. Für die entwickelten Szenarien wird ein Zeithorizont bis 2060 betrachtet. Der Fokus der Analyse liegt auf batterieelektrischen schweren Nutzfahrzeugen (e-SNF). SNF mit Brennstoffzellen sind ebenfalls elektrisch angetrieben. Sie werden jedoch zusammen mit weiteren alternativen Antriebstechnologien wie Biotreibstoffen, synthetischen Treibstoffen, CNG/Biogas und Wasserstoffverbrennung nur am Rande berücksichtigt. Die Erarbeitung der nationalen Szenarien war Teil der Entwicklungsarbeiten für das HBEFA 5.1, das unter anderem vom BAFU und vom BFE gefördert wird. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse werden in die neuen Energieperspektiven des Bundes einfließen, bei denen INFRAS den Verkehrsbereich bearbeitet.

Für dieses Forschungsprojekt werden für die auf Schweizer Boden erbrachte Fahrleistung (Territorialitätsprinzip) drei Typen von Flotten definiert und modelliert, die sehr unterschiedliche Ladestrategien und Anforderungen an die öffentliche Ladeinfrastruktur aufweisen. Diese unterscheiden sich leicht von den klassischen Definitionen von Binnen-, Import-/Export- sowie Transitverkehr. Flottendefinitionen:

- Flotte «Inland»: Fahrleistung auf Schweizer Boden von SNF, die in der Schweiz zugelassen sind. Fahrleistungen dieser Fahrzeuge im Ausland sind nicht berücksichtigt.
- Flotte «Ausland»: Fahrleistung auf Schweizer Boden von SNF, die im Ausland zugelassen sind und sowohl Ein- als auch Ausreise über denselben Grenzübergang in der Schweiz abwickeln. Fahrleistungen dieser Fahrzeuge im Ausland sind nicht berücksichtigt.
- Flotte «Transit»: Fahrleistung auf Schweizer Boden von SNF, die im Ausland zugelassen sind und Ein- und Ausreise über unterschiedliche Grenzübergänge in der Schweiz abwickeln. Fahrleistungen dieser Fahrzeuge im Ausland sind nicht berücksichtigt.

Bei der Berechnung des Ladebedarfs wird davon ausgegangen, dass die resultierende Ladebedarf für alle Fahrleistungen auf Schweizer Boden auch in der Schweiz geladen wird, d. h. es findet kein «Ladetourismus» statt.

## 2.3 Verwendete Datenquellen

Die im Rahmen dieses Projekts genutzten Datenquellen umfassen die Schweizer Gütertransportstatistik (GTS) als Synthese aus der Gütertransporterhebung (GTE) und die Erhebung zum grenzquerenden Güterverkehr auf der Strasse (GQGV), das nationale Informationssystem Verkehrszulassung des ASTRA (IVZ) sowie Daten (BAZG 2023) aus der Erhebung der LSVA bzw. EETS (European Electronic Toll Service). Diese Datensätze wurden analysiert, um eine präzise Beschreibung der Nutzung von Güterfahrzeugen in der Schweiz zu ermöglichen. Der Methodenbericht zum Ex-Post-Analysen des Energieverbrauchs für den Verkehrssektor (BFE 2024a) dient als zentrale Referenz für die verwendete Methodik und Datengrundlage bei der Modellierung der nationalen und der ausländischen Fahrzeugflotte.

Das Handbuch der Emissionsfaktoren für den Strassenverkehr (HBEFA) bietet die detailliertesten verfügbaren Informationen über die Schweizer Strassenverkehrsflotte und deren Energieverbrauch. Es enthält detaillierte Flotten- und Aktivitätsdaten für 20 verschiedene Grössenklassen von nationalen und ausländischen Güterfahrzeugen und dient als Grundlage für mehrere offizielle Schweizer Bilanzierungsberichte, wie z.B. den nationalen Energieverbrauch (BFE 2024b). INFRAS hat HBEFA auch für die bisherigen Schweizer Energieperspektiven 2050+ (Prognos et al. 2021) verwendet. In diesem Projekt werden die Daten des HBEFA zum spezifischen Energieverbrauch von Nutzfahrzeugen auf verschiedenen Strassenkategorien sowie für die Hochrechnung der Ergebnisse auf die nationale Ebene verwendet.



Die Verkehrsperspektiven 2050 des Bundes (ARE 2022) sind weitere Relevante Quelle für die Szenarien, die im HBEFA berücksichtigt werden. Das Paul Scherrer Institut (PSI) hat sein Fachwissen in der Energiesystemanalyse, in Lebenszyklusanalysen sowie zu Kostenrechnungen für Gütertransportfahrzeuge eingebracht – basierend auf früheren und laufenden Forschungsarbeiten (Sacchi et al. 2021; Sacchi und Bauer 2021).

## 2.4 Dialog mit der Branche und Vertiefungen in Fallstudien

Eine weitere wichtige Datenquelle ist die im Rahmen von Workshops einbezogene Expertengruppe, bestehend aus zentralen Stakeholdern der Schweizer Branche sowie die breite Begleitgruppe des Forschungsprojekts mit Vertreterinnen und Vertretern mehrerer Bundesämter sowie relevanter Branchenorganisationen. In der ersten Phase fanden vier Workshops statt. Diese hatten zum Ziel, die Perspektive verschiedener Stakeholder einzubeziehen bzw. noch tieferen Einblick in die Bedürfnisse der grössten Unternehmen der Schweiz zu erhalten. An den Workshops nahmen Stakeholder verschiedener, laut Datenanalyse relevanter Branchen teil (siehe Tabelle 1). Nach Möglichkeit wurden die Teilnehmenden nach Branchen geclustert zum Workshop eingeladen. Somit konnte in den Workshops auf die jeweiligen für die Branchen relevanten Herausforderungen explizit eingegangen werden. Der Ablauf der Workshops war jeweils ähnlich, jedoch auf den jeweiligen Fokus angepasst. Nach einer kurzen Einführung und Vorstellung des Projekts bestand der erste Block aus einem inhaltlichen Austausch. Hierbei wurden Ergebnisse der Daten- und Literaturanalyse zu Neuzulassungsanteilen/Szenarien, Tagesfahrleistungen und Flottendaten, Lademöglichkeiten, Kosten und möglichen Modellparametern diskutiert. Der zweite Block konzentrierte sich auf Hemmnisse und Anreizsysteme. Den Teilnehmenden wurden nach dem Workshop die Unterlagen zur Verfügung gestellt. Zur Kalibrierung der Modellierungen wurde den Teilnehmenden anschliessend ein Fragebogen übermittelt. Dieser erfragte detaillierte Angaben zur Zusammensetzung der Flotte, Ladeinfrastruktur, Elektrizitätsversorgung und betrieblichen Parametern.

Tabelle 1: Workshopteilnehmende in der Übersicht.

| <b>Branche</b>           | <b>Teilnehmende</b>  |
|--------------------------|--|
| Logistiker               | Planzer, Schöni, Bertschi, Camion Transport, DPD, Dreier, Die Schweizerische Post, Stuber, Traveco Transport |
| Lebensmitteleinzelhandel | Coop, Lidl   |
| Baubranche               | Eberhard, Marti  |
| Fahrzeughersteller       | DAF, Daimler, Designwerk, Renault, Scania, Volvo   |
| Andere                   | Agrola, AET, Kanton Tessin, ASTRA (Filiale Bellinzona), Stadt Zürich (TAZ)                                   |

Zusätzlich zu den Workshops wurden zwei vertiefende Fallstudien («Case Studies») durchgeführt. Die erste Case Study zur öffentlichen Ladeinfrastruktur fand im Kanton Tessin statt, mit AET, dem Kanton Tessin und ASTRA als Beteiligte. Ziel war eine detaillierte Untersuchung des Transitverkehrs und der Schnell-Ladehubs auf der Autobahn Airolo-Chiasso. Im ersten Block wurden die Ergebnisse der Datenanalyse zur Marktdurchdringung von e-SNF besprochen, insbesondere der Strombedarf basierend auf den nationalen Szenarien. Zudem wurden Erkenntnisse zu Lademöglichkeiten, benötigten Ladeleistungen, den Anforderungen an das Stromnetz sowie an potenzielle Standorte diskutiert. Im zweiten Block wurden im Plenum potenzielle Standorte hinsichtlich ihrer Eignung für Ladeinfrastruktur für e-SNF evaluiert. In der zweiten Fallstudie wurde die vollständige Elektrifizierung des regionalen Verteilzentrums von Lidl in Sévaz untersucht. Auf Basis realer Fahrzeug- und Routendaten wurden der Energiebedarf, die erforderlichen Ladeleistungen sowie die Integration der lokalen PV-Produktion und der Einsatz von Pufferspeichern modelliert. Daraus liess sich die Machbarkeit einer vollständigen Umstellung sowie der Bedarf an öffentlichen Ladepunkten und den jeweils notwendigen Netzanschlüssen für verschiedene Ladestrategien ableiten. Bei der Ausgestaltung von Elektromobilitätsstrategien sind insbesondere die Wechselwirkungen zwischen Tourenlängen, Batteriekapazität, Ladeleistung, Ladezeiten im Tagesverlauf und der Frage, ob und in welchem Umfang öffentliches Laden erforderlich ist, sorgfältig abzuwägen.



## 3 Ergebnisse

### 3.1 Erkenntnisse aus den Workshops und Hemmnisanalyse

Der folgende Abschnitt beleuchtet zentrale Erkenntnisse aus den Workshops, sowohl zu bestehenden Hemmnissen als auch zu weiteren Faktoren, die für das Verständnis des Business Case der Elektrifizierung und die Entscheidungsfindung von Flottenbetreibenden relevant sind. Zitate aus den Workshops sind im *Konjunktiv* geschrieben.

Die Elektrifizierung des Güterverkehrs kommt voran, doch verschiedene Hemmnisse bremsen den flächendeckenden Einsatz von e-SNF. In den Workshops mit den Akteuren aus diversen Branchen wurden diese Hürden identifiziert, diskutiert und in vier Kategorien strukturiert: technisch, ökonomisch, regulatorisch und sonstige (z.B. betrieblich oder strukturell). Die Hemmnisse beantworten im Kern die Frage, warum der nächste gekaufte LKW (noch) nicht elektrisch ist. Einige lassen sich in mehreren Kategorien zuordnen, wurden jedoch jeweils derjenigen zugewiesen, in der sie gemäss Diskussion am treffendsten beschrieben und als besonders dringlich eingestuft wurden. Darüber hinaus unterscheiden sich die Hemmnisse in ihrer Relevanz: Während einige einen grossen Teil der Branche und Fahrzeugflotte betreffen, sind andere spezifisch und nur für bestimmte Anwendungen relevant. Abbildung 2 gibt einen Überblick über die identifizierten Hemmnisse.

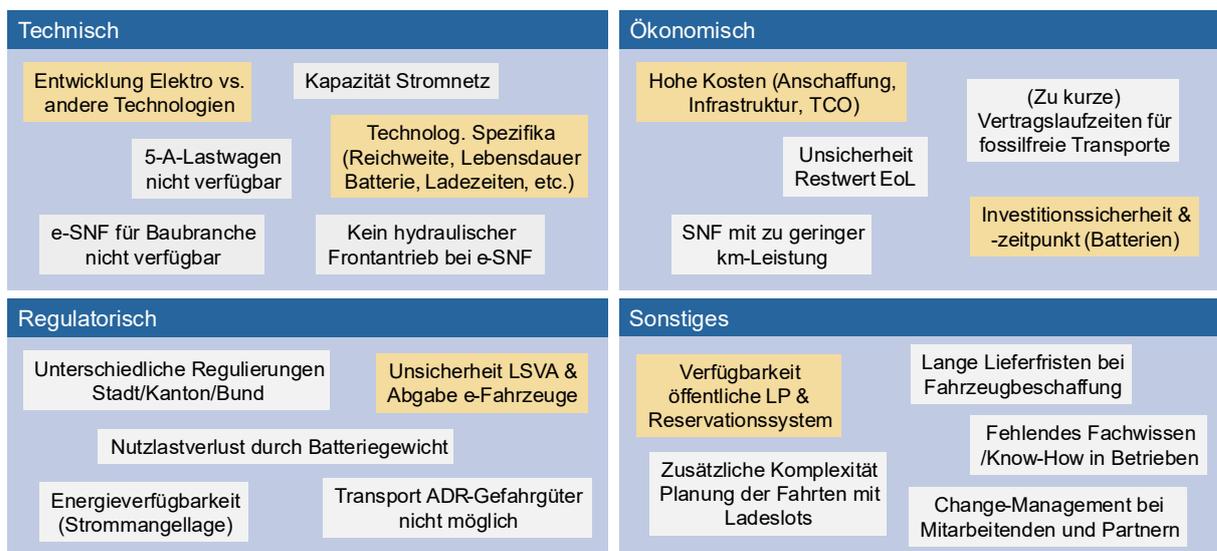


Abbildung 2: Hemmnisse bei der Dekarbonisierung des schweren Güterverkehrs in der Schweiz. Gelb markiert sind jene Hemmnisse, die in der Diskussion als besonders relevant bzw. zentral eingestuft wurden.

#### 3.1.1. Technischer Bereich

Ein grosses Hemmnis ist die *Ungewissheit über die technologische Entwicklung*. Grundsätzlich sind sich die verschiedenen Akteure einig, dass e-SNF die dominante Technologie sein wird, die sich langfristig durchsetzt und von der Politik unterstützt wird. Allerdings sind *technologische Alternativen, wie die Verwendung von HVO und später von e-Fuels in Verbrennungsmotoren, noch nicht ausgeschlossen*. Auch Wasserstoff gilt weiterhin als mögliche Alternative zur Elektrifizierung. Sowohl Hersteller als auch Nutzer:innen sind sich teilweise unsicher, welche Technologie sich langfristig durchsetzen wird. Die meisten setzen auf Elektromobilität, einige möchten jedoch für einen potenziellen Hochlauf von Wasserstoff vorbereitet sein. Für Transporteure bedeutet das *eine erhebliche Unsicherheiten, sowohl hinsichtlich der Fahrzeuganschaffung selbst als auch beim Ausbau der eigenen Ladeinfrastruktur*, die grosse Investitionen erfordert, wie auch bei den Betriebskosten. Für Hersteller ist dies ebenso



herausfordernd, *da diese einen weltweiten Markt bedienen und somit Multitechnologie-Ansätze verfolgen müssen*. Weitere technische Hemmnisse umfassen *Bedenken bezüglich Reichweite, Ladezeit und Lebensdauer der Batterien*, welche die Flexibilität im Vergleich zu Diesel-Fahrzeugen verringern.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die *Verfügbarkeit von Stromnetzen mit ausreichend hoher Kapazität*. Oft müssten Transporteure einen Zugang zum Stromnetz mit entsprechender Leistung nachrüsten, was mit hohen Kosten und langen Wartezeiten für den Ausbau verbunden ist.

Auch bei den Fahrzeugen selbst gibt es technische Herausforderungen: Zum Beispiel *sind noch keine e-SNF mit hydraulischem Frontantrieb verfügbar*. Es gibt auch noch keine 5-Achser-LKW aufgrund des fehlenden Platzes unter dem Fahrzeug für Batteriekomponenten. In der Baubranche sind e-SNF wegen verschiedener baulicher Anforderungen, insbesondere des Abstands zwischen Boden und Fahrzeug, nur eingeschränkt einsetzbar. Kühlaggregate bei Lebensmittellastwagen laufen heute überwiegend elektrisch über ein separates Batteriesystem, unabhängig vom Antrieb des Fahrzeugs. Im Stand und beim Entladen wird häufig per Kabel/Steckdose Strom bezogen, um die Kühlung aufrechtzuerhalten. Für die Elektrifizierung des Antriebs ist das also meist *kein kritischer Hemmfaktor*, weil der Energiebedarf der Kühlaggregate vergleichsweise gering ist und unabhängig abgesichert werden kann.

Die Workshop-Teilnehmenden zeigten sich jedoch insgesamt zuversichtlich, dass die wichtigsten *technischen Einschränkungen in den nächsten 5 bis 10 Jahren gelöst werden können und die meisten Hemmnisse mittelfristig überwunden werden können*. Meistens sind bestimmte Spezialfahrzeuge derzeit noch nicht verfügbar, da deren Markt kleiner ist und die Hersteller ihre begrenzten Entwicklungskapazitäten auf die am weitesten verbreiteten Fahrzeugtypen konzentrieren. Die gängigsten Fahrzeugkategorien – die auch den grössten Anteil am Gesamtmarkt und den Tonnenkilometern ausmachen – sind von vielen dieser Einschränkungen nicht betroffen. Für sie sind bereits heute Fahrzeuge am Markt verfügbar, die die Anforderungen der meisten Anwendungen erfüllen. Das Hauptproblem *liegt vielmehr in den langen Lieferzeiten*, da die Nachfrage aktuell die Produktionskapazitäten deutlich übersteigt – insbesondere im Segment der dreiachsigen LKW und Sattelzügen, wo die wirtschaftlichen Vorteile der Elektrifizierung am grössten sind.

### 3.1.2. Ökonomischer Bereich

e-SNF weisen zwar höhere Anschaffungskosten auf, ihr grösster Vorteil liegt jedoch in den deutlich geringeren Betriebskosten, insbesondere wenn die elektrische Energie kostengünstig ist. Dieser Kostenvorteil wird aktuell durch die Befreiung von der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe (LSVA) zusätzlich verstärkt. Besonders bei Fahrzeugen mit hoher jährlicher Laufleistung wirkt sich dies stark aus. Sie sind daher wirtschaftlich gesehen am besten für eine frühzeitige Elektrifizierung geeignet. Für Fahrzeuge, die wenig fahren – darunter auch Baufahrzeuge – spielt die LSVA-Befreiung eine untergeordnete Rolle. In den vergangenen Jahren waren insbesondere Nutzfahrzeuge unter 7.5 Tonnen die ersten, die in grösserem Umfang elektrifiziert wurden. Dies vor allem, weil in diesem Segment frühzeitig Serienfahrzeuge verfügbar waren. Mit der zunehmenden Verfügbarkeit grösserer Fahrzeuge verlagert sich die Nachfrage jedoch deutlich: Heute sind insbesondere dreiachsige LKW und Sattelzüge stark gefragt, da sie in der Regel eine hohe jährliche Fahrleistung aufweisen und somit das grösste wirtschaftliche Einsparpotenzial durch Elektrifizierung bieten. Der Dreiachser hat zudem weitere Gründe: *Der e-LKW ist schwerer. Bei Einsätzen, bei denen der Diesel-Zweiachser heute an der Gewichtslimite betrieben wird, musste er zwangsläufig durch einen Dreiachser ersetzt werden. Zudem verursachen Dreiachser höhere LSVA-Kosten als Zweiachser. Das ist auch ein Grund, weshalb sie zuerst ersetzt werden.*

Neben dieser wirken gemäss den Workshopteilnehmenden weitere Kostenkomponenten hemmend: *Zum einen sind die Anschaffungskosten mehr als doppelt so hoch im Vergleich zum Diesel-LKW. Diese variieren je nach Hersteller und Modell für e-SNF aktuell rund dem 2.2-fachen im Vergleich zu Diesel-LKW. Bei kleineren Fahrzeugen sind die Unterschiede nicht so gross (1.5- bis 2-fach, je nach Batteriekapazität). Bei leichten Nutzfahrzeugen sind die Unterschiede am geringsten; hier kosten Elektrofahrzeuge rund das 1.2-fache von Dieselfahrzeugen.* Insgesamt besteht eine hohe Unsicherheit darüber, wann der richtige Zeitpunkt für Investitionen ist – insbesondere, da sich Batterietechnologien schnell weiterentwickeln. Zum anderen geht die Anschaffung von e-SNF, insbesondere wenn mehrere Fahrzeuge gekauft werden, oftmals mit dem Bau einer eigenen Ladeinfrastruktur einher. Die Initialkosten



hierfür sind hoch und umfassen neben den Ladestationen selbst den Anschluss ans Stromnetz oder den Bau einer eigenen PV-Anlage inkl. Pufferbatterien zum Ausgleich von Lastspitzen. *Es wird aktuell von etwa 250'000 CHF an Infrastrukturkosten pro e-SNF ausgegangen.* Dies stellt die anfänglichen Kosten dar. Skaleneffekte sind zu erwarten, auch wenn für bestimmte Komponenten (z.B. Kupfer) mit konstanten Preisen gerechnet wird und die Installation der Infrastruktur aufgrund des Fachkräftemangels voraussichtlich nicht günstiger wird. Die Unterstützungsbeiträge für Ladeinfrastruktur im Rahmen des vorgesehenen Branchenprogramms wurden in diesem Zusammenhang von den Teilnehmenden des Workshops als wichtige Massnahme anerkannt.

Die Gesamtkosten (TCO) für e-SNF *sind trotz geringerer Betriebskosten noch zu hoch.* Für die TCO sind insbesondere die Stromkosten (im Vergleich zu Dieseldaten) sowie die Wartungskosten relevant. Damit sich die Investition (Anschaffung und Infrastruktur) lohnt, müssten die TCO dieselben sein wie bei Diesel-Fahrzeugen. Dabei ist auch die hohe Relevanz der Strompreisentwicklung zu berücksichtigen. *Wird eine eigene Depotlademöglichkeit eingerichtet, die nicht mit PV betrieben wird, können steigende Strompreise die Betriebskosten der e-SNF in die Höhe treiben.* Weiterhin hängen die Stromkosten stark davon ab, ob öffentlich oder im Depot geladen wird, sowie von der Entwicklung der Strompreise beim öffentlichen Laden. Schliesslich sind die künftigen LSVA-Tarife sowie die potenzielle Einführung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge für die Gesamtkosten ausschlaggebend.

Alte Diesel-LKW werden in der Regel exportiert zur Weiternutzung, Reparatur oder Verschrottung. Es ist *unklar, ob die Weiternutzung in Exportländern für e-SNF möglich wäre bzw. wie hoch die Kosten für die Entsorgung sein werden.* Die TCO werden daher aktuell mit einem Restwert von Null gerechnet.

Ein betriebswirtschaftliches Problem besteht in den Laufzeiten von Verträgen: Einige *Kund:innen von Transporteuren wünschen bereits Transporte mit e-SNF.* Dies wird explizit in Verträgen festgehalten, auch mit den verbundenen höheren Kosten. Allerdings ist die Laufzeit dieser Verträge vergleichsweise kurz (in der Regel 3 Jahre), sodass durch sie *keine ausreichende Investitionssicherheit für die Anschaffung von e-SNF entsteht.*

### 3.1.3. Regulatorischer Bereich

Die grösste Herausforderung aus Sicht der Unternehmen war zum Zeitpunkt der Workshops die Unsicherheit bezüglich der LSVA-Regelung ab 2031 (bzw. neu ab 2029) und deren Auswirkungen auf die Gesamtkosten. Mit der Botschaft vom 28. Mai 2025 hat der Bundesrat einen Gesetzesentwurf zur Revision des Schwerverkehrsabgabegesetzes (SVAG) vorgelegt. Offen ist zudem weiterhin, ob und wann eine Abgabe auf Elektrofahrzeuge eingeführt wird, um den Finanzierungsbedarf für die Verkehrsinfrastruktur zu decken. Beide Regelungen sind für Transporteure kostenrelevant – ihre Entwicklung ist bereits heute ausschlaggebend für Investitionsentscheidungen.

e-SNF sind aufgrund ihrer Antriebstechnologie und der Batterien schwerer als Diesel-LKW. Gemäss der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS, Art. 95 Absatz 1<sup>bis</sup>) darf das Gesamtgewicht eines Fahrzeugs um das zusätzliche Gewicht der für den alternativen Antrieb erforderlichen Technik erhöht werden. Dieses Zusatzgewicht darf maximal eine bzw. zwei Tonnen betragen. Dieser Ausgleichsmechanismus ist ausreichend, um das Zusatzgewicht eines Elektroantriebs auszugleichen. Da die zulässige Achslast nicht erhöht wurde und auch das Auflastungsgewicht begrenzt ist, sind die Transporteure trotzdem mit einem Nutzlastverlust konfrontiert. Somit steht nebst dem Kostenaspekt auch eine mögliche Transportkapazitätsbeschränkung gegenüber.

Regulatorisch ist *teilweise unklar, ob Gefahrgüter (ADR-Güter) mit e-SNF transportiert werden können.* Gefahrgut im Stückgutbereich stellt keine Anforderungen an das Chassis. Dies ist bereits heute mit Elektro-Lastwagen möglich. Transporte mit speziellen Fahrzeugtypen sind heute noch nicht möglich. In der Praxis betrifft dies Mineralöl-, Flüssiggas-, Säure-, Lauge-, Wasserstoff- und Chemietransporte, die lose geladen werden. Erste Anbieter in Deutschland haben jedoch angekündigt, die Zulassung im Jahr 2025 zu erhalten. Grundlage ist die EU-Regelung ADR 2025.

Auch die gesetzlichen Längenbeschränkungen von Fahrzeugkombinationen wurden als potenzielles Hemmnis diskutiert. Da Sattelschlepper mehr Bauraum für die Unterbringung der Batterien benötigen, kann es *zu Problemen bei der Nutzung standardisierter Auflieger* kommen.



#### 3.1.4. Sonstige Hemmnisse

Ein Aspekt, der in der Diskussion oft zu kurz kommt, ist die Sorge, dass öffentliche Ladepunkte im entscheidenden Moment nicht verfügbar sind. Logistikunternehmen stehen unter hohem Zeitdruck und können es sich nicht leisten, an einer Ladestation warten zu müssen. Ein Reservationssystem könnte hier zwar Abhilfe schaffen, doch die Bedenken bleiben hoch, dass es in der Praxis dennoch zu Wartezeiten kommt. Diese Unsicherheit ist ein zentraler Grund dafür, weshalb viele Unternehmen eine eigene Ladeinfrastruktur bevorzugen – die Unabhängigkeit von Dritten ist in dieser Branche von entscheidender Bedeutung.

Die Rahmenbedingungen im Logistikgeschäft stehen häufig im Spannungsverhältnis zur Elektrifizierung. Transporte müssen in der Regel innerhalb einer Schicht abgewickelt werden – nicht nur aus Effizienzgründen, sondern auch aufgrund gesetzlicher Vorgaben zu Arbeits- und Ruhezeiten. Verzögerungen durch Wartezeiten an öffentlichen Ladestationen sind für viele Unternehmen schlicht nicht akzeptabel, da sie die Einhaltung der Arbeits- und Ruhezeiten gefährden und gegebenenfalls dazu führen, dass die Lieferung nicht abgeschlossen werden kann. Hinzu kommt: Verspätete Lieferungen ziehen teils erhebliche Vertragsstrafen nach sich. In diesem Umfeld ist Planbarkeit entscheidend und genau deshalb bevorzugen viele Unternehmen den Aufbau einer eigenen Ladeinfrastruktur, um die Abhängigkeit von externen Ladepunkten und potenzielle Wartezeiten zu vermeiden.

Zu den weiteren Herausforderungen gehört das Change-Management bei Mitarbeitenden und Partnern. In vielen Fällen ist ein grundlegendes Umdenken erforderlich, und der Transport mit e-SNF muss verstärkt von Kund:innen eingefordert werden. Mitarbeitende und Partner müssen auf diesem Weg aktiv eingebunden werden, damit der Wandel gemeinsam und erfolgreich gestaltet werden kann. Zum Change-Management zählen unter anderem Schulungen zu neuen Technologien, die Anpassung interner Abläufe sowie der frühzeitige Einbezug von Fahrer:innen und Disponent:innen, um Akzeptanz und betriebliche Sicherheit im Umgang mit den neuen Fahrzeugen sicherzustellen. Weiterhin fehlt in den Betrieben grundsätzlich das Fachwissen und Know-how zur Elektrifizierung. Diese erfordert neue Kompetenzen – von der Elektroplanung über Ladeinfrastruktur und Energiemanagement bis hin zu sicherheitsrelevanten Aspekten im Umgang mit Hochvoltssystemen. Auch Kenntnisse in der Flottenumstellung, Förderberatung und im Umgang mit neuen Softwarelösungen für Lade- und Routenplanung sind vielerorts noch unzureichend vorhanden.

Zudem entsteht zusätzliche Komplexität im Prozess, insbesondere bei der Planung der Fahrten in Verbindung mit den Ladeslots. Denn die heutigen Abläufe und Tourenplanungen sind auf Effizienz und den Einsatz von Dieselfahrzeugen optimiert.

Ein weiteres Hindernis sind die langen Lieferzeiten der Fahrzeuge. Die Hersteller berichten von einer hohen Anzahl an Bestellungen für Elektrofahrzeuge, deren Auslieferung jedoch erst in den kommenden Jahren erfolgen kann. Die Produktion stellt somit einen Engpass dar.

#### 3.1.5. Anforderungen der Branche

Ausgehend von der Identifikation aktueller Hemmnisse für die Dekarbonisierung des schweren Güterverkehrs in der Schweiz wurden im Rahmen der Workshops gemeinsam mit Branchenvertreter:innen die Anforderungen der Branche an die Politik abgeleitet. Diese wurden entlang der beiden Hauptkategorien *Finanzierung* und *Regulierung* sowie über die drei Phasen *Anschaffung*, *Betrieb* und *Ladeinfrastruktur* grob strukturiert (vgl. Tabelle 2).

Bei der Anschaffung standen insbesondere finanzielle Anreize für die Beschaffung von Elektrofahrzeugen im Vordergrund. Für den Betrieb wurden vor allem stabile und langfristige Rahmenbedingungen hinsichtlich der steuerlichen Rahmenbedingungen als zentrale Voraussetzung für Planungs- und Investitionssicherheit benannt. Zusätzlich wurde häufig auf die Herausforderung der Nutzlastreduktion bei e-SNF hingewiesen und ein entsprechender Ausgleich gefordert. Im Bereich der Ladeinfrastruktur wurde betont, dass insbesondere KMU beim Aufbau von Depotladeinfrastruktur auf finanzielle Unterstützung angewiesen sind. Diese wird mittlerweile durch das im Rahmen des Klimaschutzgesetzes in Kraft getretene Förderinstrument abgedeckt.



Tabelle 2: Anreize und potenzielle Massnahmen zur Förderung der Dekarbonisierung.

|                          | <b>Finanzierung</b>   | <b>Regulierung</b>  |
|--------------------------|---|---|
| <i>Anschaffung</i>       | <ul style="list-style-type: none"><li>- Finanzielle Anreize für die Anschaffung von e-SNF</li><li>- Spezielle Fahrzeuge (z.B. Baufahrzeuge) fördern</li></ul> | (Für SNF existieren bereits Flottenzielwerte als Massnahme)   |
| <i>Betrieb</i>           |   | <ul style="list-style-type: none"><li>- Investitionssicherheit schaffen (LSVA, Abgabe e-Fahrzeuge)</li><li>- zGG anpassen/Nutzlastreduktion ausgleichen</li><li>- Zuverlässigkeit Netzinfrastruktur sicherstellen</li></ul> |
| <i>Ladeinfrastruktur</i> | <ul style="list-style-type: none"><li>- Finanzierung Anschaffung Depotladeinfrastruktur (Darlehen)</li></ul>  |   |

### 3.1.6. Zwischenfazit

Im Rahmen der Workshops wurde deutlich, dass sich die Perspektiven kleinerer Unternehmen deutlich von jenen der grossen Marktakteure unterscheiden können. Während grosse Unternehmen oft gezielt auf eine rasche Elektrifizierung setzen, vor allem mittels Depotladung und mit dem Ziel, Betriebskosten zu senken, stehen kleinere Betriebe vor anderen Herausforderungen: begrenzter Zugang zu Kapital, fehlende Skaleneffekte und eingeschränkte personelle Ressourcen, um sich strategisch mit der Elektrifizierung auseinanderzusetzen. Es ist derzeit noch unklar, wie die kleineren Betriebe reagieren werden. Dies ist auch deshalb relevant, weil sie zusammengenommen einen wesentlichen Anteil des Gesamtmarktes ausmachen.

Die Elektrifizierung des Güterverkehrs steht unter dem Einfluss zahlreicher technischer, ökonomischer, regulatorischer und betrieblicher Hemmnisse. Besonders zentral ist dabei die Rolle der Ladeinfrastruktur: In den Workshops wurde betont, dass Unternehmen – wo immer möglich – öffentliches Laden vermeiden möchten. Gründe dafür sind insbesondere der hohe Zeitdruck im Tagesgeschäft, gesetzlich begrenzte Arbeits- und Ruhezeiten und potenziell hohe Vertragsstrafen bei verspäteten Lieferungen. Öffentliche Ladeinfrastruktur wird als zu unzuverlässig wahrgenommen, weil im entscheidenden Moment kein freier Ladepunkt garantiert werden kann. Selbst mit einem Reservationssystem bleiben in der Praxis Bedenken bezüglich Wartezeiten bestehen. Weiterhin ist zu beachten, dass die Ladezeit nicht immer mit der Pausenzeit übereinstimmt. Dies kann zu beachtlichen Mehrkosten für die Unternehmen führen.

Vor diesem Hintergrund ist – im Kontext des Binnenverkehrs – der Aufbau eigener Depotladeinfrastruktur für viele Flottenbetreibende in der Schweiz nicht nur eine betriebliche Präferenz, sondern eine Grundvoraussetzung für die Elektrifizierung. Die Unabhängigkeit von Dritten, die Planbarkeit von Ladezeiten und die Integration in bestehende Tourenstrukturen sind entscheidend. Diese Erkenntnisse sind zentral für das Verständnis der nachfolgenden Ladeszenarien, in denen die möglichen Ladeorte, vom Depot über Kundenstandorte bis hin zu öffentlicher Schnellladeinfrastruktur, und deren jeweilige Herausforderungen und Potenziale differenziert betrachtet werden.



## 3.2 Gesamtkosten und Treibhausgasemissionen

Die im Folgenden dargestellten und diskutierten Ergebnisse der Kostenrechnung basieren auf der Betrachtung der Fahrzeug-Nutzungsdauer der ersten Betreiber der Fahrzeuge von der Herstellung bis zum Wiederverkauf; die Ergebnisse der ökologischen Lebenszyklusanalyse basieren auf der Betrachtung der gesamten Fahrzeug-Lebensdauer der Fahrzeuge von der Herstellung bis zur Verschrottung und der währenddessen zurückgelegten Kilometer. Dies entspricht den üblichen Betrachtungsweisen bei der Berechnung von Gesamtnutzungskosten (vgl. z.B. Noll et al. 2022, ICCT 2023b) und bei Ökobilanzen von Fahrzeugen (Sacchi et al. 2021, 2022). Die Ergebnisgrafiken und Analysen basieren auf einem im Rahmen dieses Projekts entwickelten Excel-Tools, das öffentlich verfügbar ist und via PSI und INFRAS Websites bezogen werden kann.<sup>1</sup>

In den Kostenrechnungen werden die so genannten «Total Cost of Ownership» (TCO) berechnet, in Anlehnung an etablierte Methoden (Noll et al. 2022) unter Berücksichtigung von Schweiz-spezifischen Faktoren wie spezifischen kantonalen Steuern oder der LSVA. Viele der Kostenparameter (Anschaffungs- und Wartungskosten, Entwicklung der Batteriekosten, etc.) sind einer europäischen Studie (ICCT 2023) entnommen, wobei Schweizer Rahmenbedingungen (oft in Form von höheren Preisen) Rechnung getragen wird, indem die europäischen Kosten mit spezifischen Faktoren hochskaliert werden (Bienaimé 2025).

Die Berechnungen der Treibhausgasemissionen beruhen ebenfalls auf etablierten Methoden (Sacchi et al. 2022) und beinhalten alle THG-Emissionen, welche über den gesamten Lebenszyklus der Fahrzeuge – Herstellung, Betrieb und Entsorgung – verursacht werden. Dies beinhaltet alle Komponenten der Fahrzeuge und die Treibstoff- bzw. Stromversorgung zum Laden der Batterien von e-LKW sowie Lade- und Tank-Infrastruktur. Als Ökobilanz-Hintergrunddatenbank wird die Datenbank des UVEK (Version 2022) genutzt, welche auch zur Berechnung der Treibhausgasemissionen und anderer Lebenszyklus-Umweltindikatoren in «mobitool» (mobitool 2025) und im online Verbrauchskatalog von EnergieSchweiz (EnergieSchweiz 2025) verwendet wird. Die THG-Emissionsfaktoren der Treibstoff- und Strombereitstellung werden nach der neuesten Schweizer «Energieetikette» (Energieetikette 2025) bilanziert. Für den Elektrizitätsbezug ab Schweizer Stromnetz gilt, dass der für die Kennwerte der Energieetikette zugrunde gelegte Verbraucherstrommix der Schweiz als Durchschnitt dreier Jahre (2021 bis 2023, mit jeweils stündlicher Auflösung) modelliert wird, um die meteorologisch und handelsseitig bedingten jährlichen Schwankungen der Inlandsproduktion und des Imports und Exports zu glätten. Im resultierenden Schweizer Strommix ab Netz weisen Wasserkraft und Kernenergie die grössten Anteile auf (gemeinsam rund 70%). Der Anteil übriger Erneuerbarer liegt bei rund 17%, jener von (importiertem) Strom aus fossilen Energieträgern bei etwa 10%. Daraus resultieren CO<sub>2</sub>-Emissionen von 111 g/kWh Strom.

Sowohl bei der Berechnung der TCO als auch der THG-Emissionen wird die zukünftige Entwicklung berücksichtigt – einerseits bezüglich der Technologien, etwa der Batterien oder Antriebsstränge, andererseits hinsichtlich Parametern wie einzelnen Kostenfaktoren und der Entwicklung des Schweizer Strommix. Dies ist auch bereits relativ kurzfristig von Bedeutung, da vor allem rasch fallende Batteriekosten einen der wichtigsten Wegbereiter für e-LKWF darstellen (Link et al 2024).

Die Schweizer LSVA stellt – wie in den folgenden Ergebnissen sichtbar – einen wichtigen Kostenfaktor für Gütertransporte dar. Derzeit sind batterieelektrische und Brennstoffzellen-LKW davon ausgenommen. Dies soll sich jedoch ab 2029 ändern – dann soll die LSVA auch auf so genannte «Nullemissionsfahrzeuge» ausgeweitet werden. Die LSVA soll für batterieelektrische und Brennstoffzellen-LKW in gradueller Weise eingeführt werden, indem auf den für Euro VI/7 LKW gültigen LSVA-Tarif ein Rabatt von zu Beginn 70% gewährt würde, welcher Jahr für Jahr um 10%-Punkte abnehmen würde und schliesslich im Jahr 2036 Null erreichen soll. Dies wird in den TCO-Berechnungen berücksichtigt, wie beschrieben in (Bienaimé 2025) und dargestellt in Anhang 6.3.

Nicht berücksichtigt ist hier die mögliche Einführung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge ab ca. 2030 zur Kompensation der wegfallenden Mineralölsteuereinnahmen. Die Vorlage wurde erst nach Abschluss der Berechnungen publiziert. Ebenfalls nicht berücksichtigt sind mögliche Auswirkungen der CO<sub>2</sub>-

<sup>1</sup><https://www.psi.ch/en/ta/tools>, <https://www.infras.ch/elektromobilitat/>



Vorschriften, d.h., spezifischen Emissionszielen, welche Hersteller/Importeure von Fahrzeugen einhalten werden müssen. Diese könnten zu steigenden Preisen von Diesel-LKW und sinkenden Preisen von e-LKW führen, um den Verkauf letzterer anzukurbeln. Nutzer des Excel-Tools (welches in vier Sprachen genutzt werden kann: Deutsch, Englisch, Französisch und Italienisch) können eine Vielzahl von Parametern anpassen, welche für TCO und Treibhausgasemissionen relevant sind. Darunter fallen:

#### **Auswahl der Fahrzeuge**

- Antriebsstrang und Treibstoff: Diesel, batterieelektrisch, Erdgas, Wasserstoff-Brennstoffzelle, Diesel-Hybrid, Diesel Plugin-Hybrid
- Gewichtsklasse der LKW: von 7.5t bis 40t
- Jahre der Herstellung und Inbetriebnahme: 2010 bis 2030
- Funktionelle Einheit, auf die alle Ergebnisse bezogen werden: Fahrzeug- oder Tonnen-Kilometer

#### **Nutzung der LKW**

- Langstrecke, regionale Transporte, oder städtischer Lieferverkehr
- Nutzungsdauer in Jahren
- Fahrleistung pro Jahr

#### **Fahrzeugparameter**

- Leistung der LKW
- Transportgutmasse (Nutzlast)
- Treibstoffverbrauch
- Art und Speicherkapazität der Batterie von e-LKW

#### **Ladeparameter für batterieelektrische LKW**

- Herkunft bzw. Erzeugungsart des Ladestroms: durchschnittlicher Netzstrom in der Schweiz (Default in der Analyse der Ergebnisse, wenn nicht anders angegeben) oder der EU; Strom aus PV-, Windkraft- und Wasserkraftwerken; bestimmte Anteile an depoteigenem PV-Strom und Schweizer Netzstrom
- Leistung des Ladeanschlusses am Depot
- Anzahl LKW pro Ladepunkt
- Leistung der genutzten öffentlichen Ladepunkte
- Anteil des Ladestroms im Depot gegenüber öffentlichen Ladepunkten (Default, wenn nicht anders angegeben: 90% Depotladen)

#### **Parameter für die TCO-Berechnungen**

- Kanton der LKW-Registrierung
- Anschaffungskosten LKW
- Jahr des Wiederverkaufs und Wiederverkaufswert
- Versicherungs- und Wartungskosten
- Kosten für Installation und Betrieb der Depotladeinfrastruktur
- Fahrleistung ausserhalb der Schweiz auf Strassen mit Gebühren
- Diskontierungssatz
- Treibstoffkosten, Stromkosten Laden am Depot und öffentlich



Für die meisten der Parameter sind Basiswerte hinterlegt, die «per default» in den Berechnungen genutzt werden, sofern keine anderen Werte von Nutzern spezifiziert werden. Ebenso standardmässig hinterlegt sind die derzeit und in Zukunft gültigen LSWA-Tarife (Bienaimé 2025). Nicht hinterlegt ist die allfällige Einführung einer Abgabe auf Elektrofahrzeuge ab ca. 2030 zur Kompensation der wegfallenden Mineralölsteuereinnahmen. Neben Diesel- und batterieelektrischen LKW beinhaltet das Tool auch LKW mit Wasserstoff-Brennstoffzellenantrieb, Erdgas-Verbrenner, Diesel-Hybrid- sowie Diesel Plugin-Hybridantrieb. Diese werden jedoch im Folgenden nicht analysiert, da sich dieses Projekt auf den Vergleich von Diesel- und batterieelektrischen LKW konzentriert.

Dank der vielfältigen Parametrisierung lässt sich eine enorme Menge an Ergebnissen erzeugen. Die folgende Analyse konzentriert sich auf die in der Schweiz am häufigsten genutzten LKW-Klassen (LKW 7.5t, LKW 14-20t, LKW 20-26t, LZ/SZ 34-40t, vgl. Abbildung 19) und versucht durch eine geeignete Auswahl und Spezifizierung der Parameter folgende Fragen zu beantworten:

- Welche LKW-Klassen lassen sich schon heute auf wirtschaftliche Art elektrifizieren?
- Bei welchen der wichtigsten Anwendungsfälle macht es heute aus wirtschaftlicher Sicht schon Sinn batterieelektrische LKW einzusetzen?
- Welchen Unterschied macht es – vor allem hinsichtlich TCO – e-LKW im eigenen Depot oder öffentlich zu laden?
- Wie hoch sind die THG-Emissionen der verschiedenen LKW – bietet die Elektrifizierung eine echte Chance zur Reduktion?
- Was sind generell die wichtigsten Parameter hinsichtlich TCO- und THG-Ergebnissen?
- Wie werden sich TCO und THG-Emissionen von Diesel- und e-LKW bis 2030 voraussichtlich ändern (unter den hier getroffenen Annahmen)?

In den folgenden Analysen dieses Berichts sind einige Schlüsselparameter fixiert und werden nicht variiert (sie können jedoch bei Nutzung des Excel-Tools frei eingestellt werden):

- Lebensdauer der LKW: 15 Jahre
- Wiederverkauf nach 10 Jahren
- Jährliche Kilometerleistung (eigene Berechnungen nach (ASTRA 2025)):
  - o 7.5t: 10'591 km (städtische Zustellung); 13'239 km (Regionalverkehr)
  - o 14-20t: 38'467 km (städtische Zustellung); 48'084 km (Regionalverkehr); 69'722 km (Fernverkehr)
  - o 20-26t: 42'868 km (Regionalverkehr); 62'159 km (Fernverkehr)
- LZ/SZ 34-40t: 51'998 km (Regionalverkehr); 75'397 km (Fernverkehr)
- Batterietechnologie der e-LKW: NMC-622
- Batterietausch während der Lebensdauer der LKW (15 Jahre): keiner
- Kanton: Zürich
- Fahrten in der Schweiz: 100%
- Diskontsatz: 9% (konservative Annahme)
- Restverkaufswert: Null
- Dieselposten: 1.5 CHF/l
- Stromkosten Depotladen: 0.15 CHF/kWh
- Stromkosten öffentliches Laden: 0.6 CHF/kWh (Annahme Begleitgruppe)



- Depotladen: 3 LKW pro 100 kW Ladepunkt
- Default-Parameter für Anschaffungs-, Versicherungs- und Wartungskosten
- Funktionelle Einheit: 1 Tonnen-Kilometer (Netto-Transportleistung)

Trotz der vielfältigen Einstellungsmöglichkeiten, welche das Tool bietet, muss darauf hingewiesen werden, dass insbesondere hinsichtlich TCO erhebliche Unsicherheiten bestehen (beispielsweise bei den Anschaffungskosten der LKW oder den Kosten der Depotladeinfrastruktur) und alle Betreiber einer LKW-Flotte speziellen Rahmenbedingungen ausgesetzt sind, welche naturgemäss in einem generischen Tool wie dem hier entwickelten nur unzureichend abgebildet werden können.

### 3.2.1. Ergebnisse für LKW, die im Jahr 2025 hergestellt, gekauft und in Betrieb gesetzt werden («heutige LKW»)

#### TCO – städtische Zustellung

Abbildung 3 zeigt TCO für 7.5t und 14-20t LKW (Diesel und e-LKW) im Stadtverkehr. Die Gesamtbetriebskosten der 14-20t Gewichtsklasse sind generell deutlich tiefer als jene der 7.5t-Klasse. Bei den 7.5t LKW weisen die batterieelektrischen LKW heute deutlich höhere Kosten auf als die Diesel-LKW – die Differenz beträgt knapp 60%. Bei der 14-20t Gewichtsklasse sind die TCO der Diesel- und batterieelektrischen LKW praktisch gleich hoch. Hier ist die aktuelle LSVA-Befreiung der e-SNF ein sehr wichtiger Faktor für die Wettbewerbsfähigkeit der batterieelektrischen LKW. Generell fallen die höheren Anschaffungskosten der e-LKW stark ins Gewicht. Depotladen verursacht bei der städtischen Zustellung mit vergleichsweise geringer Gesamttransportleistung hohe Infrastrukturkosten: Bei den 7.5t LKW führt dies dazu, dass die reinen Stromkosten und die amortisierten Depotladeinfrastrukturkosten mit Abstand höher sind als die Treibstoffkosten der Diesel-LKW. Die höhere Gesamtfahrleistung der 14-20t LKW sorgt dafür, dass sich dieser Kostennachteil auf rund 10% verringert. Anzumerken ist in diesem Zusammenhang jedoch, dass die Standardannahme von drei LKW pro 100 kW-Ladepunkt im Depot bei den 7.5t LKW weit überdimensioniert erscheint und hohes Potenzial hinsichtlich einer optimalen Ausgestaltung der Depotlademöglichkeiten besteht – welche von fallspezifischen Faktoren wie der konkreten Flottenzusammensetzung, den Routen der LKW, deren Fahrprofilen sowie den Stromtarifen abhängt.

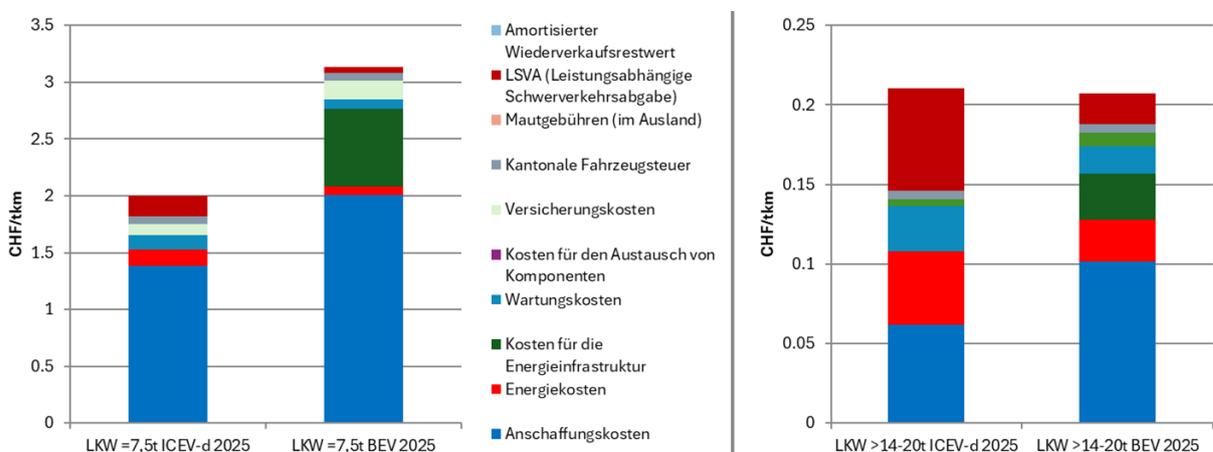


Abbildung 3: TCO von 7.5t (links) und 14-20t LKW (rechts), Diesel und e-LKW, in der städtischen Zustellung von Gütern. Die y-Achsen der beiden LKW-Klassen sind unterschiedlich skaliert.



## THG-Emissionen – städtische Zustellung

Abbildung 4 zeigt Treibhausgasemissionen von 7.5t und 14-20t LKW (Diesel und e-LKW) im Stadtverkehr. Diese Emissionen sind bei den batterieelektrischen LKW (deutlich) geringer, da die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Auspuff entfallen, welche in diesem Vergleich bis zu 70% der Gesamtemissionen der Diesel-LKW ausmachen. Die Emissionen der Fahrzeugherstellung sind zwar bei den e-LKW etwas höher als bei den Diesel-LKW (den Emissionen aus der Herstellung der Batterie von e-LKW stehen höhere Emissionen aus der Herstellung des Antriebsstrangs von Diesel-LKW gegenüber), bezogen auf einen Tonnenkilometer macht dies jedoch nur sehr wenig Unterschied. Bei der geringen Kilometerleistung der 7.5t LKW werden die THG-Emissionen, die von der Depotladeinfrastruktur verursacht werden, zu einem wichtigen Faktor; wobei wie schon bei den TCO im obigen Abschnitt anzumerken ist, dass die Standardannahme von drei LKW pro 100 kW-Ladepunkt im Depot bei den 7.5t LKW weit überdimensioniert erscheint und hier abhängig vom Ladeverhalten der LKW und der Gesamtflotte Optimierungspotenzial besteht.

Generell ist für eine gute Klimabilanz der e-LKW der Bezug von Strom, der mit geringen CO<sub>2</sub>-Emissionen verbunden ist, sehr wichtig. Dies ist in der Schweiz (im Vergleich hier: durchschnittlicher Netzstrom) auch bei Bezug von Strom ab Netz gegeben. Insgesamt weisen in diesem Vergleich die batterieelektrischen 7.5t LKW rund 40% geringere THG-Emissionen auf als die Diesel-LKW; in der 14-20t Kategorie fällt der Vorteil der e-LKW mit einer Reduktion von rund zwei Drittel deutlich höher aus.

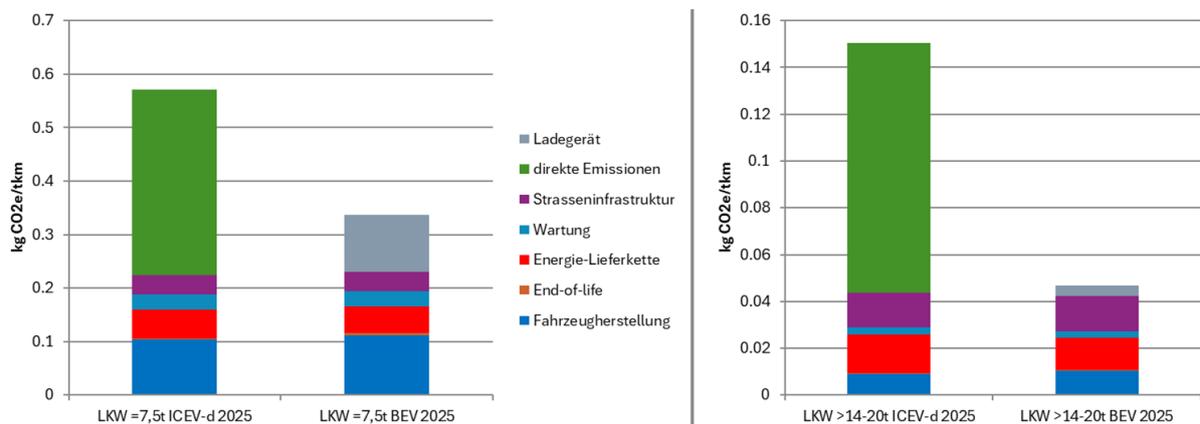


Abbildung 4: THG-Emissionen von 7.5t (links) und 14-20t LKW (rechts), Diesel und e-LKW, in der städtischen Zustellung von Gütern. Die y-Achsen der beiden LKW-Klassen sind unterschiedlich skaliert.

## TCO – 20-26t LKW, Regional- und Fernverkehr

Abbildung 5 zeigt TCO der 20-26t LKW-Klasse, wiederum für Diesel- und batterieelektrische LKW im Regional- (links) und Fernverkehr (rechts). Batterieelektrische LKW sind hier geringfügig (bis zu 10%) teurer als Diesel-LKW, wobei der grösste Kostennachteil bei den Anschaffungskosten der e-LKW liegt. Dieser kann durch die deutlich höhere LSVA der Diesel-LKW beinahe ausgeglichen werden. Die Energiekosten inklusive Depotladeinfrastruktur fallen für beide LKW-Arten in etwa gleich hoch aus und sind etwa gleich hoch wie die Treibstoffkosten der Diesel-LKW.

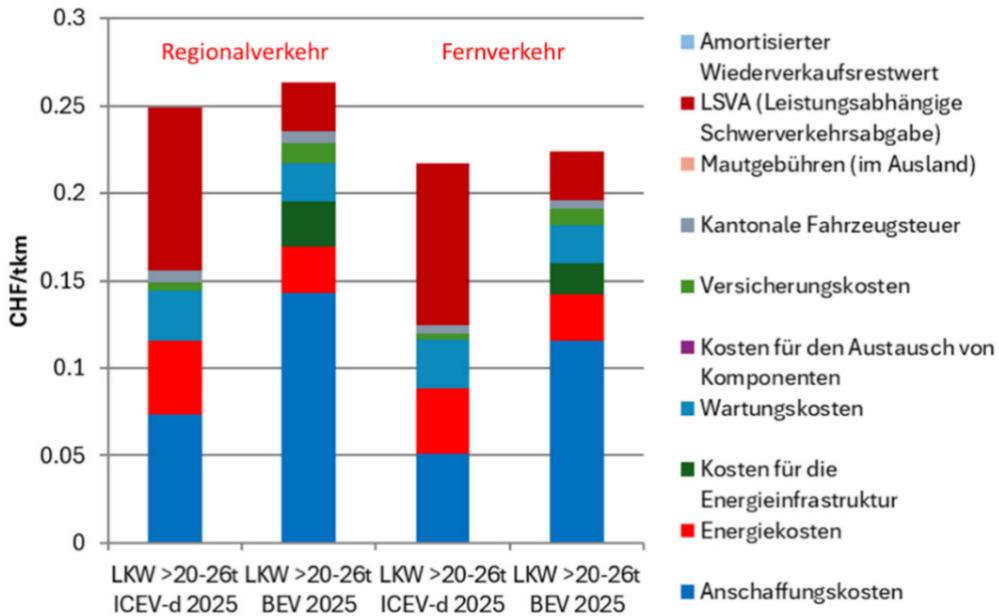


Abbildung 5: TCO von 20-26t LKW, Diesel und e-LKW, im Regional- (links) und Fernverkehr (rechts).

### THG-Emissionen – 20-26t LKW, Regional- und Fernverkehr

Abbildung 6 zeigt THG-Emissionen von 20-26t LKW, Diesel- und e-LKW, im Regional- (links) und Fernverkehr (rechts). Die THG-Emissionen der e-SNF sind deutlich (knapp 60%) geringer, da sie keine direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen aufweisen. Diese direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen machen rund 70% der Gesamtemissionen der Diesel-LKW aus. Bei den e-LKW stammt der grösste Teil der Gesamtemissionen – mit jeweils ähnlich hohen Anteilen – aus der Fahrzeugherstellung, der Stromversorgung und der Strasseninfrastruktur (Bau und Unterhalt).

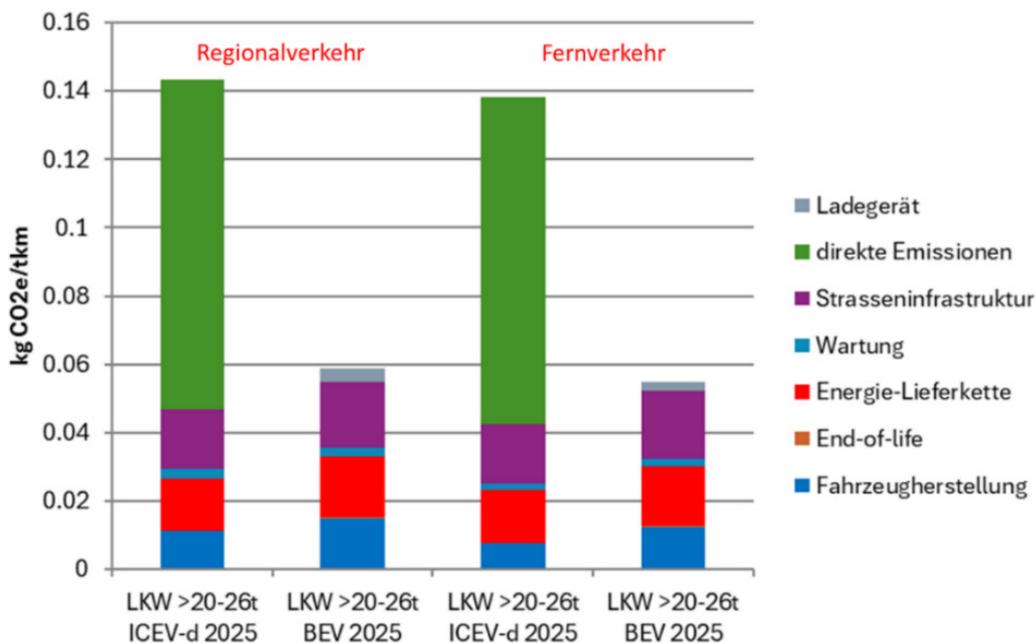


Abbildung 6: THG-Emissionen von 20-26t LKW, Diesel und e-LKW, im Regional- (links) und Fernverkehr (rechts).



### TCO – 34-40t Sattelzug, Regional- und Fernverkehr

Abbildung 7 zeigt TCO der 34-40t Sattelzug-Klasse (SZ), wiederum für Diesel- und batterieelektrische SZ im Regional- (links) und Fernverkehr (rechts). Die Gesamtbetriebskosten der e-LKW sind geringer als jene der Diesel-LKW, im Regionalverkehr etwa 10%, im Fernverkehr dank der höheren Lebensfahrleistung gut 20%. Im Fernverkehr sind batterieelektrische LKW sogar günstiger. Die höheren Anschaffungskosten der Batteriefahrzeuge werden hier durch die höhere LSVA der Diesel-LKW mehr als wettgemacht. Die Energiekosten (Diesel gegenüber Strom plus Ladeinfrastruktur für das Depotladen) sind unter den hier getroffenen Standardannahmen in etwa gleich hoch.

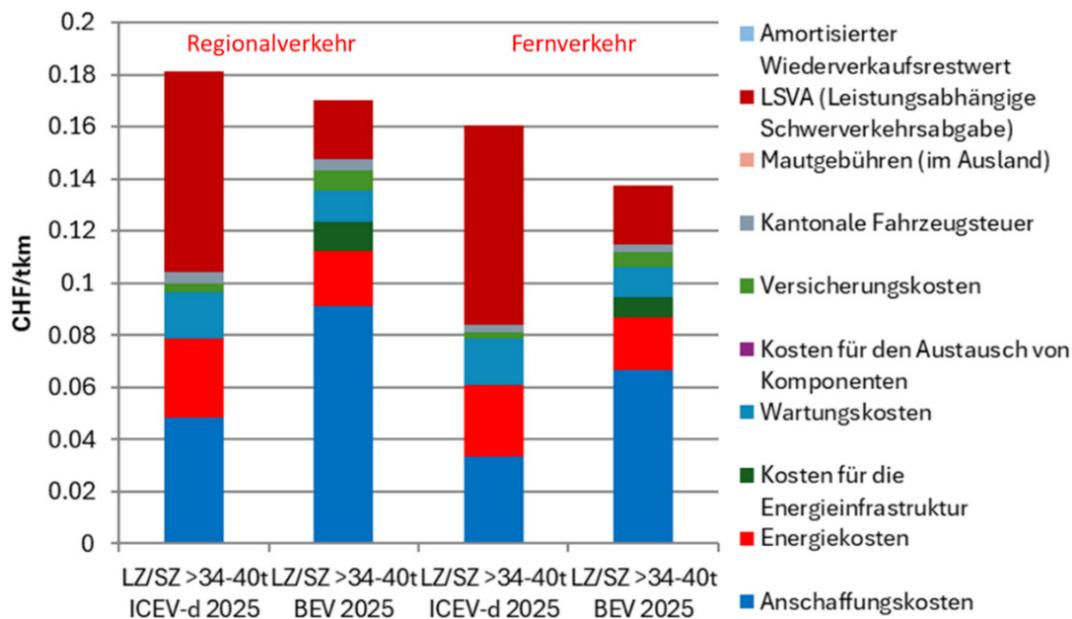


Abbildung 7: TCO von 34-40t LKW (Sattelzug), Diesel und e-LKW, im Regional- (links) und Fernverkehr (rechts).

### THG-Emissionen – 34-40t Sattelzug, Regional- und Fernverkehr

Bei den THG-Emissionen ist das Bild ganz ähnlich wie zuvor: e-LKW verursachen rund 60% geringere THG-Emissionen als Diesel-SZ. Auffallend ist, dass der Anteil der Emissionen, der vom Bau und Unterhalt der Strasseninfrastruktur verursacht wird, mit der Gewichtsklasse der LKW zunimmt und bei den batterieelektrischen 34-40t SZ hier fast die Hälfte der Gesamtemissionen ausmacht.

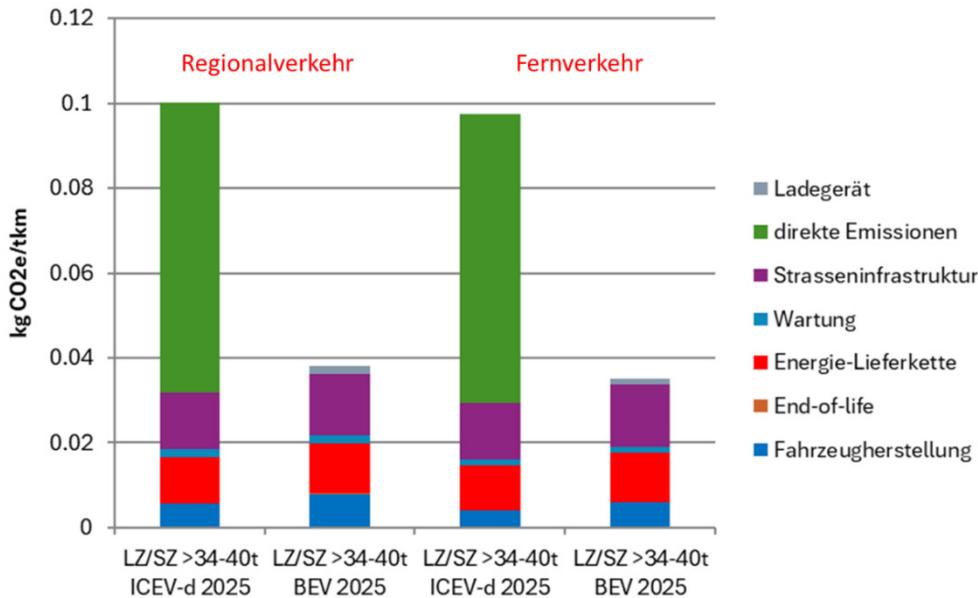


Abbildung 8: THG-Emissionen von 34-40t Sattelzügen im Regional- und Fernverkehr.

### Sensitivitätsanalyse: Stromquelle und Ladeort (Depot vs. öffentlich) e-LKW

Wo und welche Art von Strom zum Laden der e-LKW genutzt wird, kann grosse Auswirkungen auf TCO und THG-Emissionen aufweisen. Dieser Einfluss wird im Folgenden am Beispiel von 20-26t LKW im Fernverkehr getestet – wiederum mit angenommenen Stromkosten von 0.15 CHF/kWh beim Depotladen vom Netz und 0.6 CHF/kWh beim öffentlichen Laden (CH- wie auch EU-Mix). Für die Stromkosten der Fotovoltaik-Eigenproduktion wird mit 0.1 CHF/kWh gerechnet, was für grössere PV-Anlagen in etwa den aktuellen Stromgestehungskosten entsprechen sollte (Hügi et al. 2025). Berechnet werden TCO und THG-Emissionen für folgende Varianten:

- 1) 100% Netzstrom Schweiz; 100% öffentliches Laden
- 2) 100% Netzstrom Schweiz; 100% Depotladen
- 3) 90% Solarstrom aus Eigenproduktion, 10% Netzstrom Schweiz; 100% Depotladen
- 4) 100% Netzstrom EU; 100% öffentliches Laden

Abbildung 9 zeigt die TCO dieser 4 Varianten. Die Unterschiede der Varianten sind generell eher gering und betragen maximal 20%. Bei allen Varianten sind rund 50% der Gesamtbetriebskosten durch die Anschaffungskosten der Fahrzeuge bedingt. Die Kosten der Ladeinfrastruktur und des Stroms machen zwischen rund 15% (Variante 3) und 30% (Varianten 1 und 4) aus. Unter den hier getroffenen Annahmen ist die Variante mit dem PV-Strom aus Eigenproduktion mit Depotladen die günstigste. Kämen beim Depotladen allerdings weniger LKW als die hier angenommenen drei LKW pro Ladepunkt zum Einsatz, so würden die Kosten für das Depotladen steigen. Bei einem LKW pro Ladepunkt ist Depotladen etwa 10% teurer als öffentliches Laden.

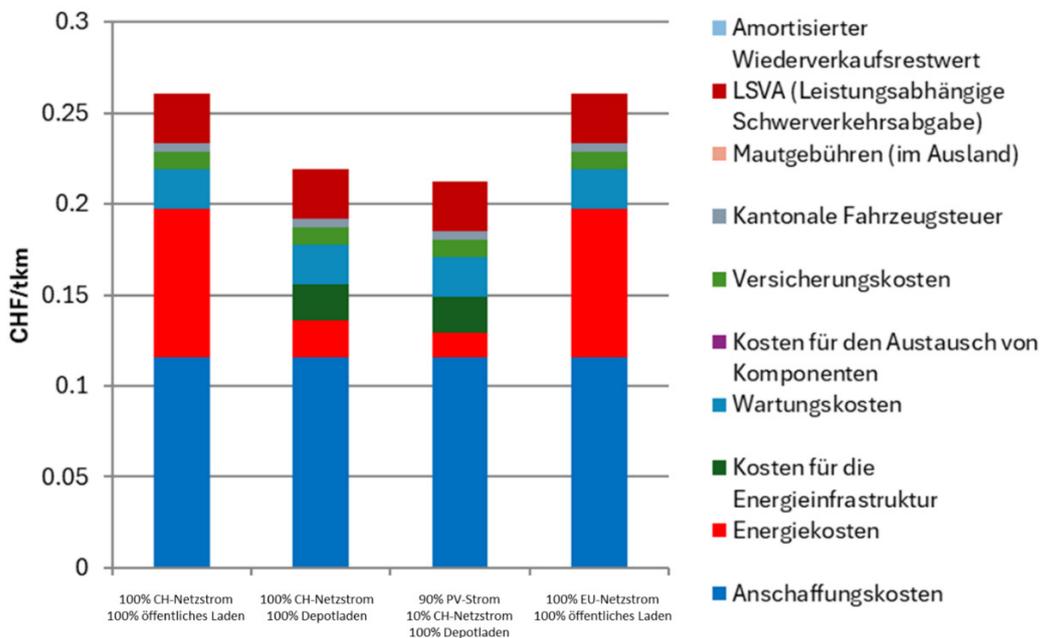


Abbildung 9: Sensitivitätsanalyse hinsichtlich Stromversorgung e-LKW 20-26t im Fernverkehr – TCO.

Abbildung 10 zeigt die THG-Emissionen dieser 4 Varianten. Die mit Abstand am höchsten THG-Emissionen weist der LKW auf, welcher mit EU-Strom geladen wird. Die Emissionen sind hier ähnlich hoch wie jene des 20-26t Diesel-LKW im Fernverkehr. Am geringsten sind die THG-Emissionen bei Nutzung von PV-Strom aus Eigenproduktion, da PV-Strom etwas geringere THG-Emissionen aufweist als der durchschnittliche CH-Netzstrom. Die Unterschiede zwischen Depotladen und öffentlichem Laden sind im hier verglichenen Anwendungsszenario gering, da die Emissionen aus der Herstellung der Fahrzeuge sowie aus Bau und Unterhalt der Strassen den grössten Teil der Gesamtemissionen ausmachen.

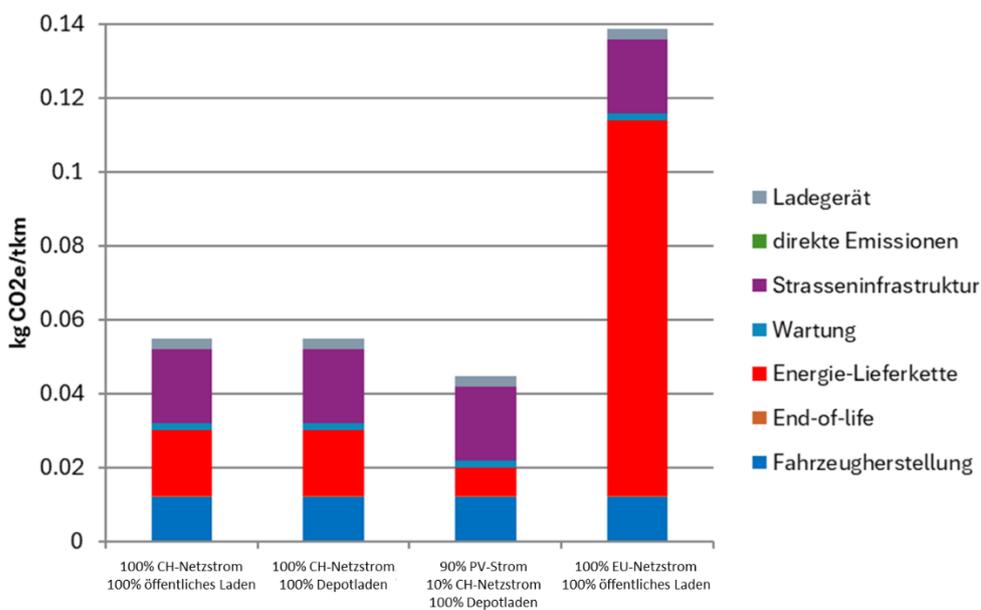


Abbildung 10: Sensitivitätsanalyse hinsichtlich Stromversorgung e-LKW 20-26t im Fernverkehr – THG-Emissionen.



### Sensitivitätsanalyse: tägliche Fahrstrecke und Ladestrategie bei e-LKW

Steigt die täglich geforderte Fahrstrecke (und sind die Strecken so lang, dass zwischendurch nicht wieder das Depot angesteuert werden kann), so kann bei batterieelektrischen LKW damit umgegangen werden, indem beispielsweise entweder die Batteriekapazität dem Rechnung tragend höher dimensioniert wird oder indem ein höherer öffentlicher Ladeanteil mit höheren Stromkosten in Kauf genommen wird. In Abbildung 11 werden vier verschiedene Varianten von 20-26t LKW im Fernverkehrsbetrieb hinsichtlich TCO verglichen, die diese Möglichkeiten und den Einfluss auf die Gesamtbetriebskosten abbilden (Annahme Stromkosten: 0.6 CHF/kWh beim öffentlichen Laden und 0.15 CHF/kWh bei Depotladen, CH-Netzstrom):

- 1) Diesel, jährliche Fahrleistung: 62'159 km
- 2) BEV, jährliche Fahrleistung: 62'159 km; Batteriekapazität: 600 kWh; Ladeanteil Depot: 100%; 2 LKW pro Depotladepunkt
- 3) BEV, jährl. Fahrleistung: 100'000 km; Batteriekapazität: 1'200 kWh; Ladeanteil Depot: 100%; 1 LKW pro Depotladepunkt
- 4) BEV, jährl. Fahrleistung: 100'000 km; Batteriekapazität: 600 kWh; Ladeanteil öffentlich: 100%

Die Gesamtbetriebskosten pro Tonnenkilometer der e-LKW nehmen hier bei steigender Gesamtfahrleistung ab (Varianten 3 und 4). Bei gleicher Fahrleistung sind die TCO des Diesel-LKW gegenüber dem e-SNV (Varianten 1 und 2) rund 10% geringer. Weisen die e-LKW eine gut 50% höhere Gesamtfahrleistung auf, so sinken die TCO und sind geringfügig geringer als jene des Diesel-LKW. Die Varianten 3 und 4 – Depotladen mit grösserer Batterie vs. öffentliches Laden mit höheren Stromkosten – sind gleich teuer. Die höheren Stromkosten beim öffentlichen Laden stehen höheren Anschaffungskosten des LKW mit grösserer Batterie und den Kosten der Ladeinfrastruktur im Depot gegenüber. Es steigen also einerseits die Anschaffungskosten markant, andererseits fallen auch nennenswerte Kosten für die Depotladeinfrastruktur an, welche beim öffentlichen Laden entfallen. Die LSVA ist generell bei den batterieelektrischen LKW deutlich geringer als beim Diesel-LKW.

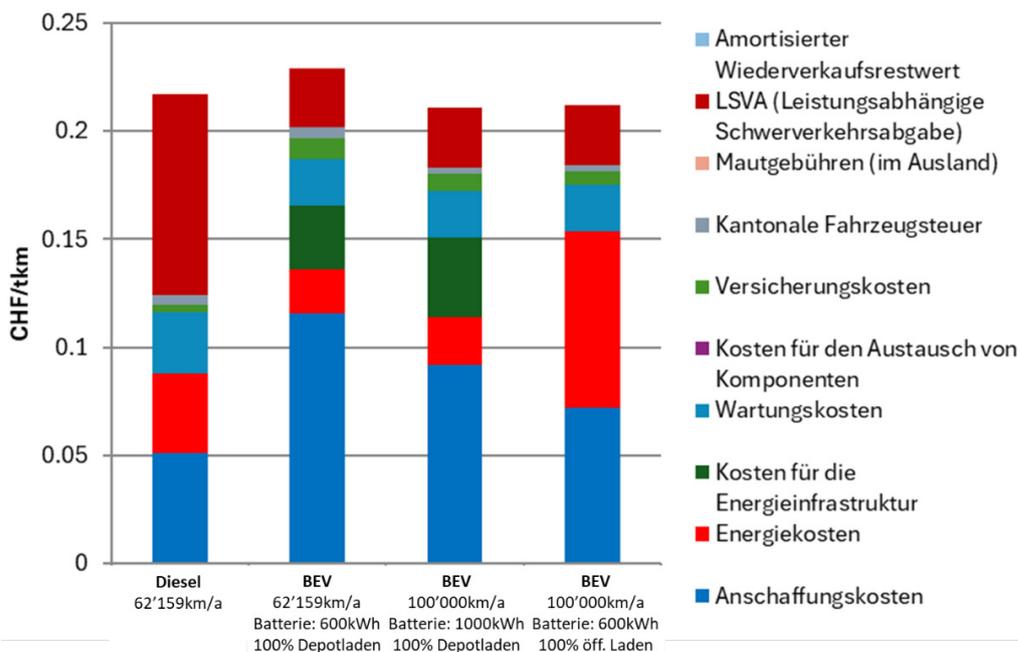


Abbildung 11: Sensitivitätsanalyse hinsichtlich verschiedener Strategien für heutige e-LKW, mit hoher täglicher Fahrleistung umzugehen; TCO für Diesel- und batterieelektrische 20-26t LKW im Fernverkehr.



Folgende Abbildung zeigt die THG-Emissionen der vier verschiedenen Varianten. Die THG-Emissionen der e-LKW sind um mindestens 60% geringer als jene des Diesel-LKW. Der Vergleich der elektrischen Varianten zeigt, dass die geringsten Emissionen erhöhter Fahrleistung und öffentlichem Laden verursacht werden, da die Emissionen aus der Herstellung einer grösseren Batterie entfallen und ebenso die Emissionen aus der Herstellung der Ladeinfrastruktur am Depot.

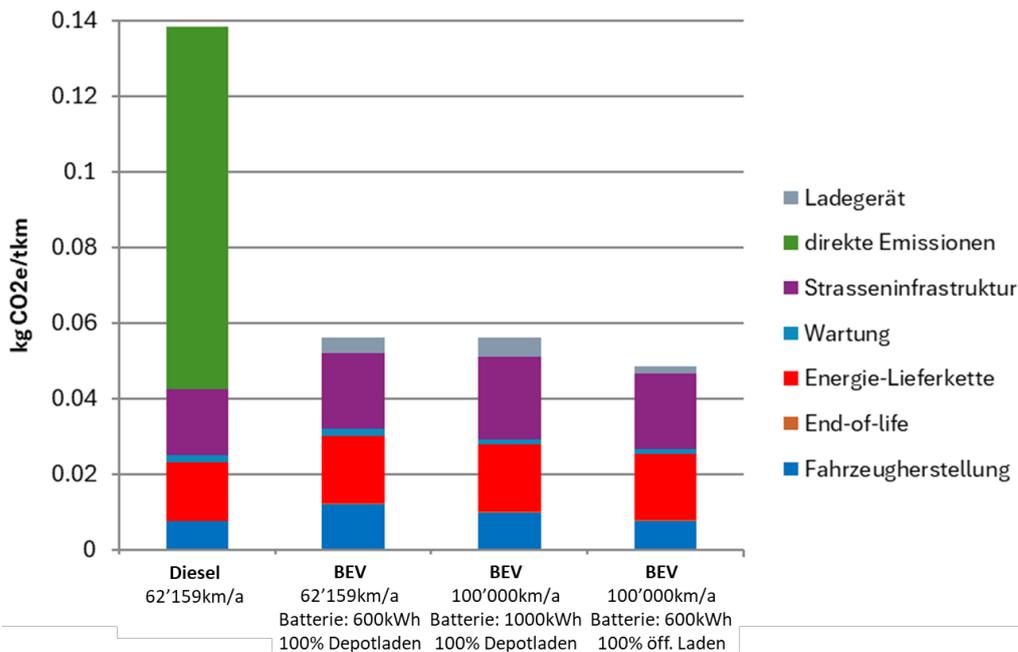


Abbildung 12: Sensitivitätsanalyse hinsichtlich verschiedener Strategien für heutige e-LKW, mit hoher täglicher Fahrleistung umzugehen; THG-Emissionen für Diesel- und batterieelektrische 20-26t LKW im Fernverkehr.

### 3.2.2. Ergebnisse für LKW, die im Jahr 2030 hergestellt, gekauft und in Betrieb gesetzt werden («zukünftige LKW»)

Hinsichtlich THG-Emissionen ändert der kurzfristige Blick in die Zukunft sehr wenig, da sich weder die Emissionen, die mit der Herstellung der LKW und der Infrastruktur verbunden sind, innerhalb eines so kurzen Zeitraums nennenswert verändern werden, noch die Technologiecharakteristika. Ebenso ist zu erwarten, dass sich auch die Emissionen der Stromversorgung in der Schweiz innerhalb von 5 Jahren nur wenig verändern werden. Lediglich die THG-Emissionen des Netzstroms in der EU werden in einem Ausmass sinken, welches in den Ergebnissen sichtbar ist: Mit EU-Netzstrom versorgte e-LKW werden also ihren (heute geringen) Vorteil gegenüber Diesel-LKW vergrössern, da in Zukunft weniger Strom aus Kohle- und Gaskraftwerken im EU-Netz sein wird. Dementsprechend wird sich der Abstand in den THG-Emissionen gegenüber Laden der Batterien mit Schweizer Netzstrom verringern.

Folglich beschränkt sich die grafische Analyse der zukünftigen LKW auf die TCO – Abbildung 13 zeigt die Gesamtbetriebskosten von Diesel- und batterieelektrischen 34-40t LKW, die im Jahr 2030 produziert und für 10 Jahre in der Schweiz in Betrieb genommen werden, für den Fernverkehr. Die 34-40t Klasse im Fernverkehr wird hier gewählt, da diese heute im Vergleich zu Diesel-LKW unter allen e-LKW hinsichtlich TCO am besten abschneidet und angenommen werden kann, dass sich auch die Verfügbarkeit von grossen batterieelektrischen LKW in den kommenden Jahren verbessern wird. Es werden die TCO verschiedener e-LKW Varianten berechnet, die sich hinsichtlich Ladestrategie und Stromkosten unterscheiden und mit einem Diesel-LKW verglichen:



- 1) Diesel-LKW, unter Standardannahmen mit Ausnahme der Dieselposten, welche bis 2030 von heute 1.5 CHF/l auf 1.7 CHF/l steigen
- 2) BEV, 100% PV-Strom aus Eigenproduktion zu 0.1 CHF/kWh, 100% Depotladung, 2 LKW pro Ladepunkt
- 3) BEV, 100% CH-Netzstrom zu 0.25 CHF/kWh, 100% Depotladung, 2 LKW pro Ladepunkt
- 4) BEV, 100% CH-Netzstrom zu 0.45 CHF/kWh, 100% öffentliches Laden
- 5) BEV, 100% CH-Netzstrom zu 0.6 CHF/kWh, 100% öffentliches Laden

Abbildung 13 zeigt, dass sich der Kostennachteil in den Anschaffungskosten der e-SNF gegenüber den Diesel-LKW im Jahr 2030 gegenüber heute etwas reduziert. Allerdings nimmt auch der Kostenvorteil der e-SNF bei der LSVA deutlich ab, da hier angenommen wird, dass auch für CO<sub>2</sub>-freie LKW ab 2029 LSVA-Beiträge fällig werden – zu Beginn mit einem reduzierten Tarif, der sich jedoch im Lauf der folgenden Jahre der LSVA für Diesel-LKW annähern wird (Details siehe Anhang 6.3).

Damit ergeben sich in diesem Vergleich insgesamt geringe Unterschiede in den Gesamtbetriebskosten. Die Gesamtbetriebskosten der Varianten 2 und 4 sind etwas geringer als jene der Diesel-LKW. Die Variante 3 ist gleich teuer wie der Diesel LKW. Eine vollständige Eigenversorgung mit PV-Strom aus einer grossen, eigenen Depot-PV-Anlage erweist sich demnach als wirtschaftlich vorteilhafte Variante, sofern Stromgestehungskosten von etwa 15 Rappen pro kWh oder weniger realisiert werden können. Um die e-LKW mit einer öffentlichen Ladestrategie wirtschaftlich betreiben zu können, scheinen Stromkosten von knapp 50 Rappen oder weniger notwendig zu sein – jeweils unter der Annahme, dass die Dieselposten auf 1.7 CHF pro Liter steigen werden. Nehmen diese nicht zu, so sind noch tiefere Stromkosten für einen wirtschaftlichen Betrieb von e-LKW erforderlich.

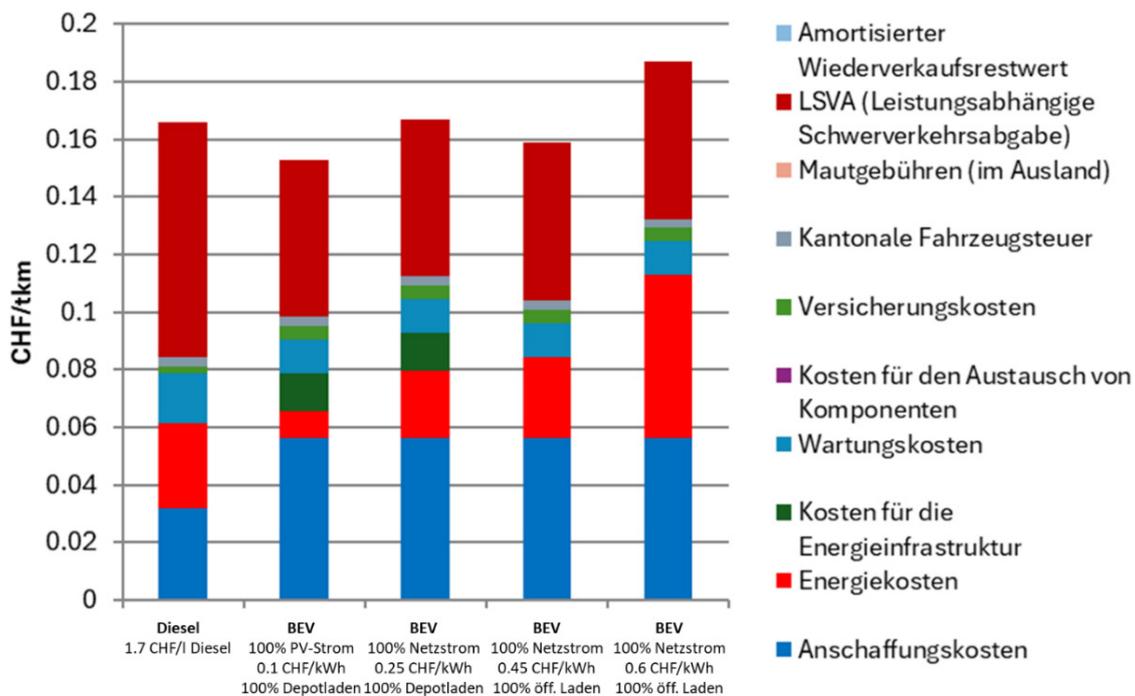


Abbildung 13: TCO zukünftiger 34-40t LKW, Diesel und batterieelektrisch, im Fernverkehr – Herstellung und Inbetriebnahme im Jahr 2030.



### 3.2.3. Zwischenfazit

e-LKW verursachen in typischen Schweizer Anwendungsfällen im Allgemeinen etwa 60-70% weniger Treibhausgasemissionen als Diesel-LKW. Unter der Annahme, dass für das Laden der durchschnittliche Schweizer Strommix verwendet wird, sind diese Ergebnisse am sensitivsten gegenüber der Lebensfahrleistung der Fahrzeuge. Je intensiver ein Fahrzeug genutzt wird, desto höher sind die Treibhausgaseinsparungen im Vergleich zu einem Diesel-LKW. In Fällen, in denen Flottenbetreiber zwischen dem Kauf eines Fahrzeugs mit einer grösseren Batterie und einem höheren Anteil an öffentlichen Laden wählen muss, sind die Treibhausgasemissionen in der Regel bei LKW mit kleineren Batterien und intensiver genutzter Ladeinfrastruktur etwas geringer, obwohl dies aus betrieblicher Sicht oft komplexer ist.

In Bezug auf die Gesamtbetriebskosten sind e-LKW unter Verwendung der Standardannahmen in den meisten Anwendungsfällen in der Regel heute (etwas) teurer als Diesel-LKW. Lediglich in der höchsten Gewichtsklasse mit der grössten Gesamtfahrleistung scheinen e-LKW bereits heute etwas geringere TCO aufzuweisen als Diesel-LKW. Die Gesamtbetriebskosten hängen jedoch sehr stark von einigen Eingabeparametern ab, die für verschiedene Flottenbetreiber stark variieren können.

So sind beispielsweise die Kosten für die Depotelektrifizierung für die Gesamtbetriebskosten sehr wichtig. Bei Standardannahmen sind die Energie- und Energieinfrastrukturkosten für e-LKW in der Regel mit denen für Diesel-LKW vergleichbar. Da sich die Kosten für die Elektrifizierung der Depots und die Auslastungsraten der Ladeinfrastruktur jedoch stark unterscheiden, kann eine gut optimierte Ladeinfrastruktur im Depot in vielen Fällen Kostenvorteile für e-LKW bieten. Ob es für Flottenbetreiber kostengünstiger ist, ihr eigenes Depot zu elektrifizieren oder öffentliche Ladeinfrastrukturen zu nutzen, lässt sich anhand der vorgenommenen Vergleiche nicht generell sagen, da die Ergebnisse stark von variablen Parametern wie Infrastruktur- und Installationskosten, Strompreisen und Auslastungsraten abhängen. Die Ergebnisse in Kapitel 3.1 deuten jedoch darauf hin, dass das Laden im Depot wahrscheinlich überall dort dominieren wird, wo dies technisch möglich ist, da die ausschliessliche Nutzung öffentlicher Ladeinfrastrukturen mit betrieblichen Herausforderungen verbunden ist.



### 3.3 Nationale Ladeszenarien für die e-SNF

#### 3.3.1. Allgemeine Überlegungen zu den Neuzulassungsanteilen

Bis 2024 waren vor allem elektrische Fahrzeuge der kleineren Gewichtsklassen auf dem Markt verfügbar, weshalb deren Neuzulassungsanteil am höchsten war. Seit 2025 werden vermehrt auch grössere Fahrzeugklassen – insbesondere Sattelzüge – mit Elektroantrieb zugelassen. Alle Teilnehmenden der Workshops<sup>2</sup> waren sich einig, dass gerade diese Fahrzeugklasse besonders sinnvoll für die Elektrifizierung ist sowie auch mittelschwere LKW aus wirtschaftlicher Sicht gut geeignet sind. Die schwersten LKW (>28 t bis 40 t mit 4 oder 5 Achsen) hingegen haben im Durchschnitt geringe Jahresfahrleistungen und sind daher deutlich weniger wirtschaftlich zu elektrifizieren. Zudem sind diese Fahrzeuge weniger verbreitet, was auch erklärt, warum viele Hersteller hierfür bislang keine Modelle anbieten – nicht zuletzt, weil die Nachfrage aufgrund der geringen Wirtschaftlichkeit derzeit fehlt.

Die Gesamtelektrifizierungsanteile, insbesondere auch für die ausländische Flotte, wurden im Rahmen der Entwicklung von HBEFA 5.1 intensiv mit Expert:innen aus Deutschland, Österreich, Frankreich, Schweden und Norwegen diskutiert. Dabei wurden auch einschlägige Studien (z.B. NOW GmbH 2024) sowie die EU-Vorgaben zu CO<sub>2</sub>-Flottengrenzwerten für Neuzulassungen berücksichtigt. Zudem flossen die Überlegungen und Szenarien im Rahmen der Konzeption einer Abgabe auf E-Fahrzeuge für das ASTRA (INFRAS 2024) als Basis ein. Auf dieser Grundlage wurden die verwendeten Annahmen zu den Anteilen festgelegt. Die Annahmen zu den Neuzulassungen in der Schweiz wurden zusätzlich mit der Branche und den Teilnehmenden des Workshops abgestimmt.

#### 3.3.2. Entwicklung Neuzulassungen, Bestand, Fahrleistung und Energiebedarf

Abbildung 14 zeigt die bis 2060 erwarteten Neuzulassungsanteile für e-SNF in der Schweiz auf. Für das Jahr 2030 werden je nach Fahrzeuggrösse unterschiedliche Anteile neu zugelassener e-SNF erwartet.

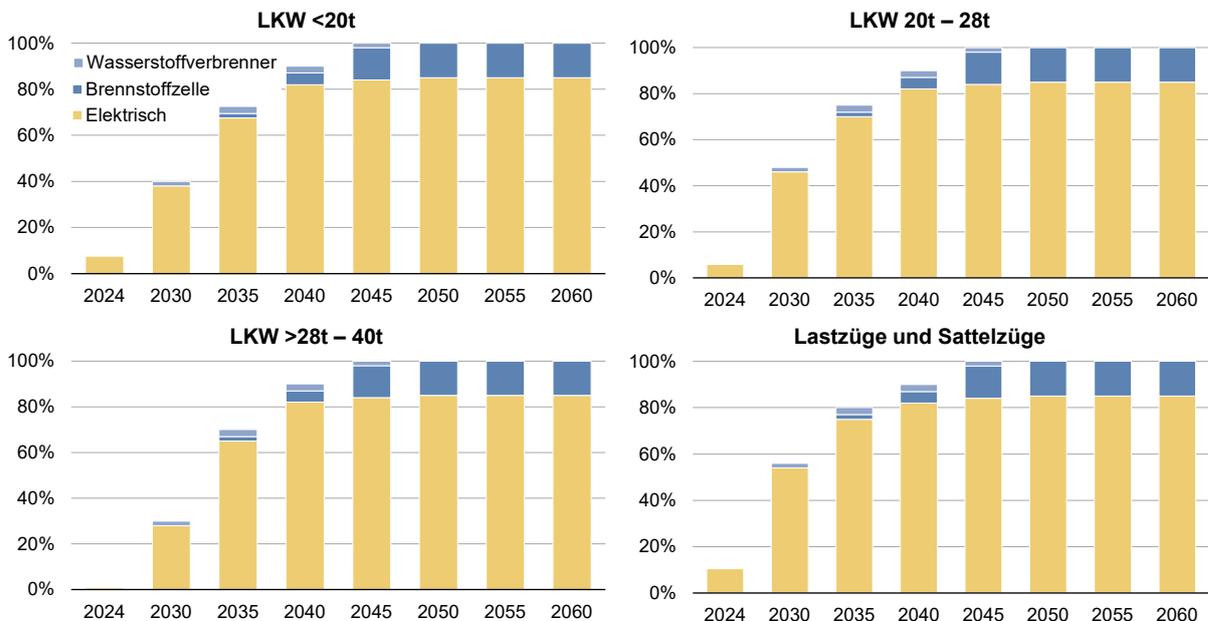


Abbildung 14: Nationale Elektromobilitätszenarien, Anteil e-SNF an gesamten Neuzulassungen in der Schweiz. Quelle: INFRAS.

<sup>2</sup> Es ist anzumerken, dass die getroffenen Annahmen im Sommer 2024 unter günstigeren globalen Wirtschaftsbedingungen entstanden sind. Aufgrund der aktuellen Situation im 3. Quartal 2025 dürfte die Investitionsbereitschaft derzeit etwas geringer ausfallen.



Die Szenarien gehen in den LKW-Kategorien 7.5 t bzw. 14–20 t von einem Anteil im Jahr 2030 von 38%, bei 20–26 t von 54% und bei LKW über 28 t von 28% aus. Bei den Sattelzügen wird, auch basierend auf Rückmeldungen von Herstellern und Logistiker, eine hohe Marktdurchdringung prognostiziert, mit einem Anteil von rund 54% für das Jahr 2030. SNF dieser Grössenkategorie weisen die höchste jährliche Fahrleistung auf und sind derzeit wirtschaftlich zu elektrifizieren. Zudem handelt es sich um stark standardisierte Fahrzeugtypen, die bereits heute als elektrische Modelle verfügbar sind. Die Anteile der verschiedenen Fahrzeuggrössen gleichen sich danach rasch an und erreichen bis 2045 für alle Fahrzeuggrössen 85%. Für die ausländische Flotte werden ähnliche Entwicklungen angenommen.

Ein zentraler Aspekt dieser Untersuchung war der Anteil von batterieelektrischen Fahrzeugen in der Flotte. Die e-SNF werden die dominante fossilfreie Antriebstechnologie darstellen. Dabei wird jedoch nicht davon ausgegangen, dass e-SNF in einer Fahrzeuggrössenklasse 100% der Neuzulassungen ausmachen werden. Es wird angenommen, dass etwa 15% der Neuzulassungen langfristig durch andere Technologien abgedeckt werden. Dabei handelt es sich kurzfristig um (Hybrid)-Dieselfahrzeuge (HEV) und langfristig um verschiedene Wasserstofftechnologien. Es wird ausserdem nicht davon ausgegangen, dass Plug-in-Hybride (PHEV) eine Rolle spielen werden. Diese Entwicklungen sind jedoch noch mit grossen Unsicherheiten verbunden und stehen nicht im Fokus dieses Projekts. Die Marktentwicklung hängt dabei wesentlich von politischen Entscheidungen sowie von der Verfügbarkeit geeigneter Fahrzeuge sowie von einer ausreichenden Wasserstoff-Infrastruktur, insbesondere Tankstellen und grün erzeugtem Wasserstoff, ab.

Die Entwicklung des Fahrzeugbestands zeigt, basierend auf den prognostizierten Neuzulassungsanteilen, eine zeitlich verzögerte Dynamik (vgl. Abbildung 15). SNF haben in der Schweiz eine durchschnittliche Lebensdauer von 8–10 Jahren, aber viele Lastwagen (insbesondere solche mit geringer Jahresfahrleistung) bleiben deutlich länger im Einsatz. Bis etwa 2030 wird der Bestand weiterhin stark von Diesel-SNF dominiert. Danach sinkt deren Anteil deutlich, bedingt durch die rasche Marktdurchdringung der e-SNF. Bis 2040 geht der Anteil konventioneller Diesel-SNF stark zurück, und im Jahr 2050 sind nur noch wenige Fahrzeuge mit Dieselmotor im Einsatz. e-SNF werden im Jahr 2030 rund 13%, im Jahr 2035 32% und im Jahr 2040 etwa 52% bzw. bis 2050 rund 77% des Gesamtbestands ausmachen.

### e-SNF-Bestand in der Schweiz bis 2060

[Tausend Fahrzeuge]

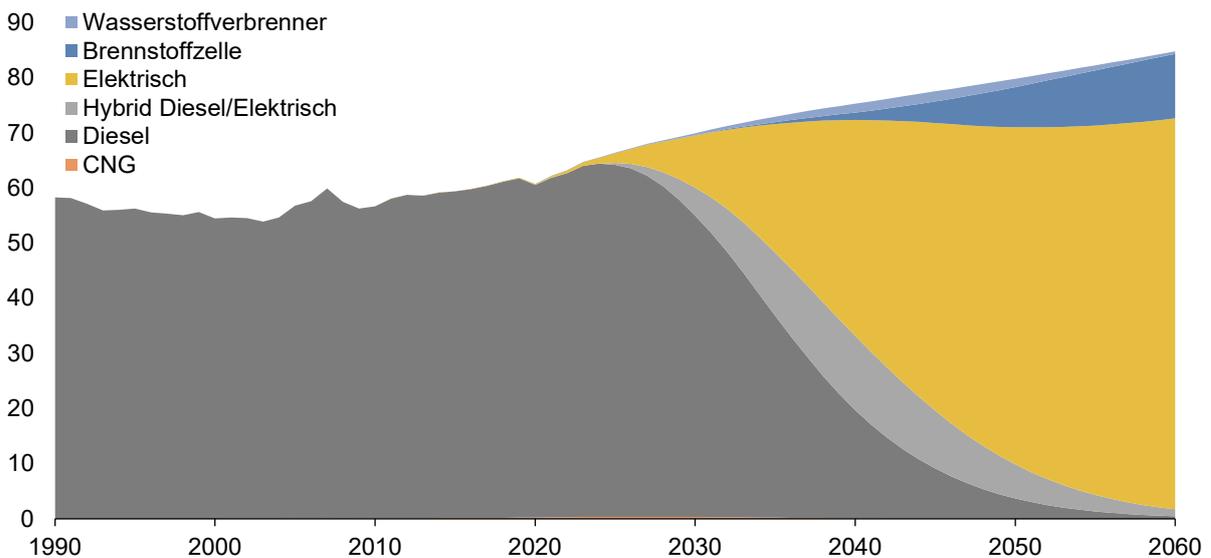


Abbildung 15: Nationale Elektromobilitätszenarien, Entwicklung des LKW-Bestandes in der Schweiz. Quelle: INFRAS.



Die Entwicklung der Fahrleistung zeigt ein ähnliches Bild, jedoch mit einer etwas steileren Senkung des Dieselanteils, da neue LKW deutlich mehr Kilometer zurücklegen als ältere (vgl. Abbildung 15). Im Jahr 2035 werden rund 34% der Kilometer von e-SNF zurückgelegt. Bis 2040 steigt dieser Anteil auf 55%, bis 2050 auf 78%.

### e-SNF-Fahrleistung in der Schweiz bis 2060

[Milliarden Fahrzeug-Kilometer]

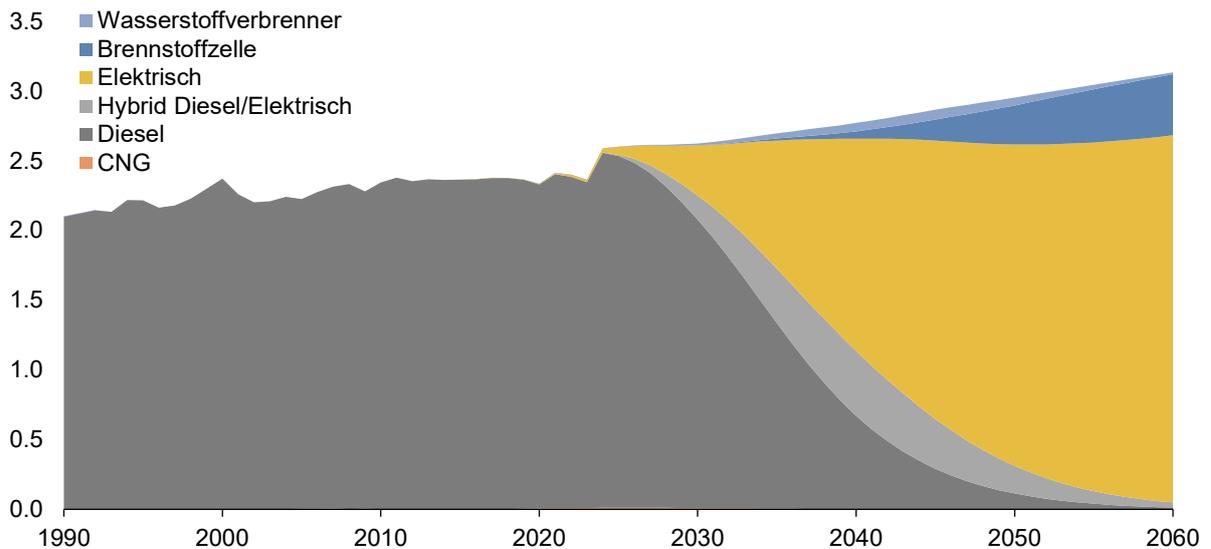


Abbildung 16: Nationale Elektromobilitätszenarien, Entwicklung der SNF-Fahrleistung in der Schweiz. Umfasst die auf Schweizer Boden von schweizerischen und ausländischen Fahrzeugen zurückgelegte Fahrleistung. Quelle: INFRAS.

### Elektrischer Energiebedarf e-SNF

[TWh]

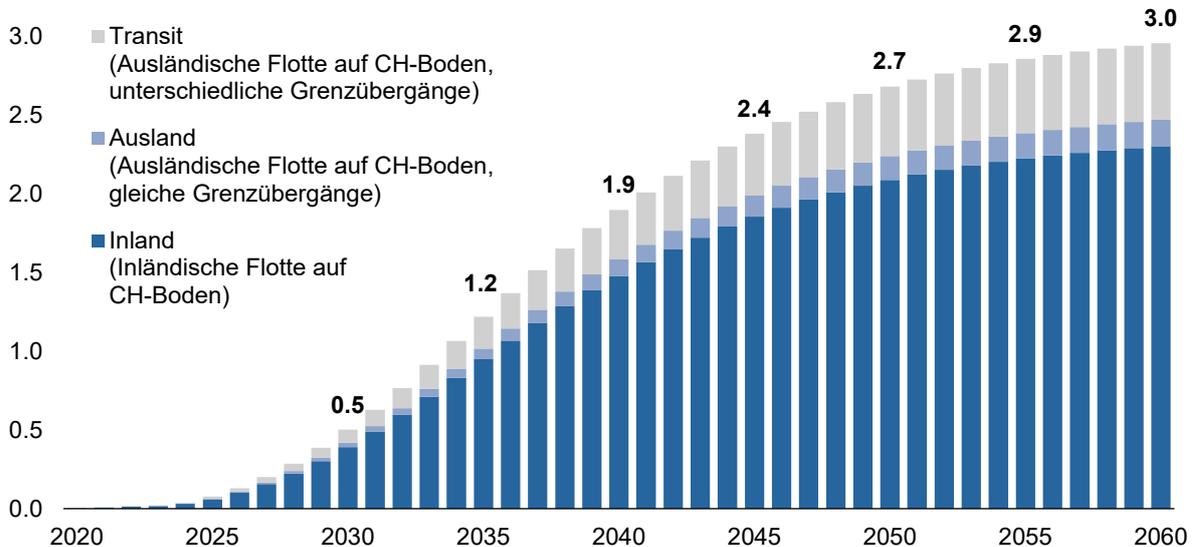


Abbildung 17: Energiebedarf der SNF in der Schweiz (oben) und Anteil am gesamten Energiebedarf des Strassenverkehrssektors bis 2060 (unten). Umfasst die auf Schweizer Boden von schweizerischen und ausländischen Fahrzeugen zurückgelegte Fahrleistung. Quelle: INFRAS.



Aus den vorherigen Ergebnissen ergibt sich für die Schweiz ein elektrischer Energiebedarf für e-SNF von 1.2 TWh im Jahr 2035 bzw. 2.7 TWh im Jahr 2050 (vgl. Abbildung 17). Langfristig beträgt der Energiebedarf rund 3 TWh, was etwa 5% des heutigen Strombedarfs der Schweiz entspricht (BFE 2025). Die inländische Flotte ist im Jahr 2060 für rund 78% dieses Energiebedarfs verantwortlich, die ausländische Flotte für rund 22%. Davon entfallen etwa 75% auf den Transitverkehr und rund 25% auf ausländische Fahrzeuge, die nicht zum Transitverkehr gehören.

### 3.3.3. Festlegung der Anwendungsfälle

Abbildung 18 zeigt die Verteilung der durchschnittlichen Tagesfahrleistung nach Fahrzeugkategorien für die in der Schweiz zugelassene Flotte gemäss IVZ. Die durchschnittliche Tagesfahrleistung in der Schweiz beträgt 110 km. Grundsätzlich wird die grosse Mehrheit der national zugelassenen SNF bis 2030 über ausreichend Reichweite verfügen, um ihren durchschnittlichen täglichen Bedarf abzudecken. Die Tagesfahrleistung variiert jedoch stark je nach Fahrzeugkategorie.

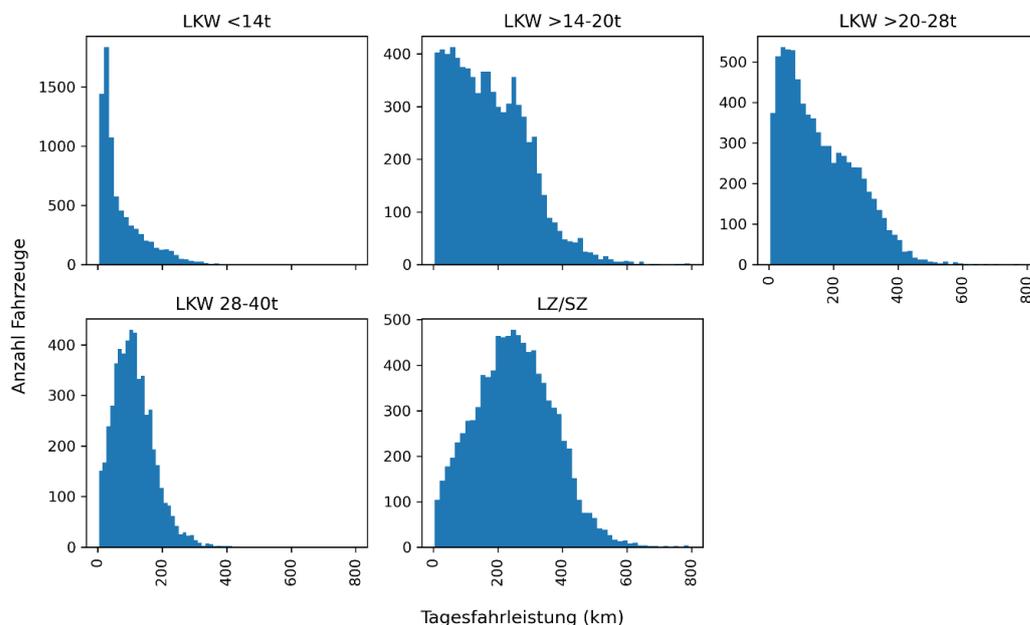


Abbildung 18: Verteilung der durchschnittlichen Tagesfahrleistungen verschiedener Kategorien Schweizer SNF. Gerechnet aus Lebensfahrleistung (IVZ). Annahme: 250 Tage pro Jahr im Durchschnitt. Bemerkung: Es gibt nur sehr wenige Fahrzeuge, die explizit als Lastzüge (LZ) registriert sind. Diese sind im IVZ eher als Lastwagen (LKW) erfasst, werden im Betrieb jedoch häufig als Last- oder Sattelzüge mit Anhänger eingesetzt. Somit fahren viele Fahrzeuge aus der Kategorie «LKW > 14-20 t» oder «LKW > 20–28 t» tatsächlich als «LZ /SZ» auf der Strasse, sind in dieser Grafik jedoch in der «LKW» Kategorien erfasst.

Die folgenden Hauptkategorien gemäss HBEFA sind zu unterscheiden:

- Zweiachsige Lastwagen bis ca. 14 t: Diese Fahrzeuge legen in der Regel kurze Tagesdistanzen zurück und sind häufig im Verteilerverkehr mit vielen Stop-and-Go-Phasen unterwegs. Sie haben geringe Jahresfahrleistungen und bleiben meist nicht lange im Fuhrpark, da das Fahrprofil sehr fordernd ist. Die Tagesdistanzen sind eher niedrig und relativ einfach zu elektrifizieren. Die Wirtschaftlichkeit ist jedoch nicht immer gegeben.
- Zweiachsige Lastwagen bis ca. 20 t sowie dreiachsige Solofahrzeuge (ca. 20–28 t): Diese Fahrzeuge weisen im Durchschnitt Tagesdistanzen von unter 200 km auf, allerdings gibt es auch viele Einsätze mit täglichen Fahrleistungen von bis zu 400 km oder mehr. Aufgrund ihrer teilweise hohen Laufleistungen sind sie grundsätzlich gut für eine Elektrifizierung geeignet. Sie verbleiben oft nur relativ kurze Zeit im Fuhrpark, da die Betriebskosten im Vordergrund stehen. Ein häufiger Fahrzeugwechsel ist wirtschaftlich sinnvoll, um die Effizienz zu steigern und in der günstigsten LSVA-Kostenklasse zu bleiben.



- Lastzüge / Sattelzüge (LZ/SZ): Diese weisen ähnliche Merkmale auf wie die dreiachsigen LKW: hohe Laufleistungen, kurze Verweildauer im Fuhrpark und häufige Fahrten auf der Autobahn. Sie gelten als besonders gut geeignet für eine Elektrifizierung – vorausgesetzt, es steht eine geeignete Ladeinfrastruktur zur Verfügung, die auch hohe tägliche Reichweiten ermöglicht.
- Schwere Lastwagen über 28 t (bis 40 t, vier- und fünfachsig): Diese Fahrzeuge haben tendenziell wieder niedrigere Fahrleistungen, sowohl täglich als auch jährlich, und bleiben relativ lange im Bestand. Sie legen häufig kurze Strecken zurück und sind daher weniger attraktiv für eine Elektrifizierung, weil die hohen Anschaffungskosten und Herstellungsemissionen im Verhältnis zum Betrieb dominieren.

Die Heatmap links zeigt (vgl. Abbildung 19), dass der Grossteil der Fahrzeuge kürzere Tagesdistanzen unter 200 km zurücklegt, insbesondere in den Klassen <7,5 t sowie 14–20 t. Fahrzeuge in höheren Gewichtsklassen (ab 20 t) sind dagegen häufiger auch in der Distanzklasse 200–400 km vertreten. Die rechte Darstellung verdeutlicht, dass ein erheblicher Teil der Fahrleistung im Bereich 200–400 km von Fahrzeugen der Klassen 14–32 t erbracht wird – trotz geringerer Stückzahl. Das weist auf eine zentrale Bedeutung dieser Klassen im Gütertransport hin. Gerade diese Fahrzeuge sollten prioritär elektrifiziert werden, da sich mit dem Ersatz einer vergleichsweise kleinen Anzahl von Fahrzeugen ein grosser Anteil der jährlich gefahrenen Kilometer elektrifizieren lässt. Zudem gibt es weiterhin eine relevante Anzahl an Fahrzeugen, die täglich mehr als 400 km zurücklegen. Diese lassen sich derzeit nur mit Zwischenladungen während des Tages elektrisch betreiben. Gespräche mit Workshop-Teilnehmenden haben jedoch gezeigt, dass es sich dabei häufig um Fahrzeuge im Zwei-Schicht-Betrieb handelt, bei denen eine Ladepause von rund zwei Stunden am Tag grundsätzlich möglich wäre (siehe Case Study «Elektrifizierung regionales Verteilzentrum» im Kap. 6.1).

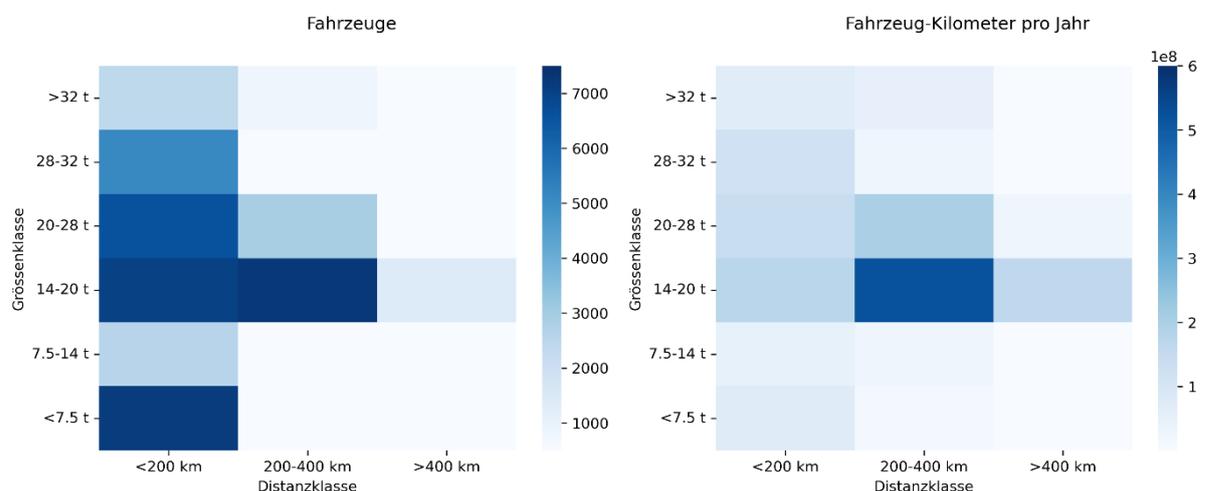


Abbildung 19: Verteilung Fahrzeuge und Fahrleistung je nach Grössenklasse. Quelle: IVZ, HBEFA, eigene Auswertungen INFRAS.

Für die grosse Mehrheit der Schweizer LKW ist die tägliche Reichweite kein begrenzender Faktor für die Elektrifizierung. Umgekehrt könnte eher die relativ geringe Jahresfahrleistung ein Hindernis darstellen, um die ökonomischen und ökologischen Vorteile eines elektrischen Antriebs voll auszuschöpfen. Im Kapitel 3.2 werden die Gesamtkosten je Anwendungsfall berechnet und diejenigen Fahrzeugtypen identifiziert, für die eine Elektrifizierung sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch sinnvoll ist.

Weiterhin sind Transitfahrzeuge ein relevanter Faktor für die Ladeszenarien: Sie legen typischerweise sehr hohe Tagesdistanzen zurück und sind in der Schweiz auf öffentliche Ladeinfrastruktur angewiesen. Die Modellierung des Transitverkehrs wird nachfolgend erläutert.



### 3.3.4. Modellierung des Auslands- und Transitverkehrs

Für die Modellierung wird analysiert, wie ausländische Lastwagen die Schweiz durchqueren, also über welche Grenzübergänge sie einreisen bzw. ausreisen, welche Routen sie am häufigsten nutzen, wie lange sie in der Schweiz sind und in welchem Land sie zugelassen sind. Dabei werden LSVa-Daten über ein gesamtes Jahr berücksichtigt (BAZG 2023). Abbildung 20 zeigt die Anzahl ausländischer Fahrzeuge pro Tag sowie deren typische Periodizität im Wochenverlauf. Abbildung 21 stellt die Anzahl der Übergänge je nach Ein- und Ausfahrtort dar.

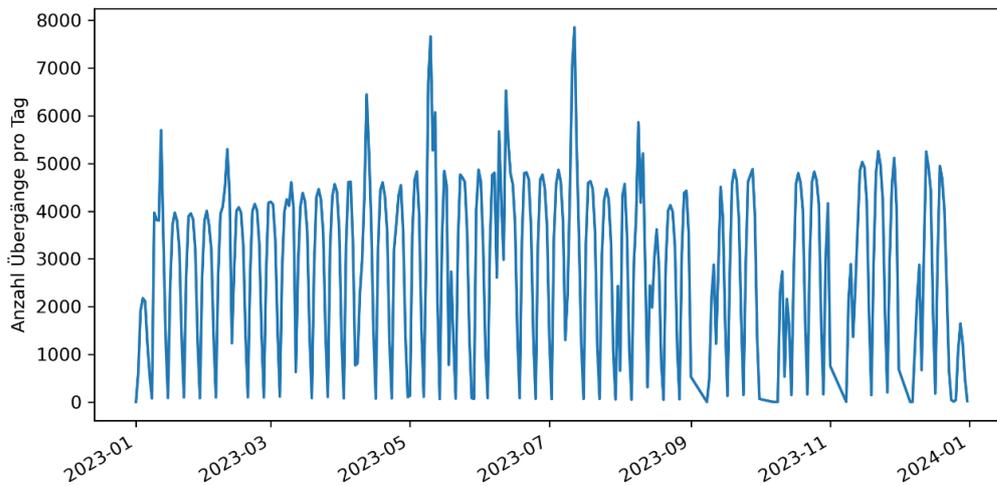


Abbildung 20: Anzahl ausländischer Lastwagen pro Tag. Quellen: Auswertung INFRAS auf Basis BAZG (2023).

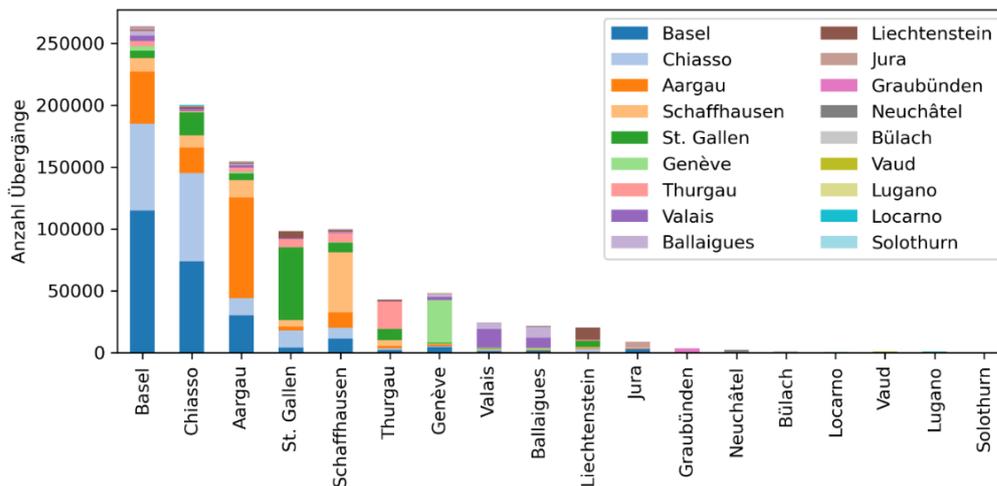


Abbildung 21: Grenzübergänge pro Jahr nach Ein- und Ausfahrtort. Quellen: Auswertung INFRAS auf Basis BAZG (2023)



Anschliessend wird berechnet, wie lange sich die ausländischen SNF in der Schweiz aufhalten und wie viele Kilometer sie dabei zurücklegen (vgl. Abbildung 22). SNF mit geringer Tagesfahrleistung (<200 km, blau) müssen in der Schweiz nicht zwingend nachladen. Bei mittleren Distanzen (200–300 km, orange) könnte ein Ladevorgang in der Schweiz erforderlich sein, während bei grösseren Distanzen (>300 km, grün) davon ausgegangen wird, dass in der Schweiz nachgeladen werden muss. Daraus lässt sich ableiten, wie viel Ladeinfrastruktur und welche Ladeleistung – HPC bzw. MCS – künftig benötigt werden.

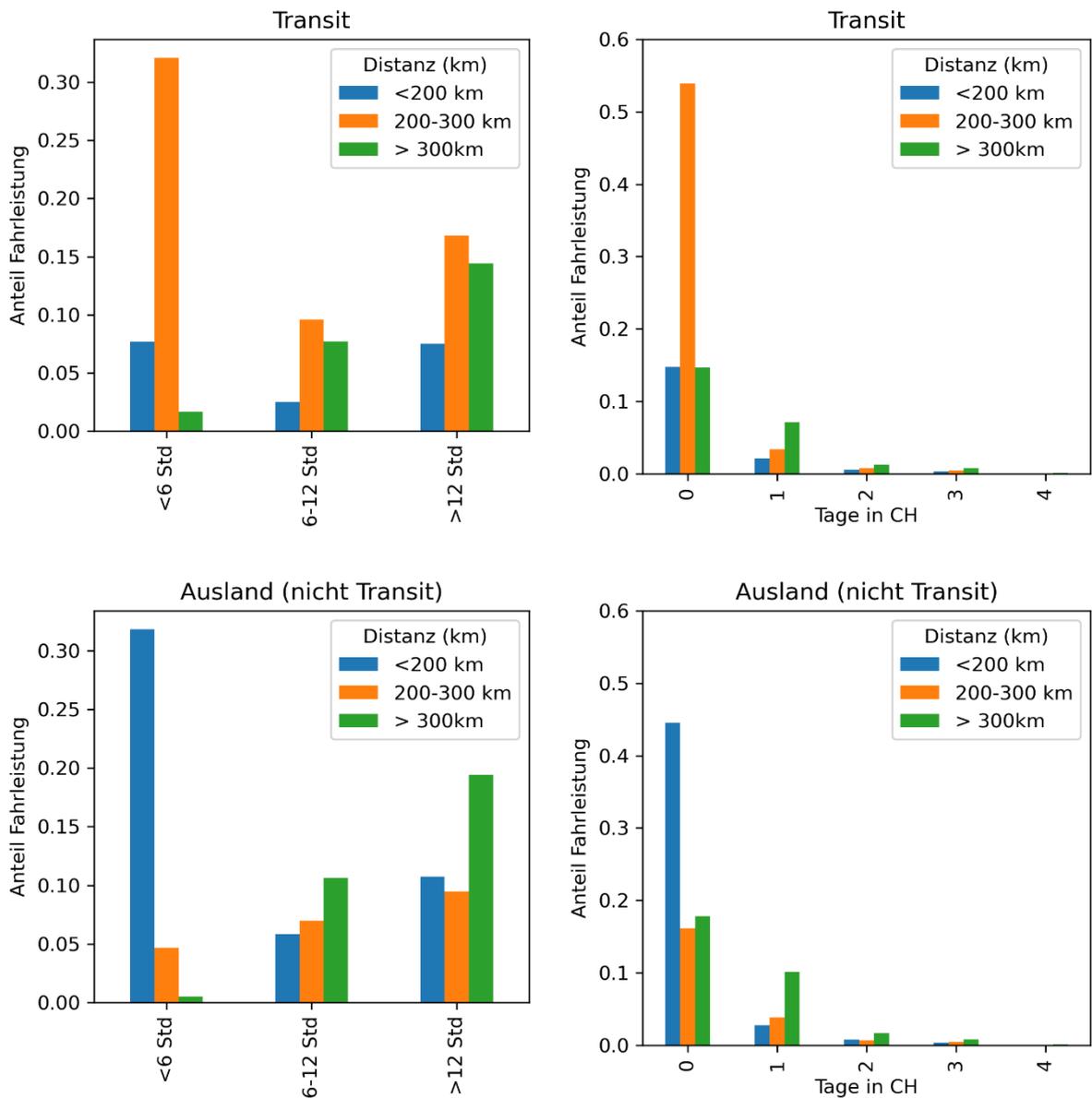


Abbildung 22: Aufenthaltsdauer und gefahrene Distanz in der Schweiz. Bemerkung: Beim «Transit» handelt es sich um ausländische Fahrzeuge, die unterschiedliche Grenzübergänge für die Ein- und Ausreise nutzen; beim «Ausland» um ausländische Fahrzeuge, die denselben Grenzübergang verwenden. Quellen: Auswertung INFRAS auf Basis BAZG (2023)



### 3.3.5. Ladeverhalten

Grundsätzlich wird zwischen nicht-öffentlich zugänglichem und öffentlich zugänglichem Laden unterschieden (vgl. Abbildung 23). Nicht öffentlich zugängliches Laden findet in der Regel auf Betriebsgeländen statt, typischerweise am eigenen Depot oder im Rahmen von Kooperationen auch an fremden Depots. Die hohen Investitionskosten für die Elektrifizierung des Depots stellen eine erhebliche Hürde dar; einige Transporteure planen, ein privates Ladenetz in Zusammenarbeit mit Partnern aufzubauen. Das öffentlich zugängliche Laden umfasst vor allem Ladeinfrastruktur an Schnellladehubs entlang der Nationalstrassen sowie in Industrie- und Gewerbegebieten. Ladeinfrastrukturen an Umschlagpunkten, etwa bei Logistik- und Verteilzentren, können sowohl privat als auch öffentlich sein.

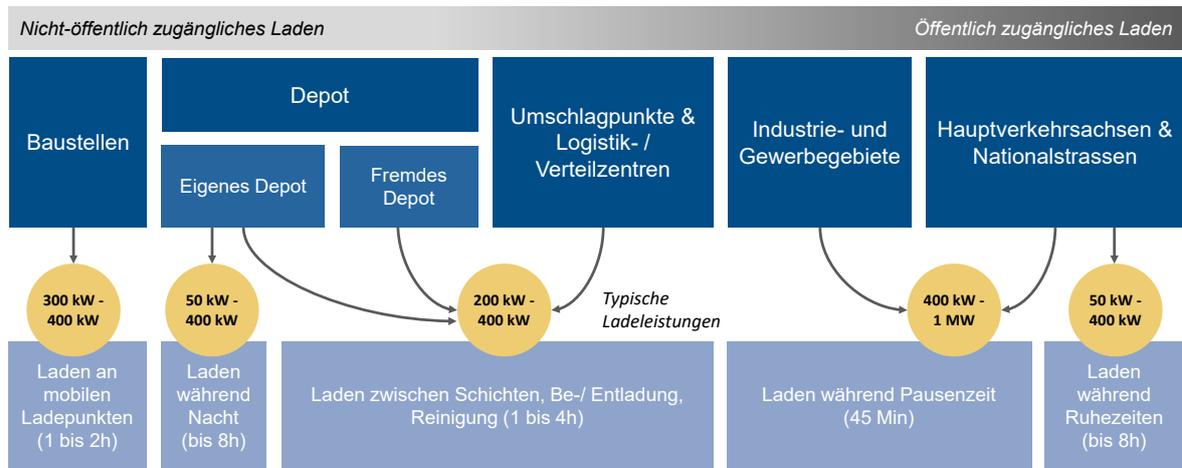


Abbildung 23: Lademöglichkeiten für schwere Nutzfahrzeuge. Quelle: INFRAS.

Abbildung 24 differenziert typische Einsatzszenarien von e-SNF anhand der Reichweite und des Ladeorts. Im Standardfall erfolgt das Laden über Nacht im eigenen Depot bei Tagesdistanzen unter 300 km. Dieser Anwendungsfall ist heute technisch gut abbildbar und infrastrukturell planbar und war auch die klare Präferenz aller Workshop-Teilnehmenden. Für längere Fahrten (>400 km) oder bei fehlendem Zugang zu einem eigenen Depot gewinnen Zwischenladen (z. B. während des Tages am Depot, an öffentlichen Ladepunkten oder in fremden Depots) sowie öffentliche Ladeinfrastruktur an Bedeutung – insbesondere bei Transit- und Mehrtagestouren. Für gewisse Fälle, etwa bei reiner Nutzung öffentlicher Infrastruktur ohne Zugang zu einem Depot bzw. zu privater Ladeinfrastruktur, bestehen aktuell noch grosse Herausforderungen.

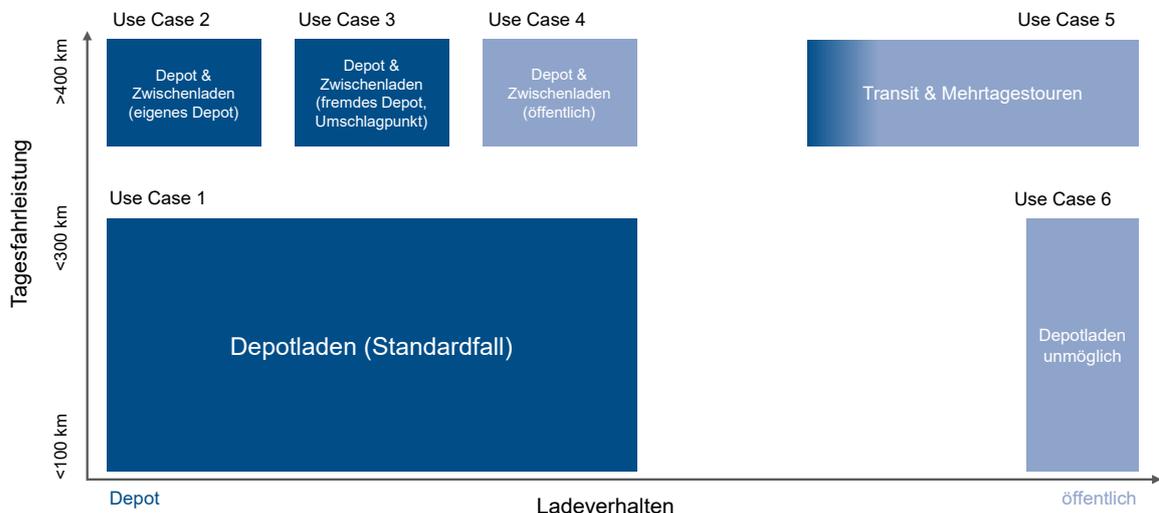


Abbildung 24: Einordnung typischer Anwendungsfälle nach Ladeort und Tagesfahrleistung. Quelle: INFRAS.



### 3.3.6. Ladeszenarien

Das Ladeverhalten von elektrisch betriebenen schweren Nutzfahrzeugen wird anhand von drei Szenarien modelliert, die sich im Anteil der Ladeenergie unterscheiden, welche entweder am Depot oder an öffentlichen Ladestationen bezogen wird. Bei den öffentlichen Ladestationen wird von zwei Leistungskategorien ausgegangen: dem Schnellladen mit hoher Leistung bis 400 kW, auch High Power Charging (HPC) genannt, sowie Ladesystemen für e-SNF mit sehr hoher Leistung bis zu 1 MW, den sogenannten Megawatt Charging Systemen (MCS). Im Depot wird eine Durchschnittsladeleistung von 50 kW angenommen. Die Annahmen basieren auf den Erkenntnissen aus den Workshops sowie auf Expertenschätzungen.

- Im Szenario «**Selbstständig**» erfolgt der grösste Teil der Ladung am firmeneigenen Depot. Die Unternehmen investieren gezielt in die eigene, private Ladeinfrastruktur und organisieren ihre Fahrten so, dass das öffentliche Laden weitgehend vermieden werden kann. Das öffentliche Ladenetz beschränkt sich entsprechend auf wenige, dafür stark frequentierte Ladehubs, insbesondere entlang wichtiger Transitachsen.
- Das Szenario «**Basis**» stellt einen mittleren Ausbaupfad dar. Der Anteil der Depotladung ist etwas geringer als im Szenario «Selbstständig», dafür wird das öffentliche Ladenetz intensiver genutzt. Insbesondere HPC-Ladestationen entlang überregionaler Routen sowie erste MCS-Standorte in Gewerbegebieten oder an logistischen Knotenpunkten kommen zum Einsatz. Dieses Szenario bildet die Referenzvariante.
- Im Szenario «**Flächendeckend**» wird von einem flächendeckend verfügbaren öffentlichen Ladenetz ausgegangen. Nicht alle Unternehmen in der Schweiz verfügen über eine eigene Ladeinfrastruktur – sei es aus wirtschaftlichen oder baulichen Gründen. Die Energieversorgung erfolgt grösstenteils über öffentlich zugängliche Ladepunkte, sowohl über HPC bzw. MCS entlang der Hauptverkehrsachsen. Das Szenario ist in gewissem Sinne als Obergrenze für die Anforderungen an die öffentliche Ladeinfrastruktur gedacht – es zeigt, welcher Bedarf im maximalen Fall entstehen könnte.

Anteil der Ladeenergie je Szenario

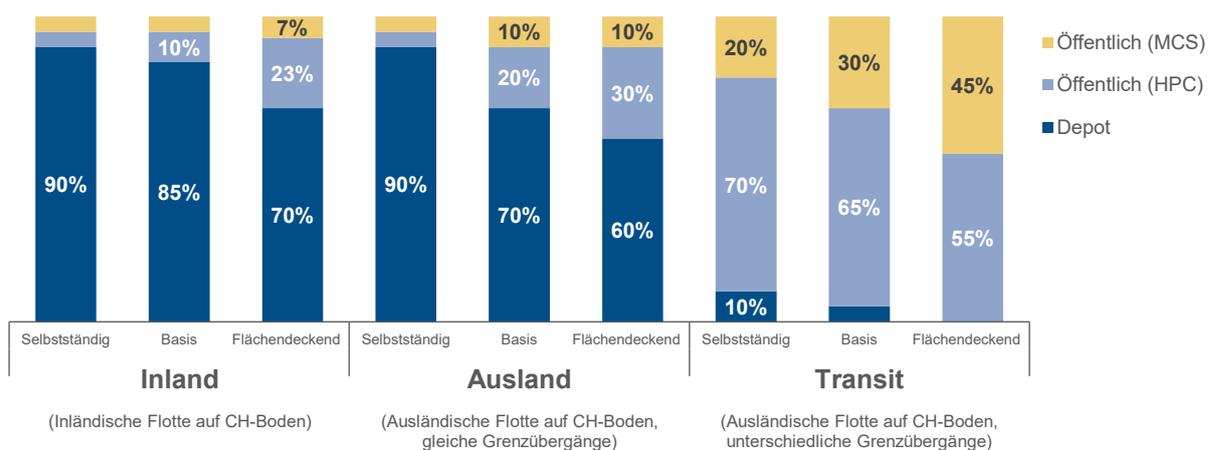


Abbildung 25: Annahmen zum Anteil der Ladeenergie differenziert nach Teilflotte ab 2030. Quelle: INFRAS.



Öffentliche Ladestationen sind mit hohen Ladegebühren und einem administrativen Aufwand für die Routenplanung und Reservierung der Ladepunkte verbunden – zudem bestehen Risiken, falls ein geplanter Ladepunkt nicht verfügbar ist. Für die Stakeholder stellt daher das Laden der Fahrzeuge in Depots die wirtschaftlich effizientere Option dar. Wichtig ist jedoch zu berücksichtigen, dass öffentliche Ladeinfrastruktur für kleinere Unternehmen eine zentrale Rolle spielt, die nicht genügend Mittel haben in eine eigene Ladeinfrastruktur zu investieren oder für die sich Ebensolche nicht lohnen würde, aufgrund einer zu kleinen Flotte. Gleiches gilt für den Transitverkehr, der auf öffentliche Ladeinfrastruktur in der Schweiz angewiesen ist.

Abbildung 26 zeigt die Annahmen zur Auslastung der Ladeinfrastruktur in den einzelnen Szenarien. Für private Depot-Ladestationen wird in allen Szenarien von einer durchschnittlichen Auslastung von 9% ausgegangen. Beim öffentlichen Laden steigt die Auslastung auf 15% im Szenario «Basis» beziehungsweise auf 20% im Szenario «Selbstständig».

### Auslastung der Ladestationen

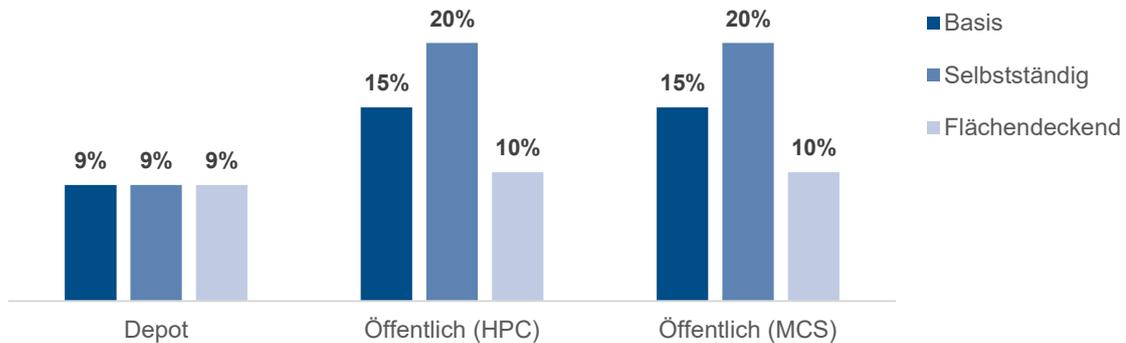


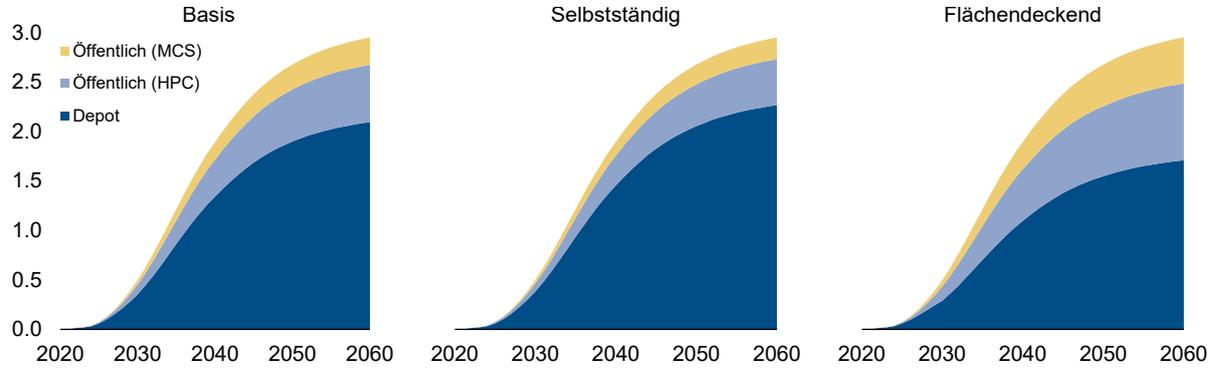
Abbildung 26: Annahmen zur Auslastung je Szenario. Bemerkung: Die Prozentangaben beziehen sich auf die bezogene im Verhältnis zur verfügbaren Energiemenge. Quelle: INFRAS.

Die Abbildung 27 zeigt den steigenden Energiebedarf und die installierte Ladeleistung für e-SNF in den drei Szenarien bis 2060. Der Gesamtenergiebedarf steigt zwischen 2025 und 2040 deutlich von 0.1 TWh auf 1.9 TWh und erreicht bis 2060 rund 3.0 TWh. Im Jahr 2025 entfallen etwa 80% der Gesamtenergiebedarfs auf Depotladen und 20% auf öffentliches Laden. Bis 2030 steigt der Anteil des öffentlichen Ladens im Szenario «Basis» auf 29%, im Szenario «Selbstständig» auf 23% und im Szenario «Flächendeckend» auf 42%. MCS macht in allen Szenarien 32% des öffentlichen Energiebedarfs aus und wächst nur im Szenario «Flächendeckend» bis 2060 weiter auf 37%.

Die totale installierte Ladeleistung unterscheidet sich nur geringfügig zwischen den Szenarien. Im Jahr 2060 liegt sie in den Szenarien «Basis» und «Selbstständig» bei 3.3 TW, im Szenario «Flächendeckend» bei 3.6 TW. Die rascheste Ausbauphase erfolgt zwischen 2030 und 2040, in der je nach Szenario 1.5 – 1.7 TW installiert werden. Der Anteil des Depotladens an totalen installierten Ladeleistung beträgt im Jahr 2060 im Szenario «Basis» 88%, im Szenario «Selbstständig» 80%, und im Szenario «Flächendeckend» lediglich 60%.



### Elektrischer Energiebedarf [TWh]



### Installierte Ladeleistung [TW]

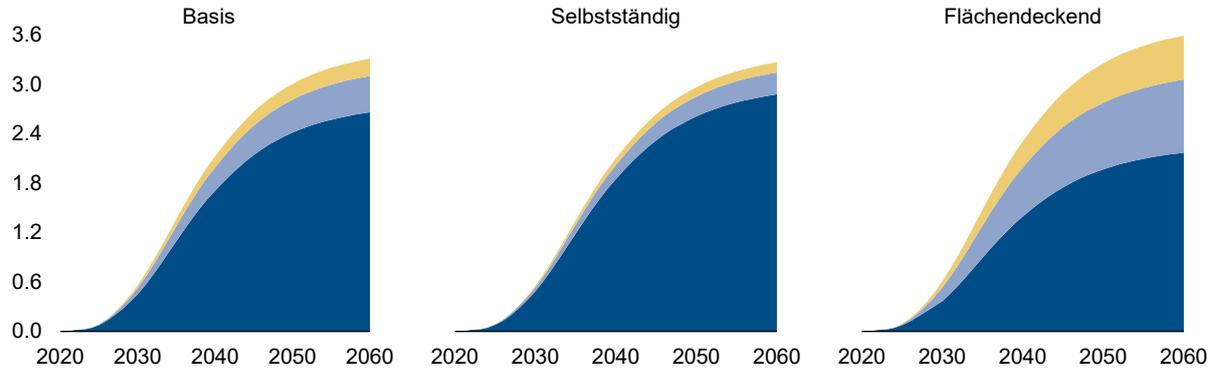


Abbildung 27: Energiebedarf (oben) und Ladeleistung (unten) im Vergleich der Szenarien. Quelle: INFRAS.

Die Grafiken in Abbildung 28 zeigen, dass bis 2060 in allen Szenarien vor allem Depottladepunkte dominieren – mit bis zu ca. 53'000 im Szenario «Basis», 58'000 Ladepunkten im Szenario «Selbstständig» bzw. 43'000 im Szenario «Flächendeckend». Der Anteil öffentlicher Ladepunkte ist im Szenario «Flächendeckend» am höchsten, mit rund 2'200 HPC- und 500 MCS-Ladepunkten im Jahr 2060. Die anderen Szenarien gehen von deutlich weniger öffentlichen Ladepunkten aus, ca. 1'100 HPC- und 200 MCS-Ladepunkte für das Szenario «Basis» und 700 HPC- und 100 MCS-Ladepunkte für «Selbstständig». Gleichzeitig liegt hier die Fahrzeug-zu-Ladepunkt-Relation bei etwa 1.5 e-SNF pro Ladepunkt, während sie in den anderen Szenarien bei etwa 1.2 bis 1.3 liegt – was auf eine bessere öffentliche Ladeverfügbarkeit im «Flächendeckend»-Ansatz hinweist.

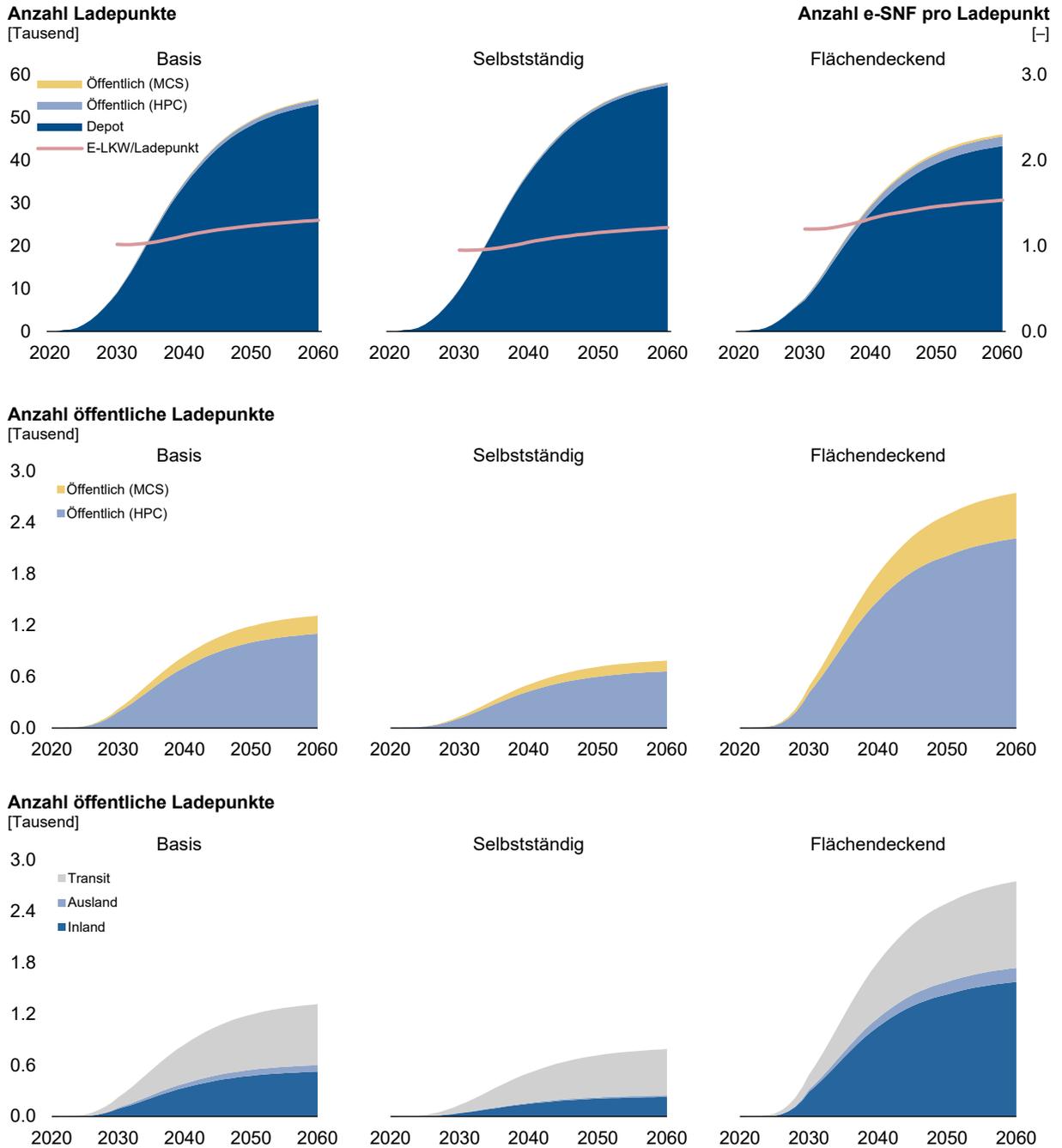


Abbildung 28: Anzahl Ladepunkte (oben) sowie Detaildarstellung der öff. Ladepunkte (unten). Quelle: INFRAS.



## 3.4 Schnellladenetz für e-SNF auf Nationalstrassen

### 3.4.1. Modellierung der regionalen Verteilung des öffentlichen Ladebedarfs auf Nationalstrassen

Im Folgenden wird der nationale Ladebedarf an öffentlichen Ladepunkten entlang der Nationalstrassen regionalisiert. Dabei werden die zuvor definierten Ladeszenarien berücksichtigt und durch weitere Überlegungen ergänzt – insbesondere zur Ausgestaltung des öffentlichen Ladenetzes:

- Soll das Netz auf wenige, grosse Ladehubs konzentriert sein? Ist ein flächendeckender Ausbau anzustreben?
- Erfolgt der Ausbau opportunitätsgetrieben, basierend auf Möglichkeiten und Chancen?

Zudem werden Überlegungen zur Etappierung des Ausbaus gegenüber dem angestrebten Zielzustand einbezogen – insbesondere mit Blick auf die Anforderungen an den Netzanschluss. Auf dieser Basis werden Kriterien zur Identifikation konkreter, geeigneter Standorte definiert, die im Rahmen der Case Study im Tessin angewandt wurden (vgl. Kap. 3.5). Umgekehrt flossen Erkenntnisse aus der Fallstudie zurück auf die nationale Ebene. Diese quantitativen Grundlagen – also der regionalisierte Ladebedarf sowie die pro Korridor und Szenario/Jahr benötigte Anzahl Ladepunkte an den Nationalstrassen – dienen dem ASTRA neben weiteren Grundlagen als fundierte Entscheidungsbasis für die Vorbereitung des geplanten Projektauftrags für e-SNF-Schnellladeinfrastruktur auf Nationalstrassen.

Da die Betreiber der verschiedenen Flotten – Inland, Ausland und Transit – radikal unterschiedliche Ladestrategien und Anforderungen an die öffentliche Ladeinfrastruktur haben werden (siehe vorheriges Kapitel), ist es wichtig, ihren regionalen Ladebedarf separat zu betrachten. Die regionale Verteilung des öffentlichen Ladebedarfs auf den Nationalstrassen in der Schweiz wird anhand einer von INFRAS entwickelten Methodik in vier Schritten modelliert (vgl. Abbildung 29).

#### 1) Definition von Korridoren

Im ersten Schritt erfolgt die Definition von Korridoren entlang der Nationalstrassen. Diese Nationalstrassenkorridore dienen als räumliche Bezugsräume für die spätere Ermittlung des Ladebedarfs. Sie wurden so abgegrenzt, dass sie eine angemessene Länge und räumliche Abdeckung aufweisen.

#### 2) Ermittlung des Transitanteils pro Korridor

Im zweiten Schritt wird bestimmt, welcher Anteil der gesamten Fahrleistung des Transitverkehrs auf die einzelnen Korridore entfällt. Die Fahrleistung pro Korridor wird anhand der LSVA-Erhebungen ermittelt (BAZG 2023). Daraus lässt sich der Transitverkehr als Anzahl Fahrten zwischen den Grenzübergängen ableiten. Für die Umlegung dieser Relationen auf die Korridore wird in QGIS eine routingbasierte Analyse durchgeführt, die auf einer zeitoptimierten Routenwahl basiert. Diese berücksichtigt sowohl die zulässige Geschwindigkeit als auch eine Priorisierung nach Strassentypen. Es wird angenommen, dass der gesamte Transitverkehr über die Nationalstrassen abgewickelt wird. Als Ergebnis ergibt sich der prozentuale Anteil der Fahrleistung auf jedem Korridor, der dem Transitverkehr zuzurechnen ist.

#### 3) Abgrenzung von Inland- und Auslandverkehr (ohne Transit)

Im dritten Schritt wird der Anteil der Fahrleistung pro Nationalstrassenkorridor bestimmt, der dem übrigen Inland- und Auslandverkehr (ohne Transit) zugeordnet werden kann. Als Grundlage diene der Datensatz der schweren Nutzfahrzeuge aus dem nationalen Verkehrsmodell des ARE von 2017. Im Wesentlichen wurde der in Schritt 2 berechnete Transitverkehr vom Gesamtverkehr des nationalen Verkehrsmodells für jeden Korridor abgezogen.

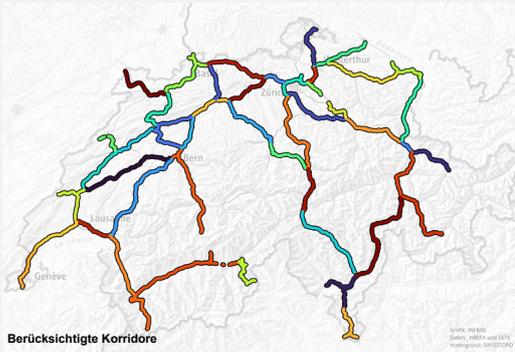
#### 4) Ableitung des Ladebedarfs

Im vierten Schritt wird die erforderliche Anzahl öffentlicher Ladestationen je Korridor abgeleitet. Diese basiert auf den zuvor bestimmten Fahrleistungsanteilen des Transitverkehrs sowie des übrigen Verkehrs (Inland, Ausland) und der gesamtschweizerischen Anzahl für die benötigten Ladestationen. Mit der angewendeten Methodik wird angenommen, dass der Ladebedarf immer auf den Korridoren vorhanden ist, wo auch die entsprechende Fahrleistung erbracht wird. In Grenznähe oder bei wichtigen Alpenübergängen ist dies nicht zwingend der Fall.

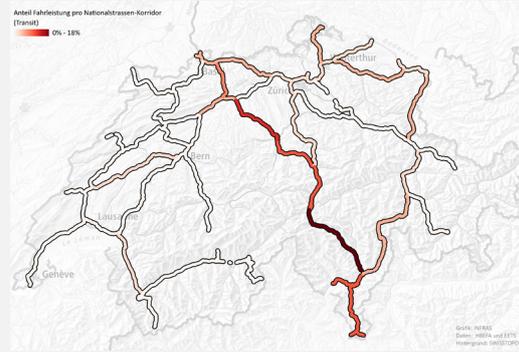


## Regionalisierung des Ladebedarfs – Methodik in der Übersicht

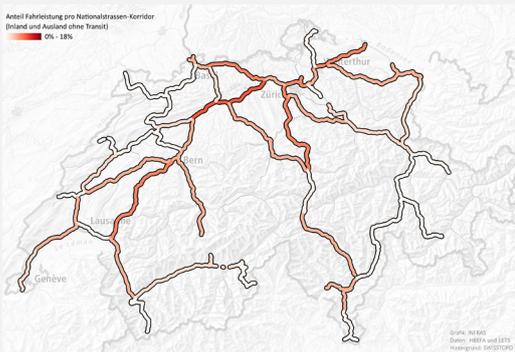
### 1 Definition von Korridoren



### 2 Bestimmung des Anteils der Fahrleistung «Transitverkehr» pro Korridor



### 3 Bestimmung des Anteils der Fahrleistung auf Schweizer Boden (exkl. Transit) pro Korridor



### 4 Ableitung der Anzahl Ladestationen pro Korridor

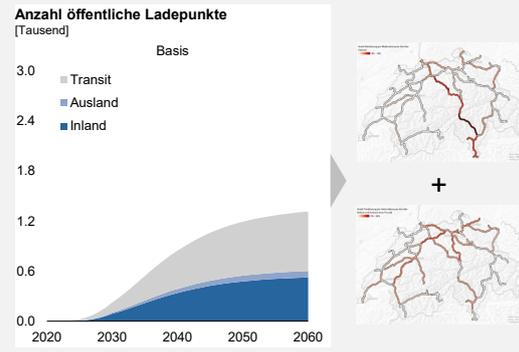


Abbildung 29: Methodik in der Übersicht. Quelle: INFRAS.

### 3.4.2. Regionale Verteilung des öffentlichen Ladebedarfs: Ergebnisse

Die Ergebnisse der Szenarien «Selbständig», «Basis» und «Flächendeckend» werden für die Jahre 2030, 2035, 2040 und 2050 dargestellt. Abbildung 30 fasst die Resultate zusammen und zeigt sowohl die Anzahl benötigter Ladepunkte als auch die erforderliche Gesamtleistung in Megawatt (MW) auf.

Im Szenario «Basis» wird im Jahr 2030 eine Ladeleistung von 107 MW benötigt, die bis 2035 auf 259 MW und bis 2050 auf 570 MW ansteigt. Dies entspricht rund 220 Ladepunkten im Jahr 2030, etwa 520 im Jahr 2035 und 1'150 im Jahr 2050. Der Anteil an MCS liegt bei 16%. Das Szenario «Selbständig» geht von einem deutlich geringeren öffentlichen Ladebedarf aus: Rund 39% weniger Ladepunkte. Entsprechend gibt es auch gewisse regionale Lücken im nationalen Netz. Die erforderliche Ladeleistung beträgt hier 65 MW im Jahr 2030 und steigt auf 345 MW im Jahr 2050. Das Szenario «Flächendeckend» stellt ein Maximalszenario dar, bei dem ein grosser Teil des Ladebedarfs über die öffentliche Ladeinfrastruktur gedeckt wird. Entsprechend verdoppelt sich die Anzahl notwendiger Ladepunkte gegenüber dem Basisszenario: ca. 460 Ladepunkte im Jahr 2030 und 2'370 im Jahr 2050. Die erforderliche Ladeleistung beträgt 230 MW im Jahr 2030 und steigt bis zum Jahr 2050 auf 1'225 MW.

In allen drei Szenarien steigen die Anzahl Ladepunkte und Gesamtleistung in MW zwischen 2030 und 2050. Der schnellste Zubau ist jedoch zwischen 2030 und 2035 zu erwarten. Beispielsweise steigt die erforderliche Ladeleistung von 107 MW im Jahr 2030 auf 259 MW im Jahr 2035 – das entspricht einem Zuwachs von über 140% innerhalb von nur fünf Jahren. Der rasche Hochlauf der Ladeinfrastruktur für e-SNF zwischen 2030 und 2035 bedeutet für den Schwerverkehr eine sehr dynamische Hochlaufphase,



in der ein grosser Teil der notwendigen Infrastruktur bereitgestellt werden muss. Je nach Entwicklung der öffentlichen Ladeinfrastruktur kann auch die Elektrifizierungsstrategie von Unternehmen beeinflusst werden, da eine verlässliche und dichte öffentliche Ladeinfrastruktur die Notwendigkeit der Depotelektrifizierung verringern und die Umstellung der Flotten kleinerer Unternehmen beschleunigen könnte.

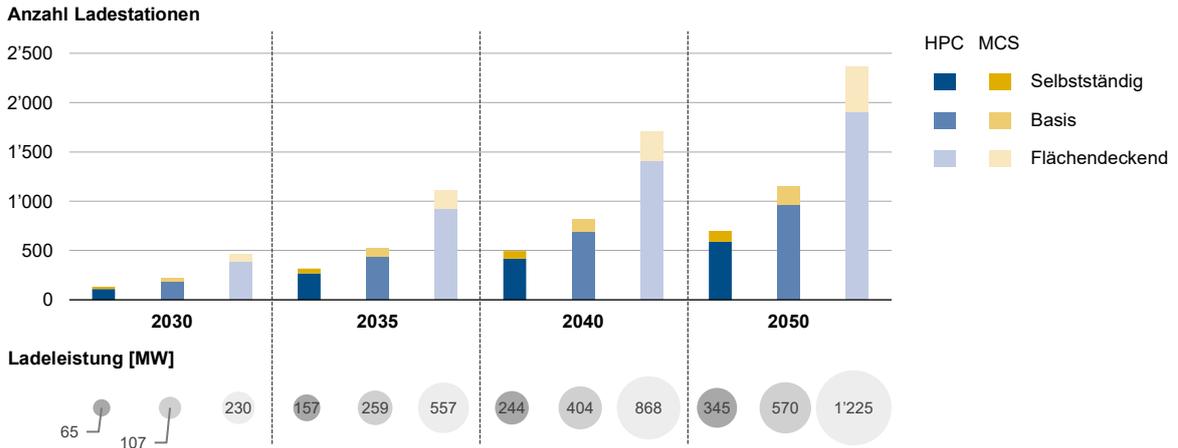


Abbildung 30: Anzahl benötigter Ladepunkte und Ladeleistung Nationalstrasse je Szenario und Jahr. Quelle: INF-RAS.

Abbildung 31, Abbildung 32 und Abbildung 33 zeigen die Ergebnisse für das Jahr 2030 je Szenario. Die Ergebnisse für die Jahre 2035, 2040 und 2050 sind in Anhang 6.1 zu finden.

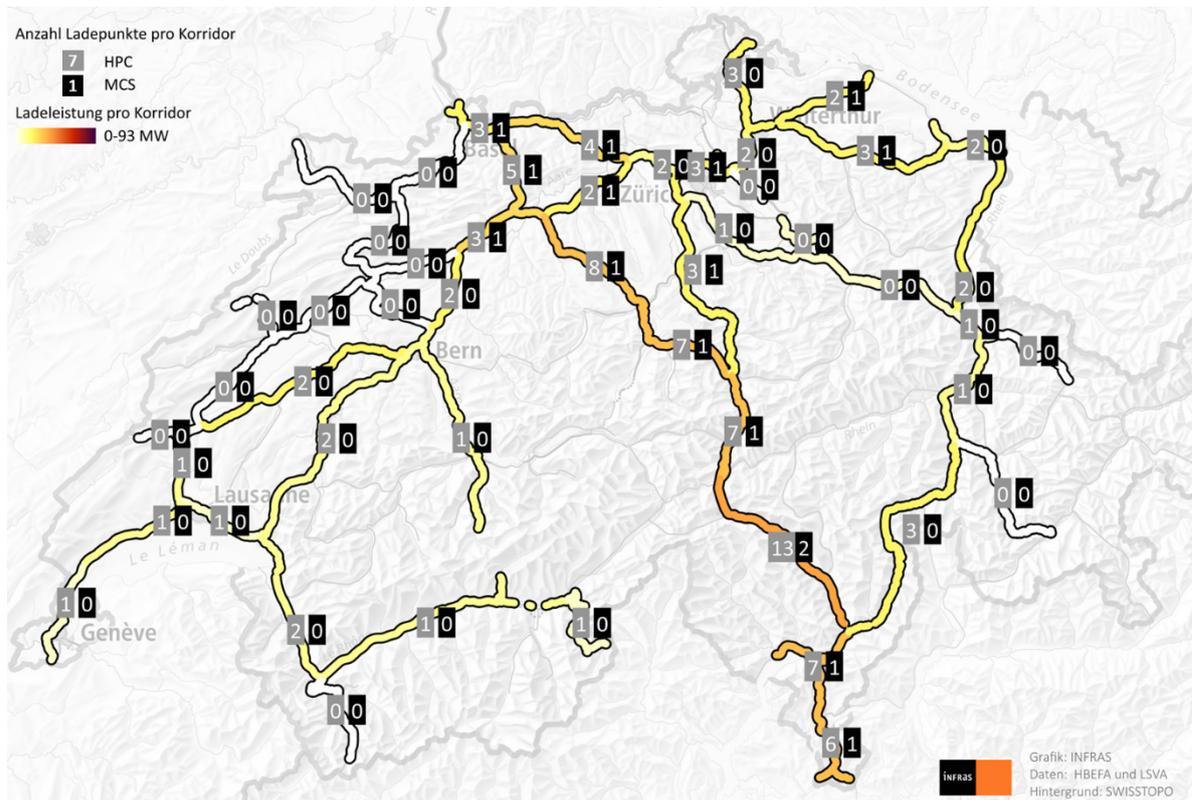


Abbildung 31: Szenario «Selbstständig» 2030.

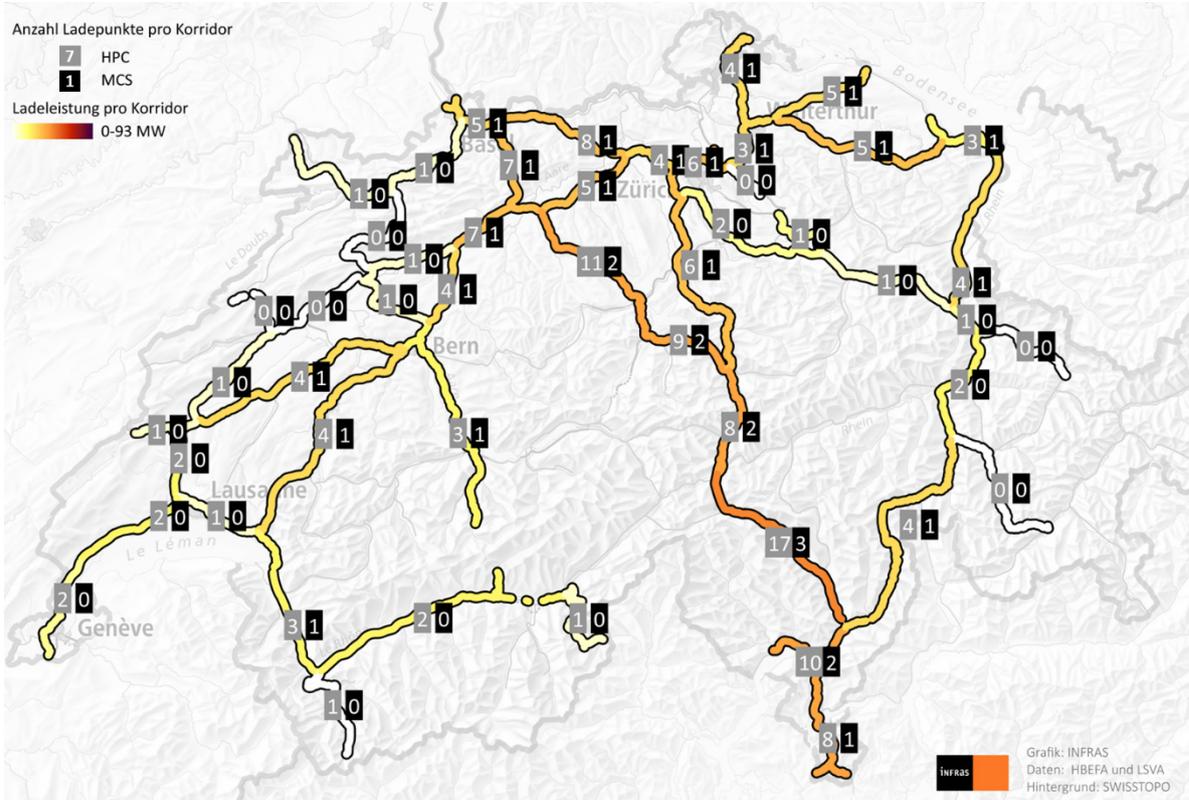


Abbildung 32: Szenario «Basis» 2030.

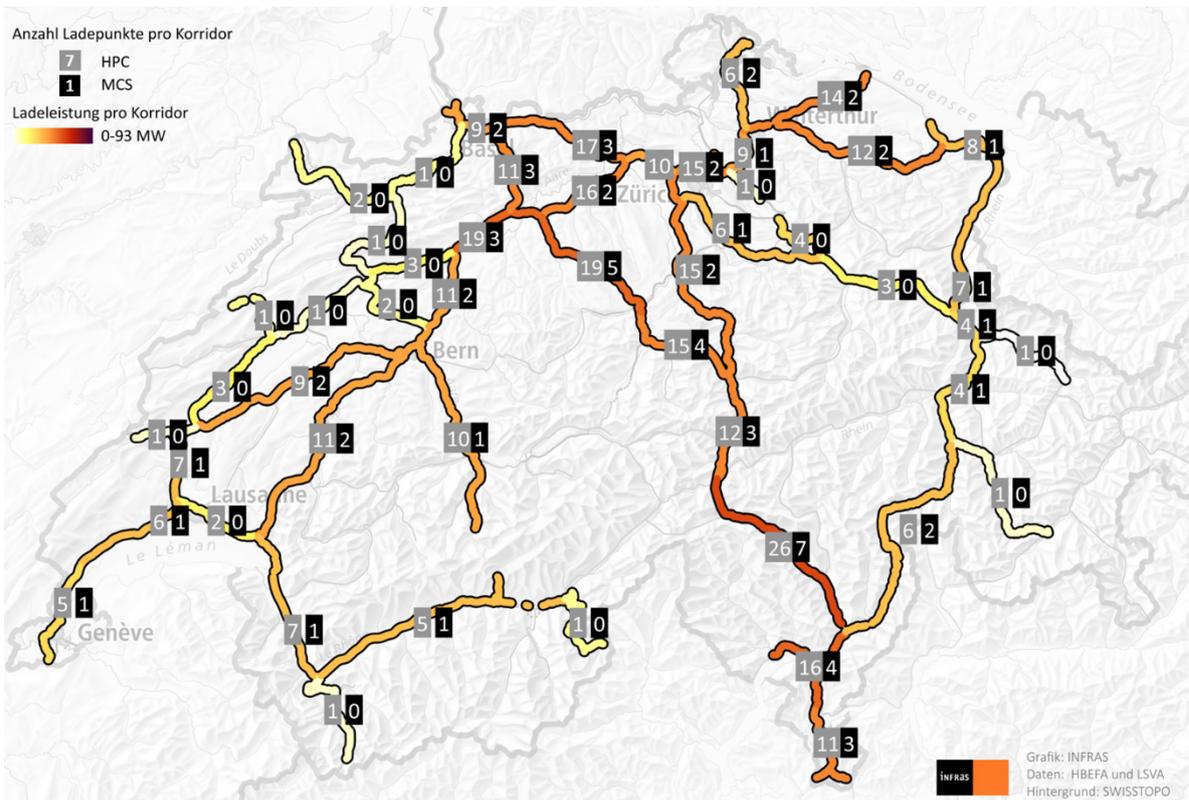


Abbildung 33: Szenario «Flächendeckend» 2030.



### 3.4.3. Empfehlungen für ein Schweizer Schnellladenetz

Die erarbeiteten Szenarien beziehen sich auf unterschiedliche Zeithorizonte und sind jeweils für verschiedene Ausbauphasen der Ladeinfrastruktur von Bedeutung. Insbesondere dienen sie als Grundlage für die Dimensionierung einer ersten Ausbautappe eines nationalen Schnellladenetzes bis 2030 sowie für eine zweite Ausbautappe mit weiteren Entwicklungsschritten bis 2035 und 2040. In diesen späteren Phasen gewinnt die Frage der Netzanschlussdimensionierung zunehmend an Bedeutung und sollte frühzeitig in die Planungen integriert werden, um Engpässe zu vermeiden. Grundsätzlich stellt sich insbesondere in der frühen Ausbauphase die Frage, ob der Fokus auf wenigen, grossen Ladehubs oder auf einer hohen Dichte kleinerer Ladehubs für e-SNF liegen sollte. In der Schweiz ist die Grösse einzelner Ladehubs oft durch begrenzte Platzverhältnisse und die verfügbare Netzanschlussleistung limitiert. Eine möglichst flächige Verteilung von kleinen bis mittelgrossen Ladehubs entlang der Hauptverkehrsachsen erscheint daher realistischer und einfacher umsetzbar.

Es wird empfohlen, das Szenario «Basis» als Ausgangspunkt für weiterführende Überlegungen und Planungen in der Branche zu verwenden:

- Die erste Ausbautappe bis 2030 sollte sich auf die wichtigsten Transitachsen mit dem erwartbar höchsten Ladebedarf konzentrieren.
- Die zweite Ausbautappe (z.B. bis 2035) sollte den Fokus auf die weitere Stärkung der Transitachsen sowie auf eine verbesserte regionale Abdeckung des Ladenetzes legen.
- Einige regionale Lücken könnten bereits früher im Sinne eines flächendeckenden Netzes geschlossen werden. Es ist jedoch fraglich, ob dies für private Investoren attraktiv genug ist – eine entsprechende Prüfung wird empfohlen.
- Der ausgewiesene Ladebedarf berücksichtigt bereits das Übernachten der LKW während der Ruhezeit. Eine separate Ladeinfrastruktur ist daher nicht erforderlich; es kann die bestehende genutzt werden, unter der Voraussetzung, dass niedrigere Ladeleistungen von 50–100 kW an HPC-Ladestationen möglich sind. Ein mögliches Hemmnis besteht jedoch darin, dass aufgrund der gesetzlichen Ruhezeiten ein Umparkieren nicht erlaubt ist und der Ladepunkt nach dem Ladevorgang entsprechend nicht freigegeben werden kann.

### 3.4.4. Bewertungskriterien

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden folgende zentrale Bewertungskriterien erarbeitet, um die Auswahl konkreter, potenzieller Standorte innerhalb der definierten Korridore zu prüfen:

- Ladebedarf: Wie viele Ladevorgänge sind wann in dem jeweiligen Korridor zu erwarten?
- Platzverfügbarkeit: Ist vor Ort ausreichend Fläche vorhanden, um Ladeplätze für e-SNF samt erforderlicher Infrastruktur zu errichten?
- Netzanschluss: Kann die erforderliche Ladeleistung im Zielzustand am Standort bereitgestellt werden, oder bieten alternative Standorte eine vorteilhaftere Ausgangssituation hinsichtlich Netzanschluss und Netzausbaukosten?
- Ladestrategische Überlegungen: Besonders relevant in Grenznähe sowie vor verkehrsstrategisch wichtigen Zonen wie beispielsweise dem Gotthard-Tunnel.

Weitere Aspekte, die in die Standortbewertung einfließen sollten, sind:

- Attraktivität des Standorttyps (z. B. Raststätten, Logistikstandorte, Tankstellen),
- Verfügbarkeit von sanitären Anlagen (Toiletten und Duschen) insb. für den Transitverkehr
- Klärung der Zuständigkeiten zwischen dem Bund, den Kantonen und den Energieversorgern,
- Gibt es am Standort bereits Ladeinfrastruktur oder befindet sich eine solche in Planung?

Darüber hinaus sollte auch geprüft werden, ob Standorte in kurzer Entfernung zur Autobahn realisierbar sind.



### 3.5 Case Study «Potenzielle Standorte für e-SNF-Ladehubs im Tessin»

Im Rahmen der Fallstudie wurde die Machbarkeit von Ladeinfrastruktur an potenziellen Standorten entlang des Autobahnabschnitts zwischen Airolo und Chiasso untersucht. In einem Workshop wurden die Annahmen für die Szenarien und den daraus resultierenden Ladebedarf gemeinsam mit der Azienda Elettrica Ticinese (AET) als Verteilnetzbetreiber entlang der Autobahn A2, dem Kanton Tessin und dem ASTRA bestätigt bzw. ergänzt. Zudem wurden das Potenzial von Ladeinfrastruktur an den identifizierten Standorten grob abgeschätzt und weitere Hemmnisse identifiziert bzw. diskutiert. Im Folgenden sind die zentralen Erkenntnisse kurz zusammengefasst.

#### 3.5.1. Untersuchtes Gebiet

Abbildung 34 zeigt das untersuchte Gebiet: den Autobahnabschnitt von Airolo bis Chiasso. Innerhalb dieses Abschnitts kommen fünf Raststätten, acht Rastplätze, ein Schwerverkehrskontrollzentrum sowie eine Zollabfertigung als potenzielle Standorte für den Aufbau von Schnellladehubs in Frage. Diese Standorte unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften:

- Raststätten befinden sich in kantonaler Zuständigkeit und verfügen in der Regel über eine Tankstelle, ein Restaurant und sanitäre Anlagen. AET hat in sechs Tessiner Raststätten Schnellladeinfrastruktur für Personenwagen und teilweise auch für LKW erstellt.
- Schwerverkehrszentren (SVZ) bieten viel Platz für Kontrollen und zum Warten und i.d.R. keine Verpflegungsmöglichkeiten. In Giornico sind bereits vier HPC-Ladepunkte (2 Ladesäulen mit Doppelanschluss und einer Leistung von jeweils 384 kW) in Betrieb.
- Rastplätze sind ebenfalls unter der Zuständigkeit des ASTRA. Sie verfügen über Picknicktische, Toiletten und teilweise über mobile Imbissstände. Der Fokus liegt hier primär auf dem Aufbau von Schnellladeinfrastruktur für Personenwagen. Aufgrund begrenzter Flächenverfügbarkeit ist der Ausbau für e-SNF tendenziell eingeschränkt.
- ASTRA-Restparzellen erfüllen die Anforderungen für Schnellladehubs nicht und werden daher nicht weiter berücksichtigt.

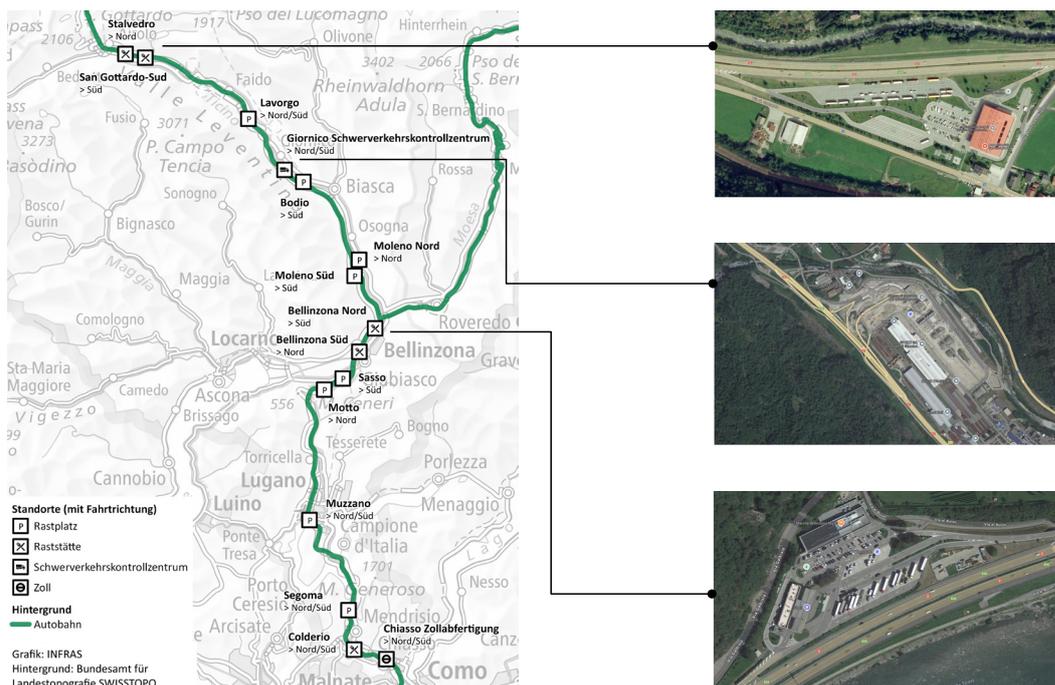


Abbildung 34: Untersuchtes Gebiet mit Standorten und ausgewählten Luftbildern (Quelle: Google Maps)



### 3.5.2. Ergebnisse der Beurteilung potenzieller Standorte

Bei der Bewertung der potenziellen Standorte standen insbesondere zwei Aspekte im Fokus: Einerseits die Verfügbarkeit ausreichend grosser und geeigneter Flächen (Platzbedarf), andererseits die Möglichkeit, einen Netzanschluss mit der erforderlichen elektrischen Leistung zu realisieren (Möglichkeit Netzanschluss). Ergänzend wurden mögliche Ladestrategien für den Transit- sowie den Binnenverkehr diskutiert sowie bestehende und geplante Projekte für die Errichtung für Ladestationen berücksichtigt.

Die Analyse der potenziellen Standorte zeigt ein heterogenes Bild. Einige Standorte eignen sich aufgrund Platzmangels nicht für öffentliche Ladeinfrastruktur, andere werden bereits genutzt (Giornico) oder umgebaut. Die Eignung der Standorte wurden nach den Anforderungsbereichen anhand eines Ampelsystems eingeschätzt. Die besten Standorte sind das SVZ Giornico sowie die Raststätten Stalvedro und Bellinzona Süd (alle in kantonaler Zuständigkeit). Einige dieser Standorte verfügen jedoch über einen LKW-Warteraum, der theoretisch als Parkplatz zum Aufladen genutzt werden könnte, wobei eine Umnutzung des LKW-Warteraums in Zuständigkeit ASTRA nicht wahrscheinlich ist. Denn die Warteräume sind als Wartefläche im Falle von Ereignissen auf der Autobahn ausgewiesen und nicht für das Parken zum Laden vorgesehen. Weiter besteht gewisses Potenzial bei den Rastplätzen, wobei die Hälfte nur für Personenwagen sind.

| Standort                                 | Platzbedarf | Netzanschluss | Bemerkungen  |
|--|-------------|---------------|--|
| Raststätte Stalvedro ✓                   | ●           | ● ●           | Platz: LKW-Warteraum (Zuständigkeit ASTRA)               |
| Raststätte San Gottardo Süd              | ●           | ● ●           | Platz: LKW-Warteraum (Zuständigkeit ASTRA)               |
| Raststätte Bellinzona Nord               | ● ●         | ●             | Trafo zu weit weg, Parkplätze für LKW sind sehr begrenzt |
| Raststätte Bellinzona Süd ✓              | ●           | ●             | Strategischer Standort (auch Richtung GR)                |
| Raststätte Colderio Nord / Süd           | ●           | ●             | Der Platz ist sehr limitiert.                            |
| Rastplatz Lavorgo Nord / Süd             | ● ●         | ●             |  |
| Rastplatz Bodio                          | ●           | ●             | Platz: LKW-Warteraum (Zuständigkeit ASTRA)               |
| Rastplatz Moleno Nord                    | ● ●         | ●             |  |
| Rastplatz Moleno Süd                     | ● ●         | ●             |  |
| Rastplatz Sasso                          | ●           |               | kein Platz / nur für Personenwagen                       |
| Rastplatz Muzzano                        | ●           |               | kein Platz / nur für Personenwagen                       |
| Rastplatz Motto                          | ●           |               | kein Platz / nur für Personenwagen                       |
| Rastplatz Segoma                         | ●           |               | kein Platz / nur für Personenwagen                       |
| Schwerverkehrskontrollzentrum Giornico ✓ | ●           | ●             | Gute Voraussetzungen, Platz vorhanden.                   |
| Zollabfertigung Chiasso                  | ●           | ●             | Unklar, ob Laden möglich ist.                            |

Abbildung 35: Übersicht potenzieller Standorte für öffentliche Ladeinfrastruktur

Im Folgenden wird auf die wichtigsten Standorte genauer eingegangen:

- Raststätte Stalvedro: Aktuell sind 3 Schnellladesäulen mit 6 Ladepunkten für Personenwagen installiert. Es besteht Platz, diese auszubauen. Generell ist Platz vorhanden. LKW-Fahrer:innen können dort übernachten. Für LKW gibt es einen Warteraum (Zuständigkeit ASTRA) auf der Raststätte, der nicht für das Laden vorgesehen ist.
- Raststätte San Gottardo Süd: Ladeinfrastruktur für Personenwagen wurde bereits geschaffen und sollen weiter ausgebaut werden (4 Schnellladesäulen mit 8 Ladepunkten bestehen bereits). Platz ist theoretisch vorhanden, aber auch hier handelt es sich bei der Fläche um einen Warteraum (Zuständigkeit ASTRA). Der Standort ist grundsätzlich gut geeignet, liegt jedoch etwas entfernt von Bellinzona. Möglicherweise wäre der Ladebedarf näher bei Bellinzona – also vor den topografisch anspruchsvollen Steigungen – höher, da e-SNF in diesem Abschnitt voraussichtlich besonders viel Energie verbrauchen. Das Laden in der Nähe des Strassentunnels macht aufgrund der nachfolgenden Talfahrt weniger Sinn, weil die Rekuperationsfähigkeit bei vollen Batterien geringer bzw. ganz limitiert ist.



- Raststätte Bellinzona Süd: Die Raststätte ist ein strategisch wichtiger Standort, da sie sowohl die Nord- als auch die Ostachse (Graubünden) bedienen könnte. Die gesamte Fläche liegt im Zuständigkeitsbereich des Kantons. AET hat bereits die Kabelschutzrohre für die zukünftigen Schnellladesäulen für Personenkraftwagen installiert. Es wäre möglich hier ein Schnellladehub zu erstellen, da Zugang zum Mittelspannungsnetz vorhanden ist. Aus gesamtheitlicher Sicht voraussichtlich der zweitbeste Standort nach dem SVZ in Giornico.
- Rastplatz Lavorgo Nord und Süd: Die Platzverfügbarkeit ist gut. Am Standort Lavorgo ist jedoch nur eine begrenzte Restleistung verfügbar.
- Rastplatz Bodio: Es gibt einen Warteraum für LKW, der sich auf dem Rastplatz befindet. Dieser ist jedoch nicht für Ladepunkte vorgesehen. Man könnte die aussenliegenden Parkplätze elektrifizieren, das würde aber die Anzahl Parkplätze reduzieren. Der Netzanschluss ist ausbaufähig, es wären aber Bauarbeiten notwendig.
- Rastplatz Moleno Nord und Süd: Der Rastplatz verfügt über einige LKW-Parkplätze. Einige Ladepunkte auf beiden Rastplätzen sind möglich. Derzeit steht keine zusätzliche Leistung zur Verfügung, es sei denn, es werden Massnahmen am 16-kV-Netz vorgenommen.
- SVZ Giornico: 2 HPC-Ladesäulen mit 4 Ladepunkten sind in Betrieb. Insgesamt sind zehn LKW-Parkplätze mit fünf Ladepunkten vorgesehen, eine Erweiterung wäre möglich. Der Netzanschluss ist bereits jetzt leistungsfähig und bei Bedarf ausbaufähig. So wären bis zu 10 MW mit einer zusätzlichen dedizierten 16-kV-Verbindung zur UW in Bodio realisierbar. Ausländische LKW müssen das Schwerverkehrszentrum ohnehin passieren. Das Laden wäre nach der potenziellen Kontrolle möglich; während der Kontrolle ist ein Ladevorgang derzeit nicht vorgesehen. Die Fahrer:innen können in Giornico übernachten. Insgesamt handelt es sich um den am besten geeigneten Standort, da er sowohl in nördlicher als auch in südlicher Richtung nutzbar ist. Ein Nachteil besteht allerdings darin, dass die Ostachse in Richtung Graubünden nicht abgedeckt wird.
- Raststätte Coldrerio Nord / Süd: AET hat dort insgesamt 3 HPC-Ladestationen (mit 6 Ladepunkten) in den beiden Raststätten von Coldrerio vorgesehen, doch der verfügbare Platz ist für weitere Erweiterungen sehr begrenzt.
- Zollabfertigung Chiasso: Die Zollabfertigung liegt im Zuständigkeitsbereich der Zollbehörde. Der Platz ist begrenzt, da die Fläche in erster Linie als Warteraum für potenzielle Kontrollen dienen muss. Ob ein Parkieren von LKW zum Zweck des Ladevorgangs an diesem Standort möglich ist, ist derzeit unklar. Da südlich von Bellinzona – abgesehen von Coldrerio – kaum geeignete Standorte vorhanden sind und die Rastplätze keine entsprechenden Möglichkeiten bieten, sollte im nächsten Planungsschritt das Potenzial für Ladestationen in Chiasso geprüft werden, um den künftigen Ladebedarf im «Sottoceneri» abzudecken.

### 3.5.3. Abgleich von Ladebedarf und bestehenden Standorten

Tabelle 3 zeigt die Entwicklung des regionalisierten Ladebedarfs zwischen Airolo und Chiasso je nach Szenario bis ins Jahr 2050. Im Szenario «Basis», das als Referenz dient, wird kurzfristig ein Bedarf von rund 40 Ladepunkten bis 2030 und knapp 100 bis 2035 prognostiziert. Für den Schwerverkehr bedeutet dies eine sehr dynamische Hochlaufphase, in der ein wesentlicher Teil der Infrastruktur mit hohem Flächenbedarf und leistungsfähigen Netzanschlüssen innert weniger Jahre bereitgestellt werden muss. Dem gegenüber steht ein realistisch einschätzbares, kurz- bis mittelfristig realisierbares Potenzial von rund 30 bis 80 Ladepunkten für den ganzen Autobahnabschnitt. Die genaue Lage der Ladepunkte ist nicht entscheidend, es wird erwartet, dass die Batteriekapazitäten gross genug sind, um innerhalb eines rund 100 km langen Streckenabschnitts eine gewisse Flexibilität bei der Wahl des Ladeorts zu ermöglichen. Daraus lässt sich ableiten, dass der Bedarf im Szenario «Basis» bis 2035 voraussichtlich knapp gedeckt werden kann. Dies dürfte für das Szenario «Selbstständig» bis zwischen 2035 und 2040 möglich sein. Im Szenario «Flächendeckend» hingegen übersteigt die Nachfrage bereits im Jahr 2035 das vorhandene Potenzial deutlich. Langfristig ist mit einer Verdoppelung des Bedarfs an Ladepunkten gegenüber dem heute verfügbaren Potenzial zu rechnen. In einer zweiten Ausbaustufe sollte daher



geprüft werden, ob bestehende Standorte zusätzliche Kapazitäten aufnehmen können. Ergänzend dazu kommen weitere Massnahmen infrage – etwa der gezielte Ausbau des Schnellladen-Hub beim SVZ in Giornico oder die Erschliessung neuer Ladehubs in Autobahnnähe, z.B. in umliegenden Industriegebieten. Ein frühzeitiger Aufbau ist entscheidend, da Verzögerungen zu Engpässen beim Flottenhochlauf führen könnten.

Tabelle 3: Prognostizierte Anzahl Ladepunkte (HPC | MCS) je Szenario für den Korridor Airolo–Chiasso.

| Szenario       | 2030            | 2035             | 2040             | 2050             |
|----------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| Selbstständig  | 26 HPC   4 MCS  | 61 HPC   8 MCS   | 95 HPC   13 MCS  | 135 HPC   18 MCS |
| Basis          | 35 HPC   6 MCS  | 83 HPC   15 MCS  | 129 HPC   24 MCS | 182 HPC   35 MCS |
| Flächendeckend | 53 HPC   14 MCS | 129 HPC   35 MCS | 198 HPC   54 MCS | 274 HPC   80 MCS |

#### 3.5.4. Wichtigste Erkenntnisse

Der Platzbedarf an Nationalstrassen ist der kritische Faktor. Grundsätzlich ist aber davon auszugehen, dass die vorhandenen Flächen ausreichen, um die erwartete Nachfrage im Zeithorizont bis 2035 zu decken. Aktuelle Installationen liefern eine Faustregel für den Flächenbedarf: Bei der Elektrifizierung von drei LKW-Parkplätzen wird etwa einer vollständig durch Ladeinfrastruktur beansprucht. Zukünftige technologische Entwicklungen könnten diesen Flächenbedarf durch effizientere und kompaktere Lösungen jedoch reduzieren.

Aufgrund der generell begrenzten Platzverhältnisse auf Raststätten und Rastplätzen wird in der Region tendenziell auf den Bau sehr grosser Schnellladehubs verzichtet. Lediglich das Schwerverkehrszentrum (SVZ) in Giornico, das sowohl von Norden als auch von Süden zugänglich ist, würde sich für einen solchen Ausbau eignen. Stattdessen zeichnet sich eine Strategie ab, entlang der gesamten Achse mehrere Standorte mit diversen Ladepunkten zu errichten.

Grundsätzlich ist an allen Raststätten ein Zugang zum Mittelspannungsnetz vorhanden. Die Mittelspannungsleitungen entlang der Autobahnachse A2 wurden gebaut, um die Tunnelbelüftungen und -beleuchtungen sowie die Raststätten mit Strom zu versorgen. Da diese bereits ausgelastet sind, stehen nur geringe freie Kapazitäten zur Verfügung. Dies stellt einen kritischen Faktor für den Ausbau der nötigen Netzkapazitäten dar. Es ist daher wünschenswert, den künftigen Bedarf sorgfältig zu planen, um übermässig kostspielige Investitionen in den Ausbau des Verteilnetzes zu vermeiden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu betonen, dass die A2 nicht die gleichen Voraussetzungen wie andere Regionen hat. Sie verläuft zum grossen Teil entlang nicht dicht besiedelter Gebiete, die entsprechend nicht über ein dichtes Stromnetz verfügen.

Die Anforderungen an die Standortinfrastruktur betreffen grundsätzlich nur sanitäre Einrichtungen, die für Berufsfahrer:innen sehr wichtig sind. Gastronomieangebote und weitere Dienstleistungen sind hingegen nicht von Bedeutung. Solche Angebote sind für Fahrende von Personenwagen und Reisebussen deutlich relevanter. Daraus ergibt sich, dass der Bedarf an Schnellladehubs in erster Linie durch die notwendige Ladeinfrastruktur bestimmt wird – und nicht mit einem vollständigen Flächenbedarf inklusive Verpflegungsmöglichkeiten verknüpft sein muss. Diese sind auf Raststätten teilweise bereits vorhanden oder spielen für den LKW-Verkehr eine untergeordnete Rolle.

An den berücksichtigten Standorten ist in der Regel eine Übernachtung ohne Reservation bzw. Bezahlung möglich, falls eine Fläche für LKW vorhanden ist. Ein zentrales Element für den effizienten Betrieb ist jedoch die Einführung eines Reservationssystems für Ladevorgänge bei LKW. Grundsätzlich wäre es auch möglich, neue Standorte in geringer Entfernung zur Nationalstrasse zu erschliessen. Zahlreiche Flächen dafür wären vorhanden, insb. in der Nähe von Industriezentren. Andererseits stehen vermutlich genügend Flächen zur Verfügung, um die mittelfristige Nachfrage mit der Errichtung von nötigen Ladepunkten an den bestehenden Standorten zu decken, ohne dass vollständig neue Anlagen gebaut werden müssen. Deshalb steht diese Möglichkeit derzeit nicht im Fokus. Die Einführung von e-SNF gilt als



unbestritten – die zentrale Frage ist vielmehr, wie viele Ladepunkte zu welchem Zeitpunkt benötigt werden, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Darüber hinaus besteht Handlungsbedarf hinsichtlich der Klärung von Zuständigkeiten zwischen den Akteuren. Eine koordinierte Planung mit der AET und dem Kanton ist von zentraler Bedeutung. Nicht der gesamte prognostizierte Leistungsbedarf muss durch die Infrastrukturen gedeckt werden, die im Auftrag des ASTRA realisiert werden sollen, da die AET in diesem Bereich bereits aktiv ist – sowohl auf den sechs Tessiner Raststätten als auch am SVZ.

Insgesamt zeigt sich, dass geeignete Standorte vorhanden sind, die sowohl über ausreichende Flächen als auch über bestehende Netzanschlussmöglichkeiten für eine mittelfristigen Horizont verfügen. Der betrachtete Autobahnabschnitt ist sowohl für den internationalen Transitverkehr als auch für den Binnenverkehr in der Schweiz von zentraler Bedeutung. Die Alpen stellen eine Herausforderung für die Elektrifizierung des Transitverkehrs dar. Im Zeithorizont bis 2040 könnten jedoch die verfügbaren Flächen und die vorhandene Netzkapazitäten – je nach Nachfrageprognose – nicht mehr ausreichen. Das ist in weiterführenden Studien zu analysieren und in einer längerfristigen Planung zu berücksichtigen.



## 3.6 Case Study «Elektrifizierung regionales Verteilzentrum»

### 3.6.1. Ausgangslage und Vorgehen

Lidl Schweiz verfolgt ambitionierte Ziele zur Dekarbonisierung seiner LKW-Flotte. Bis 2030 soll die gesamte Flotte vollständig elektrifiziert sein. Dafür ist der Aufbau einer bedarfsgerechten und optimal dimensionierten Ladeinfrastruktur in den Verteilzentren erforderlich – einschliesslich eines entsprechend leistungsfähigen Netzanschlusses. Am Standort Weinfelden ist die Planung der Ladeinfrastruktur bereits abgeschlossen. Das Verteilzentrum in Sévaz steht nun vor vergleichbaren Anpassungen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird die erforderliche Ladeinfrastruktur für das Verteilzentrum in Sévaz mittels einer Fallstudie mit realen, konkreten Daten untersucht. Eine 1:1-Substitution der aktuellen Flotte durch e-SNF ist nicht möglich – Anpassungen in den operativen Betriebsprozessen sind erforderlich. Ziel ist es, den zukünftigen Ladebedarf zu ermitteln, die dafür notwendige Ladeinfrastruktur sowie den benötigten Netzanschluss abzuleiten.

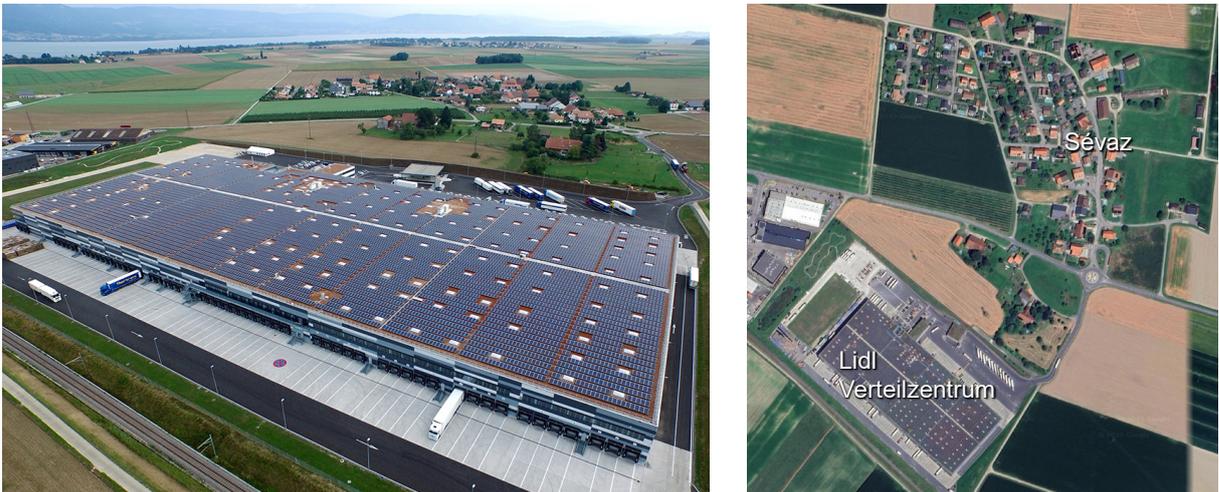


Abbildung 36: Das Verteilzentrum von Lidl in Sévaz (links) im Grössenvergleich zur angrenzenden Siedlung (rechts). Quellen: Contec AG und Google, Airbus, Maxar Technologies © 2025.

Im Rahmen der Analyse werden zunächst die betrieblichen Anforderungsprofile der LKW-Flotte untersucht. Darauf aufbauend werden der Stromverbrauch und der erforderliche Ladebedarf modelliert. Für verschiedene Szenarien und Use Cases wird ein Tageslastgang mit Spitzenlasten erstellt – inklusive der Einbindung der bereits bestehenden Photovoltaikanlage und des Einsatzes von Pufferbatterien. Auf dieser Basis werden die erforderliche Ladeinfrastruktur sowie die Netzanschlussleistung abgeleitet.

Folgende Fragestellungen stehen im Fokus und werden vertieft untersucht:

- Wie lassen sich die heutigen Einsätze, die auf Diesel-LKW ausgelegt sind, auf elektrische Antriebe übertragen? Reichen die bestehenden Pausenzeiten als Ladefenster aus?
- Welche Ladeleistungen im Depot sind erforderlich, um den Anteil an öffentlichem Laden möglichst gering zu halten?
- Welche Rolle kann eine stationäre Batterie spielen, um Lastspitzen zu reduzieren?
- Welche Auswirkungen hat ein geringeres Verhältnis von Ladepunkten zu Fahrzeugen auf die Elektrifizierung eines Verteilzentrums?



### 3.6.2. Einsatzdaten und Inputparameter

Die Analyse basiert auf realen Einsatzdaten aus dem Jahr 2024 (vgl. Abbildung 37). Die Auslieferung erfolgt jeweils in zwei Schichten von Montag bis Samstag. In den Tagesfahrleistungen zeigen sich klare Muster: Während die Unterschiede zwischen den Wochentagen eher gering ausfallen, variieren die Werte zum Teil deutlich zwischen den Kalenderwochen (KW). Auffällige Ausreisser treten insbesondere in Wochen mit Feiertagen auf. Für die Modellierungen der Fallstudie wurde ein Zeitraum von zwei Tagen gewählt. Die ausgewählten Tage weisen die höchsten Gesamtfahrleistungen auf. Es handelt sich um Dienstag und Mittwoch der KW 21 nach dem Pfingstmontag.

Die modellierten Einsätze sind exemplarisch zu verstehen. Lidl arbeitet mit mehreren Spediteuren zusammen; die Touren werden täglich individuell geplant und den verfügbaren Fahrzeugressourcen der jeweiligen Partner zugewiesen. Die Anzahl der eingesetzten Fahrzeuge kann je nach Bedarf variieren. Die Auswahl der eingesetzten Fahrzeuge erfolgt nach Ermessen der jeweiligen Spediteure. Über den modellierten Zeitraum sind 32 Fahrzeuge im Einsatz.

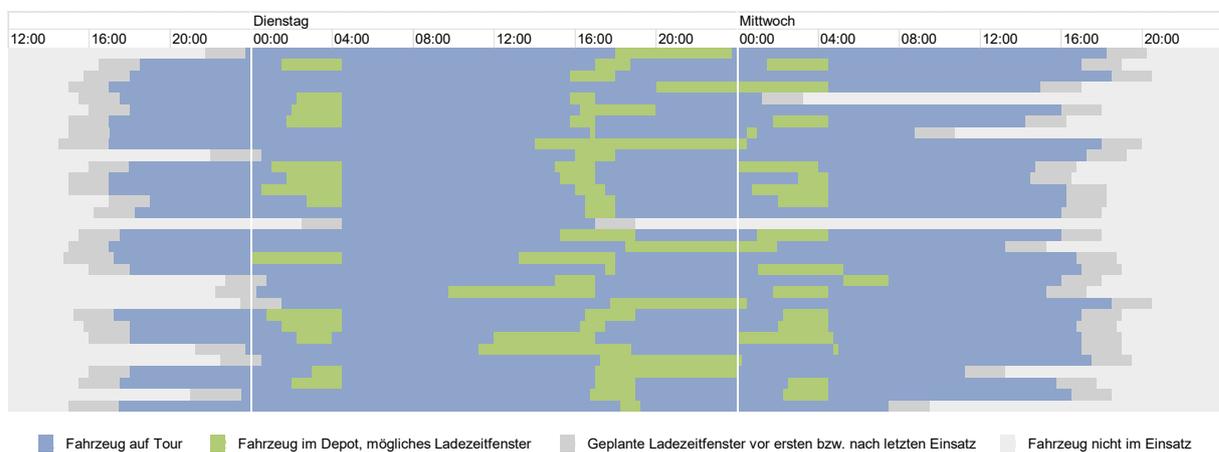


Abbildung 37: Einsatz- und Schichtübersicht für den Modellierungszeitraum inkl. möglicher Ladezeitfenster (Quelle: Lidl Schweiz). Eine Zeile entspricht einem Fahrzeug.

Aus den Einsatzdaten sind für jedes Fahrzeug die Abfahrts- und Ankunftszeiten der ersten und gegebenenfalls der zweiten Schicht ersichtlich. Ebenfalls erfasst sind die Tourdistanzen sowie die Dauer der gesetzlich vorgeschriebenen Pausen. Das Laden erfolgt entweder im Depot während der Abstellzeiten zwischen den Touren oder öffentlich während der gesetzlich vorgeschriebenen Pausen. Die aktuelle Tourenplanung ist auf Dieselfahrzeuge ausgelegt. Die Reichweite und Ladezeiten von Elektrofahrzeugen unterscheiden sich jedoch deutlich von jenen der bestehenden Dieselflotte, was eine grundlegende Anpassung der Tourenplanung erforderlich macht. Der mögliche Einbau zusätzlicher Ladefenster zwischen den Touren wird untenstehend näher erläutert (vgl. Abs. 3.6.3).

Die Annahmen zur elektrifizierten Fahrzeugflotte im Jahr 2030 sind in Tabelle 4 dargestellt. Die technischen Daten der zukünftigen Fahrzeuge wurden konservativ modelliert. Die Einschätzungen der Batteriekapazitäten basieren auf aktuellen Fahrzeugdaten aus Hersteller-Datenblättern sowie historischen Trends und Marktentwicklungen. Erste LKW-Modelle mit Aufnahmeleistungen bis zu 1 MW wurden bereits ausgeliefert und sollen bis 2030 breiter verfügbar sein. Der Durchschnittsverbrauch liegt in Absprache mit Lidl zwischen dem aktuellen Wert der e-SNF-Flotte in Weinfelden und dem erwarteten Wert der nächsten Generation bestellter Fahrzeuge.

Wichtige Annahmen zur Ladeinfrastruktur im Depot und zum eigenen Arealnetz werden in den berücksichtigten Use Cases variiert (vgl. Abs. 3.6.3). Die Nennleistung der PV-Anlage bleibt dabei konstant und entspricht mit 2800 kWp dem aktuellen Stand am Verteilzentrum in Sévaz. Auch der Lastgang im Logistikzentrum bleibt konstant und entspricht einem durchschnittlichen Wochentagesprofil aus dem Jahr 2024.



Tabelle 4: Annahmen zur Fahrzeugflotte im Jahr 2030.

| Parameter                      | Wert                     | Einheit | Quelle                         |
|--------------------------------|--------------------------|---------|--------------------------------|
| Anzahl Fahrzeuge               | 32                       | -       | Einsatzdaten (Lidl Schweiz)    |
| Fahrzeuggrösse                 | Last-/Sattelzug > 34-40t | -       | Einsatzdaten (Lidl Schweiz)    |
| Fahrzeugherstellung            | 2030                     | -       |                                |
| Installierte Batteriekapazität | 1000                     | kWh     | INFRAS                         |
| Nutzbare Batteriekapazität     | 700                      | kWh     | INFRAS                         |
| Ladezustand Min. / Max.        | 0.2 / 0.9                | -       | INFRAS                         |
| Max. Aufnahmeleistung (CCS)    | 400                      | kW      | Daimler Truck 2025             |
| Max. Aufnahmeleistung (MCS)    | 1000                     | kW      | Daimler Truck 2025             |
| Durchschnittsverbrauch         | 1.175                    | kWh/km  | Lidl Schweiz / Designwerk 2025 |
| Maximale Reichweite            | ca. 596                  | km      |                                |

### 3.6.3. Berücksichtigte Use Cases

Um unterschiedliche Vorgehensweisen bei der Anpassung der Tourenplanung und der Ausgestaltung der Depotinfrastruktur darzustellen, werden in verschiedenen Use Cases drei zentrale Faktoren variiert:

- Die **Dauer der geplanten Mindestladezeitfenster** zwischen aufeinanderfolgenden Touren zur Aufladung der Traktionsbatterie (0 Std. wie heute mit Diesel-LKW oder 2 Std.)
- Die **Anzahl verfügbaren Ladepunkte** im Depot sowie deren maximale Ladeleistung
- Der **Einsatz einer stationären Speicherbatterie** im Depot (BESS) sowie deren Kapazität und Lade-/Entladeleistung

Zur Überprüfung der Sensitivität der Vorgehensweise gegenüber saisonalen Schwankungen der PV-Leistung wird die solare Einstrahlung auf dem Depotdach als zusätzlicher Faktor variiert. Tabelle 5 fasst die Parameter der ausgewählten Use Cases zusammen. Eine ausführliche Darstellung der Use Cases ist im Anhang 6.2 zu finden (vgl. Tabelle 7). Die sieben ausgewählten Use Cases variieren in den drei zentralen Faktoren sowie in den Sensitivitätsparametern.

In der aktuellen, dieselloptimierten Tourenplanung ist vorgesehen, dass Fahrzeuge nach der Rückkehr ins Depot ohne Zwischenpause direkt weiterfahren können. Bei einer Umstellung auf eine e-SNF-Flotte ohne Anpassung der Tourenplanung beträgt das minimale Ladezeitfenster zwischen Touren dementsprechend 0 Stunden. Zum Vergleich wird eine theoretische, angepasste Tourenplanung berücksichtigt, bei der eine Mindestladezeit von 2 Stunden zwischen den Touren eingeplant ist.

In Use Cases ohne minimale Ladefenster (0 Std.) entsprechen die Abfahrts- und Ankunftszeiten der Touren exakt den Einsatzdaten der heutigen Flotte. Reicht die verfügbare Ladezeit bzw. Ladeleistung im Depot nicht aus, um die Fahrzeugbatterie für die nächste Tour ausreichend aufzuladen, muss während der gesetzlich vorgeschriebenen Pause an einer öffentlichen Ladestation nachgeladen werden.

Beim Einbau eines Ladefenster (2 Std.) werden die Abfahrts- und Ankunftszeiten angrenzender Touren entsprechend vor- bzw. zurückverlegt, um eine minimale Ladezeit im Depot sicherzustellen. Die Tourdauer verkürzt sich dadurch, während die zurückgelegte Tourdistanz in der Modellierung als konstant angenommen wird, um einen direkten Vergleich mit den anderen Szenarien zu ermöglichen.

Laut Angaben von Lidl wird in der ersten Phase der Umstellung mit einem Ladepunkt pro Fahrzeug geplant. Langfristig soll sich dieses Verhältnis auf 1 Ladepunkt pro 3 Fahrzeuge reduzieren. Um beide Fälle abzubilden, wird die Anzahl der Ladepunkte zwischen 32 und 11 variiert. Die installierte Ladeleistung bei Cases mit einem Ladepunkt pro Fahrzeug beträgt immer 150 kW, unabhängig von der Länge der Ladefenster. Dieser Ansatz ist vergleichbar mit der Elektrifizierung von Busdepots, in denen die



Flotte hauptsächlich nachts lädt, und spiegelt die Herangehensweise am Standort Weinfelden wider. In Cases mit einer reduzierten Anzahl an Ladepunkten wird die minimal erforderliche Ladeleistung einzelner Ladegeräte so optimiert, dass möglichst wenig öffentlich nachgeladen werden muss. Ohne den Einbau zusätzlicher Ladefenster ist eine Ladestation mit 1 MW erforderlich. Durch den Einbau eines zweistündigen Ladefensters reduziert sich die maximale Ladeleistung der Ladegeräte auf 225 kW.

Tabelle 5: Zusammenfassung der ausgewählten Use Cases.

| Case | Min. Ladefenster (Std.) | Anzahl Ladepunkte | Max. Ladeleistung der Ladepunkte     | Speicherbatterie Kapazität (kWh) | Speicherbatterie Entladeleistung (kW) | Solareinstrahlung |
|------|-------------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------|
| 1    | 0                       | 32                | 32 x 150 kW                          | 0                                | 0                                     | KW 21 (hoch)      |
| 11   | 2                       | 32                | 32 x 150 kW                          | 0                                | 0                                     | KW 21 (hoch)      |
| 14   | 2                       | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 1400                                  | KW 21 (hoch)      |
| 16   | 2                       | 32                | 32 x 150 kW                          | 0                                | 0                                     | KW 4 (niedrig)    |
| 19   | 2                       | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 1232                                  | KW 4 (niedrig)    |
| 21   | 0                       | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 0                                | 0                                     | KW 21 (hoch)      |
| 31   | 2                       | 11                | 11 x 225 kW                          | 0                                | 0                                     | KW 21 (hoch)      |

Beim Einsatz einer Speicherbatterie wird deren Kapazität zwischen dem 1-Fachen und dem 2-Fachen der Nennleistung der PV-Anlage variiert (Swissolar 2025). Die Entladeleistung der Speicherbatterie wird über eine ebenfalls variable C-Rate bestimmt, die im Basisfall bei 0.2 liegt.<sup>3</sup> Zum Vergleich wird auch eine optimale C-Rate während der Berechnung aller Cases mit Speicherbatterie festgelegt, um die Spitzenleistung aus dem Stromnetz zu minimieren. Die Berechnung der tatsächlichen PV-Leistung basiert auf realen, stündlichen Solareinstrahlungsdaten für den Standort Sévaz aus dem Jahr 2023 (European Commission 2024). Die KW 21 – das Zeitfenster der betrachteten Einsatzdaten – weist die zweithöchste wöchentliche Solareinstrahlung des Jahres auf, während die KW 4 den niedrigsten Wert verzeichnet.

### 3.6.4. Ergebnisse

Die Ergebnisse der ausgewählten Use Cases sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Alle Ergebnisse sind im Anhang 6.2 aufgeführt (vgl. Tabelle 8). Die maximale Spitzenleistung aus dem Stromnetz im Verteilzentrum variiert vom 1.6 bis 3.6 MW über alle Szenarien. Im Folgenden werden die Auswirkungen der zentralen Faktoren und des Sensitivitätsparameters erläutert.

Tabelle 6: Zusammenfassung der Ergebnisse je nach Use Case.

| Case | Spitzenleistung im Depot (kW) | Anteil Touren mit öffentlicher Ladung in der Pause (%) | Anteil geladene Energie |                            |                                     |   |
|------|-------------------------------|--|-------------------------|----------------------------|-------------------------------------|---|
|      |                               |  | öffentlich (%)          | im Depot, aus dem Netz (%) | im Depot, aus PV-Eigenverbrauch (%) | im Depot, aus gespeicherte PV-Energie (%) |
| 1    | 3150                          | 12   | 5                       | 79                         | 16                                  | 0   |
| 11   | 3350                          | 2  | 1                       | 76                         | 23                                  | 0   |
| 14   | 2060                          | 2  | 1                       | 64                         | 23                                  | 11  |
| 16   | 3440                          | 2  | 1                       | 92                         | 7                                   | 0   |

<sup>3</sup> Eine C-Rate von 0.2 ergibt eine Lade-/Entladeleistung von 20% der Batteriekapazität. Je nach Batteriechemie sind maximale C-Rate von 0.5 bis 1 üblich. Im Betrieb führen erhöhte Lade-/Entladeleistungen zu einer schnelleren Alterung der Speicherbatterie und sollen bei der Kostenoptimierung berücksichtigt werden (Swissolar 2025).



|    |      |   |   |    |    |   |
|----|------|---|---|----|----|---|
| 19 | 2200 | 2 | 1 | 90 | 7  | 3 |
| 21 | 3590 | 4 | 1 | 82 | 17 | 0 |
| 31 | 2760 | 2 | 1 | 75 | 24 | 0 |

### Öffentliches Laden

In den Cases ohne zusätzliche Ladefenster und 150 kW Ladeleistung (Case 1) muss in 12% der Touren während der gesetzlich vorgeschriebenen Pause öffentlich nachgeladen werden. Dies entspricht etwa 5% des gesamten Energiebedarfs (vgl. Tabelle 6). Um ein minimales Ladefenster (Case 11) zu realisieren, müsste die Ladezeit bei 45% der Touren auf zwei Stunden verlängert werden. Öffentliches Laden wird durch diese minimale Ladezeit vermieden, ausser in den zwei Extremfällen mit einer Tourdistanz von über 600 km. Damit wird nur 1% des gesamten Energiebedarfs öffentlich geladen. In Cases 21 und 31 wird die Ladeleistung angepasst, um den Bedarf an öffentlichem Nachladen zu minimieren. Für die Fälle ohne zusätzliche Ladefenster (Case 21) werden drei Ladestationen mit erhöhter Ladeleistung modelliert (2 × 320 kW, 1 × 1 MW). Trotzdem muss während 4% der Touren öffentlich nachgeladen werden. Mit dem Einbau zweistündiger Ladefenster (Case 31) kann die Ladeleistung aller Ladegeräte auf 225 kW reduziert werden. Nur bei den zwei sehr langen Touren ist ein öffentliches Nachladen erforderlich.

Der Bedarf an öffentlichem Laden ist gering. Lieferanten können zwischen öffentlichem Laden, erhöhter Ladeleistung, dem Einbau von Ladefenstern oder einer optimierten Tourenplanung wählen. Die Vermeidung von öffentlichem Laden ist jedoch nur begrenzt durch eine Anpassung der Ladeleistung der Ladegeräte möglich, da teilweise Ladezeit zwischen den Schichten fehlt und kombinierte Tourdistanzen anfallen. Der Einbau von Ladefenstern ist etwas effektiver, allerdings übertrifft in einzelnen Cases die Tourdistanz direkt die Fahrzeugreichweite.

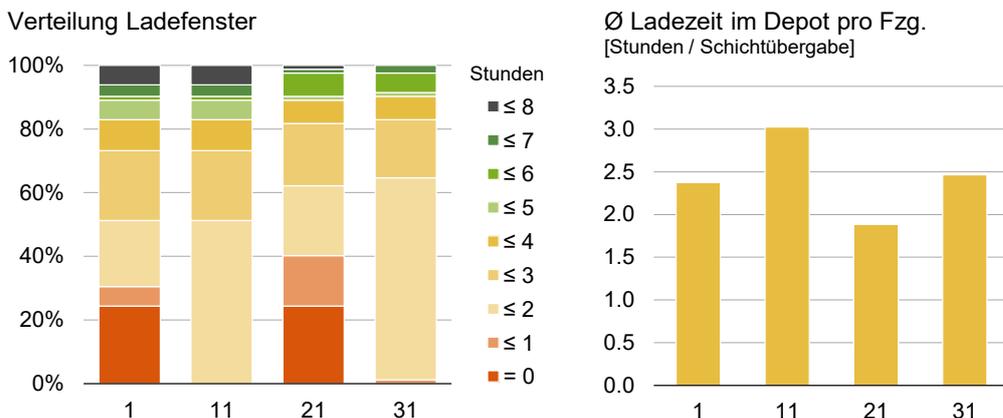


Abbildung 38: Ladefensterdauer (links) und Ladezeit zwischen den Schichten (rechts) in ausgewählten Use Cases.

In der Praxis würde Lidl eine Anpassung des Tourenplans dem öffentlichen Laden vorziehen. Wie in Abbildung 38 erkennbar, ist die heutige Verteilung der Pausen zwischen Schichten sehr ungleichmässig (Case 1). Trotz durchschnittliche 2.4 Stunden im Depot pro Fahrzeug pro Schichtübergabe, ist in 24% der Einsätze keine Ladezeit vorhanden. Eine erfolgreiche Optimierung der Tourenplanung würde die Pausen zwischen den Schichten gleichmässiger verteilen oder die Touren anders auf die Fahrzeuge zuweisen, sodass die kombinierte Tourdistanz innerhalb der Reichweite bleibt.



### Dauer der Ladezeitfenster

Im Durchschnitt über alle berücksichtigten Cases mit 32 Ladepunkten steigt die Spitzenleistung durch den Einbau minimaler Ladefenster (Case 11) um 3% gegenüber den entsprechenden Cases ohne zusätzliche Ladefenster (Case 1, vgl. Abbildung 39). Dies liegt daran, dass durch die neu geschaffenen Ladefenster zusätzliche Fahrzeuge im Depot laden und somit 4% mehr des Energiebedarfs im Depot gedeckt wird – Energie, die ansonsten an öffentlichen Ladestationen geladen worden wäre.

In den Cases mit 11 Ladepunkten reduziert sich die Spitzenleistung im Depot durchschnittlich um 24% durch den Einbau minimaler Ladefenster (vgl. Cases 21 und 31). Hier gibt es kaum Unterschiede in der Menge öffentlich geladener Energie, da in Case 21 kürzere Ladefenster durch höhere Ladeleistungen kompensiert werden. Durch die Reduzierung der maximalen Ladeleistungen in Case 31 treten deutlich weniger Schwankungen im Strombezug auf – auch während der Hauptladezeiten.

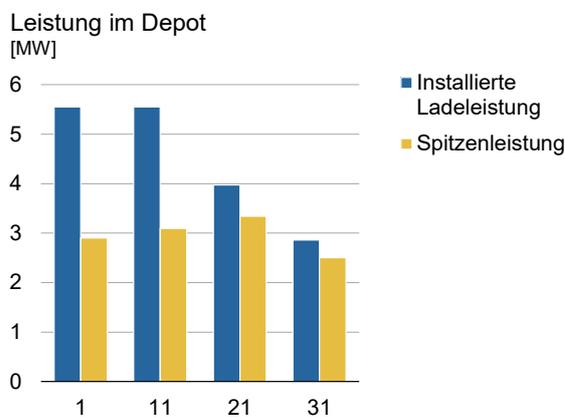


Abbildung 39: Vergleich von vier Use Cases ohne Speicherbatterie. Dargestellt werden die installierte Ladeleistung inklusive Verluste sowie die Spitzenleistung im Verteilzentrum.

### Anzahl der Ladepunkte

Ohne zusätzliche Ladefenster steigt die Spitzenleistung im Depot im Durchschnitt um 13%, wenn die Anzahl der Ladepunkte reduziert wird (vgl. Cases 1 und 21). Wie oben diskutiert, wird in den Cases mit 32 Ladepunkten häufiger öffentlich geladen, da die Ladeleistung der Depotladepunkte auf 150 kW begrenzt ist. In den Cases mit 11 Ladepunkten hingegen wird die Ladeleistung der Ladepunkte gezielt erhöht, um öffentliches Laden zu vermeiden. Aufgrund der teils sehr kurzen Ladefenster sind dabei Ladeleistungen von bis zu 1 MW erforderlich, was zu ausgeprägten Lastspitzen im Strombezug führt.

Mit zweistündigen Ladefenstern sinkt die Spitzenleistung im Durchschnitt um 17%, wenn die Anzahl der Ladepunkte reduziert wird (vgl. Cases 11 und 31). Die Aufteilung der Fahrzeuge auf weniger Ladepunkte verhindert, dass alle gleichzeitig laden, und verschiebt einen Teil des Strombedarfs in Nebenzeiten. Dieser Effekt entspricht dem einer intelligenten Ladesteuerung und wäre auch mit schaltbaren Ladegeräten oder dynamischer Leistungsverteilung in den Cases mit einem Ladepunkt pro Fahrzeug umsetzbar – wurde jedoch in dieser Analyse nicht berücksichtigt.

Zudem ist in Abbildung 39 zu erkennen, dass die Ladeinfrastruktur in Cases 1 und 11 weniger ausgelastet bzw. überdimensioniert ist. Durch die Anpassung der Ladeleistung in Cases 21 und 31 wird die installierte Ladeleistung reduziert, obwohl einzelne Ladepunkte eine hohe Ladeleistung aufweisen. Eine Reduzierung der installierten Ladeleistung wäre auch bei einer höheren Anzahl von Ladepunkten möglich, indem die Leistung einzelner Ladegeräte reduziert wird und Fahrzeuge mit höherem Ladebedarf bzw. weniger Ladezeit gezielt höhere Leistung Ladegeräten zugewiesen werden.



## Einsatz einer Speicherbatterie

Durch den Einsatz einer Speicherbatterie kann die Spitzenlast im Depot durchschnittlich um 32% reduziert werden. Bei einer Batteriekapazität von 2'800 kWh mit C-Rate von 0.2 sinkt die Spitzenleistung um 17%. Wird hingegen eine optimierte C-Rate verwendet, reduziert sich diese um 35% (vgl. Abbildung 40, Cases 11 und 14). Bei einer Batteriekapazität von 5'600 kWh beträgt die durchschnittliche Reduktion der Spitzenleistung 34% bei einer C-Rate von 0.2 bzw. 45% bei einer optimierten C-Rate. Dieser Effekt ist über alle Cases einheitlich (vgl. Abbildung 41).

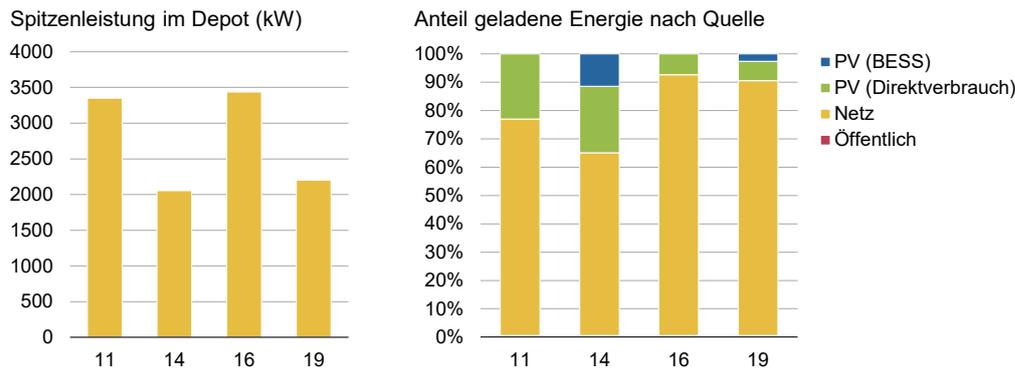


Abbildung 40: Vergleich Cases mit Speicherbatterie (Cases 14 und 19) und ohne Speicherbatterie (Cases 11 und 16) in Wochen mit hoher (Cases 11 und 14) sowie mit niedriger Sonneneinstrahlung (Cases 16 und Case 19).

## Solare Einstrahlung

Die Spitzenleistung im Depot steigt in den Cases ohne Speicherbatterie mit einer Reduzierung der Sonneneinstrahlung um 1 bis 5% (vgl. Abbildung 40, Cases 11 und 16). Das liegt daran, dass die LKW aufgrund den Schichtzeiten hauptsächlich zwischen 16 und 18 Uhr sowie zwischen 2 und 4 Uhr geladen werden, während der PV-Anlage zwischen 6 und 17 Uhr Strom erzeugt. Mit dem Einsatz einer Speicherbatterie steigt die Spitzenleistung in Szenarien mit reduzierter PV-Leistung im Durchschnitt um 4% gegenüber dem entsprechenden Szenario in KW 21. Deutlich grössere Unterschiede von bis zu 11% zeigen sich in Cases mit optimierten Ladeleistungen und kleinen Speicherbatterien. In diesen Cases muss die Entladeleistung aufgrund eingeschränkter Nachlademöglichkeiten und begrenzter Batteriekapazität reduziert werden. Durch den Einsatz komplexerer Modelle für das Laden und Entladen der Speicherbatterie – beispielsweise mit zeitlich variablen Lade- und Entladeleistungen sowie dynamischen Grenzwerten – könnte dieser Effekt abgeschwächt werden.

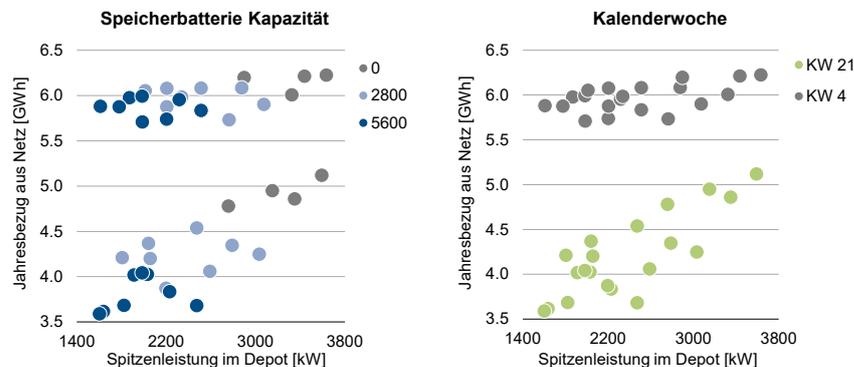


Abbildung 41: Effekt der Speicherbatteriegrösse und Sonneneinstrahlung über alle Cases. Die Spitzenleistung im Depot wird verringert durch die Steigerung der Speicherbatteriegrösse. Den Energiebezug aus dem Netz wird durch niedrigere PV-Erzeugung im Winter erhöht.



### 3.6.5. Stromverbrauch im Vergleich

Die Gemeinde Sévaz mit einer Bevölkerung von rund 300 Personen weist einen durchschnittlichen Stromverbrauch von etwa 2'400 MWh pro Jahr auf (geoimpact 2024). Der zusätzliche Strombedarf der elektrifizierten Lidl-LKW-Flotte am Verteilzentrum würde das heutige Verbrauchsniveau der Gemeinde – je nach Szenario – um den Faktor 1.5 bis 2.6 erhöhen. Die Energiemenge ist somit beträchtlich im Vergleich zum Konsum der Gemeinde, was jedoch in diesem Fall kein Problem darstellen sollte, da die Anschlussleistung entscheidend ist. Je nach Szenario liegt die Spitzenleistung im Depot – inkl. Ladestationen und anderer Verbraucher im Verteilzentrum – 1.6 bis 3.6 MW. Damit wird die aktuelle Anschlussleistung am Mittelspannungsnetz von 6 MW nicht überschritten, bzw. sie entspricht 27% bis 60% davon. Dies ist jedoch nicht immer der Fall. Das Beispiel zeigt, wie regionale Depots plötzlich zu den grössten Stromverbrauchern einer Gemeinde werden können. Dadurch entstehen erhebliche Anforderungen an Netzanschluss und Netzausbau – Massnahmen, die kostenintensiv und verzögernd wirken können, wenn sie nicht frühzeitig geplant werden, da deren Umsetzung in der Regel viel Zeit beansprucht.

### 3.6.6. Schlussfolgerungen aus der Fallstudie Lidl

Auf Basis der Ergebnisse lassen sich folgende Schlüsse ableiten:

- Die Festlegung der Elektrifizierungsstrategie erfordert die Berücksichtigung vieler miteinander verknüpfter Faktoren. Insbesondere die Wechselwirkungen zwischen der Anzahl der Ladepunkte, der Ladeleistung, den verfügbaren Ladefenstern, den Tourenlängen und der Nutzung öffentlicher Ladeinfrastruktur müssen sorgfältig abgewogen werden.
- Die komplette Elektrifizierung bis 2030 ist machbar und die heutigen Einsätze können grösstenteils direkt auf e-SNF übertragen werden. 98% der heutigen, für Diesel-LKW optimierte Touren lassen sich 1:1 elektrifizieren. Ohne den Einbau zusätzlicher Ladefenster müssten 1% bis 5% des gesamten Energiebedarfs der Flotte öffentlich geladen werden. Gründe dafür sind zu lange Touren, unzureichende Ladefenster zwischen den Touren und niedrigere Ladeleistungen. Selbst mit dem Einbau zusätzlicher Ladefenster wäre 1% des gesamten Energiebedarfs öffentlich zu laden, da einzelne Touren die erwartete Fahrzeugreichweite überschreiten.
- In dieser Fallstudie wurden Spitzenleistungen im Verteilzentrum zwischen 1.6 und 3.6 MW beobachtet. Durch den Einsatz einer Speicherbatterie konnten durchschnittliche Reduktionen von 32% erzielt werden. Der Einbau von zweistündigen Ladezeitfenstern führte hingegen nur zu einer Reduzierung um 11%. Eine Reduzierung der Anzahl der Ladepunkte zeigte wechselnde Effekte. Ohne zusätzliche Ladefenster erhöhte sie die Spitzenleistung um bis zu 13%, mit zweistündigen Ladefenstern senkte sie diese um 24%.
- Durch den Einbau einer Kombination aus minimalen Ladezeitfenstern, der Reduzierung der Tourdistanz gemäss der Fahrzeugreichweite sowie angemessener Ladeleistungen im Depot könnte die Tourenplanung auf e-SNF-Flotten angepasst werden, um öffentliches Laden zu vermeiden. Bei konstanter Transportleistung würde dies einen Mehrbedarf an Fahrzeugen bedeuten. Dennoch gibt es viel Potenzial für eine optimierte Tourenplanung mit einer gleichmässigeren Verteilung der Tourdistanzen und der existierenden Pausen zwischen den Schichten.
- Variationen in der Sonneneinstrahlung wirken sich begrenzt auf Spitzenleistungen aus. In Wochen mit geringer Sonneneinstrahlung steigt die Spitzenleistung ohne Speicherbatterie um 1-5%, da sich die Spitzen nicht mit den Hauptstunden der PV-Stromerzeugung überschneiden.
- Die Elektrifizierung eines Depots sollte mögliche Lastverschiebungen berücksichtigen. Zum Beispiel durch eine optimierte Tourenplanung mit gestaffelten Ladevorgängen oder durch ein dynamisches Lastmanagementsystem. Hochleistungsladegeräte könnten bei anspruchsvollen Touren Flexibilität bieten, indem sie Ladezeiten verkürzen und in Nebenzeiten verlagern.
- Die Fallstudie bestätigt, dass das geplante Verhältnis von einer Ladestation pro drei Fahrzeuge in Kombination mit einem zweistündigen Ladefenster eine praktikable Lösung darstellt. Wirtschaftliche Aspekte wurden im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht betrachtet – sie sollten in einem nächsten Schritt gezielt analysiert werden.



## 4 Schlussfolgerungen und Ausblick

Das Forschungsprojekt verdeutlicht, dass die Elektrifizierung des Güterverkehrs in der Schweiz technisch machbar ist und massgeblich zur Reduktion der Treibhausgasemissionen beiträgt. Angesichts der aktuellen Neuzulassungszahlen in der Schweiz scheint es bereits heute relevante Bereiche zu geben, in denen der wirtschaftliche Einsatz von e-SNF möglich ist. Wie sich die Wirtschaftlichkeit von e-SNF in den kommenden Jahren in der Schweiz entwickelt wird, ist heute unklar. Entscheidend wird sein, ob die Gesamtkosten der Elektromobilität dank technologischer Fortschritte, Skaleneffekten und stabilen Strompreisen rasch genug sinken, um die Kostenparität für die meisten Fahrzeugkategorien – und damit die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber Verbrennerfahrzeugen – zu erreichen.

Die Analyse zeigt, dass das eigene Depot für Schweizer Unternehmen der wichtigste Ladeort ist. Sie laden prioritär dort und nutzen die private Ladeinfrastruktur von Partnern. Während grosse Unternehmen heute bereits aktiv in die Umstellung investieren, haben kleinere Betriebe jedoch noch Schwierigkeiten, insbesondere bei der Finanzierung der Depotelektrifizierung. Ein zentraler Hebel in diesem Zusammenhang ist die Schaffung von Investitions- und Planungssicherheit. Die öffentliche Ladeinfrastruktur ist für den Transitverkehr von zentraler Bedeutung und für Schweizer Unternehmen auch von Relevanz, um unterwegs Energie aufnehmen zu können. Je nach Entwicklung der öffentlichen Infrastruktur – im Rahmen dieses Projekts entlang der drei Ladeszenarien «Selbstständig», «Basis» und «Flächendeckend» modelliert – kann sich auch die Ladestrategie der Unternehmen verändern. Für das öffentliche Laden werden der Energiepreis, die Verfügbarkeit, die Reservierungsmöglichkeit sowie die Ladegeschwindigkeit entscheidend sein.

Das praxistaugliche Modellierungstool ist für Unternehmen eine wichtige Grundlage, um die Gesamtkosten und Treibhausgasemissionen verschiedener Elektrifizierungsstrategien zu berechnen bzw. zu vergleichen. Hier muss jedoch nochmal darauf hingewiesen werden, dass das Tool besonders hinsichtlich TCO nur erste Anhaltspunkte geben kann, da erstens bei den Anschaffungskosten der SNF und bei den Kosten der Depotladeinfrastruktur erhebliche Unsicherheiten bestehen und zweitens alle Betreiber von SNF-Flotten spezielle Rahmenbedingungen aufweisen, welche in einem generischen Tool naturgemäss nur beschränkt abgebildet sein können. Gleichzeitig liefern die regionalisierten Ladeszenarien für die Schweiz wertvolle Anhaltspunkte für den Bund, Kantone, Energieversorger, Ladeinfrastrukturbetreiber (CPO) und private Investoren, um den Aufbau und die Koordination der öffentlichen Ladeinfrastruktur voranzutreiben.

Auf Basis der Ergebnisse ist es entscheidend, dass die Schweiz eine erste Ausbautetappe der öffentlichen Ladeinfrastruktur umsetzt – mit kleinen bis mittelgrossen Ladehubs entlang der Hauptverkehrsachsen mit dem höchsten Bedarf sowie an Standorten, an denen der Platzbedarf unkritisch ist, der Netzanschluss günstig liegt und idealerweise bereits Planungen für Ladestationen bestehen.

Je nach Projekt ist der zügige Ausbau der Netzanschlusskapazitäten von zentraler Bedeutung und stellt häufig den kritischen Punkt für die termingerechte Realisierung der Ladeinfrastruktur dar, da das lokale Stromnetz – vor allem in regionalen Gebieten mit schwacher Netzinfrastruktur – schnell an seine Grenzen gebracht wird. Der Ausbau der notwendigen Netzkapazitäten kann lange dauern. Flottenbetreiber sollten dem lokalen Verteilnetzbetreiber daher möglichst frühzeitig ihre Ausbaupläne mitteilen, um mögliche Engpässe rechtzeitig zu erkennen.

### Forschungsbedarf

In weiteren Studien wäre es wichtig, die Sichtweisen und Strategien internationaler Akteure, die Transitrouten durch die Schweiz nutzen, vertieft zu untersuchen. Ausländische Fahrzeuge sind für etwa die Hälfte des öffentlichen Ladebedarfs verantwortlich. Erstens sollte die Entwicklung des Markthochlaufs im Ausland genauer beobachtet werden. Zwar gelten die CO<sub>2</sub>-Emissionsvorschriften für ganz Europa, jedoch sind die finanziellen Möglichkeiten im Ausland oft eingeschränkter. Zweitens könnten diese Firmen andere Ladestrategien als erwartet verfolgen. Dies könnte den Bedarf an öffentlicher Ladeinfrastruktur senken und die Wirtschaftlichkeit von Ladehubs infrage stellen.



Im Rahmen einer vertieften Analyse könnte die Effizienz verschiedener Typen von Ladeinfrastruktur und -netz in der Schweiz anhand von Umweltauswirkungen und Kosten untersucht werden – beispielsweise wenige öffentliche Ladepunkte mit hoher Auslastung gegenüber zahlreichen Ladepunkten mit tiefer Auslastung und wenigen Ladepunkten in Depots.

Die Elektrifizierung eines Verteilzentrums zeigt, dass diese technisch realisierbar ist. Wirtschaftliche Aspekte wurden im Rahmen dieser Untersuchung jedoch nicht betrachtet – sie sollten in einer vertieften Analyse als nächster Schritt untersucht werden. Das im Rahmen der Fallstudie mit Lidl entwickelte Tool kann Schweizer Unternehmen dabei unterstützen, die verschiedenen Optimierungsmöglichkeiten abzuwägen und die Machbarkeit einer Elektrifizierung zu prüfen.

Ebenfalls wäre eine vertiefte und ergänzende Analyse der Tankinfrastruktur für Wasserstoff und eFuels in der Schweiz interessant und zielführend, da beispielsweise im Ausland – etwa in Deutschland – auch andere Strategien vorangetrieben werden.



## 5 Literaturverzeichnis

- ACEA 2022: European EV Charging Infrastructure Masterplan. [<https://www.acea.auto/files/Research-Whitepaper-A-European-EV-Charging-Infrastructure-Masterplan.pdf>] (12.10.2025).
- ARE 2019: Aktualisierung der Aggregierten Methode Güterverkehr (AMG) auf den Basiszustand 2016, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- ARE 2021: Entwicklung eines Lieferwagenmodells – Vorstudie, Bundesamt für Raumentwicklung, Bern.
- ARE 2022: Verkehrsperspektiven 2050: Ergebnisse. [<https://zenodo.org/record/5702813>].
- Ashfaq, M. et al. 2021: Assessment of electric vehicle charging infrastructure and its impact on the electric grid: A review. [<https://doi.org/10.1080/15435075.2021.1875471>].
- ASTRA 2025: Fahrzeugdaten. [<https://opendata.astra.admin.ch/ivzod/>].
- BAV 2024: Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe soll weiterentwickelt werden. [<https://www.news.admin.ch/de/nsb?id=100014>]. Zuletzt abgerufen am: 04.12.2024.
- BAZG 2022: LSVA – ÜBERSICHT. Ausgabe 2022. Bern, 2022.
- BAZG 2023: Rohdaten der Erhebung der LSVA. Bern, 2023.
- BAZG 2025: Eidgenössische Zollverwaltung (BAZG), Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA), Federal Customs Administration, Schweiz, [<https://cms.news.admin.ch/fileservice/sdweb-docs-prod-nsbcch-files/files/2025/05/28/d958eb99-ae59-44c1-91bc-97d3ea073aa0.pdf>] (30.8.2025).
- BFE 2024a: Methodenbericht Ex-post-Analysen Energieverbrauch: Dokumentation des Modells für den Sektor Verkehr. Bundesamt für Energie (BFE). [<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/energieverbrauch-nach-verwendungszweck.html>].
- BFE 2024b: Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000 bis 2023: Ex-Post-Analyse nach Verwendungszwecken und Ursachen der Veränderungen. Bundesamt für Energie (BFE). [<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/energieverbrauch-nach-verwendungszweck.html>].
- BFE 2025: Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2024. Bern, 2025.
- Bienaimé, N. 2025: Prospective Total Cost of Ownership of road freight vehicles in Switzerland. [<https://www.psi.ch/en/media/104465/download?attachment>]
- BKW Smart Mobility 2023: Schnell-Ladehubs für E-LKWs in der Schweiz. Studie von EBP im Auftrag von BKW Smart Mobility. [[https://www.bkw.ch/fileadmin/bt3\\_news/MyConvento/2023/11/07/6002892/231108\\_Studie\\_Schnellladehubs\\_ELKW.pdf](https://www.bkw.ch/fileadmin/bt3_news/MyConvento/2023/11/07/6002892/231108_Studie_Schnellladehubs_ELKW.pdf)] (08.11.2023).
- Der Bundesrat 2025: Beilage 2 Loi fédérale concernant une redevance sur le trafic des poids lourds liée aux prestations. [<https://cms.news.admin.ch/dam/fr/der-schweizerische-bundesrat/E2ZWif-Bv4W7/Beilage+2+BG+FR+zu+BRA+UVEK.pdf>] (13.9.2025).
- Daimler Truck 2025: eActros 600. [<https://www.mercedes-benz-trucks.com/ch/de/trucks/eactros-600.html>]
- Das, H.S. et al. 2020: Electric vehicles standards, charging infrastructure, and impact on grid integration: A technological review. [<https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109618>].
- Designwerk 2025: Aus dem Realbetrieb: Verbrauchswerte von Elektro-LKW in Spezialanwendungen. [<https://www.designwerk.com/post/blog/aus-dem-realbetrieb-verbrauchswerte-von-elektro-lkw-in-spezialanwendungen/>]
- Energieetikette 2025: Energieetikette für Personenwagen: Umweltkennwerte 2025 der Strom- und Treibstoffbereitstellung. [<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/effizienz/mobilitaet/die-energieetikette-fuer-personenwagen.exturl.html>] (04.06.2025).



EnergieSchweiz 2025: Verbrauchskatalog. [<https://www.verbrauchskatalog.ch/de/>]

EU 2023: Verordnung (EU) 2023/1804 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13. September 2023 über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe und zur Aufhebung der Richtlinie 2014/94/EU. [<https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1804/oj?uri=CELEX:32023R1804>].

European Commission 2024: JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). [[https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en)]. Zuletzt aktualisiert am: 18.12.2024.

EVU Partners 2024: «Lage, Lage, Lage» - Die Wirtschaftlichkeit von Schnellladestationen auf dem Prüfstand. [[https://www.evupartners.ch/file/1304/M%20Graf\\_E-mobilit%C3%A4t.pdf](https://www.evupartners.ch/file/1304/M%20Graf_E-mobilit%C3%A4t.pdf)] (12.10.2025).

Fraunhofer ISI 2024: E-Lkw: Wie viele Schnellladestationen werden in Europa benötigt? Juli 2024. [<https://www.isi.fraunhofer.de/de/presse/2024/presseinfo-20-e-lkw-schnellladestationen-europa.html>] (15.07.2024).

geoimpact 2024: geoimpact AG und EnergieSchweiz. Energie Reporter. [<https://opendata.swiss/de/dataset/energie-reporter>]

Hacker, F. et al. 2025: Truck depot charging. Study commissioned by Transport & Environment. Karlsruhe, Berlin: Fraunhofer ISI, Oeko Institute. [[https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/TE\\_truck-depot-charging.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/TE_truck-depot-charging.pdf)].

Hügi, M. et al. 2025: Long-term technology monitoring. Survey of photovoltaic module efficiencies as well as investment and operating costs of PV systems. Berner Fachhochschule im Auftrag des BFE. Noch unveröffentlicht.

ICCT 2023a: Near-term infrastructure deployment to support zero-emission medium- and heavy-duty vehicles in the United States. Washington, DC. [<https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/05/infrastructure-deployment-mhdv-may23.pdf>] (11.05.2023).

ICCT 2023b: A total cost of ownership comparison of truck decarbonization pathways in Europe. [[https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/11/ID-54-%E2%80%93-EU-HDV-TCO\\_paper\\_final2.pdf](https://theicct.org/wp-content/uploads/2023/11/ID-54-%E2%80%93-EU-HDV-TCO_paper_final2.pdf)] (13.11.2023).

ICCT 2025: Real-world use cases for zero-emission trucks. [<https://theicct.org/wp-content/uploads/2025/08/ID-359-%E2%80%93-EU-goods-transport-report-final.pdf>] (12.10.2025).

INFRAS 2020: Abschätzung des Einsatz- und CO<sub>2</sub>- Reduktionspotenzials durch Busse mit nicht fossilen Antriebstechnologien und Fördermöglichkeiten. Bundesamt für Energie (BFE). [<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.html/>] (12.10.2020).

INFRAS 2022: Technologie-Roadmap für schwere Nutzfahrzeuge. Im Auftrag der Schweizerischen Post AG, Bern. [[https://www.infras.ch/media/filer\\_public/82/81/82810fec-9258-4f24-90e8-95f329e1bfb5/3775a\\_technologie\\_roadmap\\_schlussbericht\\_def.pdf](https://www.infras.ch/media/filer_public/82/81/82810fec-9258-4f24-90e8-95f329e1bfb5/3775a_technologie_roadmap_schlussbericht_def.pdf)] (19.09.2022).

INFRAS 2023: Batterien für Elektrofahrzeuge. EnergieSchweiz & Bundesamt für Energie (BFE). [<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.html/>] (01.04.2023).

INFRAS 2024: Elektromobilitätsszenarien als Grundlage für die Konzeption der Abgabe auf E-Fahrzeuge im Auftrag des ASTRA, September 2024.

Link, S. et al. 2024: Rapidly declining costs of truck batteries and fuel cells enable large-scale road freight electrification. [<https://doi.org/10.1038/s41560-024-01531-9>]

Luh, S. et al. 2023: How, where, and when to charge electric vehicles – net-zero energy system implications and policy recommendations. [<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2515-7620/acf363/pdf>].

Mobitool 2025: mobitool-Faktoren v3.0. Die Excel-Datenbank mit aufbereiteten ecoinvent-Umweltdaten und Emissionsfaktoren (Update 2023). [<https://www.mobitool.ch/de/tools/mobitool-faktoren-v3-0-25.html>]

Noll, B. et al. 2022: Analyzing the competitiveness of low-carbon drive-technologies in road-freight: A total cost of ownership analysis in Europe. [<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118079>]



NOW GmbH 2024: Marktentwicklung klimafreundlicher Technologien im schweren Straßengüterverkehr - Auswertung der Cleanroom-Gespräche mit Nutzfahrzeugherstellern 2024. [[https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2024/11/2024\\_NOW-Cleanroom-Bericht\\_web\\_v2.pdf](https://www.klimafreundliche-nutzfahrzeuge.de/wp-content/uploads/2024/11/2024_NOW-Cleanroom-Bericht_web_v2.pdf)].

Ploetz et al. 2021: Infrastruktur für Elektro-Lkw im Fernverkehr Hochleistungsschnelllader und Oberleitung im Vergleich – ein Diskussionspapier. [[https://www.oeko.de/fileadmin/oeko-doc/BOLD\\_Truck\\_charging\\_discussion\\_paper.pdf](https://www.oeko.de/fileadmin/oeko-doc/BOLD_Truck_charging_discussion_paper.pdf)] (12.10.2021).

Prognos, INFRAS, TEP, Ecoplan 2021: Energieperspektiven der Schweiz 2050+. Bundesamt für Energie (BFE). [<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>].

Sacchi, R., Bauer, C. 2021: Life-cycle inventories for on-road vehicles. Paul Scherrer Institut (PSI), Villigen, Switzerland. [<https://doi.org/10.5281/zenodo.5156043>].

Sacchi, R., Bauer, C., Cox, B. L. 2021: Does Size Matter? The Influence of Size, Load Factor, Range Autonomy, and Application Type on the Life Cycle Assessment of Current and Future Medium- and Heavy-Duty Vehicles. [<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.0c07773>].

Sacchi, R., Bauer, C., Cox, B., Mutel, C. 2022: When, Where and How can the electrification of passenger cars reduce greenhouse gas emissions? [<https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112475>]

Swissolar 2025: Batteriespeicher - Stromspeicher in Kombination mit PV-Anlagen. [<https://www.swissolar.ch/de/wissen/solarenergie-kombiniert/batteriespeicher>]

Transport & Environment 2023: Fully charged for 2030: Enough infrastructure for more electric trucks in 2030. [[https://www.transportenvironment.org/uploads/files/20230420\\_truck\\_charging\\_2024-04-29-153738\\_bwny.pdf](https://www.transportenvironment.org/uploads/files/20230420_truck_charging_2024-04-29-153738_bwny.pdf)] (20.04.2023).



# 6 Anhang

## 6.1 Schnellladenetz e-SNF Nationalstrasse

### 6.1.1. Ergebnisse Szenarien 2035

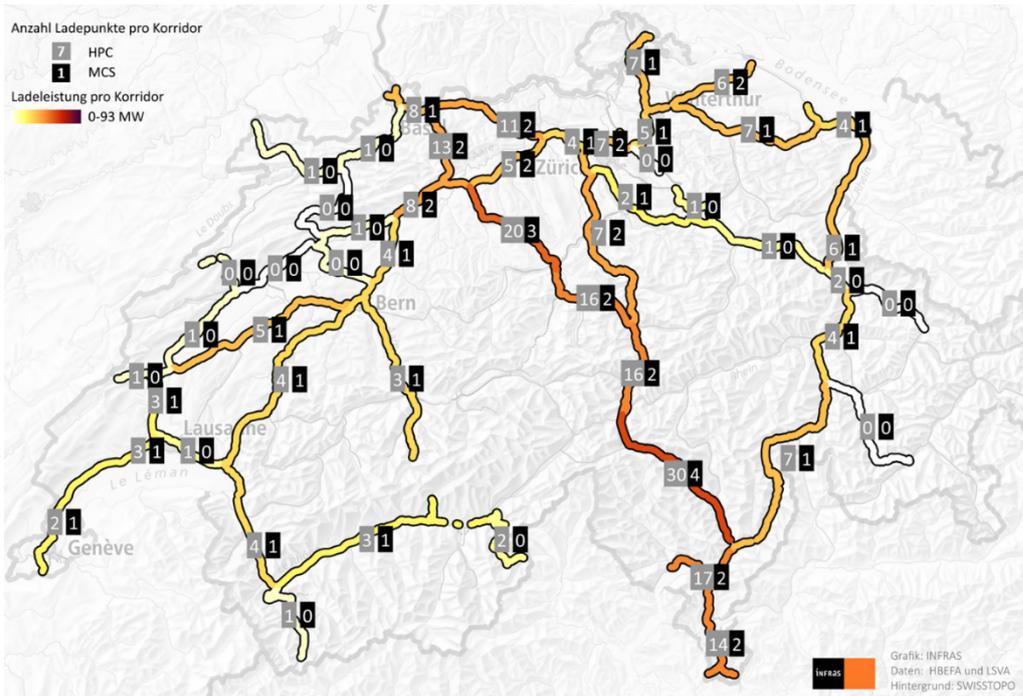


Abbildung 42: Szenario «Selbstständig» 2035.

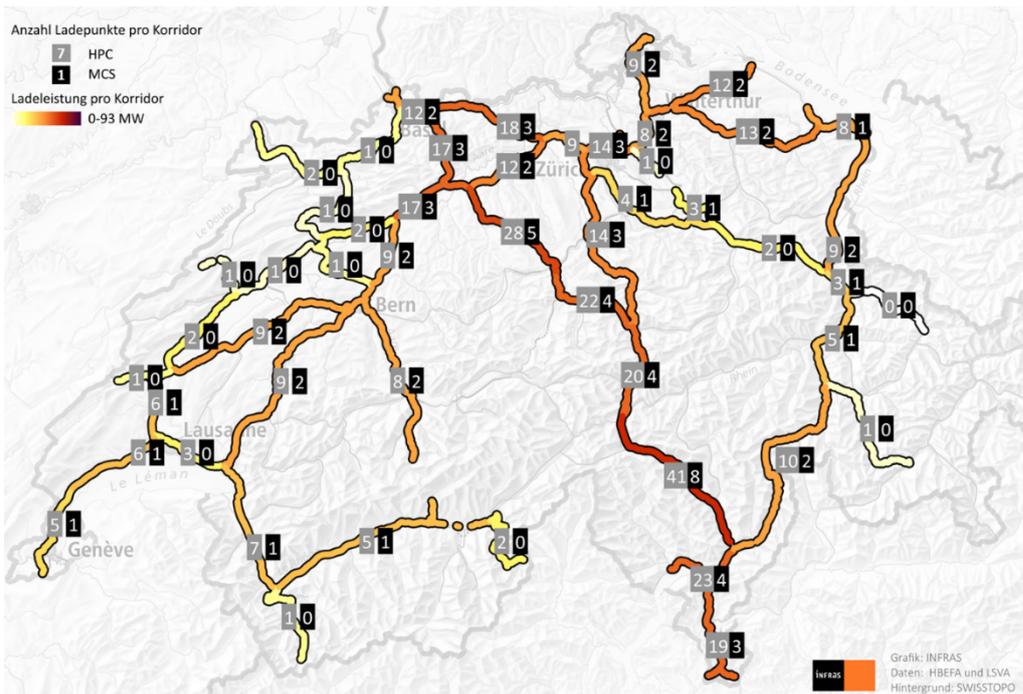


Abbildung 43: Szenario «Basis» 2035.

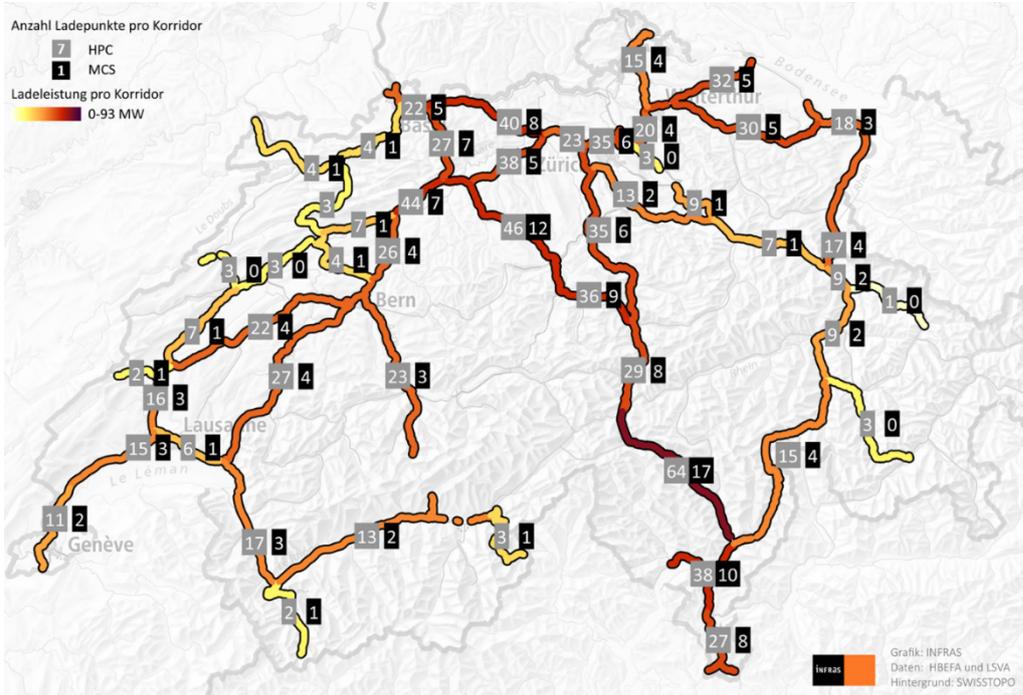


Abbildung 44: Szenario «Flächendeckend» 2035.

### 6.1.2. Ergebnisse Szenarien 2040

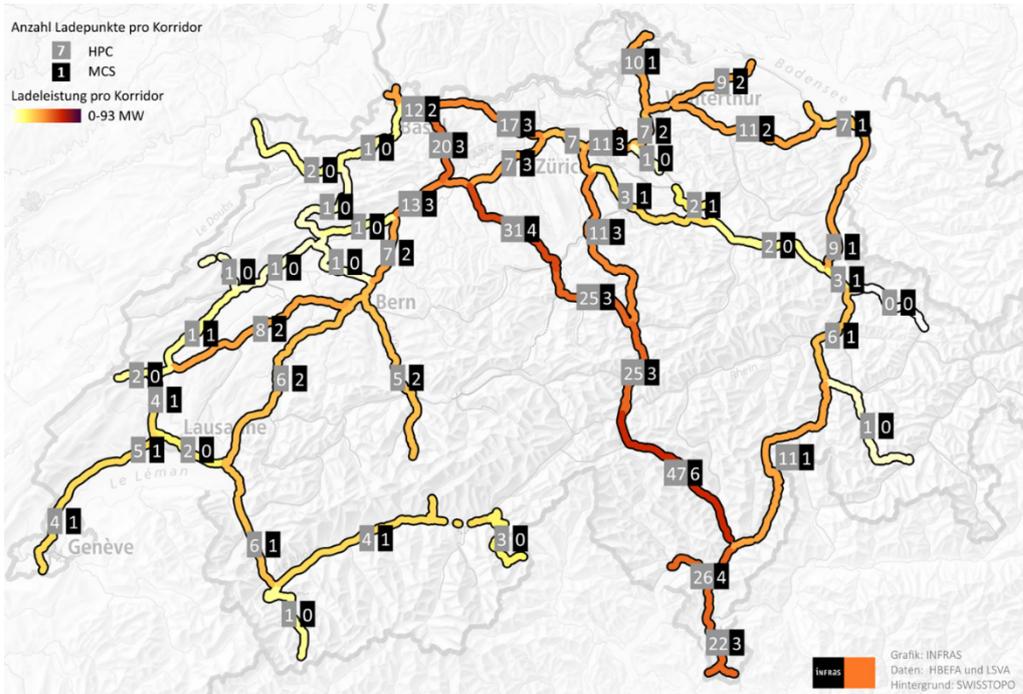


Abbildung 45: Szenario «Selbstständig» 2040.

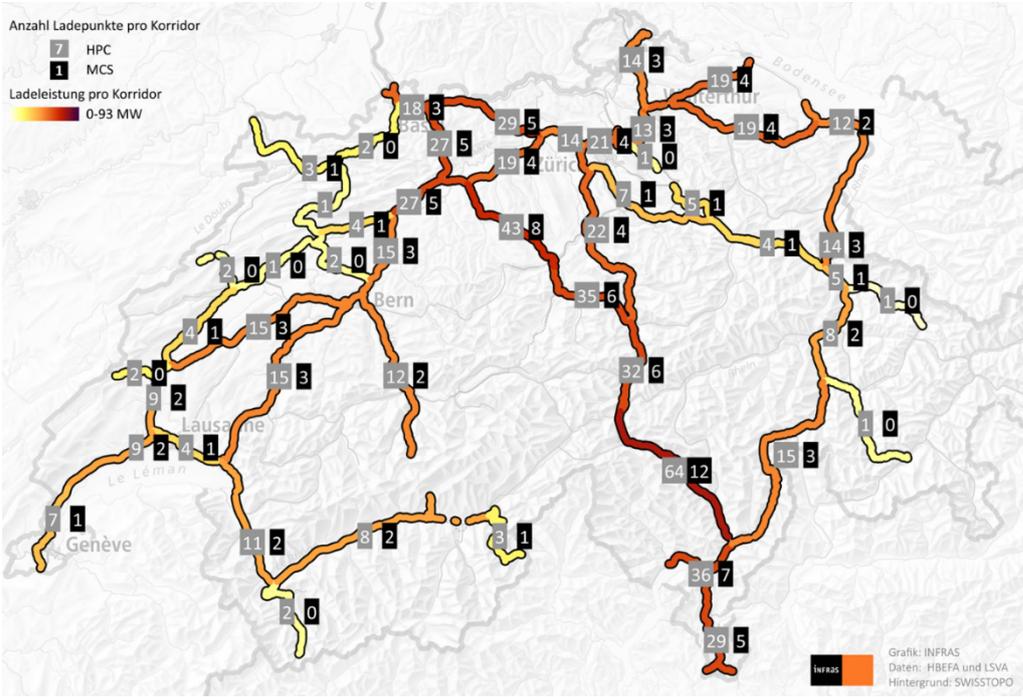


Abbildung 46: Szenario «Basis» 2040.

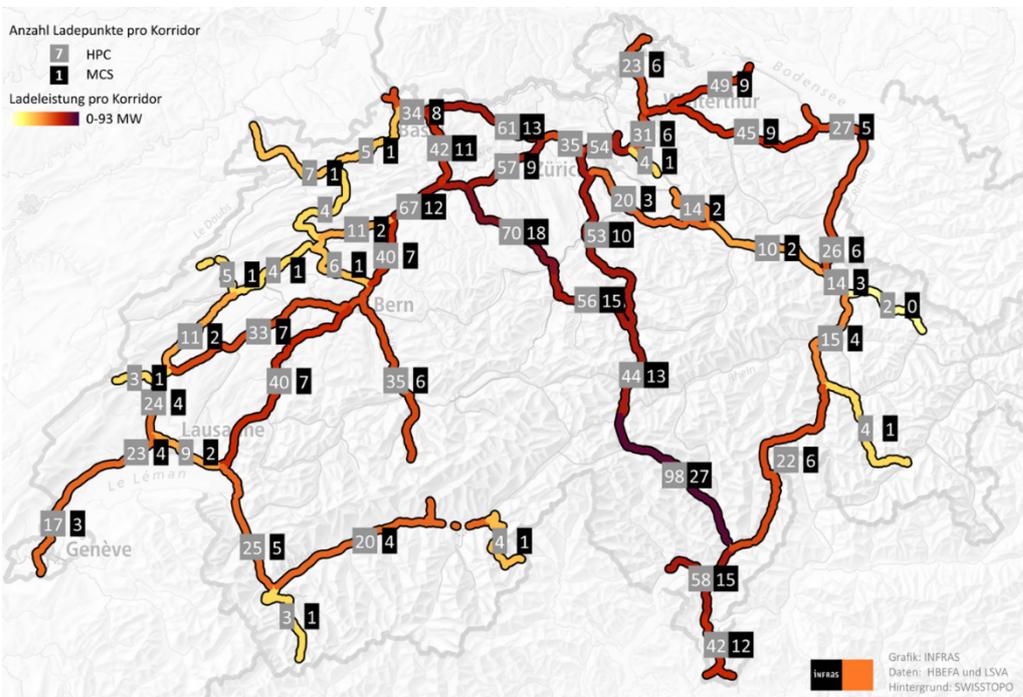


Abbildung 47: Szenario «Flächendeckend» 2040.



### 6.1.3. Ergebnisse Szenarien 2050

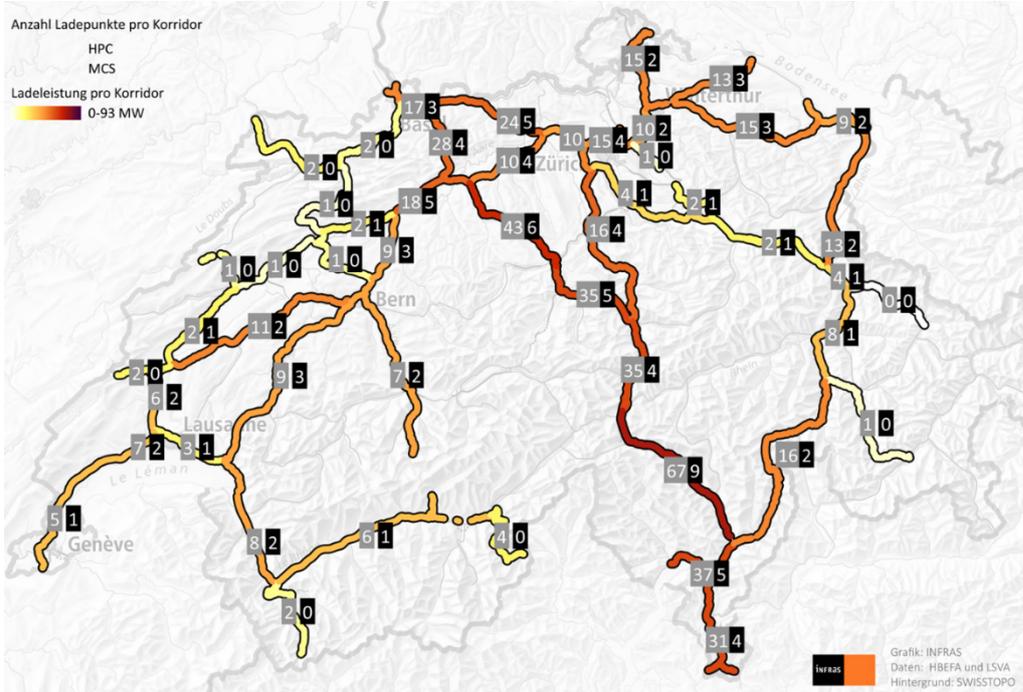


Abbildung 48: Szenario «Selbstständig» 2050.

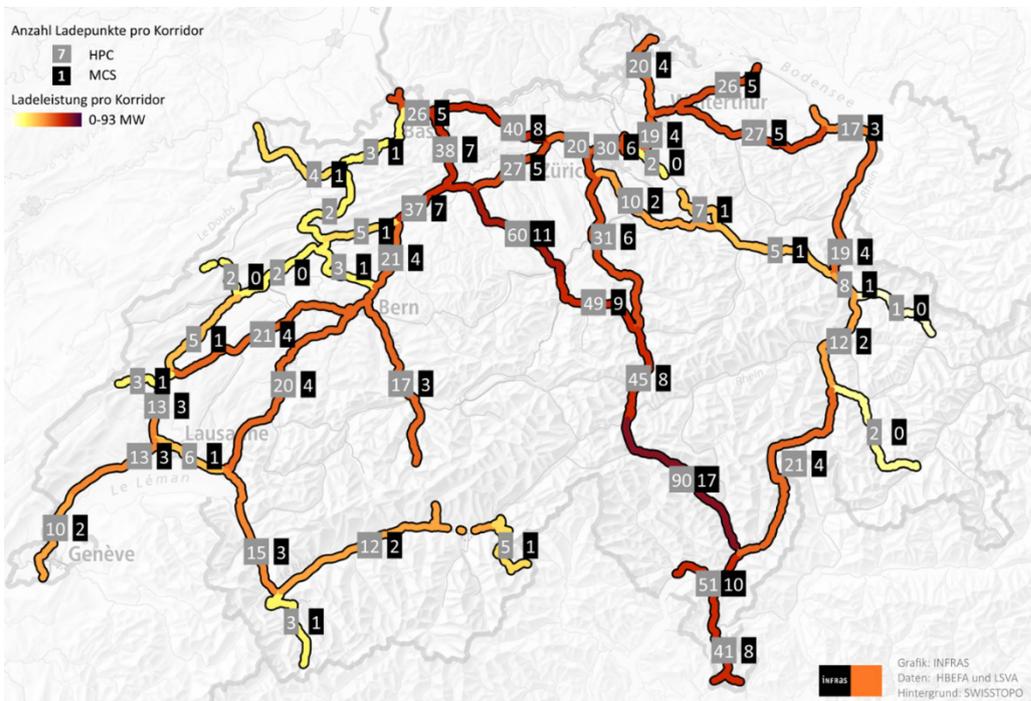


Abbildung 49: Szenario «Basis» 2050.

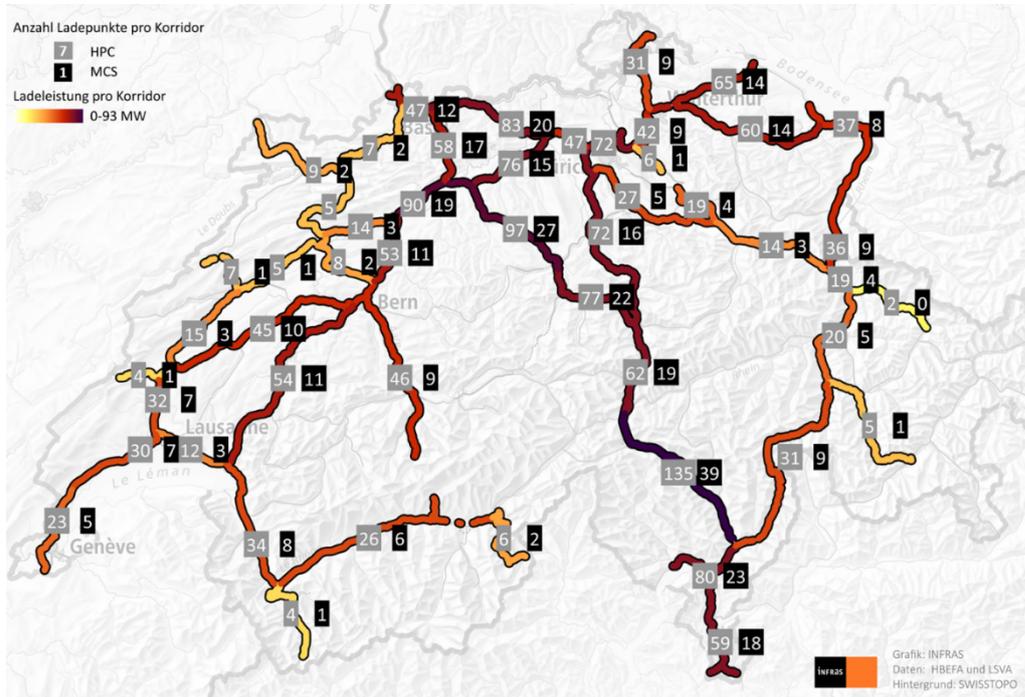


Abbildung 50: Szenario «Flächendeckend» 2050.



## 6.2 Case Study «Elektrifizierung regionales Verteilzentrum»

### 6.2.1. Berücksichtigte Use Cases

Tabelle 7: Zusammenfassung der berücksichtigten Use Cases.

| Case | Ladefenster (Std.) | Solareinstrahlung | Anzahl Ladepunkte | Max. Ladeleistung der Ladepunkte     | Speicherbatterie Kapazität (kWh) | Speicherbatterie Entladeleistung (kW) |
|------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1    | 0                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 0                                | 0                                     |
| 2    | 0                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 560                                   |
| 3    | 0                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1120                                  |
| 4    | 0                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 1120                                  |
| 5    | 0                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1288                                  |
| 6    | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 0                                | 0                                     |
| 7    | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 560                                   |
| 8    | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1120                                  |
| 9    | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 1120                                  |
| 10   | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1338                                  |
| 11   | 2                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 0                                | 0                                     |
| 12   | 2                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 560                                   |
| 13   | 2                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1120                                  |
| 14   | 2                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 1400                                  |
| 15   | 2                  | KW 21 (hoch)      | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1428                                  |
| 16   | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 0                                | 0                                     |
| 17   | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 560                                   |
| 18   | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1120                                  |
| 19   | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 2800                             | 1232                                  |
| 20   | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 32                | 32 x 150 kW                          | 5600                             | 1568                                  |
| 21   | 0                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 0                                | 0                                     |
| 22   | 0                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 2800                             | 560                                   |
| 23   | 0                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 5600                             | 1120                                  |
| 24   | 0                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 2800                             | 1120                                  |
| 25   | 0                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 5600                             | 1680                                  |
| 26   | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW             | 0                                | 0                                     |



| Case     | Ladefenster (Std.) | Solareinstrahlung | Anzahl Ladepunkte | Max. Ladeleistung der Ladepunkte     | Speicherbatterie Kapazität (kWh) | Speicherbatterie Entladeleistung (kW) |
|----------|--------------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|
| 1 x 1 MW |                    |                   |                   |                                      |                                  |                                       |
| 27       | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 2800                             | 560                                   |
| 28       | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 5600                             | 1120                                  |
| 29       | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 2800                             | 1120                                  |
| 30       | 0                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 8 x 225 kW<br>2 x 320 kW<br>1 x 1 MW | 5600                             | 1680                                  |
| 31       | 2                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 11 x 225 kW                          | 0                                | 0                                     |
| 32       | 2                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 11 x 225 kW                          | 2800                             | 560                                   |
| 33       | 2                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 11 x 225 kW                          | 5600                             | 1120                                  |
| 34       | 2                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 11 x 225 kW                          | 2800                             | 952                                   |
| 35       | 2                  | KW 21 (hoch)      | 11                | 11 x 225 kW                          | 5600                             | 1176                                  |
| 36       | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 11 x 225 kW                          | 0                                | 0                                     |
| 37       | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 11 x 225 kW                          | 2800                             | 560                                   |
| 38       | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 11 x 225 kW                          | 5600                             | 1120                                  |
| 39       | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 11 x 225 kW                          | 2800                             | 886                                   |
| 40       | 2                  | KW 4 (niedrig)    | 11                | 11 x 225 kW                          | 5600                             | 1288                                  |

### 6.2.2. Exemplarischer Strombezug und -erzeugung für Case 14

Der Ladezustand der Traktionsbatterie wird über den gesamten Modellierungszeitraum in 15-Minuten-Intervallen berechnet. In gesetzlich vorgeschriebenen Pausen ohne öffentliches Laden sowie beim Abstellen im Depot ohne aktiven Ladevorgang bleibt der Ladezustand der Traktionsbatterie unverändert.

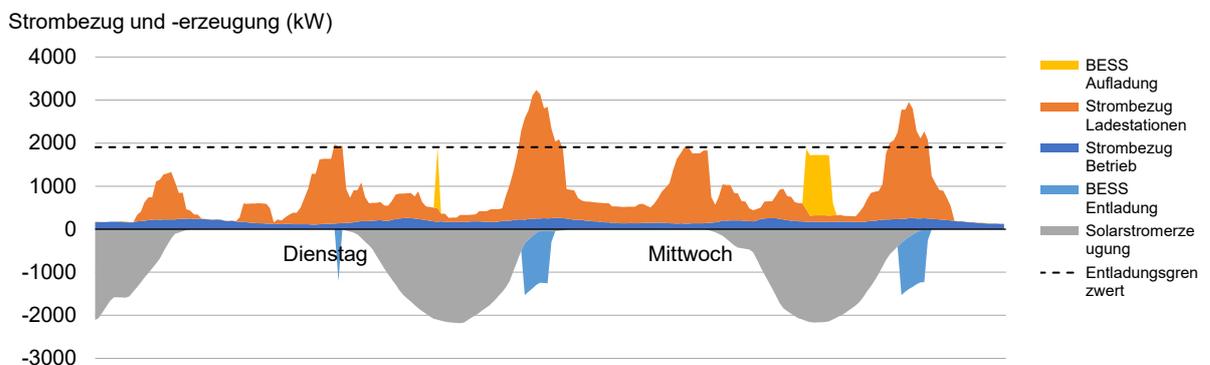


Abbildung 51: Strombedarf und Stromerzeugung im Depot, mit Auf-/Entladung der Speicherbatterie, Case 14.

Der Strombedarf wird den verfügbaren Erzeugern zugewiesen, wobei Umwandlungsverluste zwischen Gleichstrom und Wechselstrom berücksichtigt werden. Übersteigt die PV-Erzeugung den kombinierten



Bedarf der Ladestationen, des Verteilzentrums und der Speicherbatterie-Aufladung, wird der überschüssige Strom ins Netz eingespeist.

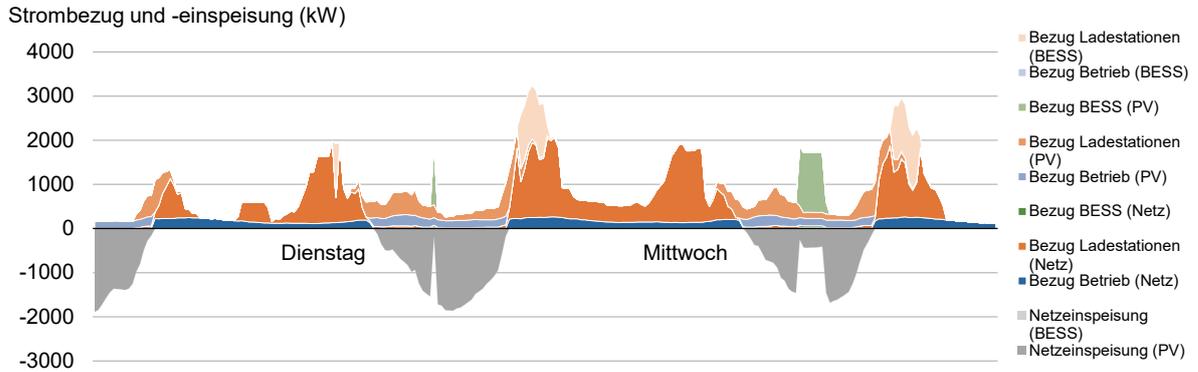


Abbildung 52: Zuteilung des zeitlichen Strombedarfs nach Quelle, Case 14.

Abschliessend wird die Spitzenleistung im Depot erfasst – einschliesslich des Strombedarfs im Verteilzentrum und der Aufladung der Speicherbatterie, abzüglich der PV-Erzeugung sowie der Entladung der Speicherbatterie.

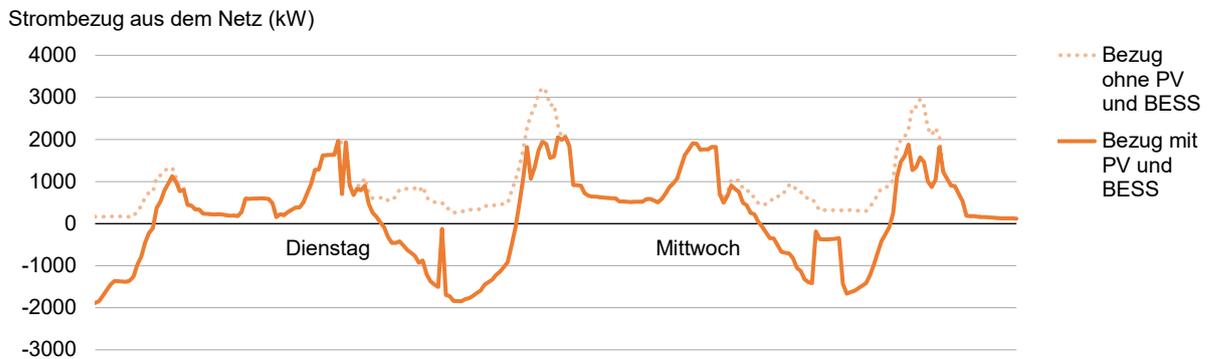


Abbildung 53: Resultierendes Lastprofil im Depot, Case 14.

### 6.2.3. Ergebnisse

In Tabelle 8 werden die Ergebnisse aller berücksichtigten Use Cases zusammengefasst.

Tabelle 8: Ergebnisse aller Use Cases.

| Case | Spitzenleistung im Depot (kW) | Anteil Tours mit öffentlicher Ladung in der Pause (%) | öffentlich (%) | Anteil geladene Energie    |  |  |
|------|-------------------------------|---|----------------|----------------------------|--|--|
|      |                               |   |                | im Depot, aus dem Netz (%) | im Depot, aus dem Depot, aus PV-Eigenverbrauch (%) | im Depot, aus gespeicherter PV-Energie (%) |
| 1    | 3150                          | 12  | 5              | 79                         | 16   | 0  |
| 2    | 2590                          | 12  | 5              | 63                         | 16   | 16   |
| 3    | 2030                          | 12  | 5              | 63                         | 16   | 16   |
| 4    | 2040                          | 12  | 5              | 69                         | 16   | 10   |
| 5    | 1910                          | 12  | 5              | 62                         | 16   | 16   |



| Case | Spitzenleistung im Depot (kW) | Anteil Tours mit öffentlicher Ladung in der Pause (%) | öffentlich (%) | Anteil geladene Energie    |   |  |
|------|-------------------------------|---|----------------|----------------------------|---|--|
|      |                               |   |                | im Depot, aus dem Netz (%) | im Depot, aus dem PV-Eigenverbrauch (%) | im Depot, aus gespeicherter PV-Energie (%) |
| 6    | 3320                          | 12  | 5              | 91                         | 5                                       | 0  |
| 7    | 2760                          | 12  | 5              | 84                         | 4                                       | 7  |
| 8    | 2200                          | 12  | 5              | 86                         | 4                                       | 5  |
| 9    | 2200                          | 12  | 5              | 88                         | 4                                       | 3  |
| 10   | 1980                          | 12  | 5              | 85                         | 4                                       | 6  |
| 11   | 3350                          | 2   | 1              | 76                         | 23                                      | 0  |
| 12   | 2790                          | 2   | 1              | 67                         | 23                                      | 9  |
| 13   | 2230                          | 2   | 1              | 58                         | 24                                      | 18   |
| 14   | 2060                          | 2   | 1              | 64                         | 23                                      | 11   |
| 15   | 1820                          | 2   | 1              | 55                         | 24                                      | 21   |
| 16   | 3440                          | 2   | 1              | 92                         | 7                                       | 0  |
| 17   | 2880                          | 2   | 1              | 89                         | 5                                       | 5  |
| 18   | 2320                          | 2   | 1              | 88                         | 6                                       | 5  |
| 19   | 2200                          | 2   | 1              | 90                         | 7                                       | 3  |
| 20   | 1870                          | 2   | 1              | 89                         | 6                                       | 4  |
| 21   | 3590                          | 4   | 1              | 82                         | 17                                      | 0  |
| 22   | 3030                          | 4   | 1              | 67                         | 17                                      | 15   |
| 23   | 2470                          | 4   | 1              | 56                         | 17                                      | 25   |
| 24   | 2470                          | 4   | 1              | 72                         | 17                                      | 10   |
| 25   | 1980                          | 4   | 1              | 63                         | 17                                      | 19   |
| 26   | 3630                          | 4   | 1              | 94                         | 5                                       | 0  |
| 27   | 3070                          | 4   | 1              | 86                         | 4                                       | 9  |
| 28   | 2510                          | 4   | 1              | 86                         | 3                                       | 9  |
| 29   | 2510                          | 4   | 1              | 92                         | 4                                       | 3  |
| 30   | 1980                          | 4   | 1              | 91                         | 4                                       | 4  |
| 31   | 2760                          | 2   | 1              | 75                         | 24                                      | 0  |
| 32   | 2200                          | 2   | 1              | 59                         | 25                                      | 16   |
| 33   | 1640                          | 2   | 1              | 54                         | 25                                      | 21   |
| 34   | 1800                          | 2   | 1              | 65                         | 25                                      | 10   |
| 35   | 1600                          | 2   | 1              | 53                         | 25                                      | 21   |
| 36   | 2900                          | 2   | 1              | 92                         | 8                                       | 0  |
| 37   | 2340                          | 2   | 1              | 87                         | 6                                       | 7  |
| 38   | 1780                          | 2   | 1              | 86                         | 7                                       | 6  |
| 39   | 2010                          | 2   | 1              | 89                         | 7                                       | 3  |
| 40   | 1610                          | 2   | 1              | 86                         | 6                                       | 7  |

Abbildung 54 und Abbildung 55 veranschaulichen die Spitzenleistungen im Depot sowie den Anteil der geladenen Energie nach Energiequellen für alle betrachteten Use Cases.



Spitzenleistung im Depot (kW)

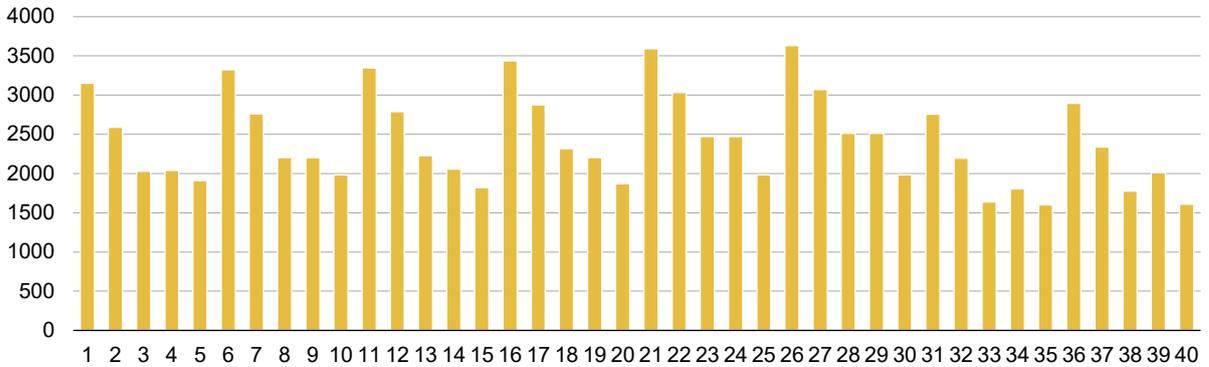


Abbildung 54: Spitzenleistung im Depot über alle berücksichtigte Use Cases.

Anteil geladene Energie nach Quelle

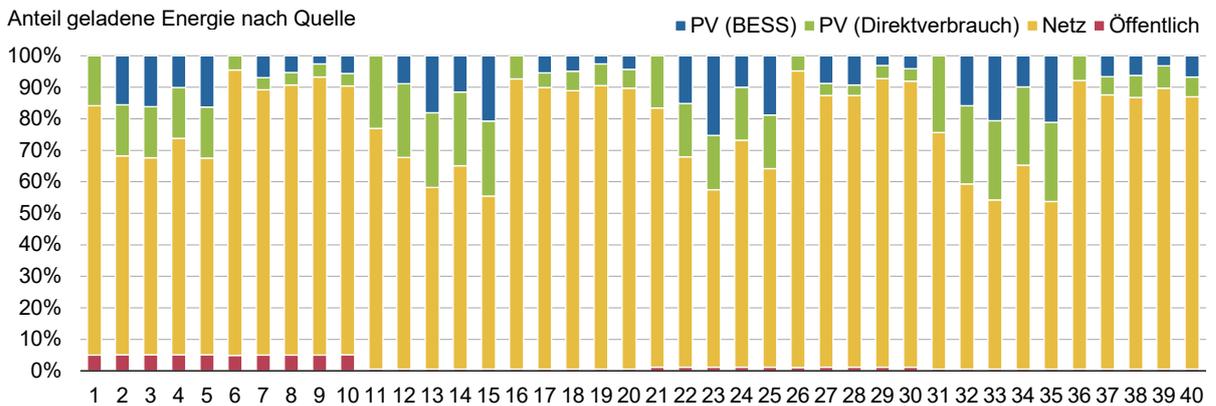


Abbildung 55: Anteil des Fahrzeugenergiebedarfs nach Stromerzeuger/-betreiber.

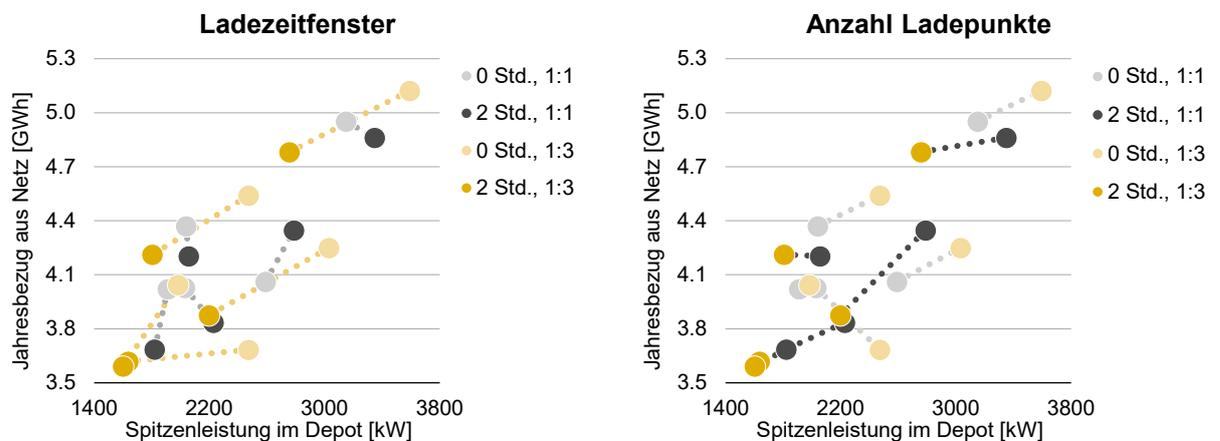


Abbildung 56: Vergleich der Effekte durch Einbau eines minimalen Ladezeitfensters (links) und eine Reduzierung der Anzahl Ladepunkte (rechts) auf den Jahresbezug aus dem Netz und die Spitzenleistung im Depot. Die Effekte hängen zusammen. Die Ladeinfrastruktur und die Tourenplanung müssen gleichzeitig optimiert werden.



### 6.3 Berücksichtigung der LSVA in den TCO-Berechnungen

Die Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA) stellt einen wichtigen Bestandteil der Gesamtbetriebskosten von LKW in der Schweiz dar. Der abzuführende Betrag ist eine Funktion der LKW-Emissionskategorie, der transportierten Nutzlast, der Fahrleistung und der Antriebsart der LKW. Ausserdem werden sich bestimmte LSVA-Sätze in den kommenden Jahren ändern.

Im LSVA-Basistarif wird zwischen drei Kategorien unterschieden: Kategorie I betrifft ältere LKW der Euro 0-V Klassen; Kategorie II betrifft Euro VI und VII LKW ab 2029; Kategorie III betrifft Euro VI und Euro VII LKW bis inkl. 2028 sowie batterieelektrische und Brennstoffzellen-LKW ab 2029 (welche bis dahin von der LSVA ausgenommen sind) (BAZG 2025). In den TCO-Berechnungen sind die folgenden LSVA-Sätze hinterlegt:

- Kategorie I: 0.0326 CHF/tkm
- Kategorie II: 0.0282 CHF/tkm
- Kategorie III: 0.0239 CHF/tkm

Auf den obigen Kategorie III LSVA-Satz werden batterieelektrischen und Brennstoffzellen-LKW von 2029 bis 2035 Rabatte angerechnet, welche graduell auslaufen. Die Rabatte betragen 2029 70%, 2030 60%, 2031 50%, 2032 40%, 2033 30%, 2034 20% und 2035 10%. Ab 2036 ist der volle Kategorie III Betrag zu bezahlen (Der Bundesrat 2025)<sup>4</sup>.

### 6.4 Berücksichtigung der Kosten der Depotladeinfrastruktur in den TCO-Berechnungen

Die Infrastrukturkosten für das Depotladen der batterieelektrischen LKW werden berechnet, indem die diskontierten jährlichen Kosten eines Ladegeräts auf den damit pro Jahr gelieferten Strom verteilt werden; diese zusätzlich zu den direkten Stromkosten anfallenden Infrastrukturkosten werden dann auf die von den LKW zurückgelegten Kilometer umgerechnet.

#### **Diskontierte Kosten eines Ladepunkts (pro kW Ladeleistung eines 100 kW-Ladepunktes)**

Zu den Kosten eines Ladepunkts tragen fünf Komponenten bei, für welche hier die default-Werte angegeben sind:

- CAPEX (Hardware Ladepunkt): 400 CHF/kW (ACEA 2022)
- Installation: 200 CHF/kW (ICCT 2025)
- Netzanbindung: 250 CHF/kW (Ploetz et al. 2021)
- Betrieb und Wartung: jährlich 2% von CAPEX, Installation und Netzanbindung
- Netzanschlussgebühr: 150 CHF/(kW\*Jahr) (EVU Partners 2024)

Die Abschreibedauer wird als identisch mit jeder der LKW angenommen. Die diskontierten jährlichen Infrastrukturkosten werden auf den jährlichen Stromdurchsatz aufgeteilt und über den Stromverbrauch und die transportierte Nutzlast der LKW auf einen tkm umgerechnet. Je besser ein Ladepunkt genutzt wird, desto geringer fallen die auf einen tkm umgerechneten Infrastrukturkosten aus.

---

<sup>4</sup> In einer Sitzung einer Parlamentskommission vom 7. Oktober 2025 wurden die Rabatte für die Jahre 2029–2032 nochmals angepasst (erhöht auf 100% für 2029 und 2030 für e-LKW, de facto werden e-LKW also erst ab 2031 LSVA-pflichtig): <https://www.parlament.ch/press-releases/Pages/mm-kvf-n-2025-10-07.aspx?lang=1031>. Dies stellt jedoch erst einen Zwischenstand dar, der noch durch die UREK-S und anschliessend das Parlament behandelt werden muss. Aus diesem Grund wurden diese letzten Anpassungen, die nach Abschluss der Berechnungen für diese Studie veröffentlicht wurden, nicht berücksichtigt.