



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Verkehr BAV
Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050
im öffentlichen Verkehr (ESöV 2050)

TU-übergreifende Nutzung von Ladeinfrastruktur für Elektrobusse

Schlussbericht

Peter de Haan, Sarah Tischhauser, Silvan Rosser, Alessio Mina, Lukas Lanz, EBP Schweiz AG

Dominik Saner, PostAuto

René Burkhard, Repower

Thomas Hohl, Amt für Raumplanung, Abt. ÖV, Kanton Basel-Landschaft

Philipp Mäder, Amt für öffentlichen Verkehr, Kanton Bern

Silvan Egli, Amt für öffentlichen Verkehr, Kanton St.Gallen

Giorgio Tognola, Azienda Elettrica Ticinese

Marcus Jung, Bernmobil

Andreas Deterling, BUS Ostschweiz

Roman Zürcher, Regionalverkehr Bern-Solothurn

Auftraggeber

PostAuto AG, Strategie und Innovation, Engehaldenstrasse 39, 3030 Bern, www.postauto.ch

Repower AG, Bahnhofstrasse 3A, 7302 Landquart, www.repower.ch

Amt für Raumplanung, Abt. Öffentlicher Verkehr, Kanton Basel-Landschaft,
Rheinstrasse 29, 4410 Liestal, www.bl.ch

Amt für öffentlichen Verkehr und Verkehrskoordination, Reiterstrasse 11, 3013 Bern,
www.bvd.be.ch/aoev

Amt für öffentlichen Verkehr, Kanton St. Gallen, Davidstrasse 35, 9001 St. Gallen,
www.sg.ch/verkehr/oeffentlicher-verkehr.html

Azienda Elettrica Ticinese, El Stradún 74, 6513 Monte Carasso, www.aet.ch

Bernmobil, Eigerplatz 3, 3014 Bern, www.bernmobil.ch

BUS Ostschweiz AG, Schöntalstrasse 1, 9450 Altstätten SG, www.busost.ch

Regionalverkehr Bern-Solothurn AG, Tiefenaustrasse 2, 3048 Worblaufen, www.bsu.ch

Die Studie wurde durch das Programm «Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr» (ESÖV) des Bundesamtes für Verkehr BAV mitfinanziert (P-243).

Begleitgruppe

Dominik Saner, PostAuto

René Burkhard, Repower

Thomas Hohl, ARP-OEV Basel-Landschaft

Philipp Mäder, AÖV Bern

Silvan Egli, AÖV St. Gallen

Giorgio Tognola, Azienda Elettrica Ticinese

Marcus Jung, Bernmobil

Andreas Deterling, BUS Ostschweiz

Roman Zürcher, Regionalverkehr Bern-Solothurn

Projektteam EBP

Peter de Haan

Sarah Tischhauser

Silvan Rosser

Alessio Mina

Lukas Lanz

EBP Schweiz AG, Mühlebachstrasse 11, 8032 Zürich, Schweiz

Telefon +41 44 395 16 16 info@ebp.ch www.ebp.ch

Impressum

Herausgeberin:

Bundesamt für Verkehr BAV

Programm Umsetzung der Energiestrategie 2050 im öffentlichen Verkehr (ESÖV 2050)

CH-3003 Bern

Programmverantwortung: Tristan Chevroulet, Stephan Husen (BAV)

Projektnummer: P-243

Bezugsquelle:

Kostenlos zu beziehen über das Internet www.bav.admin.ch/energie2050

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autor/innen dieses Berichts verantwortlich.

Zürich, 30. Okt. 2022

ESÖV_P243_Schlussbericht_TU-übergreifende_LIS_E-Busse_def_DFIE_revised2.docx

Inhaltsverzeichnis

Executive Summary (deutsch)	5
Résumé exécutif français	6
Sommario esecutivo italiano	7
Executive Summary in English	8
Zusammenfassung	9
Résumé français	14
Sommario italiano	20
English summary	26
1. Einleitung	31
1.1 Die Dekarbonisierung der Busse im öffentlichen Verkehr bis 2050	31
1.2 Institutionelle Verantwortlichkeiten für Ladeinfrastruktur	32
2. Systembewertungen und Systementscheide	33
2.1 Einführung in Opportunity Charging (OC)	33
2.2 Bereits bestehende Opportunity Charging-Systeme	34
2.3 Potenziale und Hemmnisse von OC gegenüber Depotladern	37
2.4 Shared OC hat zusätzliche Vorteile, aber auch neue Hemmnisse	39
2.5 Aus der Gesamtsicht ist die Interoperabilität bei beiden Technologien (Depotlader und OC) erforderlich	41
2.6 Entscheidung über die Ladeinfrastruktur	41
2.7 Kostenvergleich der Ladeinfrastrukturen	43
3. Grundsätzliche Erkenntnisse	46
3.1 Schweizweit bestehen heterogene Strategien zum Einsatz von Elektrobussen	46
3.2 Elektrifizierung erfolgt auf Ebene Busumläufe und Linienbündel	46
3.3 Shared OC hat Potenzial für schnellere und günstigere Bus-Elektrifizierung	47
3.4 Sharing kann betriebliche Einschränkungen haben	48
3.5 Übergeordnetes Konzept nötig als Grundlage für die Umstellung einzelner Buslinien	48
3.6 Die geplanten Ladezeiten sollen die Pünktlichkeit nicht gefährden	49
3.7 Anforderungen an interoperables Opportunity Charging	49
4. Konzeption und Umsetzung eines interoperablen Ladesystems für Elektrobusse	51
4.1 Nutzen der Interoperabilität der Ladesysteme	51
4.2 Herausforderungen für die verschiedenen Akteure	51

4.3	Richtlinien für Interoperabilität im öffentlichen Busverkehr	52
4.4	Interoperabilität betrifft alle ÖV-Busse mit alternativen Antrieben	53
4.5	Die Interoperabilität ist dringlich	53
4.6	Die Richtlinien stellen optionale Leitplanken dar	54
4.7	Alle Aspekte des Ladesystems öffentlicher Busse abdecken	54
5.	Rollen und Organisationsmodelle für Ladesysteme für Elektrobusse	56
5.1	Top-Down-Planung von Ladeinfrastruktur auf Stufe Linienbündel sinnvoll	56
5.2	Möglichst grosse Sharing-Tiefe bei Opportunity Charging wünschenswert	56
5.3	Keine separate Ausschreibung der Ladeinfrastruktur durch Kantone	57
5.4	Ausbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur durch spezialisierte Anbieter	58
5.5	Grosse indirekte Vorteile von interoperablen Systemen	59
5.6	Gesamtgesellschaftliche Vorteile: Resilienz zugunsten von nicht im Fahrplan abgebildeten Ereignissen	59
6.	Übersicht über die Einsparungseffekte dank Interoperabilität	60
7.	Fazit und vorgeschlagene Institutionalisierung der Empfehlungen und Richtlinien zur Interoperabilität von Elektrobussen	62
7.1	Phase 1 für Dringendes, danach institutionell verankerte Phase 2	62
7.2	Phase 1: Dringende Themen und Suche nach institutioneller Verankerung	62
7.3	Phase 2: Institutionalisierung und Übergang in den Regelbetrieb	66
7.4	Agenda der zu bearbeitenden Inhalte ergibt sich aus den Hauptaussagen	67
A1	Definition und Nutzung ausgewählter Fachbegriffe	70
A2	Abkürzungsverzeichnis	71
A3	Literaturverzeichnis	72

Executive Summary (deutsch)

Für einen kostengünstigen und resilienten Betrieb von Elektrobussen (die absehbar wichtigste Möglichkeit zur Umstellung auf alternative Antriebe¹) sollten nicht nur die Ladesysteme optimiert, sondern auch deren Interoperabilität gewährleistet werden. Dazu braucht es kompatible Technologien und Datenprotokolle. Interoperabilität ist am schnellsten über die Standardisierung von (Komponenten von) Ladesystemen zu erreichen, indem ÖV-Besteller und Transportunternehmen (TU) gemeinsam Empfehlungen erarbeiten, Richtlinien festlegen oder Standards definieren.

Elektrobus-Flotten mit ihren Ladesystemen müssen in aufeinander abgestimmten Schritten aufgebaut und mit dem Entwicklungskonzept der jeweiligen Busdepots koordiniert werden. Dabei sollte nicht jede Buslinie einzeln, sondern ein genügend grosses Bündel von Buslinien betrachtet werden. Die relevanten Akteure im öffentlichen Busverkehr brauchen Busstrategien, welche grössere Busflotten abdecken. So können Fehlinvestitionen vermieden und die Erneuerungszyklen von Fahrzeugen und Depots genutzt werden. Interoperabilität reduziert Kosten dank koordinierter Beschaffung, Unterhalt und Weiterbildung, sowie weniger Reservefahrzeuge. Sie erleichtert Energiedienstleister auch, in den Markt für Elektrobus-Ladesysteme einzusteigen.

Dank Interoperabilität können Busse verschiedener TU an Opportunity-Charging-Haltestellen fahrplanmässig die gleiche Ladeinfrastruktur verwenden. Darüber hinaus erleichtert die Interoperabilität der Ladesysteme den Einsatz von Elektrobussen für Ersatzverkehr-Leistungen und nicht im Regelfahrplan abgebildeten Ereignissen. Zusätzlich zur technischen Interoperabilität der Ladeinfrastruktur muss auch die digitale Interoperabilität, d.h. die Authentifizierung und Abrechnung, gewährleistet sein. Interoperabilität ist auch bei der Übergabe von Bussen an ein anderes TU zentral.

Um den Akteuren Orientierungshilfen zu geben und eine gemeinsame, betrieblich und wirtschaftlich optimale Entwicklung sicherzustellen, empfehlen wir dringlich die rasche Erarbeitung erster Empfehlungen und Richtlinien, und dann die Etablierung einer längerfristigen Trägerschaft für Empfehlungen, Richtlinien und freiwilligen Standards zur TU-übergreifenden Nutzung von Ladeinfrastruktur für Elektrobusse.

¹ Wir verwenden in diesem Bericht immer den Begriff *alternative Antriebe*, um von Fahrzeugen zu sprechen, die ausschliesslich mit einer der folgenden Energiequellen angetrieben werden: Elektrizität, Wasserstoff (H₂), Erdgas, Flüssiggas oder mechanische Energie (gemäss Definition in der Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge, Art. 9a)

Résumé exécutif français

Pour une exploitation économique et résiliente des bus électriques (la possibilité la plus importante de passer à une propulsion alternative), il ne faut pas seulement optimiser les systèmes de recharge, mais aussi garantir leur interopérabilité. Pour cela, il faut des technologies et des protocoles de données compatibles. Le moyen le plus rapide d'atteindre l'interopérabilité est de standardiser les (composants des) systèmes de recharge en élaborant des recommandations, en établissant des directives ou en définissant des normes en collaboration avec les commanditaires des transports publics et les entreprises de transport (ET).

Les flottes de bus électriques et leurs systèmes de recharge doivent être construits en plusieurs étapes et coordonnés avec le concept de développement des dépôts de bus respectifs. Il ne faut pas considérer chaque ligne de bus individuellement, mais un ensemble de lignes de bus suffisamment grand. Les acteurs importants du transport public par bus ont besoin de stratégies de bus qui couvrent des flottes de bus plus importantes. Cela permet d'éviter les mauvais investissements et d'utiliser les cycles de renouvellement des véhicules et des dépôts. L'interopérabilité réduit les coûts grâce à la coordination des achats, de l'entretien et de la formation continue, ainsi qu'à la réduction du nombre de véhicules de réserve. Elle facilite également l'entrée des fournisseurs de services énergétiques sur le marché des systèmes de recharge pour bus électriques.

Grâce à l'interopérabilité, les bus de différentes ET peuvent utiliser la même infrastructure de recharge aux arrêts d'opportunité. En outre, l'interopérabilité des systèmes de recharge facilite l'utilisation de bus électriques pour les services de remplacement et les événements qui ne figurent pas dans l'horaire régulier. Outre l'interopérabilité technique de l'infrastructure de recharge, l'interopérabilité numérique, c'est-à-dire l'authentification et la facturation, doit également être garantie. L'interopérabilité est également essentielle lors du transfert de bus à une autre ET.

Afin d'aider les acteurs à s'orienter et de garantir un développement commun optimal sur le plan commercial et économique, nous recommandons vivement l'élaboration rapide de premières recommandations et directives, puis la mise en place d'un organisme responsable à long terme pour les recommandations, les directives et les normes volontaires concernant l'utilisation de l'infrastructure de recharge pour les bus électriques par différentes ET.

Sommario esecutivo italiano

Per un funzionamento economico e resiliente degli autobus elettrici (la tecnologia di propulsione presumibilmente più importante per l'abbandono dei carburanti fossili), non solo i sistemi di ricarica devono essere ottimizzati, ma anche la loro interoperabilità deve essere garantita. Ciò richiede tecnologie e protocolli di dati compatibili. L'interoperabilità può essere raggiunta più rapidamente attraverso la standardizzazione dei sistemi di ricarica e delle loro componenti da parte degli operatori del trasporto pubblico e delle imprese di trasporto (IT), i quali sviluppano congiuntamente raccomandazioni, stabiliscono linee guida o definiscono standard.

L'acquisto di autobus elettrici deve essere coordinato con l'installazione dei relativi sistemi di ricarica e con l'adattamento dei depositi dei veicoli. Non si deve considerare ogni linea di autobus singolarmente, ma piuttosto un insieme sufficientemente ampio di linee di autobus. Gli attori rilevanti del trasporto pubblico su gomma hanno bisogno di strategie che tocchino ampie flotte di autobus. In questo modo è possibile evitare investimenti sbagliati e sfruttare al meglio i cicli di rinnovo dei veicoli e dei depositi. L'interoperabilità riduce i costi grazie al coordinamento degli acquisti, della manutenzione e della formazione, nonché al minor numero di veicoli di riserva. Inoltre, essa facilita l'ingresso dei fornitori privati nel mercato dei sistemi di ricarica per autobus elettrici.

Grazie all'interoperabilità, gli autobus di diverse IT possono utilizzare la stessa infrastruttura di ricarica presso le fermate (opportunity charging) secondo l'orario della linea. Inoltre, l'interoperabilità dei sistemi di ricarica facilita l'uso degli autobus elettrici per i servizi sostitutivi e gli eventi non previsti dall'orario regolare. Oltre all'interoperabilità tecnica dell'infrastruttura di ricarica, deve essere garantita anche l'interoperabilità digitale, ossia l'autenticazione e la fatturazione. L'interoperabilità è fondamentale anche per il trasferimento degli autobus a un'altra IT.

Per fornire una guida alle parti interessate e garantire uno sviluppo congiunto, ottimale dal punto di vista operativo ed economico, raccomandiamo di sviluppare in un primo momento e rapidamente raccomandazioni e linee guida iniziali. In una seconda fase, occorre istituire un ente responsabile a lungo termine per definire le raccomandazioni, le linee guida e gli standard su base volontaria per l'uso condiviso delle infrastrutture di ricarica per gli autobus elettrici.

Executive Summary in English

For cost-effective and resilient operation of electric buses (the foreseeable most important option for conversion to decarbonized drivetrains), not only the charging systems should be optimized, but their interoperability to be ensured too. This requires compatible technologies and data protocols. Interoperability can be achieved most quickly through the standardization of (components of) charging systems by public transport authorities and transport companies (TC) jointly developing recommendations, setting guidelines or defining standards.

Electric bus fleets with their charging systems must be build up in coordinated steps and in alignment with the development concept of the respective bus depots. Not each bus line should be considered individually, but a sufficiently large bundle of bus lines. The relevant actors in public bus transport need bus strategies that cover larger bus fleets. This way, bad investments can be avoided and renewal cycles accounting for the lifespans of vehicles and depots can be used. Interoperability reduces costs through coordinated procurement, maintenance and training, and fewer reserve vehicles. It also makes it easier for energy service providers to enter the market for electric bus charging systems.

Interoperability allows buses from different TCs to use the same charging infrastructure at opportunity charging stops on a scheduled basis. In addition, interoperability of charging systems facilitates the use of electric buses for replacement services and events not mapped in the regular schedule. In addition to the technical interoperability on the level of charging infrastructure, also the digital interoperability, i.e. authentication and billing, must be ensured. Interoperability is also key when transferring buses to another TC.

To provide guidance to stakeholders and ensure joint development that is operationally and economically optimal, we strongly recommend the rapid development of initial recommendations and guidelines, and then the establishment of a longer-term platform for recommendations, guidelines, and voluntary standards for the use of charging infrastructure for electric buses across TC.

Zusammenfassung

Klimaziele und Implikationen für den öffentlichen Busverkehr

Zentrale Rolle des öffentlichen Busverkehrs in der Energiewende. Die Dekarbonisierung und vollständige Umstellung der Busse im öffentlichen Verkehr auf alternative Antriebe bis 2050 ist ein zentrales Element der schweizerischen Energie- und Klimapolitik. Aufgrund ihrer hohen Tagesfahrleistungen brauchen Elektrobusse eine eigene, auf das jeweilige Fahrplanangebot abgestimmte Ladeinfrastruktur. Je nach Fahrleistungen, Gefässgrössen, Standzeiten und Fahrplanflexibilität eignen sich verschiedene Ladesysteme: Depotladen nur nachts, Depotladen nachts ergänzt um Nachladen im Depot tagsüber, oder Opportunity Charging tagsüber an Haltestellen mit längeren Standzeiten, gegebenenfalls ergänzt um Depotladen nachts.

Zahlreiche Vorteile von Bussen mit elektrischen Antrieben. Neben ihrem Beitrag zur Erreichung der Klimaziele haben Busse mit alternativen Antrieben weitere Vorteile gegenüber den heutigen Diesel- und Gasbussen. Dazu gehört die reduzierte Umweltbelastung, insbesondere der Luftschadstoffe. Ebenso sind die Lärmemissionen deutlich geringer, was gerade in dicht bebauten Quartieren die Lebensqualität der Anwohnenden verbessert. Während die externen Kosten dementsprechend tiefer sind, fallen bei der Beschaffung und Einführung heute noch höhere Kosten an. Diese Mehrkosten lassen sich teilweise mit einer Erhöhung der Abschreibungsdauer reduzieren (die RVK-Verordnung des UVEK gibt eine Bandbreite von 10 bis 14 Jahren vor).

Resilienz des Bussystems erhöhen, Kosten von alternativen Antrieben senken

Busse mit alternativen Antrieben brauchen eigene Ladesysteme und sind infrastrukturabhängig. Die Dekarbonisierung von Bussen bringt eine Steigerung der Komplexität mit sich. Die Busse mit alternativen Antrieben sind im Gegensatz zu Dieselnbussen stärker an ihr Ladesystem gebunden. Wegen der beschränkten Reichweite sowie aus Kostengründen brauchen Busse mit alternativen Antrieben auf die Fahrleistung abgestimmte Ladekonzepte. Es gilt, die zwei verzahnten Systeme (Fahrzeug, Ladesystem) betrieblich und finanziell zu optimieren.

Bei Batteriebusen mit Depotladung erfolgt die Ladung meist nur nachts (mit Lastmanagement) oder bei depotnahen Umläufen auch tagsüber während Ruhezeiten (z. B. bei Hauptverkehrszeit (HVZ)-Verstärkungen, wo die Fahrzeuge ausserhalb der HVZ mehrere Stunden Ruhezeiten haben). Opportunity-Charging-Busse laden mehrheitlich unterwegs an Endhaltestellen oder wichtigen Knoten, ergänzt mit einer (i.d.R. 50 kW-)Ladung im Depot während der Ruhezeiten. In diesem Bericht wurden für das Opportunity Charging nur die zwei gängigen Technologien mit einem top-down oder bottom-up Pantographen untersucht, andere Systeme wie beispielsweise das Flash-Ladesystem (TOSA) wurden nicht berücksichtigt.

Resilienz des Systems steht im Vordergrund. Mit der Dekarbonisierung sollen die Qualität des heutigen Systems beibehalten werden: Abstriche in der Qualität, der Fahrplandichte, bei den Umsteigezeiten oder der Pünktlichkeit sind zu vermeiden. Ein resilientes System muss also auch bei Störungen (z. B. Baustellen, Verkehrsüberlastung, Unfälle) mit mindestens der gleichen Stabilität wie heute funktionieren. Eine Optimierung der Ladesysteme nur auf den im Fahrplan hinterlegten Regelfall ist ungenügend. Darüber hinaus ist festzulegen, welche zusätzlichen Leistungen wie Ersatzverkehr (geplant und ungeplant), ausserordentliche Lagen und Grossereignisse (Evakuierungen der Bevölkerung) das System abdecken soll.

Interoperabilität führt zu mehr Resilienz. Um auch in diesen Sonderfällen die geforderte Leistung bringen zu können, ist Interoperabilität der Schlüssel zum Erfolg. Die Interoperabilität betrifft sowohl unterschiedliche Fahrzeugflotten eines TU als auch verschiedene TU.

Keine Betrachtung einzelner Buslinien, sondern auf Linienbündel-Ebene. Fahrzeuge werden in der Regel nicht nur auf einer Linie eingesetzt.

Kosteneinsparungen dank übergreifender Planung, Interoperabilität und Sharing. In der Planung der Dekarbonisierung ist den übergreifenden, systemischen Aspekten Rechnung zu tragen. Würde jedes TU sein eigenes, auf Sonderfälle abgestimmtes Ladesystem planen, würde das zu Redundanzen und damit verbunden zu höheren Kosten führen. Eine übergreifende Planung hat vier positive Effekte:

1. direkte Effizienzeffekte bei Einkauf, Betrieb, Wartung; indirekte Effizienzeffekte bei Verkauf oder Übergabe der Fahrzeuge (vorübergehend oder Weiterverkauf an andere TU im Fall eines Konzessionswechsels)
2. gemeinsame Abdeckung von zusätzlichen Leistungen und Sonderfällen
3. Technische Grundvoraussetzung für Shared Opportunity Charging (OC) und damit die Möglichkeit für kleine TU schneller zu elektrifizieren
4. Vereinfachung für Energiedienstleister, mit dem Aufbau und Betrieb von Ladesystemen als Dienstleister für TU in den Markt einzusteigen

Interoperabilität legt Basis für eine gelungene Transformation des öffentlichen Busverkehrs. Eine de-facto-Standardisierung einzelner Komponenten (inkl. «softe Komponenten» wie z. B. Mindset, Prozesse, Ausbildung) schaffen die schweizweite Grundlage für eine Interoperabilität zu einem attraktiveren Preis. Wird diese rasch angegangen, so wird einer weiteren Zerstückelung des öffentlichen Busverkehrs in inkompatible Systeme als Inselösungen entgegengewirkt. Wir nennen dies im Folgenden «Interoperabilität».

Unsere Empfehlung ist, dass die Interoperabilität in zwei Phasen erreicht wird und Richtlinien erarbeitet werden für die TU-übergreifende Nutzung von Ladeinfrastruktur von Elektrobussen.

— Phase 1, in der die meisten aus einer System- und Kosteneffizienz-sicht benötigten Richtlinien rasch (in den nächsten 0.5 – 1.5 Jahren) und projektartig erarbeitet werden. Anschliessend erfolgt Übergabe in

— Phase 2, in der die Trägerschaft institutionalisiert und langfristig verankert wird. Eine punktuelle Weiterentwicklung der Richtlinien ist dabei wiederkehrend möglich und angedacht.

Die Umsetzung beider Phasen nennen wir «InteropEBus» (Arbeitstitel). Mehr dazu in Kapitel 6. Im Rahmen dieser Studie wurde jedoch keine Analyse des Rechtsrahmens vorgenommen, weshalb wir nicht abschliessend beurteilen können, ob Richtlinien aus juristischer Sicht genügen.

Rolle der ÖV-Besteller: Übergeordnete Umsetzungsziele oder Strategien einfordern

Bedarf einer Elektrobustategie, auf sinnvoller Aggregationsstufe. Grundsätzlich liegt die Verantwortung für die Neubeschaffung von Bussen und somit auch für die Umstellung auf alternative Antriebe bei den TU. Voraussichtlich werden die Kantone dabei einen wesentlichen Teil der höheren Investitions- und Betriebskosten zu tragen haben. Sie sollen deshalb ihre koordinierende Funktion gegenüber den TU wahrnehmen und die Umstellung auf alternative Antriebe zeit- und kosteneffizient vorantreiben können.

Dazu sind unter den Bestellerkantonen koordinierte kantonale Strategien nötig, um den Mittelbedarf für die kommenden Jahre abzuschätzen und beantragen zu können. Daher ist es sinnvoll, wenn die Kantone eine Elektrobustategie von den TU einfordern oder diese selbst entwickeln. Sie basiert, je nach Kanton, auf den bereits vorherrschenden Gegebenheiten und Stossrichtungen. Die Strategie soll auf Ebene der Linienbündel entwickelt werden, alle Fahrzeugflotten umfassen und wo möglich mit den Nachbarkantonen abgestimmt werden.

Künftiger Ersatz von Dieselnissen. Die Strategie zeigt auf, wann und wo bestehende Dieselnisse durch Elektrobuste abgelöst bzw. ersetzt werden. Der Zeitpunkt ist abhängig vom Lebenszyklus der Fahrzeuge und der Depots, der Planungssicherheit seitens Angebots, der verfügbaren Technologie (Reichweite) und der Wirtschaftlichkeit inkl. Überlegungen zur Abschreibungsdauer.

Umgang mit zusätzlichen Leistungen und Sonderfällen. Die Strategie soll auch die Sonderfälle (Ersatzverkehr, ausserordentliche Lagen, Grosseignisse, Evakuierung) adressieren, welche bisher mit Dieselnissen leicht umsetzbar waren. Teilweise ist dafür auf Stufe Kanton ein anderes Departement (Bevölkerungsschutz statt Verkehr) zuständig, zum Teil sogar der Bund (grossräumige Evakuierungen; Katastrophenhilfe).

Der Fall überregionaler Buslinien, oft durch PostAuto betrieben, bedarf aus Sicht Besteller besonderer Aufmerksamkeit. PostAuto (und ggf. auch andere TU) betreiben Buslinien über verschiedene Tarifzonen und in geteilter Zuständigkeit der kantonalen AÖV. Hier ist eine Abstimmung zwischen den Bestellerkantonen besonders wichtig.

Die weitere Zersplitterung von Busflotten auf nationaler Ebene führt zu Mehrkosten. Auch wenn für den Einsatz von nur einem interoperablen Ladesystem (z. B. Depotladung) die Anzahl der Fahrzeuge erhöht werden muss, oder bestehende Technologien ersetzt werden müssen, führt dies zu

Mehrkosten (Fahrzeuge-Beschaffung sowie Depotstellflächen). Der Bestellerkanton muss deshalb immer die Kosteneffizienz des Gesamtsystems betrachten. Mit dieser Perspektive kann Opportunity Charging eine lohnenswerte Alternative sein.

Das Ladesystem kann auch separat bestellt oder ausgeschrieben werden. Bei einer Erstbestellung kommen Busse und Ladeinfrastruktur oft «aus einer Hand». Die Busse werden später komplett ersetzt, das Ladesystem entkoppelt sich und wird schrittweise angepasst. Der ÖV-Besteller soll auf Richtlinien verweisen, die beim Ausbau der Ladeinfrastruktur durch einzelne TU zu beachten sind.

Rolle der TU: Flottenstrategie und betriebliche Anpassungen erlauben schnellere und günstigere Dekarbonisierung

Entwicklung einer Strategie für das eigene Transportunternehmen entsprechend den Vorgaben durch die Besteller. Die Besteller können übergreifende Umsetzungsziele vorgeben oder eine Strategie von den TU verlangen. Diese ist in Bezug auf technologischen Fortschritt, bestehende Flotte und Lebenszyklusbetrachtung, aktuelles Angebot und geplante Angebotsveränderungen stufenweise zu spezifizieren. Allfällige Mehrkosten können ggf. beim Besteller zur (Mit-)Übernahme eingereicht werden.

Für TU besteht die Herausforderung darin, einerseits jeweils für 5 bis 10 Jahre mit dem Betrieb einzelner Buslinien (oder Bündeln von Buslinien) beauftragt zu werden, andererseits eine Busflotte mit zugehöriger Infrastruktur (Werkstatt, Depots, Leitstelle) zu betreiben, welche langfristig ausgelegt ist. Dabei stehen Kosteneffizienz, technische sowie betriebliche Zuverlässigkeit sowie Fahrgastkomfort im Vordergrund.

Städtischer Ortsverkehr ist nicht dasselbe wie Überlandlinien. Für ländliche oder sehr regionsspezifische TU ist die Situation wesentlich anders als für städtische TU. Ländliche Linien bewältigen oft grössere Distanzen (Fahrleistung) oder grössere Höhenunterschiede (erhöhter Energiebedarf). Im Ortsverkehr ist die Anbindung an das Stromnetz einfacher, die Fahrpläne dichter, gleichzeitig sind die Platzverhältnisse an Haltestellen gedrängter. Diese Unterschiede werden in diesem Bericht nicht vertieft; oft beheimateten Depots sowohl Orts- wie auch und Regionalverkehrs-Busse. Dies soll auch in der Strategie berücksichtigt werden.

Zwei mögliche Ansätze für schwierig elektrifizierbare Linien. Entweder wird im Einzelfall nach der Ausschöpfung des betrieblichen Optimierungspotenzials (Umlaufoptimierung, Einsatzplanung, andere Bustageseinsätze) eine Erhöhung der Anzahl Fahrzeuge in der Flotte in Betracht gezogen. So kann das Fahrzeug untertags ausgetauscht und im Depot geladen werden. Oder es werden in diesem Fall Opportunity Charger angeschafft, um Zwischenladungen an den Endhaltestellen durchzuführen. Jedoch sind dafür genügend lange Ladezeiten an den Endhaltestellen Voraussetzung.

Übergeordnete Entwicklung der Technologie sollte durch Interoperabilitäts-Gremium oder auf nationaler Ebene erfolgen. So ist sichergestellt, dass die relevanten Akteure dieselbe Grundlage haben.

Die Dekarbonisierungsstrategie von PostAuto ist komplexer als andere. Eine rechtzeitige und kosteneffiziente Dekarbonisierung von PostAuto ohne Opportunity Charging ist fraglich. Gleichzeitig besteht hier auch das grösste Potential für Synergien mit anderen grossen Akteuren, wie z. B. der SBB. Es folgen Rückwirkungen auf Ladesysteme der regionalen Buslinien-Bündel.

Abhängigkeit von Busflotte, Angebot, Ladeinfrastruktur. Das Bestell- und Ausschreibeverfahren von Buslinien sollte auch die Möglichkeit für strategische Entscheide auf Seiten der TU beinhalten: Das TU entscheidet über die eingesetzte Ladetechnologie und das gewählte Betreibermodell und wählt so die operativ und finanziell optimale Lösung.

Bei einem Konzessionswechsel wird neu auch die Ladeinfrastruktur übergeben. Bisher wurden bei Konzessions- bzw. Vergabewechsel Busse, Depot und zum Teil auch Personal an das marktverantwortliche TU übergeben bzw. von diesem übernommen. Neu soll dies auch mit der Ladeinfrastruktur geschehen.

Periodisch müssen Busdepots erneuert werden. Die Frage der künftigen Ladeinfrastruktur für Elektrobusse ist dabei unbedingt zu berücksichtigen. Die TU brauchen hier eine über das Bestellverfahren hinausreichende Strategie, die mit dem Besteller abgestimmt werden muss. Geschieht dies nicht, besteht das Risiko von nachträglich höheren Kosten aufgrund von Umbauten.

Betrieb von Ladesystemen durch Energiedienstleister

Regionale und überregionale TU bedienen viele Gemeinden mit ihren jeweiligen Verteilnetzbetreibern und haben meist mehrere kleinere Busdepots. Dies erhöht die Anforderungen beim Aufbau der Fachkompetenz für Anschaffung und Betrieb von Ladeinfrastruktur. Die Beauftragung eines Energiedienstleisters kann prüfenswert sein.

Energiedienstleister benötigen klare Rahmenbedingungen, um in das Geschäftsfeld für Bereitstellung und Betrieb von Ladeinfrastruktur sowie die Energielieferung einzusteigen. Das eigentliche Geschäftsmodell ist dann sehr risikoarm, lässt sich doch der Energieabsatz bei Elektrobussen sehr genau und auf Jahre hinaus aufgrund der Fahrpläne und der beschafften Busse abschätzen.

Verschiedene Auftragsverhältnisse denkbar. TU könnten Energiedienstleister beauftragen, sozusagen als Unterauftragnehmer im Rahmen ihres Angebots gegenüber dem ÖV-Besteller. Es ist aber auch denkbar, dass Energiedienstleister direkt vom ÖV-Besteller mit dem Betrieb beauftragt würden. Die Nutzung dieser Infrastruktur wäre dann Teil des Auftrags an die TU. Oder der Bestellerkanton gibt den Energiedienstleister vor, das TU wiederum bestellt dort. Damit würden jedoch de facto auf Ebene der Ladeinfrastruktur regionale Monopole vergeben, die lange Laufzeiten haben müssten. Auf diese Rolle sind die kantonalen Ämter für öffentlichen Verkehr heute noch nicht vorbereitet.

Résumé français

Objectifs climatiques et implications pour le transport public par bus

Rôle central du transport public par bus dans la transition énergétique.

La décarbonisation et la conversion complète des bus des transports publics aux moteurs alternatifs d'ici 2050 est un élément central de la politique énergétique et climatique suisse. En raison de leurs kilométrages journaliers élevés, les bus électriques ont besoin de leur propre infrastructure de recharge, adaptée à l'offre horaire correspondante. Différents systèmes de recharge conviennent en fonction des kilomètres parcourus, de la taille des véhicules, des temps d'arrêt et de la flexibilité de l'horaire : Chargement au dépôt uniquement la nuit, chargement **au** dépôt la nuit complétée par une recharge au dépôt pendant la journée, ou Opportunity Charging pendant la journée aux arrêts avec des temps d'arrêt plus longs, complétée le cas échéant par un chargement au dépôt la nuit.

Nombreux avantages des bus à propulsion électrique.

Outre leur contribution à la réalisation des objectifs climatiques, les bus à propulsion alternative présentent d'autres avantages par rapport aux bus diesel et à gaz actuels. Parmi eux, la réduction de la pollution de l'environnement, notamment des polluants atmosphériques. De même, les émissions sonores sont nettement plus faibles, ce qui améliore la qualité de vie des riverains dans les quartiers densément construits. Alors que les coûts externes sont par conséquent plus faibles, les coûts d'acquisition et d'introduction sont aujourd'hui encore plus élevés. Ces coûts supplémentaires peuvent être partiellement réduits en augmentant la durée d'amortissement (l'ordonnance OCEC du DETEC prévoit une fourchette de 10 à 14 ans).

Augmenter la résilience du système de bus, réduire les coûts des propulsions alternatives

Les bus à propulsion alternative ont besoin de leurs propres systèmes de recharge et dépendent de l'infrastructure.

La décarbonisation des bus entraîne une augmentation de la complexité. Contrairement aux bus diesel, les bus à propulsion alternative sont davantage liés à leur système de recharge. En raison de leur autonomie limitée ainsi que pour des raisons de coûts, les bus à propulsion alternative ont besoin de concepts de recharge adaptés à leur kilométrage. Il s'agit d'optimiser les deux systèmes imbriqués (véhicule, système de charge) sur le plan opérationnel et financier.

Dans le cas des bus à batteries avec chargement au dépôt, le chargement n'a généralement lieu que la nuit (avec gestion de la charge) ou, pour les rotations proches du dépôt, également la journée pendant les heures de repos (par ex. lors de renforcements aux heures de pointe, où les véhicules ont plusieurs heures de repos en dehors des heures de pointe). Les bus avec Opportunity Charging se rechargent majoritairement en cours de route aux terminus ou aux nœuds importants, complétés par une recharge (généralement de 50 kW) au dépôt pendant les heures de repos. Dans ce rapport,

seules les deux technologies courantes ont été étudiées pour l'Opportunity Charging avec un pantographe top-down ou bottom-up, d'autres systèmes comme par exemple le système de recharge flash (TOSA) n'ont pas été pris en compte.

La résilience du système est au premier plan. La décarbonisation doit permettre de conserver la qualité du système actuel : Il faut éviter les réductions de la qualité, de la densité des horaires, des temps de correspondance ou de la ponctualité. Un système résilient doit donc fonctionner avec au moins autant de stabilité qu'aujourd'hui, même en cas de perturbations (p. ex. chantiers, surcharge de trafic, accidents). Une optimisation des systèmes de chargement uniquement en fonction du cas normal défini dans l'horaire est insuffisante. En outre, il convient de définir les prestations supplémentaires telles que le trafic de remplacement (planifié ou non), les situations extraordinaires et les événements majeurs (évacuation de la population) que le système doit couvrir.

L'interopérabilité conduit à une plus grande résilience. Pour pouvoir fournir les prestations requises dans ces cas particuliers également, l'interopérabilité est la clé du succès. L'interopérabilité concerne aussi bien les différentes flottes de véhicules d'une ET que les différentes ET.

Pas de considération de lignes de bus individuelles, mais au niveau du groupement de lignes. En règle générale, les véhicules ne sont pas utilisés sur une seule ligne.

Réduction des coûts grâce à une planification globale, à l'interopérabilité et au partage. La planification de la décarbonisation doit tenir compte des aspects généraux et systémiques. Si chaque ET planifiait son propre système de recharge adapté à des cas particuliers, cela entraînerait des redondances et donc des coûts plus élevés. Une planification globale a quatre effets positifs :

1. effets directs d'efficacité lors de l'achat, de l'exploitation, de la maintenance ; effets indirects d'efficacité lors de la vente ou de la remise des véhicules (temporairement ou revente à d'autres ET en cas de changement de concession)
2. couverture commune de prestations supplémentaires et de cas particuliers
3. condition technique de base pour le Shared Opportunity Charging (OC) et donc la possibilité pour les petites ET de s'électrifier plus rapidement.
4. simplification de l'entrée sur le marché pour les prestataires de services énergétiques en tant que prestataire de services pour les ET avec la mise en place et l'exploitation de systèmes de recharge.

L'interopérabilité est la base d'une transformation réussie du transport public par bus. Une standardisation de facto de certains composants (y compris les "composants doux" tels que l'état d'esprit, les processus, la formation) crée la base d'une interopérabilité à un prix plus attractif dans toute la Suisse. Si l'on s'y attelle rapidement, on évitera une nouvelle

fragmentation du transport public par bus en systèmes incompatibles sous forme de solutions isolées. C'est ce que nous appelons "l'interopérabilité".

Nous recommandons que l'interopérabilité soit réalisée en deux phases et que des directives soient élaborées pour l'utilisation de l'infrastructure de chargement des bus électriques par multiples ET.

- Phase 1, durant laquelle la plupart des directives nécessaires du point de vue de l'efficacité du système et des coûts seront élaborées rapidement (dans les 0,5 à 1,5 prochaines années) et sous forme de projet. Ensuite, le transfert a lieu dans la phase 2.

- Phase 2, au cours de laquelle l'organisme responsable est institutionnalisé et ancré à long terme. Un développement ponctuel des directives est alors possible et envisagé.

Nous appelons la mise en œuvre des deux phases "InteropEBus" (titre provisoire). Dans le cadre de cette étude, nous n'avons toutefois pas procédé à une analyse du cadre juridique, raison pour laquelle nous ne pouvons pas juger de manière définitive si les directives sont suffisantes d'un point de vue juridique.

Rôle des commanditaires des transports publics : exiger des objectifs ou des stratégies de mise en œuvre supérieurs

Besoin d'une stratégie pour les bus électriques, à un niveau d'agrégation pertinent. En principe, la responsabilité de l'acquisition de nouveaux bus et donc du passage à des motorisations alternatives incombe aux entreprises de transport. Il est probable que les cantons devront supporter une part importante des coûts d'investissement et d'exploitation plus élevés. C'est pourquoi ils doivent pouvoir assumer leur fonction de coordination vis-à-vis des entreprises de transport et faire avancer le passage aux motorisations alternatives de manière efficace en termes de temps et de coûts.

Pour ce faire, il est nécessaire de coordonner les stratégies cantonales entre les cantons commanditaires, afin d'évaluer les besoins financiers pour les années à venir et de pouvoir faire des demandes. Il est donc judicieux que les cantons demandent aux entreprises de transport une stratégie pour les bus électriques ou qu'ils la développent eux-mêmes. Selon le canton, elle se base sur les conditions et les orientations déjà existantes. La stratégie doit être développée au niveau des faisceaux de lignes, englober toutes les flottes de véhicules et, si possible, être coordonnée avec les cantons voisins.

Remplacement futur des bus diesel. La stratégie indique quand et où les bus diesel existants seront remplacés par des bus électriques. Le moment dépend du cycle de vie des véhicules et des dépôts, de la sécurité de planification de l'offre, de la technologie disponible (autonomie) et de la rentabilité, y compris des réflexions sur la durée d'amortissement.

Gestion des prestations supplémentaires et des cas particuliers. La stratégie doit également aborder les cas particuliers (trafic de remplacement, situations extraordinaires, événements majeurs, évacuation), qui étaient jusqu'à présent facilement réalisables avec des bus diesel. Ces cas relèvent en

partie de la compétence d'un autre département au niveau cantonal (protection de la population plutôt que transport), et même en partie de la Confédération (évacuations à grande échelle ; aide en cas de catastrophe).

Le cas des lignes de bus interrégionales, souvent exploitées par CarPostal, requiert une attention particulière du point de vue des commanditaires. CarPostal (et éventuellement aussi d'autres ET) exploitent des lignes de bus sur différentes zones tarifaires et sous la responsabilité partagée des OTP cantonaux. Dans ce cas, une coordination entre les cantons commanditaires est particulièrement importante.

La poursuite du morcellement des flottes de bus au niveau national entraîne des coûts supplémentaires. Même si le nombre de véhicules doit être augmenté pour l'utilisation d'un seul système de chargement interopérable (p. ex. chargement de dépôt) ou si les technologies existantes doivent être remplacées, cela entraîne des coûts supplémentaires (acquisition de véhicules et de places de dépôt). Le canton de commande doit donc toujours tenir compte de l'efficacité des coûts de l'ensemble du système. Dans cette perspective, l'Opportunity Charging peut être une alternative intéressante.

Le système de recharge peut également être commandé séparément ou faire l'objet d'un appel d'offres. Lors d'une première commande, les bus et l'infrastructure de recharge proviennent souvent d'un seul et même fournisseur. Les bus sont ensuite entièrement remplacés, le système de recharge est découplé et adapté progressivement. Le commanditaire des transports publics doit indiquer les lignes directrices à respecter lors de l'extension de l'infrastructure de recharge par les différentes entreprises de transport.

Rôle des entreprises de transport : la stratégie de la flotte et les adaptations de l'entreprise permettent une décarbonisation plus rapide et plus avantageuse.

Développement d'une stratégie pour la propre entreprise de transport conformément aux directives des commanditaires. Les commanditaires peuvent fixer des objectifs de mise en œuvre globaux ou exiger une stratégie de la part des ET. Celle-ci doit être spécifiée par étapes en fonction des progrès technologiques, de la flotte existante et de l'analyse du cycle de vie, de l'offre actuelle et des modifications prévues de l'offre. Les éventuels coûts supplémentaires peuvent, le cas échéant, être soumis à l'acheteur pour une (co-)prise en charge.

Pour les ET, le défi consiste, d'une part, à se voir confier l'exploitation de lignes de bus individuelles (ou de faisceaux de lignes de bus) pour une durée de 5 à 10 ans et, d'autre part, à exploiter une flotte de bus avec l'infrastructure correspondante (atelier, dépôts, centre de contrôle) qui est conçue pour le long terme. L'efficacité des coûts, la fiabilité technique et opérationnelle ainsi que le confort des passagers sont au premier plan.

Les transports locaux urbains ne sont pas identiques aux lignes interurbaines. Pour les ET rurales ou très spécifiques à une région, la situation est sensiblement différente de celle des ET urbaines. Les lignes rurales

parcourent souvent de plus grandes distances (kilométrage) ou des dénivellés plus importants (besoins énergétiques accrus). Dans les transports locaux, le raccordement au réseau électrique est plus simple, les horaires sont plus denses et l'espace aux arrêts est plus restreint. Ces différences ne sont pas approfondies dans le présent rapport ; souvent, les dépôts accueillent aussi bien des bus locaux que des bus régionaux. Cela doit également être pris en compte dans la stratégie.

Deux approches possibles pour les lignes difficilement électrifiables.

Soit on envisage, au cas par cas, une augmentation du nombre de véhicules dans la flotte après avoir épuisé le potentiel d'optimisation de l'exploitation (optimisation des rotations, planification de l'affectation, autres affectations journalières des bus). Ainsi, le véhicule peut être échangé pendant la journée et chargé au dépôt. Sinon, il est également possible d'acheter des Opportunity Chargers pour effectuer des recharges intermédiaires aux terminus. Toutefois, cela nécessite des temps de chargement suffisamment longs aux terminus.

Le développement général de la technologie devrait être réalisé par un organisme d'interopérabilité ou au niveau national. Ainsi, les acteurs concernés sont assurés d'avoir la même base.

La stratégie de décarbonisation de CarPostal est plus complexe que d'autres. Il n'est pas certain que la décarbonisation de CarPostal se fasse à temps et de manière rentable sans Opportunity Charging. En même temps, c'est là que réside le plus grand potentiel de synergies avec d'autres acteurs importants, comme les CFF. Il s'ensuit des répercussions sur les systèmes de recharge des faisceaux de lignes de bus régionales.

Dépendance de la flotte de bus, de l'offre, de l'infrastructure de recharge. La procédure de commande et d'appel d'offres des lignes de bus devrait également inclure la possibilité de prendre des décisions stratégiques du côté de l'ET : L'ET décide de la technologie de recharge utilisée et du modèle d'exploitation choisi et choisit ainsi la solution optimale sur le plan opérationnel et financier.

Lors d'un changement de concession, l'infrastructure de recharge est désormais également transférée. Jusqu'à présent, lors d'un changement de concession ou d'attribution, les bus, le dépôt et parfois même le personnel étaient transférés ou repris par l'entreprise responsable du marché. Désormais, il en sera de même pour l'infrastructure de recharge.

Les dépôts de bus doivent être renouvelés périodiquement. La question de la future infrastructure de recharge pour les bus électriques doit absolument être prise en compte. Les ET ont besoin d'une stratégie allant au-delà de la procédure de commande, qui doit être coordonnée avec le client. Si ce n'est pas le cas, il y a un risque d'augmentation ultérieure des coûts en raison de transformations.

Exploitation de systèmes de recharge par des prestataires de services énergétiques

Les entreprises de transport régionales et interrégionales desservent de nombreuses communes avec leurs gestionnaires de réseau de distribution respectifs et possèdent généralement plusieurs petits dépôts de bus. Cela augmente les exigences en matière de compétences techniques pour l'acquisition et l'exploitation d'infrastructures de recharge. Le recours à un prestataire de services énergétiques peut être envisagé.

Les fournisseurs de services énergétiques ont besoin d'un cadre clair pour entrer dans le secteur de la fourniture et de l'exploitation d'infrastructures de recharge et de la fourniture d'énergie. Le modèle d'affaires proprement dit est alors très peu risqué, car les ventes d'énergie pour les bus électriques peuvent être estimées très précisément et pour des années sur la base des horaires et des bus achetés.

Différents types de contrats sont envisageables. Les entreprises de transport pourraient faire appel à des fournisseurs d'énergie, pour ainsi dire en tant que sous-traitants dans le cadre de leur offre au commanditaire de transports publics. Mais il est également envisageable que les fournisseurs d'énergie soient directement chargés de l'exploitation par le commanditaire des transports publics. L'utilisation de cette infrastructure ferait alors partie du mandat confié aux ET. Ou bien le canton qui passe commande indique le prestataire de services énergétiques, et l'ET passe commande à ce prestataire. Mais cela reviendrait de facto à attribuer des monopoles régionaux au niveau de l'infrastructure de recharge, qui devraient avoir une longue durée de vie. Les offices cantonaux des transports publics ne sont pas encore préparés à ce rôle.

Sommario italiano

Obiettivi climatici e implicazioni per il trasporto pubblico su gomma.

Ruolo centrale del trasporto pubblico su gomma nella transizione energetica. La decarbonizzazione e la conversione completa degli autobus del trasporto pubblico a sistemi a propulsioni alternative entro il 2050 è un elemento centrale della politica energetica e climatica svizzera. A causa dell'elevato chilometraggio giornaliero, gli autobus elettrici necessitano di una propria infrastruttura di ricarica adattata al rispettivo orario d'esercizio. A seconda del chilometraggio, delle dimensioni dei veicoli, dei tempi di inattività e della flessibilità dell'orario, sono preferibili sistemi di ricarica diversi: Ricarica del deposito solo di notte, ricarica del deposito di notte completata da una ricarica intermedia nel deposito durante il giorno, oppure ricarica di opportunità (opportunity charging) durante il giorno alle fermate con tempi di sosta più lunghi, completata da una ricarica del deposito di notte se necessario.

Numerosi vantaggi degli autobus a propulsione elettrica. Oltre a contribuire al raggiungimento degli obiettivi climatici, gli autobus con tecnologie di propulsione alternative presentano altri vantaggi rispetto agli attuali autobus diesel e a gas. Tra questi, la riduzione dell'inquinamento ambientale, in particolare dell'inquinamento atmosferico. Anche le emissioni acustiche sono notevolmente inferiori, migliorando così la qualità della vita dei residenti, soprattutto nei quartieri densamente edificati. Sebbene i costi esterni siano di conseguenza più bassi, i costi di acquisto sono ancora oggi più elevati rispetto agli autobus a diesel. Questi costi aggiuntivi possono essere parzialmente ridotti aumentando il periodo di ammortamento (l'ordinanza OCIC del DATEC prevede un intervallo compreso tra 10 e 14 anni).

Aumentare la resilienza del sistema di autobus, ridurre i costi delle motorizzazioni alternative

Gli autobus a propulsione alternativa necessitano di sistemi di ricarica propri e dipendono dalle infrastrutture. La decarbonizzazione degli autobus comporta un aumento della complessità. A differenza degli autobus diesel, gli autobus a propulsione alternativa sono legati al sistema di ricarica. A causa dell'autonomia limitata e per ragioni di costo, gli autobus a propulsione alternativa necessitano di sistemi di ricarica adeguati al chilometraggio. Occorre ottimizzare i due sistemi tra loro connessi, ossia il veicolo e il sistema di ricarica, dal punto di vista operativo e finanziario.

Nel caso degli autobus a batteria con ricarica in deposito, la ricarica avviene di solito solo di notte (con gestione del carico) o, nel caso in cui il bus operi vicino ai depositi, anche durante i periodi di riposo diurno. Ciò succede ad esempio se il bus deve rinforzare il servizio durante l'ora di punta per poi rimanere in deposito diverse ore durante la giornata. Gli autobus con opportunity charging si ricaricano invece soprattutto lungo il percorso, presso le di capolinea o i nodi importanti. In questo caso spesso si aggiunge a

complemento una ricarica (solitamente da 50 kW) nel deposito durante i periodi di riposo. In questo rapporto sono state analizzate solo le due tecnologie più comuni per l'opportunity charging: ricarica con pantografo top-down o bottom-up. Altri sistemi, come quello di ricarica flash (TOSA) o quello a induzione, non sono stati considerati.

La resilienza del sistema è l'obiettivo principale. Anche con la decarbonizzazione, la qualità del sistema attuale deve essere mantenuta: occorre evitare di sacrificare la qualità, la frequenza dell'orario, i tempi di trasferimento o la puntualità. Un sistema resiliente deve quindi funzionare con almeno la stessa stabilità di oggi anche in caso di imprevisti (ad esempio lavori stradali, congestione del traffico, incidenti). Un'ottimizzazione dei sistemi di ricarica solo per il caso regolare è insufficiente. Inoltre, è necessario determinare quali servizi aggiuntivi, come i bus sostitutivi (pianificati e non), le situazioni straordinarie e i grandi eventi (evacuazione della popolazione), deve saper fronteggiare il sistema.

L'interoperabilità porta a una maggiore resilienza. L'interoperabilità è la chiave del successo per poter fornire le prestazioni richieste in questi casi speciali. L'interoperabilità concerne le diverse flotte di veicoli di un' IT e le diverse IT.

Non si considerano le singole linee di autobus, ma un insieme regionale di esse. Di solito i veicoli non vengono utilizzati solo su una linea.

Risparmio sui costi grazie a una pianificazione completa, all'interoperabilità e alla condivisione. Nella pianificazione della decarbonizzazione della flotta, è necessario prendere in considerazione gli aspetti sistemici e generali. Se ogni IT dovesse pianificare il proprio sistema di ricarica su misura per i casi specifici, ciò porterebbe a ridondanze e quindi a costi più elevati. Una pianificazione globale ha quattro effetti positivi:

1. effetti diretti di risparmio nell'acquisto, nella gestione e nella manutenzione; effetti indiretti di risparmio nella vendita o nella consegna dei veicoli (temporaneamente o rivenduti ad altre IT in caso di cambio di concessione).
2. copertura congiunta di servizi aggiuntivi e casi speciali
3. specifiche tecniche comuni per condividere le strutture di opportunity charging e quindi la possibilità per le piccole IT di elettrificarsi più rapidamente
4. semplificazione per i fornitori di servizi energetici che possono entrare nel mercato come fornitori di servizi per gli utenti, creando e gestendo sistemi di ricarica.

L'interoperabilità pone le basi per una trasformazione di successo del trasporto pubblico su gomma. Una standardizzazione de-facto dei singoli componenti (compresi i "componenti soft" come mentalità, processi, formazione) crea la base a livello svizzero per l'interoperabilità a un prezzo più interessante. Se l'aspetto della standardizzazione viene affrontato rapidamente, si potrà contrastare un'ulteriore frammentazione del trasporto pubblico su gomma in sistemi incompatibili come soluzioni isolate. Di seguito chiameremo tutto ciò "interoperabilità".

La nostra raccomandazione è che l'interoperabilità venga raggiunta in due fasi e che vengano sviluppate delle linee guida per l'utilizzo condiviso dell'infrastruttura di carico degli autobus elettrici tra diverse IT.

- Fase 1, in cui la maggior parte delle linee guida necessarie dal punto di vista del sistema e dell'efficienza dei costi viene sviluppata rapidamente (nei prossimi 0,5-1,5 anni). Segue il passaggio alla
- Fase 2, in cui la responsabilità viene istituzionalizzata e ancorata a lungo termine, creando un ente addetto. Un ulteriore sviluppo selettivo delle linee guida è possibile e previsto su base ricorrente.

Chiamiamo l'implementazione di entrambe le fasi "InteropEBus" (titolo provvisorio). Per saperne di più, si veda il capitolo 6. Nell'ambito di questo studio, tuttavia, non è stata effettuata alcuna analisi del quadro giuridico, motivo per cui non possiamo valutare in modo definitivo se le linee guida siano sufficienti dal punto di vista legale.

Ruolo dei committenti del trasporto pubblico: richiesta di obiettivi o strategie di implementazione generali

Necessità di una strategia per gli autobus elettrici, a un livello di aggregazione significativo. In linea di principio, la responsabilità dell'acquisto di nuovi autobus e quindi anche della conversione a motorizzazioni alternative spetta alla IT. È probabile che i Cantoni debbano sostenere una parte significativa dei maggiori costi di investimento e di esercizio. Dovrebbero quindi svolgere la loro funzione di coordinamento nei confronti delle IT ed essere in grado di portare avanti la conversione a motorizzazioni alternative in modo efficiente in termini di tempo e di costi.

A tal fine, sono necessarie strategie cantonali coordinate tra i Cantoni committenti per poter stimare e richiedere i fondi necessari per i prossimi anni. È quindi opportuno che i Cantoni richiedano alle IT una strategia per gli autobus elettrici o ne sviluppino una propria. A seconda del Cantone, la strategia si basa sulle condizioni già esistenti e sulla visione per il futuro. La strategia dovrebbe essere sviluppata a livello di aggregazione regionale di linee, includere tutte le flotte di veicoli e, quando possibile, essere coordinata con i cantoni limitrofi.

Futura sostituzione degli autobus diesel. La strategia indica quando e dove gli autobus diesel esistenti saranno sostituiti da autobus elettrici. La tempistica dipende dal ciclo di vita dei veicoli e dei depositi, dalla puntualità dell'orario, dalla tecnologia disponibile e dalla fattibilità economica, comprese le considerazioni sul periodo di ammortamento.

Gestione dei servizi aggiuntivi e dei casi speciali. La strategia dovrebbe affrontare anche i casi speciali (trasporto sostitutivo, situazioni straordinarie, grandi eventi, evacuazioni), che in precedenza erano facili da affrontare con gli autobus diesel. In alcuni casi, la responsabilità è di un altro dipartimento a livello cantonale (protezione civile anziché trasporti) e, in alcuni casi, anche di livello federale (evacuazioni su larga scala; soccorsi in caso di catastrofe).

Il caso delle linee di autobus interregionali, spesso gestite da AutoPostale, richiede un'attenzione particolare dal punto di vista del committente. AutoPostale (ed eventualmente anche altre aziende di trasporto) gestisce linee di autobus tra diverse zone tariffarie e sotto la responsabilità condivisa dei trasporti pubblici cantonali. Il coordinamento tra i cantoni committenti è particolarmente importante in questo caso.

L'ulteriore frammentazione delle flotte di autobus a livello nazionale comporta costi aggiuntivi. Aumentare il numero di veicoli per l'utilizzo di un solo sistema di ricarica interoperabile (ad esempio ricarica in deposito), o sostituire le tecnologie esistenti comporta costi aggiuntivi (acquisto di veicoli e aree di parcheggio in deposito). Il Cantone committente deve quindi sempre considerare l'efficienza dei costi del sistema nel complesso. In quest'ottica, l'opportunit  charging pu  essere una valida alternativa.

Il sistema di ricarica pu  anche essere ordinato separatamente o messo in gara d'appalto. Gli autobus e l'infrastruttura di ricarica vengono spesso forniti "da un'unica fonte". In seguito, gli autobus vengono sostituiti completamente, il sistema di ricarica viene disaccoppiato e adattato gradualmente. Il committente del trasporto pubblico dovrebbe indicare linee guida da seguire quando le singole IT ampliano l'infrastruttura di ricarica.

Ruolo delle IT: la strategia della flotta e gli adeguamenti operativi consentono una decarbonizzazione pi  rapida ed economica.

Sviluppo di una strategia per la propria azienda di trasporto in base ai requisiti dei committenti. I committenti possono stabilire obiettivi di riduzione delle emissioni generali o richiedere una strategia alle aziende di trasporto. Questa strategia deve essere definita in relazione al progresso tecnologico, alla flotta esistente e alla valutazione del ciclo di vita dei veicoli, all'orario attuale e ai cambiamenti previsti nell'offerta. Se necessario, i costi aggiuntivi possono essere assunti dal committente (parzialmente o totalmente).

La sfida per le IT consiste, da un lato, nel commissionare la gestione di singole linee di autobus (o di pacchetti di linee) per 5–10 anni e, dall'altro, nel gestire una flotta di autobus con le relative infrastrutture (officina, depositi, centro di controllo) progettate per il lungo termine. L'attenzione   rivolta all'efficienza dei costi, all'affidabilit  tecnica e operativa e al comfort dei passeggeri.

Il trasporto locale urbano   diverso dalle linee interurbane. Per le IT rurali o per quelle molto concentrate localmente, la situazione   significativamente diversa rispetto alle IT urbane. Le linee rurali spesso affrontano distanze maggiori (chilometraggio) o maggiori differenze di altitudine (maggiore richiesta di energia). Nel trasporto locale, la connessione alla rete elettrica   pi  semplice, la cadenza oraria pi  intensa ma lo spazio alle fermate   pi  affollato. Queste differenze non sono state approfondite in questo rapporto. Spesso inoltre le fermate ospitano sia autobus locali che regionali.

Anche questo aspetto dovrebbe essere preso in considerazione nella strategia.

Due possibili approcci per le linee difficili da elettrificare. L'aumento del numero di veicoli della flotta viene preso in considerazione in singoli casi, una volta esaurito il potenziale di ottimizzazione operativa (ottimizzazione delle linee, pianificazione dell'impiego dei veicoli, altre operazioni quotidiane con gli autobus). Avendo più veicoli nella flotta, gli autobus sulle linee più difficili da elettrificare possono essere sostituiti durante il giorno, così che possano caricare nel deposito. Un'altra opzione consiste nell'utilizzare l'opportunità charging, per effettuare una ricarica intermedia al capolinea. Tuttavia, ciò richiede tempi di stazionamento sufficientemente lunghi ai capolinea.

Lo sviluppo generale della tecnologia dovrebbe essere seguito da un'ente responsabile per l'interoperabilità o a livello nazionale. In questo modo si garantisce che gli attori interessati abbiano la stessa base.

La strategia di decarbonizzazione di AutoPostale è più complessa di altre. Una decarbonizzazione tempestiva ed efficiente in termini di costi di AutoPostale senza Opportunity Charging è un'opzione incerta. Allo stesso tempo, questo attore presenta il maggior potenziale di sinergia con altri importanti attori, come le FFS. Le ripercussioni toccano i sistemi di ricarica delle linee regionali.

Dipendenza dalla flotta, dall'orario e dall'infrastruttura di ricarica. Il processo di committenza e di appalto delle linee di autobus dovrebbe prevedere anche la possibilità di decisioni strategiche da parte delle IT: L'IT seleziona la tecnologia di ricarica utilizzata e il sistema di gestione, scegliendo così la soluzione ottimale dal punto di vista operativo e finanziario.

In caso di cambio di concessione, sarà consegnata anche l'infrastruttura di ricarica. Finora, in caso di cambio di concessione o di aggiudicazione, gli autobus, i depositi e, in alcuni casi, il personale venivano trasferiti o rilevati dalla IT che rilevava l'incarico. In futuro si aggiunge l'infrastruttura di ricarica per il passaggio di consegna.

I depositi degli autobus devono essere rinnovati periodicamente. In caso di rinnovo, la questione della futura infrastruttura di ricarica per gli autobus elettrici deve essere presa in considerazione. Le IT hanno bisogno di una strategia che vada oltre la procedura di ordinazione e che sia concordata con il committente. Se ciò non avviene, c'è il rischio di un successivo aumento dei costi dovuti alle conversioni.

Gestione dei sistemi di ricarica da parte dei fornitori di servizi energetici

LA IT regionali e interregionali servono molti comuni con i rispettivi gestori della rete di distribuzione elettrica e di solito hanno diversi depositi di autobus più piccoli. Ciò aumenta la complessità per la creazione di competenze per l'installazione e la gestione delle infrastrutture di ricarica. Potrebbe essere opportuno prendere in considerazione incaricare un fornitore di servizi energetici.

I fornitori di servizi energetici hanno bisogno di condizioni quadro chiare per entrare nel settore della fornitura e della gestione delle infrastrutture di ricarica, così come per la fornitura di energia. Il modello di business effettivo è quindi a basso rischio, poiché le vendite di energia per gli autobus elettrici possono essere stimate in modo molto preciso e a lungo termine sulla base degli orari e degli autobus acquistati.

Sono ipotizzabili diversi rapporti contrattuali. Le IT potrebbero incaricare i fornitori di servizi energetici, come subappaltatori, nell'ambito della loro offerta al committente del trasporto pubblico. È anche ipotizzabile che i fornitori di servizi energetici vengano incaricati direttamente dal committente del trasporto pubblico per l'installazione e la gestione dell'infrastruttura di ricarica. L'utilizzo di questa infrastruttura farebbe quindi parte del contratto con l'IT. Oppure il Cantone committente seleziona il fornitore di servizi energetici, presso il quale l'IT deve procurarsi l'infrastruttura di ricarica. In questo modo, però, si assegnerebbero di fatto dei monopoli regionali a livello di infrastrutture di ricarica, che dovrebbero avere una lunga durata. Gli uffici cantonali dei trasporti pubblici non sono ancora pronti per questo ruolo.

English summary

Climate targets and implications for public bus transport.

Central role of public bus transport in the energy transition. The decarbonization and complete conversion of public transport buses to alternative drive systems by 2050 is a central element of Swiss energy and climate policy. Due to their high daily mileage, electric buses need their own charging infrastructure adapted to the respective timetable offer. Depending on the mileage, vessel sizes, idle times and schedule flexibility, different charging systems are suitable: Depot charging only at night, depot charging at night supplemented by recharging at the depot during the day, or opportunity charging during the day at stops with longer standing times, supplemented by depot charging at night if necessary.

Numerous advantages of buses with electric drives. In addition to their contribution to achieving climate targets, buses with alternative drives have other advantages over today's diesel and gas buses. These include reduced environmental pollution, especially air pollutants. Noise emissions are also significantly lower, which improves the quality of life for residents, especially in densely built-up areas. While the external costs are correspondingly lower, the costs of procurement and introduction are still higher today. These additional costs can be partially reduced by increasing the depreciation period (the RVK ordinance of DETEC specifies a range of 10 to 14 years).

Increase resilience of the bus system, reduce costs of alternative drivetrains

Buses with alternative drivetrains need their own charging systems and are infrastructure-dependent. Decarbonization of buses brings an increase in complexity. Alternative propulsion buses, unlike diesel buses, are more tied to their charging system. Because of their limited range, as well as for cost reasons, buses with alternative drives need charging concepts tailored to their mileage. The two interlocking systems (vehicle, charging system) must be optimized operationally and financially.

In the case of battery buses with depot charging, charging usually takes place only at night (with load management) or, in the case of runs close to depots, also during daytime rest periods (e.g., in the case of rush hour (HVZ) reinforcements, where the vehicles have several hours of rest outside the HVZ). Opportunity charging buses charge mostly en route at terminal stops or major nodes, supplemented with (usually 50 kW) charging at the depot during off-peak hours. In this report, only the two common technologies with a top-down or bottom-up pantograph were investigated for opportunity charging; other systems such as the flash charging system (TOSA) were not considered.

Resilience of the system is the main focus. Decarbonization is intended to maintain the quality of the current system: Sacrifices in quality, schedule density, transfer times or punctuality are to be avoided. A resilient system must therefore function with at least the same stability as today, even in the

event of disruptions (e.g., construction sites, traffic congestion, accidents). Optimizing the charging systems only to the regular case stored in the timetable is insufficient. Furthermore, it must be determined which additional services such as replacement traffic (planned and unplanned), extraordinary situations and major events (evacuations of the population) the system should cover.

Interoperability leads to greater resilience. In order to deliver the required performance even in these special cases, interoperability is the key to success. Interoperability concerns different vehicle fleets of a TU as well as different TUs.

No consideration of individual bus lines, but at the line bundle level. Vehicles are usually not only used on one line.

Cost savings thanks to overarching planning, interoperability and sharing. Cross-cutting, systemic aspects must be taken into account in decarbonization planning. If each TU were to plan its own charging system tailored to special cases, this would lead to redundancies and, consequently, higher costs. Comprehensive planning has four positive effects:

1. direct efficiency effects in purchasing, operation, maintenance; indirect efficiency effects in selling or handing over the vehicles (temporarily or re-selling to other TUs in case of a concession change).
2. joint coverage of additional services and special cases
3. basic technical requirement for shared opportunity charging (OC), enabling small TUs to electrify faster
4. simplification for energy service providers to enter the market as service providers for TUs by building and operating charging systems.

Interoperability lays the foundation for a successful transformation of public bus transport. A de-facto standardization of individual components (including "soft components" such as mindset, processes, training) creates the Swiss-wide basis for interoperability at a more attractive price. If this is tackled quickly, further fragmentation of public bus transport into incompatible systems as isolated solutions will be counteracted. We call this "interoperability" in the following.

Our recommendation is that interoperability be achieved in two phases and that guidelines be developed for the cross-TU use of charging infrastructure of electric buses.

- Phase 1, in which most of the guidelines needed from a system and cost efficiency point of view are developed quickly (in the next 0.5 - 1.5 years) and in a project-like manner. This is followed by handover to
- Phase 2, in which the sponsorship is institutionalized and anchored in the long term. A selective further development of the guidelines is possible and considered on a recurring basis.

We call the implementation of both phases "InteropEBus" (working title). More on this in chapter 6. However, no analysis of the legal framework was

carried out within the framework of this study, which is why we cannot conclusively assess whether guidelines are sufficient from a legal point of view.

Role of public transport purchasers: demand overall implementation goals or strategies

Need for an electric bus strategy, at a meaningful level of aggregation.

In principle, the responsibility for the procurement of new buses and thus also for the conversion to alternative drives lies with the TU. It is likely that the cantons will have to bear a significant part of the higher investment and operating costs. They should therefore assume their coordinating function vis-à-vis the TUs and be able to drive forward the conversion to alternative drives in a time- and cost-efficient manner.

For this purpose, coordinated cantonal strategies are necessary among the ordering cantons in order to be able to estimate and apply for the funds required for the coming years. It therefore makes sense for the cantons to request an electric bus strategy from the TU or to develop one themselves. It is based, depending on the canton, on the already prevailing conditions and thrust directions. The strategy should be developed at the level of the route bundle, include all vehicle fleets and, where possible, be coordinated with the neighboring cantons.

Future replacement of diesel buses. The strategy identifies when and where existing diesel buses will be replaced with electric buses. The timing depends on the life cycle of the vehicles and depots, the planning certainty of supply, the available technology (range), and the economic viability including depreciation period considerations.

Dealing with additional services and special cases. The strategy should also address special cases (replacement transport, extraordinary situations, major events, evacuation), which were previously easy to implement with diesel buses. In some cases, this is the responsibility of another department at the cantonal level (civil protection instead of transport), and in some cases even of the federal government (large-scale evacuations; disaster relief).

The case of supraregional bus lines, often operated by PostBus, requires special attention from the viewpoint of the purchaser. PostBus (and possibly also other TUs) operate bus lines across different tariff zones and in shared responsibility of the cantonal public transport. Here, coordination between the ordering cantons is particularly important.

The further fragmentation of bus fleets on a national level leads to additional costs. Even if the number of vehicles has to be increased for the use of only one interoperable loading system (e.g. depot loading), or existing technologies have to be replaced, this leads to additional costs (vehicle procurement and depot parking areas). The ordering canton must therefore always consider the cost efficiency of the overall system. With this perspective, Opportunity Charging can be a worthwhile alternative.

The charging system can also be ordered separately or put out to tender. In an initial order, buses and charging infrastructure often come "from a single source." The buses are later completely replaced, the charging system

is decoupled and adapted step by step. The public transport purchaser should refer to guidelines to be followed when individual TUs expand the charging infrastructure.

Role of TU: fleet strategy and operational adjustments allow faster and cheaper decarbonization.

Develop a strategy for own transport company in accordance with the requirements of the purchasers. The purchasers can set overarching implementation targets or demand a strategy from the TUs. This strategy is to be specified step by step with regard to technological progress, existing fleet and life cycle assessment, current offer and planned changes in offer. If necessary, any additional costs can be submitted to the customer for (co-)assumption.

The challenge for TU is, on the one hand, to be entrusted with the operation of individual bus lines (or bundles of bus lines) for 5 to 10 years at a time, and on the other hand, to operate a bus fleet with the associated infrastructure (workshop, depots, control center) that is designed for the long term. The focus is on cost efficiency, technical and operational reliability, and passenger comfort.

Urban local transport is not the same as intercity lines. For rural or very regionally specific TUs, the situation is substantially different than for urban TUs. Rural lines often cope with greater distances (mileage) or greater differences in altitude (increased energy demand). In local transport, the connection to the power grid is easier, the timetables are denser, and at the same time the space at stops is more crowded. These differences are not explored in depth in this report; often de-pots are home to both local and regional buses. This should also be considered in the strategy.

Two possible approaches for lines that are difficult to electrify. Either an increase in the number of vehicles in the fleet is considered on a case-by-case basis after the operational optimization potential has been exhausted (circulation optimization, deployment planning, other bus day operations). In this way, the vehicle can be exchanged during the day and loaded in the depot. Or, in this case, opportunity chargers are purchased to perform intermediate charging at the final stops. However, this requires sufficiently long charging times at the final stops.

Overarching development of the technology should be carried out by interoperability bodies or at national level. This ensures that the relevant players have the same basis.

PostBus' decarbonization strategy is more complex than others. Timely and cost-effective decarbonization of PostBus without Opportunity Charging is questionable. At the same time, this is also where there is the greatest potential for synergies with other major players, such as SBB. Repercussions for charging systems of regional bus line bundles follow.

Dependence on bus fleet, supply, charging infrastructure. The ordering and tendering process of bus lines should also include the possibility for strategic decisions on the part of the TU: TU decides on the charging technology

used and the operator model chosen, thus selecting the operationally and financially optimal solution.

In the event of a change of concession, the charging infrastructure will now also be handed over. Up to now, buses, depots and in some cases also personnel were transferred to or taken over by the TU responsible for the market in the event of a change of concession or award. This is now also to be done with the charging infrastructure.

Bus depots have to be renewed periodically. The question of the future charging infrastructure for electric buses must be taken into account. The TUs need a strategy here that goes beyond the ordering process and must be coordinated with the purchaser. If this does not happen, there is a risk of subsequently higher costs due to conversions.

Operation of charging systems by energy service providers

Regional and supraregional TUs serve many communities with their respective distribution network operators and usually have several smaller bus depots. This increases the requirements in building the expertise for acquisition and operation of charging infrastructure. Hiring an energy service provider may be worth considering.

Energy service providers need clear framework conditions to enter the business field for provision and operation of charging infrastructure as well as energy supply. The actual business model is then very low-risk, since the energy sales for electric buses can be estimated very precisely and for years to come on the basis of the schedules and the buses procured.

Various contracting arrangements conceivable. TUs could commission energy service providers as subcontractors, so to speak, as part of their offer to the public transport customer. However, it is also conceivable that energy service providers would be commissioned directly by the public transport customer with the operation. The use of this infrastructure would then be part of the contract with the TU. Or the ordering canton specifies the energy service provider, and the TU in turn places orders there. However, this would de facto award regional monopolies at the level of the charging infrastructure, which would have to have long terms. The cantonal offices for public transport are not yet prepared for this role.

1. Einleitung

1.1 Die Dekarbonisierung der Busse im öffentlichen Verkehr bis 2050

Der Bundesrat hat in seiner langfristigen Klimastrategie das Netto-Null-Ziel bis 2050 festgelegt (Bundesrat 2021-01). Die Strategie stützt sich auf die Energieperspektiven 2050+ des Bundesamtes für Energie. Anhand 10 verschiedener Grundsätze wird das klimapolitische Handeln der Schweiz angeleitet, darunter auch strategische Zielsetzungen je Sektor. Gemäss diesen soll der Landverkehr im Jahr 2050 mit wenigen Ausnahmen keine Treibhausgasemissionen mehr verursachen. Im öffentlichen Busverkehr werden die Fehlanreize für Umstellung von Dieseln auf alternative Antriebe beseitigt, indem die teilweise Mineralölsteuerrückerstattung für konzessionierte Transportunternehmen stufenweise entfällt: Ab 2026 zunächst im Ortsverkehr, ab 2030 auch im Regionalen Personenverkehr, sofern topografische Gegebenheiten klimafreundlichen Alternativen nicht entgegenstehen. Dies ist zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichts Gegenstand der Gesetzgebung. Die Rückerstattung könnte sogar schon ab dem Inkrafttreten des revidierten CO₂-Gesetzes (1. Januar 2025) wegfallen. Damit wird die Elektrifizierung im Bereich ÖV-Busse schnell vorangehen (EBP 2022-05).

Der Strassenverkehr in der Schweiz ist verantwortlich für rund einen Viertel des Energieverbrauchs sowie einen Drittel der Treibhausgasemissionen. Alle Dieseln verursachen 322'000 t CO₂-Emissionen im Jahr 2020 (BAV 2023). Obwohl der öffentliche Verkehr bereits viel effizienter als der Individualverkehr ist, kann er im technologischen Bereich einen wesentlichen Beitrag zur Erreichung des Netto-Null-Ziels leisten und dabei eine Vorbildfunktion einnehmen. Der öffentliche Busverkehr spielt deshalb in der Energiewende eine zentrale Rolle und muss rasch handeln.

Die Schweiz verfolgt damit eine ähnliche Stossrichtung wie die EU: Ab 2035 sollen keine neuen Verbrennungsmotor-Busse – Internal Combustion Engine (ICE) – mehr zugelassen werden. Diese nationalen und internationalen Ziele, das Kundenverhalten und Bewusstsein sowie technische Fortschritte und die drohende Verteuerung bei fossilen Treibstoffen führen dazu, dass die Dekarbonisierung und Elektrifizierung im öffentlichen Busverkehr rasch voranschreiten. Viele Transportunternehmen haben sich eigene Ziele gesetzt (siehe Kapitel 2.2). Auch die kantonalen Ämter für öffentlichen Verkehr (AÖV) nehmen eine immer aktivere Rolle ein; beispielsweise hat das AÖV des Kantons St. Gallen bereits eine Elektrobustategie entwickelt.

Wir sprechen von Bussen mit alternativen Antrieben und meinen dabei Elektrobusse, d.h. Batteriebusse und Wasserstoffbusse. So schliessen wir alle Technologien mit ein: reine Batterie-Elektrobusse (BEV, Battery Electric Vehicles) und Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge (Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV).

Der Ersatz von Dieseln durch Elektrobusse mit Depotladung kennt trotz des technologischen Fortschritts seine Grenzen: In ländlichen Gebieten mit hohen Tagesfahrleistungen, grossen Gefässen und weiten Entfernungen

vom Busdepot ist ein Ersatz nur mit Opportunity Charging (OC) oder ggf. Wasserstoff (H₂) sinnvoll möglich. Alternativ müssten zusätzliche Fahrzeuge beschafft werden und die Depots möglicherweise ausgebaut oder neu gebaut werden. Durch die gemeinsame Nutzung der OC-Ladeinfrastruktur durch mehrere Transportunternehmen (TU) könnten die Kosten für OC gesenkt und Synergieeffekte genutzt werden. Das vorliegende Projekt klärt deshalb die Möglichkeiten, Herausforderungen und Zuständigkeiten der Akteure seitens Netz-/Ladeinfrastrukturbetreiber, TU und ÖV-Besteller für eine solche gemeinsame Nutzung.

Im Rahmen dieses Projekts wurde zentralen Fragestellungen nachgegangen, inwiefern die TU-übergreifende Nutzung von Ladeinfrastruktur für Elektrobusse gestaltet werden kann.

1.2 Institutionelle Verantwortlichkeiten für Ladeinfrastruktur

Im schienengebundenen ÖV ist die Bereitstellung der Infrastruktur inklusiv der Energiezufuhr via Bahnstromversorgung institutionell unabhängig von der Bereitstellung des Angebots geregelt.

Durch die Elektrifizierung der Antriebe werden auch ÖV-Busse viel stärker an ihrer Ladeinfrastruktur gebunden sein als heutige Dieselsebuse. Dies gilt für alle Ladekonzepte (Depotladung, Opportunity Charging, partielle Oberleitungen, und jede Kombination davon). Die Wahl des Antriebs, der Batterietyps und -grösse und der Ladeinfrastruktur legt das Einsatzgebiet und die mögliche Tagesreichweite fest. Elektrobusse werden deshalb von der Komplexität her, bzgl. Planung von Infrastruktur, deren Finanzierung und Betrieb sowie die Rückkopplungen auf das mögliche Fahrplanangebot, vergleichbar mit den liniengebundenen ÖV-Systemen Bahn, Tram und Trolleybus. Bei einem Betreiberwechsel ist auch die Betriebsmittelübergabe bei Elektrobussen komplexer als bei Dieselsebussen und nähert sich den Verhältnissen bei schienengebundenem Verkehr an.

Die Energieversorgung wird auch immer wichtiger im Bereich Mobilität. Die Umstellung auf alternative Antriebe im öffentlichen Verkehr stellt neue Herausforderungen für viele Akteure dar. Oft braucht man Investitionen nicht nur in der Ladestation selbst, sondern auch beim Netzanschluss. Es muss geklärt werden, wer dafür verantwortlich ist und wie die Kosten aufgeteilt werden sollen. Das erfordert eine Koordination zwischen den Transportunternehmen, den Bestellern und Energieversorgern. Jedoch sind diese Themen in diesem Bericht nicht betrachtet, weil sie zu weit weg vom Fokus weg sind. Speziell hervorzuheben ist, dass eine allgemeine, quantitative Abschätzung der Kosten nicht möglich, weil die Kosten sehr stark von den örtlichen Bedingungen (Stromverteilnetz, Nähe zu anderen elektrischen Grossverbrauchern) und von den sehr unterschiedlichen Netzanschlussstarifen der jeweiligen Verteilnetzbetreiberin abhängen.

2. Systembewertungen und Systementscheide

2.1 Einführung in Opportunity Charging (OC)

Opportunity Charging (deutsch: Gelegenheitslader, OC) sind Batteriebusse, die während des Betriebs an Ladestationen mit Pantographen (Top-Down oder Bottom-Up) laden. Die OC-Busse können, müssen aber nicht, während Ruhezeiten im Depot laden. Das Gelegenheitsladen ist ein technisch fortschrittliches Ladekonzept und wird mehrheitlich in zwei Varianten eingesetzt: Top-Down oder Bottom-Up, siehe Tabelle 1.

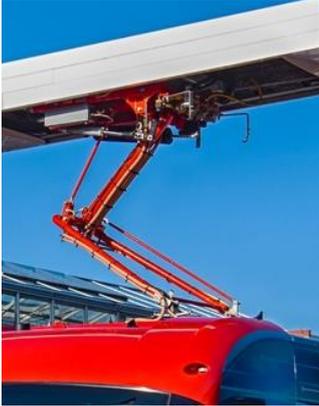
	Top-Down	Bottom-Up
Funktionsweise	Senk-Docking-Station: Stromabnehmer an der Ladestation	Hub-Docking-Station: Stromabnehmer auf dem Fahrzeugdach
Leistungsspanne	150–600 kW	150–600 kW
Beispiel		
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> — Verschiedene Leistungsspannen verfügbar — Fahrzeugseitiger Gewichtsvorteil — Kostenvorteil (geringere Stückzahl) — Geringe Aufbauhöhe auf Fahrzeug — Kompatibel mit verschiedenen Fahrzeugen 	<ul style="list-style-type: none"> — Verschiedene Leistungsspannen verfügbar — Vorteile bei bereits vorhandenem DC-Strom (z.B. Tram, Trolleybus) — Redundanz bei Pantographen (z.B. bei abgeknickten/abgefahrenen Pantographen) — Kompatibel mit verschiedenen Fahrzeugen
Kommunikation	WIFI/WLAN-Kommunikation	Drahtgebundene Powerline-Kommunikation (PLC) über CP Kontakt-Pin
Hersteller/ Anbieter	ABB, Ekoenergetyka-Polska, Furrer+Frey, Heliox, Jema Energy, Schunk Group (Pantographen), Siemens	ABB, Heliox, Schunk Group (Pantographen)
Kompatible Bushersteller	Alle europäischen und US-Bushersteller	Alle europäischen und US-Bushersteller

Tabelle 1: Übersicht über die gängigen Opportunity Charging Lösungen.

Es gibt auch weitere Technologien, die allerdings viel seltener sind, siehe Tabelle 2.

	Side Charging	Inductive Charging	Grid e-Motion™ Flash
Funktionsweise	Stromabnehmer an der Ladestation, Kontakt auf der Fahrzeugseite	Spule in der Fahrbahndecke und eine im Fahrzeugboden. Kontaktlos	Hub-Docking-Station: Stromabnehmer auf dem Fahrzeugdach. Plug-in oder Pantograph
Leistungsspanne	150-600 kW	50 bis 250 kW	50 bis 600 kW
Beispiel			
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> — Tiefere Höhe erforderlich — Ähnlich zu Top Down 	<ul style="list-style-type: none"> — Funktioniert unter allen Witterungsbedingungen. — Technisch aufwändig — Mehr Komfort — Unauffälliges Erscheinungsbild — Energietransfer weniger Effizient (90%) 	<ul style="list-style-type: none"> — Nur zwei Leistungsspannen verfügbar — Hauptanwendung für eBRT Linien mit hoher Frequenz und kurzen Auflade-Möglichkeiten
Hersteller/Anbieter		Wave, Schunk, IPT Technology	Hitachi

Tabelle 2: Übersicht weiterer, weniger gängigen Opportunity Charging-Lösungen

Da heutzutage in den meisten Fällen die in Tabelle 1 beschriebenen Technologien eingesetzt werden, werden in diesem Bericht nur diese Technologien weiter betrachtet. Für mehr Details zu den Technologien und deren Einsatz siehe ESÖV Bericht P-144 (RBS 2021).

2.2 Bereits bestehende Opportunity Charging-Systeme

Bislang sind keine eindeutigen herstellerübergreifenden Standards für Pantographen, Ladearme und Andockstellen bekannt. Ausserdem besteht kein Standard, in welchen Fällen welche Technologie (Depotlader oder Opportunity Charger) eingesetzt wird. Daher wird oft lokal, entsprechend den eigenen Anforderungen oder Rahmenbedingungen entschieden und bestellt.

Tabelle 3 zeigt einige Beispiele, wie Elektrobusse heutzutage eingesetzt werden. Trolleybusse, Wasserstoff- oder Gasbusse werden hier nicht berücksichtigt. Eine vollständige Beschreibung über den heutigen Stand in der Schweiz geht über den Rahmen dieses Berichts hinaus. Weitere Informationen stehen im Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 19.3000 zur Verfügung (Bundesrat 2021-03).

BE	Im Kanton Bern gibt es schon diverse TUs, welche Linien elektrifiziert haben (Bernmobil. VB). Das Laden erfolgt sowohl im Depot über Nacht wie auch mit Schnellladestationen an den Endhaltestellen (Top-down-Pantograph). Bis ca. 2035 will Bernmobil klimaneutral sein.
BL	BLT plant, fortan nur noch CO ₂ neutrale Antriebe zu beschaffen. 13 Elektrobusse sind schon im Einsatz. Es handelt sich dabei um Normalbusse mit Depotladung. Die AAGL verfügt ebenfalls bereits über zwei E-Busse und wird ab Ende 2023 nur noch E-Busse beschaffen.
BS	Die BVB plant, die gesamte Busflotte bis 2027 vollständig auf E-Busse umzustellen. Dafür werden 126 E-Busse in zwei Etappen (2022 und 2027) beschafft. Im Jahr 2022 bis 2023 kommen insgesamt 65 Busse in Betrieb: 19 Normalbusse, 38 Gelenkbusse und 8 Doppelgelenkbusse. Sie werden hauptsächlich im Depot, aber auch an 5 Gelegenheitsladestationen geladen.
GE	Die TPG hat sich das Ziel gesetzt, bis 2030 nur mit elektrischen Fahrzeugen ihre Linien zu betreiben. Heute verfügt sie über 12 Elektrobusse mit der Technologie Tosa (Opportunity Charging). Zusätzlich kommen bald 4 autonome elektrische Minibusse.
GR	Im Kanton Graubünden wurden schon verschiedene Pilotprojekte durchgeführt. Im Moment wird ein normaler Elektrobus in verschiedenen Gebieten als Testobjekt verwendet.
LU	Der Verkehrsbund Luzern hat in den letzten Jahren Pilotprojekte mit 3 Elektrobussen durchgeführt. Ziel ist, bis 2040 emissionsfrei im ÖV zu sein. Die Elektrifizierung erfolgt schrittweise. Bis Ende 2022 sollen 5 Linien mit Depotlader-Elektrobussen im Betrieb sein.
SG	Im Kanton St.Gallen sind zurzeit 2 Elektrobusse im Einsatz. Beide werden im Depot geladen. Strategisches Fernziel des Kantons St.Gallen ist es, bis etwa 2035 die ganze Flotte auf Elektrobusse oder Busse mit alternativen Antrieben umzustellen.
SO	Neben einem Pilotprojekt in Grenchen, sind heute 2 Elektrobusse mit Depotlader in Solothurn in Betrieb. Die ganze Flotte wird bis 2035 auf Elektrobusse umgestellt.
SH	Im November 2019 hat die Bevölkerung entschieden, dass die gesamte Stadtbusflotte (47 Busse) bis 2030 auf Elektrobusse umgestellt wird. Heute sind 15 Elektrobusse im Betrieb (7 Normalbusse und 8 Gelenkbusse). Das Laden erfolgt sowohl mit Depotlader wie auch mit Opportunity Charging (Bottom-up-Pantograph).
TI	In Locarno läuft zurzeit ein Pilotprojekt. Die ersten Elektrobusse werden 2024 in den Einsatz kommen und alle Dieselbusse müssen bis 2030 ersetzt werden.
ZH	VBZ will bis 2030 alle Dieselbusse ersetzen. Heute verkehren 4 Gelenk-Elektrobusse, 15 Normalbusse folgen im Herbst 2022 und Ende 2023 werden insgesamt 40 Elektrobusse in Betrieb sein. Heute werden alle Busse mit Depotlader geladen (Top-down-Pantograph).

Tabelle 3: Beispiele für den Einsatz von Elektrobussen in der Schweiz

Zwischen den einzelnen Regionen bestehen wesentliche Unterschiede bezüglich dem Zeithorizont, in welchem die Elektrifizierung umgesetzt werden soll, sowie auch bei inhaltlichen Aspekten der Umsetzungspläne. Diese Diskrepanz kann hinderlich sein für eine übergeordnete Planung und Umsetzung.

Europaweit ist diese Heterogenität noch grösser. Viele Städte werden in den nächsten Jahren ihre Busflotte auf elektrische Fahrzeuge umstellen. Die meisten von ihnen verwenden sowohl Depotlader wie auch Opportunity Charging. In Paris sind auch Stationen mit konduktivem Laden vom Boden geplant. In den USA sind einige Stationen mit induktivem Laden schon in Betrieb.

Unter den insgesamt 14'990 Neuzulassungen von City-Bussen im Jahr 2021 in Europa waren 3'282 elektrisch. 2020 waren es noch 2'210 elektrische Neuzulassungen. 2021 wurden auch 3'285 neue Hybride Busse und 3'088 Gasbusse zugelassen.

Tabelle 4 zeigt ausgewählte Beispiele vom Einsatz von Elektrobussen in Europa. Im Gegensatz zum Einsatz der Elektrobusse gibt es stand heute fast keine Informationen über die Ladeinfrastruktur in Europa.

Amsterdam	In der Stadt sind heute 44 Elektrobusse im Einsatz. Dazu kommen 31 neue Elektrobusse in den nächsten Monaten in Betrieb. Die Stadt hat sich verpflichtet, bis 2025 einen klimaneutralen ÖV zu haben. Jedoch ist besonders die Elektromobilität um den Flughafen Schiphol bemerkenswert. Der Flughafen dient als Hub für den regionalen ÖV. Dort sind heute 206 Elektrobusse im Einsatz. Das heisst, dass 85% der Flotte emissionsfrei sind. In Holland darf man ab 2025 nur noch emissionsfreie Busse kaufen.
Barcelona	In Barcelona sind heute 30 Elektrobusse im Einsatz, aber bis Ende 2023 soll diese Zahl auf 200 steigen. Ausserdem plant die Stadt, bis 2025 508 Busse mit alternativen Antrieben zu besitzen (223 Elektrobusse, 46 Wasserstoffbusse und 240 Gasbusse).
Berlin	Die Berliner Verkehrsbetriebe wollen bis 2030 klimaneutral sein. Heute verfügen sie über 137 Elektrobusse und 90 zusätzliche werden bis Ende 2022 geliefert. Die Busse werden mit Depotlader und OC geladen.
London	Die Transportbetriebe der Stadt London kaufen seit 2021 nur emissionsfreie Busse. Im Moment verfügen sie über 950 Elektrobusse. Die vollständige Elektrifizierung wird 2034 erreicht.
Paris	In Paris waren im Januar 2022 500 Elektrobusse in Betrieb sein. Die Busse mit alternativen Antrieben entsprechen 45% der Flotte. Im April 2022 sind 2 Elektrobusse des Herstellers Bolloré ausgebrannt. Die Pariser Verkehrsbetriebe haben anschliessend alle ihre 49 Busse vom selben Hersteller ausgemustert. Die Ursache liegt wahrscheinlich an LMP eingebauten Batterien. Sie sind sehr neu und wurden vorher nur in Minibussen getestet.

Tabelle 4: Beispiele für den Einsatz von Elektrobussen in Europa

Aufgrund der bestehenden Heterogenität bei den eingesetzten Technologien gibt es Bestrebungen, diese verwendeten Technologien zu vereinheitlichen. Ein Beispiel dafür ist die OppCharge-Initiative (<https://www.oppcharge.org/>), welche sich für einen standardisierten Einsatz von Top-Down Pantographen einsetzt – sowohl für OC als auch für Depotladern. Die Schweiz könnte von dieser Initiative profitieren, indem sie die vorgeschlagenen technische Spezifikationen als neuer Standard für Panto-Down-Ladestationen übernimmt und umsetzt. Falls sich die Initiative international durchsetzt, könnten diese

Spezifikationen sowieso zum Schweizer Standard werden, weil die Hersteller von Bussen und Ladestationen sich an den Empfehlungen der OppCharge-Initiative orientieren. Eine internationale Standardisierung würde für die schweizerischen Akteure die in diesem Bericht erwähnten Vorteile verstärken. Ausserdem würde ein standardisierter Markt den Vorteil haben, dass die Auswahl der Fahrzeuge nicht mehr so stark von der Infrastruktur abhängig ist. Wenn alle Modelle auf dem Markt dieselbe Ladeinfrastruktur Standards verwenden, ist eine TU nicht an einen Hersteller gebunden, sondern kann Fahrzeuge bei verschiedenen Herstellern beschaffen.

2.3 Potenziale und Hemmnisse von OC gegenüber Depotladern

Die Vorteile von OC sind heute gegenüber Depotladern bei der Reichweite offensichtlich. Ein Standardbus mit heutiger Technologie hat mit Depotladung über Nacht eine Tagesreichweite von ungefähr 200 bis maximal (grösste Akkukapazität, je nach Batteriechemie und Hersteller) 250 km. Diese Reichweiten sind Durchschnittswerte und variiert im Einzelfall stark, insbesondere abhängig von der Zuladung, dem Einsatzprofil (Haltestelldichte, Verkehrssituation, Topographie) sowie dem Heizsystem und -bedarf. Aufgrund dieser limitierten Reichweiten ist ein Bus mit Depotladung nicht für längere Umläufe geeignet. Ein OC-Bus kann hingegen mit schnellen Nachladungen seine Reichweite beliebig vergrössern, solange die Ladezeit genügend lang ist. Dies eliminiert mögliche Einschränkungen bei der Reichweite weitgehend und kann einen Ausfall bei der Ladeinfrastruktur im Depot überbrücken, führt jedoch zu stärkeren Einschränkungen bezüglich den Haltezeiten.

Ein OC-Bus kann, muss aber nicht zwingend, im Depot nachladen. Ein Betrieb ohne Aufladen im Depot ist mit OC möglich.

Dank ihrer grösseren Reichweite sind bei einer Elektrifizierung mit OC weniger Fahrzeuge erforderlich als mit Depotlader. Werden auf bestehenden Linien Dieselsebuse durch Depotlader ersetzt, so müssen allenfalls zusätzliche Fahrzeuge eingesetzt werden. Dies weil einige Fahrzeuge nicht den ganzen Umlauf decken können und es dadurch z. B. einen Ersatzbus bei einer Zwischenladung tagsüber braucht.

Der Ausbau der Ladeinfrastruktur für OC-Busse ist aufwändig und teuer. Neben dem Ausbau der Ladeinfrastruktur im Depot müssen die Gelegenheitsladestationen erstellt werden. Diese Dezentralisierung der Ladeinfrastruktur macht den Ausbau komplexer und teurer. Ausserdem müssen die Ladestationen entlang der Strecke eine hohe Leistung haben. Jedoch werden diese höheren Kosten teilweise durch die geringeren Anschaffungskosten der Fahrzeuge wegen kleinerer Batteriegrössen sowie die geringere Anschlussleistung im Depot kompensiert.

Der Netzanschluss der Ladestationen stellt ebenfalls eine Schwierigkeit dar. Standorte, die aus Sicht TU optimal sind, sind nicht unbedingt optimal aus Sicht des Verteilnetzes. Darum sind Ladestationen an den Bahnhöfen, die häufig Knoten- oder Endpunkte der Buslinien sind, besonders sinnvoll, denn dort ist oftmals der Zugang zu viel Strom vorhanden und längere Wartezeiten geplant.

Ausserdem sind gestalterische bzw. stadträumliche Aspekte beim Ausbau von Gelegenheitsladestationen zu berücksichtigen.

Neben den Kosten haben diese Bedingungen auch Konsequenzen auf die Realisierungszeiten. Für eine Netzverstärkung inkl. Anpassung der dazugehörigen Trafostationen braucht es mindestens 12 Monate. Einsprachen im Zuge der Baubewilligung stellen ebenfalls ein Verzögerungsrisiko dar.

Je höher die Taktichte, desto besser ist tendenziell die Wirtschaftlichkeit eines OC-Systems, solange genug lange Wartezeiten für OC möglich sind.

Eine Kombination der Technologien ist auch möglich. Das stellt aber eine zusätzliche Herausforderung für die TU dar, weil Busse in der Regel nicht linienrein eingesetzt werden. Bei kleineren Busflotten führt der parallele Betrieb einer OC-Teilflotte und einer Depotlader-Teilflotte zu betrieblichen Einschränkungen und tendenziell zu einer höheren Anzahl benötigter Reservefahrzeuge. Ist eine Busflotte gross genug, nehmen die Nachteile von Teilflotten mit unterschiedlichen Lade-Strategien ab, und kommen die Vorteile zum Tragen: Unter anderem kommen OC-Busse mit einer geringeren Ladeleistung der Ladeinfrastruktur im Depot aus. Eine genaue Grenze, ab wann eine Busflotte «gross genug» für den parallelen Betrieb von Depotladern und OC-Bussen ist, gibt es nicht. Weitere Einflussfaktoren sind die Kosten für die benötigte Ladeinfrastruktur im Depot und bei ausgewählten Haltestellen inkl. der Kosten des Netzanschlusses sowie die Aufteilung auf Gefässgrössen (Midi-, Standard- und Gelenkbusse). In der Praxis zeigt sich, dass viele Busflotten aus betrieblicher Sicht bereits heute aus mehreren Teilflotten bestehen, und dass grössere TU sogar fähig sind, für einzelne Linien spezielle Gefässgrössen (Doppelgelenkbusse, Doppeldecker, 14-Meter-Busse, Busse mit Anhänger) einzusetzen.

Batterien sind ein entscheidender Faktor. Die Akkumulatoren werden bei OC stärker beansprucht; grössere Tagesfahrleistungen bei gleicher Batteriekapazität gehen mit einer höheren Anzahl Ladezyklen einher. Innerhalb der Familie der Lithium-Ionen-Akkumulatoren gibt es verschiedene Batteriechemien. Für OC-Lader gibt es Batteriechemien, welche auf häufigeres Laden mit höheren Leistungen ausgelegt sind. Für Depotlader, und für «Kombilader», bei denen der grössere Teil der täglich benötigten Energie über Nacht geladen wird, werden Batteriechemien mit leicht höherer Energiedichte eingesetzt, welche hauptsächlich mit geringerer Leistung geladen werden sollten.

Ausserordentlicher Betrieb. Elektrobusse mit OC sind für ausserordentliche Betriebe (zum Beispiel für Ersatzverkehr oder grosse Anlässe) nicht geeignet, weil sie sehr infrastrukturabhängig sind. Wenn aber die Ladeinfrastruktur überall standardisiert ist, könnten sie auch spontan eingesetzt werden.

Der Fahrplan muss das Ladekonzept berücksichtigen. Logischerweise können nur Strecken befahren werden, wo die notwendige Ladeinfrastruktur vorhanden ist. Ladezeiten müssen berücksichtigt werden und Verspätungen können Einfluss auf den Ladezustand haben.

In der Regel ist die Ladeinfrastruktur optimal auf den heutigen Fahrplan abgestimmt. Jedoch kann sie nicht mehr optimal oder sogar unpassend sein,

wenn der Fahrplan geändert wird. Änderungen ergeben sich zum Beispiel durch eine Angebotserweiterung oder -anpassung. Wenn die Taktichte steigt, kann es sein, dass OC mit nur einer Ladestation nicht mehr möglich ist, weil das Laden länger als die Zeit zwischen zwei Kursen dauert. Ein anderes Beispiel ist, wenn eine Linie verlängert wird und die Ladestation sich nicht mehr an der Endhaltestelle befindet. In diesen Fällen ist es möglich, dass es mehr Ladestationen braucht, aber auch dass einige Stationen redundant oder verlegt werden.

Somit ist eine sehr vorausschauende Planung des Angebots nötig, weil der Aus- oder Umbau der Ladeinfrastruktur aufwendig ist. Es empfiehlt sich, zuerst diejenigen Linien mit OC zu elektrifizieren, bei welchen eine hohe Planungssicherheit hinsichtlich des Angebots besteht.

Opportunity Charging Bus nur als Übergangslösung? Wie oben erwähnt, ist die Reichweite eine der grössten Vorteile von OC. Da die Batterien in den nächsten Jahren immer leistungsfähiger werden, stellt sich die Frage, inwieweit OC nur eine Übergangslösung ist.

Die Reichweite ist aber nicht der einzige Vorteil bei OC. Mit der Zunahme der Batteriekapazitäten, werden immer mehr Linien mit reinen Depotladern betrieben. Das führt zu einem höheren Strom- und Leistungsbedarf im Depot, und das am meisten in der Nacht.

Um dieses Problem zu mildern, spielt die OC Technologie eine wesentliche Rolle. Sie kann auch künftig zur Abfederung von Lastspitzen in der Nacht sinnvoll sein. Eine bessere Leistungsverteilung ist mit OC auch tagsüber gegeben, weil die Ladestationen dezentralisiert sind. Darum wird das Netz weniger destabilisiert.

Ein weiteres Argument ist die Nutzung von erneuerbaren Energien. Der Strom aus Photovoltaik fällt tagsüber an und kann von Fahrzeugen mit OC direkt genutzt werden.

Schliesslich stellen OC-Busse weniger hohe Ansprüche an die Anschlussleistung und die Ladeinfrastruktur im Depot, was beim Ausbau oder der Erneuerung von Busdepots die Kosten reduzieren kann.

Fazit: Der OC-Bus bringt aus Netzsicht nicht nur heute, sondern auch in Zukunft Vorteile, unterstützt die Nutzung erneuerbarer Energien und macht die Ladeinfrastruktur resilienter. Wichtig ist, die Infrastrukturkosten gering zu halten. Dafür eignet sich – bei guter Absprache oder Interoperabilität – das Laden an geteilter Infrastruktur.

2.4 Shared OC hat zusätzliche Vorteile, aber auch neue Hemmnisse

Shared Opportunity Charging senkt die Kosten aus der Gesamtsicht. Durch die gemeinsame Nutzung der OC-Ladeinfrastruktur durch mehrere TU könnten die Kosten für OC gesenkt und Synergieeffekte genutzt werden: In vielen Gebieten, in denen OC-Busse eine prüfenswerte Alternative darstellen, finden sich Haltestellen, die durch mehrere TU angefahren werden. Hier könnten OC-Lademasten gemeinsam genutzt werden. Aber auch wenn die TU an getrennten Haltekanten mit eigenen Lademasten laden, können

Infrastrukturkosten für Netzanschlüsse, Trafo, Pufferbatterie, Lademanagement, und Betriebskosten (zum Beispiel Pikett) geteilt werden.

Sharing reduziert die gesamten Infrastrukturkosten: sowohl bei der Erstellung wie auch beim Betrieb. Es braucht zudem insgesamt weniger Infrastruktur und weniger gestalterische bzw. stadträumliche Abklärungen.

Shared OC eignet sich besonders gut, wenn die Ladeinfrastruktur an Knotenpunkten des Liniennetzes liegt. Ausserdem ist es denkbar, die Infrastruktur mit anderen Akteuren zu teilen: Auch die Kommunalfahrzeuge haben oft einen vorgegebenen Zeitplan, aber auch private LKW, die täglich die gleiche Tour befahren. In diesen Fällen können Synergien genutzt werden und das Ladekonzept wird noch effizienter.

Hürden bei Shared Opportunity Charging sind vor allem prozessualer Natur und brauchen eine Standardisierung.

Erstens eignen sich nicht alle Haltestellen für einen geteilten Opportunity Charging. Endhaltestellen haben wenig Sharing-Potenzial, weil oft nur ein TU sie benötigt. Städtebauliche oder denkmalpflegerische Gründe, sowie betriebliche Randbedingungen, könnten Haltestellen an Knotenpunkten als mögliche Ladestandorte ausschliessen.

Zweitens benötigt das Teilen der Ladeinfrastruktur Lösungen bezüglich der Verrechnung, des Fahrplans (Standzeiten und Ladedauer insbesondere im Verspätungsfall) und der Authentifizierung.

Die Verrechnungspreise müssen fair gestaltet sein und nach klaren Vorgaben erfolgen. Namentlich die korrekte Aufteilung der Abschreibung der hohen Investitionskosten unter den Beteiligten muss geregelt sein. Wenn sich die Ladeinfrastruktur in mehreren Stromverteilnetzen befindet oder durch mehrere Energiedienstleister betrieben wird, könnte es sinnvoll sein, dass ein Energieversorger den Lead übernimmt.

Gleichzeitig braucht man abgestimmte Fahrpläne. Opportunity Charging können die Fahrplangestaltung erschweren. Wenn die Infrastruktur auch mit anderen TU geteilt wird, führt das zu weiteren Einschränkungen. Die Kantenzuweisung und die Zeitfenster für das Laden müssen klar definiert werden. Ausserdem muss man abklären, wie das Laden im Verspätungsfall geregelt ist.

Für die Konzipierung und den Betrieb von Ladeinfrastruktur muss Know-How aufgebaut werden bei den Energiedienstleistern, den Verteilnetzbetreiber, den Bestellern von ÖV-Leistungen sowie bei den Transportunternehmen. Gemeinsame Regeln und Standards erlauben es dabei insbesondere auch kleineren und mittleren TU, OC-Ladekonzepte einzusetzen. Sie erhöhen auch die Investitionssicherheit für Energiedienstleister und vereinfachen das Sicherstellen der Interoperabilität von Ladeinfrastruktur im Gebiet des jeweiligen Bestellers.

Fazit: Bei Shared OC ist eine Koordination auf allen Ebenen notwendig. Auch eine Kooperation unter Konkurrenten kann nötig sein. Bei dieser Ladeinfrastruktur sind gemeinsame Standards umso wichtiger.

2.5 Aus der Gesamtsicht ist die Interoperabilität bei beiden Technologien (Depotlader und OC) erforderlich

Vorteile sind schnell klar. Für die Interoperabilität braucht es gemeinsame Richtlinien sowie geltende Standards je ÖV-Region. Die Interoperabilität ist ein Grundstein in der Verkehrspolitik der Schweiz. Ausserdem ist sie besonders wichtig, wenn die Busse für Ersatzverkehr oder Grossanlässe eingesetzt werden. Mit der Elektrifizierung wird sie jedoch stark abhängig von der konkreten Auslegung der Ladeinfrastruktur.

Technologische Synergien ergeben sich rasch und deutlich. Zum Beispiel können grössere Bestellungen dank dem Einsatz der gleichen Technologie die Kosten reduzieren. Auch das Teilen von Werkstatt-Erfahrungen und die Vorratshaltung der gleichen Ersatzteile reduziert die Betriebskosten. Es gibt also mehr betriebliche Flexibilität.

Die Flexibilität spielt auch bei der Ausschreibung von Busleistungen eine grosse Rolle. Wenn alle TU das gleiche Ladesystem verwenden, ist die Betriebsmittelübergabe vom bisherigen zum neuen TU einfacher bzw. betriebswirtschaftlich überhaupt erst realistisch.

Gemeinsame Standards erlauben auch den Fahrzeug-Austausch bei ausserordentlichen Lagen und den Occasionshandel. Somit sind Kosten für Reservefahrzeuge geringer, ebenso die Beschaffungskosten.

Die Zusammenarbeit zwischen TU wird besser und intensiver, wenn die Ausbildung und der Unterhalt ähnlich sind. Das fördert den Austausch und das gegenseitige Lernen. Durch die Spezialisierung kann man die Effizienz im Unterhalt verbessern. Das Gleiche gilt beim Störungsmanagement.

Ein wichtiger Punkt ist, dass die Weiterentwicklung von Richtlinien und Standards eine Rückwärtskompatibilität berücksichtigen soll. Anders gesagt, müssen die bestehenden Systeme weiterhin nutzbar sein.

Sorgfältige Planung hilft Hürden abzubauen. Wird zu viel vorgeschrieben, kann es zu einem technologischen Lock-In führen, der Innovation hemmt. Es gilt also, die Harmonisierung nicht allzu starr zu machen. Interoperabilität und die dazu erforderliche Harmonisierung und Standardisierung sollten die nötige Weiterentwicklung ermöglichen, neue Technologien einbinden können, und dabei die Abwärtskompatibilität und Interoperabilität sicherstellen.

Es ist anzunehmen, dass grössere TU den Lead beim Ausbau der Ladeinfrastruktur und auch bei der Definition der Standards haben. Wichtig ist zu bedenken, dass es in der Schweiz viele kleine TU gibt. Fairness und gleiche Behandlung (bzw. Sicherstellen von Anwendbarkeit oder Ausnahmeregelungen) sind dabei fundamental. Grundsätzlich soll, ähnlich wie bei der Bahn, ein diskriminierungsfreier Zugang für Bustypen und Hersteller sichergestellt werden.

2.6 Entscheidung über die Ladeinfrastruktur

Es gibt verschiedene Richtwerte, die bei einer Entscheidung für die Technologie eines Batteriebusses in Betracht gezogen werden müssen. Diese Richtwerte schliessen zum Beispiel die Länge und das Höhenprofil der Strecke,

die Fahrgastkapazität, das Antriebssystem, die Heizung, das Geschwindigkeitsprofil und die Taktdichte mit ein. Die Entscheidung über die Ladeinfrastruktur ist darum stark mit dem Betriebskonzept und dem Fahrzeugtyp verbunden. Ausserdem ist sie sehr linien- oder netzspezifisch.

Der Strompreis hat ebenfalls einen wichtigen Einfluss auf diese Entscheidung. Wie bei Erdöl und Gas sind die Preise schwankend. Die Energiepreise in unserem künftigen Energiesystem können heute nur abgeschätzt werden. Dank Bandlastkraftwerken, u.a. Kernkraftwerken, ist heute nachts viel Strom vorhanden. In Zukunft könnten die Energiepreise vor allem tagsüber niedriger sein, und es wird profitieren, wer ein Lastmanagement betreibt und eine gewisse Flexibilität hat, wann geladen werden kann.

Depotlader und Opportunity Charging sind die zwei am häufigsten benutzten Lösungen für Elektrobusse, deswegen ist oft eine Entscheidung zwischen diesen beiden Optionen zu treffen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über ihre Vor- und Nachteile.

	Depotlader	Opportunity Charging
Geeignet bei	<ul style="list-style-type: none"> — Fahrzeugumläufe bis 250 km (bald auch bis 300 km) — Geringe Betriebsstabilität — Zu kurze Endaufenthaltszeiten oder zu lange Strecke ohne Halt — Tiefe Taktfrequenz (ungünstiges Kosten-Nutzen-Verhältnisse von OC Infrastruktur) — Depot nah an der Linie oder Einsatzort — Die Gestaltung spricht gegen eine Ladeinfrastruktur auf dem öffentlichen Grund — Tagsüber lange Taktlücken oder variabler Takt (HVZ-Verdichtung) vorhanden, welche für Nachladen im Depot ermöglichen — Planungsunsicherheit (z. B. Verschiebung Linienendpunkt, Testbetrieb) 	<ul style="list-style-type: none"> — Fahrzeugumläufe über 250 km — Hohe Betriebsstabilität (bei einer Verspätung kann man während Pufferzeit nicht nachladen) — Genügend Wartezeit bei den Wendepunkten — Hohe Taktdichte auf der Linie (gleichzeitiger Einsatz von mehreren Fahrzeugen oder Haltepunkt von mehreren Linien) — Ungünstige bauliche Voraussetzungen in den Depots (enge Verhältnisse, schwieriger Netzanschluss, weit von Linie oder Einsatzort entfernt) — Tagsüber mehr geladen werden kann als entladen wird (genügende Ladenopportunitäten vorhanden) — Grosse Gefässgrössen (Gelenkbus oder Doppel-Gelenkbus)
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> — Einfachere Inbetriebnahme wegen tieferen Infrastrukturkosten — Zentralisierte Ladeinfrastruktur — Hohe betriebliche Flexibilität wegen schwacher Linien- und Fahrplanbindung — Tiefere Leistungskosten, Lastmanagement möglich 	<ul style="list-style-type: none"> — Tiefere Batteriekapazitäten führen zu weniger Gewicht im Fahrzeug und weniger Kosten bei der Beschaffung und Stromverbrauch — Mit tagsüber Laden kann man Lastspitzen in der Nacht vermeiden — Laden in der Nacht wird teurer wegen dem Anstieg von Nachtstrompreis sein
Mögliche Konsequenzen	<ul style="list-style-type: none"> — Zusätzliche Fahrzeuge nötig, um Zwischenladung tagsüber zu decken — Ausbau oder Neubau von den Garagen wegen dem Bedarf von mehr Höhe oder breiter Seitenabstand im Depot — Erhöhung Anzahl Fahrten Einsatzort – Garage — Um flexibel im Buseinsatz zu sein, werden allenfalls Busse mit überdimensionierten Batterien beschafft 	<ul style="list-style-type: none"> — Systemreserven (z. B. Dieselbus oder Depotlader) nötig im Fall von einem Ausfall der Ladestation. — Ladezeit zu berücksichtigen bei der Fahrplanerstellung und tendenziell Verschlechterung von Fahrplaneffizienz

Tabelle 5: Vor- und Nachteile von Depotlader und Opportunity Charging.

Andere Optionen im Detail vorzustellen, geht über Rahmen und Zweck dieses Dokuments hinaus. Zum Beispiel könnte man bei einer hohen Taktfrequenz Trolleybusse einsetzen. In diesem Sinn kann man Opportunity Charging als eine Lösung sehen, die zwischen Depotlader und Trolleybus liegt.

In besonderen Fällen wäre es auch denkbar, weiterhin Hybridbusse oder sogar Dieselmotoren einzusetzen bzw. Wasserstoffbusse in Betracht zu ziehen. Dies nur unter folgenden Voraussetzungen:

- Wenn der Bus für Ersatzverkehr eingesetzt wird oder als Reserve für Elektrobusse mit OC oder wenn die Ladestation ausfällt (Baustelle, Defekt)
- Für den Bevölkerungsschutz (Evakuierungs- und Notfallkonzepte)
- Wenn die Elektrifizierung grundsätzlich schwierig ist (Heavy Duty), wie zum Beispiel für die Postauto-Linie Chur – Bellinzona

In den nächsten Jahren werden noch gemischte Flotten aus Elektrobussen und Dieselmotoren im Einsatz sein. Bereits ab ca. 2030 ist jedoch damit zu rechnen, dass erste Busflotten nicht mehr genügend Dieselmotoren zur Verfügung haben für Nichtfahrplanfälle wie Bahnersatz, Umfahrungen bei grossen Baustellen oder Anlässen, oder im Ereignisfall für die Evakuierung der Bevölkerung.

2.7 Kostenvergleich der Ladeinfrastrukturen

Die Investitionskosten hängen stark von der konkreten Situation ab. Das gilt für die Beschaffungskosten der Fahrzeuge und besonders ausgeprägt für die Ladeinfrastruktur. Die nachstehenden Werte sind rein indikativ.

Ein Standard (12 Meter) Elektrobus hat einen Beschaffungspreis in der Größenordnung von 700'000 CHF, während ein Gelenkbus (18 Meter) etwa 900'000 CHF kostet. Der Preis ist unter anderem vom Heizungssystem und der Batteriegrösse abhängig.

Voraussetzung für die Ladeinfrastruktur ist natürlich der Netzanschluss. Die entsprechenden Kosten (Tiefbauarbeiten, Trafostation, einmalige Anschlussgebühren) hängen vom Einzelfall ab, es lassen sich keine Richtwerte angeben. Die Kosten für die «oberirdische» Ladeinfrastruktur sind nicht linear mit der Ladeleistung skalierbar. Dies hat mehrere Gründe (Kühlungssystem, deutlich höhere Netzanschlusskosten). Ein Depotlader lädt typischerweise mit Stecker und einer Ladeleistung zwischen 50 kW und 150 kW. Die Investitionskosten für eine Busgarage, bei der die Leistung von Ladestationen zwischen 50 und 150 kW liegt, betragen etwa 150'000–200'000 CHF pro Ladepunkt.

Eine Schnellladestation mit Pantograph (Kabelverbindung, Power Units, Pantograph, Stromzuführung, Trafostation, Netzanschlussgebühr) kostet etwa 500'000–600'000 CHF. Hinzu kommen noch die Kosten für Tiefbauarbeiten und andere bauliche Massnahmen.

Komponente	Interoperabilität OC	Interoperabilität Depotlader
Ladeinfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> — Beteiligung an Finanzierung der Infrastruktur durch alle nutzende TU: Je nach Sharing Tiefe, Basisinfrastruktur, Netzanschluss, Trafo, Pufferbatterie, Pantograph 	<ul style="list-style-type: none"> — Beteiligung an Finanzierung der Infrastruktur durch alle nutzende TU: Gebäude, Basisinfrastruktur und eventuell auch Ladestation
Fahrzeuge	<ul style="list-style-type: none"> — Bessere Ausnutzung der Ladeinfrastruktur 	<ul style="list-style-type: none"> — Optimierung Lademanagement wegen mehr Freiheitsgraden — Optimierung Lastmanagement
Energiekosten		<ul style="list-style-type: none"> — Eine Optimierung von Lademanagement reduziert Ladeverluste und darum sinkt der Energieverbrauch
Leistungskosten	<ul style="list-style-type: none"> — Aufteilung Kosten für die Leistungsspitzen — Bessere Ausnutzung Erneuerbare Leistungsspitzen 	<ul style="list-style-type: none"> — Aufteilung Kosten für die Leistungsspitzen — Reduktion Leistungskosten durch Glättung Leistungsspitzen mit Lastmanagement
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> — Aufteilung Wartungskosten — Aufteilung Betriebskosten 	<ul style="list-style-type: none"> — Auft. Kosten Werkstatt / Reinigungsanlage — Aufteilung Wartungskosten — Aufteilung Betriebskosten Ladeinfrastruktur — Aufteilung Betriebskosten Gebäude — Shared Pikett
Ausschreibung und Markt	<ul style="list-style-type: none"> — Ladeinfrastrukturübergabe am Ende der Konzession einfacher 	<ul style="list-style-type: none"> — Ladeinfrastrukturübergabe am Ende der Konzession einfacher

Tabelle 6: Vorteile von Interoperabilität bei OC und Depotladung auf Ebene Ladestandort.

Komponente	Interoperabilität OC	Interoperabilität Depotlader
Ladeinfrastruktur	<ul style="list-style-type: none"> — Wenige Ladestandorte nötig: Ausbau durch ausgewählte TU an wichtigen Knotenpunkten — Weniger Kosten Netzausbau und Trafostationen 	<ul style="list-style-type: none"> — Manche Depots haben ungünstige Verhältnisse für grossen Ausbau der Ladeinfrastruktur oder Netzanschluss. Sharing von Depotlader erlaubt, die bestgeeignete Standorte zu nutzen. — Reduktion Kosten Netzausbau, Trafostationen
Fahrzeuge ¹	<ul style="list-style-type: none"> — Weniger Reservefahrzeuge mit grösseren Batterien nötig dank Ausleihen 	<ul style="list-style-type: none"> — Weniger Reservefahrzeuge nötig dank Ausleihen
Energiekosten	<ul style="list-style-type: none"> — Dichtere interoperable Ladeinfrastruktur erlaubt häufigeres Nachladen; fallweise sinken Batteriegrösse und Verbrauch 	
Leistungskosten		<ul style="list-style-type: none"> — Leistungsspitzen räumlich konzentriert
Betrieb	<ul style="list-style-type: none"> — Einheitliche Ausbildung Personal — Personalaustausch einfacher — Shared Pikett 	<ul style="list-style-type: none"> — Einheitliche Ausbildung Personal — Personalaustausch einfacher
Ausschreibung und Markt	<ul style="list-style-type: none"> — Erfahrungsaustausch — Gemeinsame Ausschreibung Fahrzeuge und Ladeinfrastruktur, Kosteneinsparungen — Schwächer lock-in Effekt, einfachere Übergabe an einer anderen TU am Ende der Konzession 	

Tabelle 7: Vorteile von Interoperabilität bei OC und Depotladung auf Ebene Linienbündel.

Komponente	Interoperabilität OC	Interoperabilität Depotlader
Ladeinfrastruktur	— Aufteilung Kosten führt zu günstiger Elektrifizierung und schneller Ausbau Ladeinfrastruktur	
Fahrzeuge	— Occasionshandel begünstigen — Interregionaler Austausch möglich — Interregionaler Einsatz bei ausserordentlichen Ereignissen	
Energiekosten	— Mehr Energieverbrauch tagsüber, Ausnutzung erneuerbare Energien	
Leistungskosten	—	—
Betrieb	— Ausbildung Spezialisten, Know-How Verbreitung — Erfahrungsaustausch	
Ausschreibung und Markt	— Mehr Konkurrenz im Markt — Erleichterter Einstieg für Energiedienstleister in den Markt von Erstellung und Betrieb Ladeinfrastruktur	

Tabelle 8: Vorteile von Interoperabilität bei OC und Depotladung auf Ebene Transportsystem Schweiz.

3. Grundsätzliche Erkenntnisse

3.1 Schweizweit bestehen heterogene Strategien zum Einsatz von Elektrobussen

In Kapitel 2.1 haben wir verschiedene Technologien für Opportunity Charging, die heute im Einsatz sind, vorgestellt. Für jede von ihnen gibt es mehrere Hersteller und unterschiedliche Spezifikationen. Wie in Kapitel 2.2 gezeigt, besteht heute in der Schweiz (und noch verstärkt europa- oder weltweit) eine grosse Heterogenität bezüglich der Strategien und Umsetzungsplänen zum Einsatz von Elektrobussen. Viele TU haben bereits angefangen, ihre Flotte zu elektrifizieren und in den nächsten Jahren werden wir eine rasante Beschleunigung dieser Entwicklung beobachten. Es ist darum wichtig, den heutigen noch verfügbaren Spielraum optimal zu nutzen.

Bus-Elektrifizierung funktioniert in Städten leichter als ausserhalb der Städte. In den Städten profitiert die Elektrifizierung oft auch von der geographischen Nähe von Busbetreiber und Energieversorger. Ausserhalb der Städte ist das deutlich schwieriger, siehe Abbildung 1.

Städtische TU, typischerweise:

- 1 Kernstadt,
1 städtischer Stromversorger,
1 Klima- und Energiepolitik
- Grossteil der Busflotte nur auf Stadtgebiet im Einsatz
- Nachfragestarke Linien bereits elektrifiziert (Tram oder Trolley-Bus)

Regionale TU, Beispiel VZO:

- 23 Gemeinden (4x «Energiesstadt Gold», 5x «Energiesstadt»)
- 9 Städte >10'000 EW (Stand 2020)
- 14 kommunale Stromversorger + 1 kantonal (EKZ)
- 4 Bus-Depots
- 2 Kantone (ZH und SG)
- Fahrplan auf S-Bahnen ausgerichtet



Abbildung 1: Vergleich zwischen städtischen und regionalen TU

3.2 Elektrifizierung erfolgt auf Ebene Busumläufe und Linienbündel

Die Elektrifizierung muss auf Ebene von Busumläufen und Linienbündeln (oder gar Busflotten) betrachtet und geplant werden, nicht auf Ebene einzelner Buslinien. Für bestehende Fahrpläne erfolgt der Fahrzeugeinsatz durch die TU bereits heute auf Basis von Busflotten, die wiederum auf Busumläufe aufgeteilt werden. Busumläufe sind in der Regel linienübergreifend geplant (optimaler Einsatz des Fahrzeuges steht im Vordergrund).

Somit muss auch die Planung und Umsetzung der Elektrifizierung der Busse auf Ebene der Umläufe erfolgen und niemals linienscharf. Sonst besteht die Gefahr, dass eine bestimmte Ladetechnologie nur aus Sicht einer einzelnen Buslinie gewählt wird. Ladetechnologien sollten aber für die ganze Busflotte oder wenigstens einen grossen Teil davon einheitlich sein, um Skaleneffekte bei Betrieb, Auslastung, Flexibilität und Reservekapazitäten (bei Ladeinfrastruktur und bei den Fahrzeugen) zu erzielen und Kosten zu reduzieren.

3.3 Shared OC hat Potenzial für schnellere und günstigere Bus-Elektrifizierung

Eine grosse Hürde und Herausforderung im Prozess der Elektrifizierung des Verkehrs liegt beim Ausbau von Ladeinfrastruktur. Dies gilt auch bei der Elektrifizierung von Bussen im öffentlichen Verkehr.

Insbesondere im Bereich des Opportunity Charging kann der Ausbau der Ladeinfrastruktur aufwändig und auch teuer sein. Nicht überall ist die Basisinfrastruktur (Netzanschluss) bereits in ausreichender Dichte vorhanden, unter Umständen braucht es pro Linie mehrere Ladepunkte (z.B. Endhaltestellen und Knotenpunkte).

Wird diese Infrastruktur geteilt, so kann die Elektrifizierung schneller erfolgen, da einzelne Linien dank der geteilten Infrastruktur bereits heute elektrifiziert fahren können, wo noch keine eigene Ladeinfrastruktur gebaut wurde. Ansonsten würden diese Linien noch mit Dieselnissen betrieben werden.

Günstiger wird die Elektrifizierung, wenn die Kosten für den Ausbau geteilt werden oder der Ausbau durch einen Akteur nutzergerecht abgewickelt wird.

Opportunity Charging weist auch aus Sicht des gesamten künftigen Energiesystems Vorteile auf. Es erlaubt nämlich höhere Anteile der Antriebsenergie tagsüber zu beziehen (Lastspitzen besser verteilt) und unterstützt die Nutzung erneuerbarer Energien (siehe Kapitel 2.3).

- Aus Busliniensicht:
 - Mehrere Kantone planen, primär auf Depotladung zu setzen (siehe Kapitel 2.2), obwohl die Elektrifizierung so länger dauern wird, da manche Linien noch nicht Depotladungskompatibel sind. Es wird zurzeit die Verbesserung der Batterietechnologie abgewartet. Alternativ können mehr Busse beschafft oder, falls die entsprechende Technologie in Zukunft einsatzreif wird, Wasserstoff-Brennstoffzellenbusse eingesetzt werden, mit entsprechend höheren Kosten. Wie Erfahrungen aus jenen europäischen Ländern zeigen, welche bereits einen höheren Elektrobus-Anteil als die Schweiz haben, können OC-Busse insgesamt kostengünstiger sein als Depotlader. Dies hängt von vielen Faktoren ab, allen voran von der Fahrplandichte, Haltestellen mit geeigneten Standzeiten, der Linienführung sowie namentlich vom Anteil der Gelenkbusse mit hohen Tagesfahrleistungen. Weitere Faktoren sind die Entfernung der Busdepots zum Einsatzort, die Möglichkeiten zur Anbindung der Busdepots an die höheren Ebenen des Stromübertragungsnetzes und der Flottenanteil, der für Nachtbuslinien eingesetzt wird.
 - Reichweiten: OC ist die «günstigere», aber vielleicht nicht die einfachste Option für die Elektrifizierung, während die Depot-Ladung eine schnell implementierbare Lösung (technologisch und bez. Bewilligung recht einfach) ist. Insbesondere bestehen kurzfristig auch keine «Elektrifizierungs-Bottlenecks». OC kommt heute nur dort zum Einsatz, wo die Depotladung die nötige Reichweite nicht garantieren kann. Die Installation von Ladestationen ist nicht trivial. Wenn ein

Netto-Null-Ziel langfristiger ist, kann die technologische Entwicklung der Depotladung auch für anspruchsvollere Linien abgewartet werden.

- Einheitlichkeit: Nur eine einzelne Linie in einer ganzen Flotte mit OC zu elektrifizieren, macht wenig Sinn, weil deren Busse nicht auf anderen Linien innerhalb des TU genutzt werden können. Diese Zersplitterung der Flotte hat wiederum indirekte Kosten zur Folge.
- Aus Bus- und Stromnetzsicht:
 - Netzanschluss: Durch OC kann die Ladeleistung tagsüber verteilt werden. Das reduziert somit den Nachtpeak der Stromnachfrage und ermöglicht in Zukunft die Nutzung von günstigem, grünem PV-Strom (siehe Kapitel 2.3). Solche Vorteile sind erst aus einer Gesamtperspektive ersichtlich, bei welcher es um eine optimale Lösung für das ganze Busnetz anstatt nur für eine Linie geht.
 - Die Elektrifizierung exklusiv durch Depotladen könnte eine Herausforderung sein, wenn eine hohe Leistung an einem ungünstigen Ort benötigt wird. OC kann helfen, die Leistung räumlich besser zu verteilen.
 - Depotladung hat eine sehr hohe Gleichzeitigkeit, da die Busse nur wenige Stunden in der Nacht stehen.

3.4 Sharing kann betriebliche Einschränkungen haben

Das Sharing von OC-Infrastruktur durch mehrere TU kann zwar zu relevanten Einsparungen sowohl bei der Erstellung wie auch im Betrieb führen, es kann aber auch Einschränkungen und Schwierigkeiten aufweisen. Sie sind im Kapitel 2.4 dargelegt und hier nochmals wiedergegeben:

- Sicherstellung Diskriminierungsfreiheit
- Abrechnung
- Wartung
- Regelung im Fall von unplanbaren Ereignissen / Ausfällen LIS
- Koordination bei der Fahrplanerstellung

3.5 Übergeordnetes Konzept nötig als Grundlage für die Umstellung einzelner Buslinien

Es bedarf einer übergeordneten (auf der Ebene von ganzen fahrplanmässig zusammenhängenden Linienbünden, welche i.d.R. durch mehrere TU erbracht werden) Strategie seitens der ÖV-Besteller, damit dann schrittweise «energiewendekompatible» Buslinien bestellt oder ausgeschrieben werden können. Insbesondere kann die Kostenoptimierung bei der Beschaffung der Fahrzeuge und der Festlegung des Ladekonzeptes nur erfolgen, wenn ein solches übergeordnetes Konzept vorliegt.

Wenn ein TU beispielsweise zwischen Depotlader und Opportunity Charging entscheiden muss, muss es viele Aspekte berücksichtigen (siehe Kapitel 2.6

und 2.7). Bei der Kostenoptimierung geht es oft um einen *Trade Off* zwischen widersprüchlichen Zielen. Zum Beispiel führt ein Depotlader zu weniger Infrastrukturkosten aber dafür einem höheren Beschaffungspreis der Fahrzeuge wegen grösserer Batterien. Der Wahl der optimalen Variante sollte dabei nicht nur im Hinblick auf den aktuellen Fahrplan der jeweiligen Buslinie erfolgen, sondern auf der Grundlage einer übergeordneten Strategie, welches das Optimum über das gesamte Linienbündel hinweg erreicht.

3.6 Die geplanten Ladezeiten sollen die Pünktlichkeit nicht gefährden

Wenngleich im operativen Betrieb die Pünktlichkeit bisweilen aus verschiedenen Gründen leiden kann, gilt der klare Grundsatz: In der Planung von Einsätzen von Bussen mit alternativem Antrieb darf die Pünktlichkeit niemals zugunsten der Ladezeit beeinträchtigt werden. Reserven im Fahrplan sind weiterhin für dessen Stabilität einzusetzen, und nicht für das Laden von OC.

Dennoch schliesst diese Prämisse OC nicht aus. Oft sind Standzeiten lang genug, um die Batterie bereits massgeblich nachzuladen (ca. 10 Minuten reichen bereits aus).

3.7 Anforderungen an interoperables Opportunity Charging

Shared Opportunity Charging ist eine komplexe Lösung, an der verschiedene Akteure beteiligt sind. Dies muss sorgfältig gestaltet werden. Im Rahmen der Elektrifizierung bzw. Wechsel zu Shared Opportunity Charging sind Prämissen von allen Akteursgruppen zu erfüllen:

- Langfristige Planbarkeit sollte möglich sein, sodass Anpassungen im Fahrplan oder in Umläufen möglich sind, ohne dass der Business Case nicht mehr stimmt.
- Vereinbarkeit mit zusätzlichen Leistungen bzw. Sonderfälle (Ersatzverkehr (geplant und ungeplant), ausserordentliche Lagen und Grossereignisse, Evakuationen der Bevölkerung)
- Systemische Synergien, wie Ausbildung, Wartung und Betrieb sollen genutzt werden.
- Intelligente Platzierung der Ladeinfrastruktur und sinnvoller Umgang mit dem Zielkonflikt zwischen grösserem Bedarf an zentralen Knotenpunkten und Platzverhältnissen an Endhaltestellen.
- Das Ortsbild und die Lärmbelastung müssen berücksichtigt werden.

Neben den gemeinsamen Anforderungen gibt Tabelle 9 die relevante Anforderung für jeden Akteur wieder.

Besteller	Transportunternehmen	Verteilnetzbetreiber / Energiedienstleister
— Fahrplantreue (Kundensicht)	— Fahrplantreue gegenüber heute	— Langfristige Planbarkeit der Netzinfrastruktur
— Attraktivem Fahrplan ermöglichen	— Zuverlässiger Betrieb	— Planbare Lasten
— Einsatz versch. Bushersteller	— Standards/Harmonisierung der Ladeinfrastrukturen	— Planbare Auslastung
— Flexibilität bei der Konzessionsvergabe (TU-Wechsel muss möglich sein mit Übergabe der Ladeinfrastruktur)	— Einsatz versch. Bushersteller	— Attraktives Pricing-Modell
— Linien müssen unabhängig von der Ladeinfrastruktur an anderen TU übertragbar sein	— Planbare und tiefe Kosten (für Strom und Nutzung Ladestationen). Übersichtliche Abrechnung	— Investitions- und Planungssicherheit
— Kosteneffizienz (z.B. keine Monopolstellung von TU oder Energiedienstleistern)	— Einsatz «optimaler» Bustypen (weiterhin bedarfsgerechte Flexibilität bezüglich verschiedenen Typen)	— Zweitnutzer möglich (z.B. LKW oder Fahrzeuge der Gemeinde)
— Langfristig: «alles aus einer Hand» (nicht Ladeinfrastruktur und ÖV-DL separat bestellen müssen)	— Zugesicherte Ladestation-Verfügbarkeit (auch bei Verspätungen)	
	— «Alles aus einer Hand» (Betrieb LIS und Stromversorgung)	
	— Vereinbarkeit mit Qualitätsmesssystem-Kriterien des BAV	

Tabelle 9: Anforderungen an das Opportunity Charging System

4. Konzeption und Umsetzung eines interoperablen Ladesystems für Elektrobusse

4.1 Nutzen der Interoperabilität der Ladesysteme

Die Koordination und Interoperabilität von Ladesystemen für Elektrobusse beeinflusst vier Ebenen:

- 1) Die Interoperabilität reduziert Kosten durch koordinierte Beschaffungen, gemeinsame Aus- und Weiterbildung, Kooperation bei Wartung und Reparatur, Ersatzteilen sowie Reservefahrzeugen.
- 2) Die Interoperabilität würde es auch wesentlich erleichtern, dass spezialisierte Energiedienstleister in den Markt von Erstellung und Betrieb von Ladeinfrastruktur für Elektrobussen für kleinere, ländliche TU einsteigen könnten.
- 3) Im Falle von OC erlaubt die Interoperabilität, dass Busse verschiedener TU einfacher an der gleichen Haltestelle laden können.
- 4) Darüber hinaus würde die Interoperabilität der Ladesysteme den Einsatz von Elektrobussen in besonderen Fällen wesentlich erleichtern. Bei geplantem und nicht geplantem Ersatzverkehr, in ausserordentlichen Lagen sowie bei der Übergabe von Bussen an ein anderes TU ist die Interoperabilität gar die Voraussetzung, damit diese Dienste nicht nur mit heutigen Dieselnbussen, sondern auch künftig mit Elektrobussen möglich werden

4.2 Herausforderungen für die verschiedenen Akteure

In der Schweiz gibt es aktuell eng verzahnte Verfahren zur Fahrplankoordination, aber keine institutionelle Regelung für die Interoperabilität technischer Aspekte im strassengebundenen ÖV. Die Rolle der PostAuto AG als Systemführerin gemäss VKOVE beschränkt sich auf Ereignisfälle. Das Festlegen von technischen Standards für die Ladeinfrastruktur von Elektrobussen gehört nicht zum aktuellen Mandat der PostAuto AG.

Die Elektrifizierung der Busse in der Schweiz schreitet rasch voran. Im Rahmen der Umstellung stehen Akteure des öffentlichen Busverkehrs vor verschiedenen Herausforderungen:

- **Besteller:** bestellen Fahrleistungen und wünschen sich weiterhin einen stabilen Fahrplan ohne grössere Veränderungen. Die Ladeinfrastruktur ist für sie Bestandteil der bestellten Leistung.
- **Transportunternehmen:** möchten weiterhin dieselben Leistungen anbieten, müssen aber ihre Prozesse umstellen (Laden statt Tanken) und ihre Mitarbeitenden schulen.
- **Energiedienstleister:** sind neue Player im ÖV, und nehmen neu eine integrale Rolle wahr, die auszugestalten ist.
- **Weitere Akteure,** wie z.B. Gemeinden (Besitzer von Haltestellen), Raumplaner, Tiefbauämter sind ebenso zu berücksichtigen.

Alle Akteure müssen ausserdem die Wirtschaftlichkeit der Umstellung berücksichtigen.

Für alle Akteursgruppen bringt die Umstellung eine grosse Veränderung mit sich. In diesem Prozess müssen einerseits eigenständige und rasche Entscheide getroffen werden. Andererseits ist der Einbezug bereits gemachter Erfahrungen und festgelegter Leitlinien als Bezugsrahmen sinnvoll. Ebenso gibt es aus ÖV-Gesamtsicht übergreifende Themen zu berücksichtigen.

Um diese Umstellung zu begleiten, sind «Richtlinien» oder Interoperabilitäts-Standards der Schlüssel. Einige dieser Grundsätze der Interoperabilität liegen durch die Projektgruppe ausgearbeitet vor, bei anderen wird die weitere Ausarbeitung empfohlen.

Deshalb ist denkbar, auch institutionell die Ladeinfrastruktur für Elektrobusse schweizweit und unabhängig vom Bestellverfahren zu verankern. Bei ÖV-Infrastrukturen handelt es sich um natürliche Monopole (es macht keinen Sinn, dass sich konkurrenzierende TU auf der gleichen Strecke unterschiedliche Ladeinfrastruktur einsetzen würden). Die Interoperabilität würde deshalb langfristig klare Kostenvorteile bewirken. Gegen eine institutionelle separate Verankerung spricht jedoch, dass der Aufbau solcher Institutionen Zeit braucht, während die wesentlichen Entscheide für die Ladeinfrastruktur für Elektrobusse in der ganzen Schweiz in den nächsten 10 Jahren fallen dürften, und dass eine solche institutionelle Regelung nur anzugehen ist, wenn sie unumgänglich erscheint. Der vorliegende Bericht schlägt vor, angesichts der zeitlichen Dringlichkeit auf den Aufbau eines institutionellen Rahmens für Definition, Bereitstellung und Betrieb einer schweizweiten Ladeinfrastruktur für Elektrobusse zu verzichten, aber die wichtigsten Kostensenkungspotenziale zu realisieren durch die Bereitstellung von Empfehlungen für eine situative und regional unterschiedlich weitreichende Harmonisierung.

4.3 Richtlinien für Interoperabilität im öffentlichen Busverkehr

Wir empfehlen, eine schweizweite Grundlage für die Interoperabilität der Ladesysteme für Elektrobusse zu erstellen. Dadurch können Bund und Kantone bei ihren Bestellungen und Ausschreibungen die Umsetzung dieser Richtlinien gemäss dieser Grundlage fordern. So kann eine schweizweite betriebliche Interoperabilität (sowohl physisch als auch kommunikativ) sichergestellt werden und damit auch die notwendige Resilienz des Systems erreicht werden.

Diese Richtlinien ermöglichen eine schweizweite Interoperabilität, inklusiv den flexiblen Einsatz der Busse auf verschiedenen Linien oder zwischen den TU. Ausserdem werden durch die Standardisierung auch Prozesse vereinfacht, insbesondere zwischen mehreren TU. Weiter ermöglichen es diese Richtlinien, dass auf gängige Methoden und Techniken referenziert werden kann.

Die gemeinsamen Richtlinien vereinfachen auch den Markteintritt von neuen Akteuren. Diese können sich einerseits einfacher auf dem Markt orientieren und haben andererseits eine viel grössere Reichweite, weil sie ihre Produkte oder Dienstleistungen nicht für jedes TU anpassen müssen.

Ein weiterer Vorteil dieser Richtlinien sind Kostenersparnisse. Diese ergeben sich durch grössere Mengen bei gemeinsamen Bestellungen, einfachere Übernahmen der Ladeinfrastrukturen durch ein anderes TU, den Occasionshandel zwischen TU sowie eine bessere Zusammenarbeit und gegenseitiges Lernen zwischen den TU.

Alle an diesem Projekt beteiligten Akteure, von Bestellern über Transportunternehmen bis zu Energiedienstleistern, unterstützen deshalb einstimmig und nachdrücklich, dass solche schweizweiten Richtlinien erarbeitet werden.

4.4 Interoperabilität betrifft alle ÖV-Busse mit alternativen Antrieben

Die angestrebte Interoperabilität soll alle Elektrobusse umfassen, wenn auch mit unterschiedlicher Intensität. Der ÖV-Besteller muss dabei, abhängig von der öV-Region oder dem Linienbündel, entscheiden, welche Fahrzeugflotten wie stark interoperabel werden sollen. Für alle Regionen der Schweiz bringt die Interoperabilität Vorteile. Wo es eine grosse Dichte von TU gibt oder wo zwei öV-Regionen stark vernetzt sind, soll die Interoperabilität eine besonders hohe Priorität haben. Doch auch bei eher getrennten Regionen spielt die Interoperabilität eine wichtige Rolle: Betrachtet man zum Beispiel das Oberengadin, wo ebenfalls die gleichen Haltestellen von mehreren TUs (OrtsBus St. Moritz, PostAuto und die von ChurBus betriebenen «Engadin-Bus»-Busse) bedient. In diesem Fall müsste der ÖV-Besteller eine Harmonisierung aller beteiligten Fahrzeugflotten verlangen, um die gewünschte Interoperabilität sicherzustellen. Für mehr Details zu diesem Beispiel im Oberengadin siehe ESÖV Bericht P-196 (EBP, Engadin Bus, PSI 2020).

Wenn es wichtig ist, dass Busse innerhalb einer öV-Region interoperabel sind, dann ist es entscheidend, dass die Busse innerhalb einer TU interoperabel sind. Oft ist kein Bus fest einer Linie zugewiesen und die TU muss eine gewisse Flexibilität innerhalb ihrer Flotte gewährleisten.

Die angestrebte Interoperabilität geht über die gemeinsame Nutzung von Opportunity-Charging Haltestellen hinaus, denn es werden auch Depotladesysteme harmonisiert. Dadurch wird die Interoperabilität weiter verbessert. Ausserdem führt das zu einer Vereinfachung von gemeinsamen Beschaffungen sowie vom Handel zwischen den TU (z.B. Occasionshandel, Übernahme eines TU). Im Übrigen können die TU so mehr voneinander lernen und sich gegenseitig helfen, wodurch die Zusammenarbeit noch wichtiger wird. Die angestrebte Interoperabilität wirkt sich also auf die unterschiedlichsten Bereiche des öffentlichen Busverkehrs mit alternativen Antrieben aus und beinhaltet auch standardisierte Depotladesysteme.

4.5 Die Interoperabilität ist dringlich

Vielerorts sind mit dem Ausbau von Ladeinfrastruktur und Inbetriebnahme von E-Bussen schon Fakten geschaffen, weshalb eine Harmonisierung dringend ist. Die Richtlinien müssen rasch, innert Jahresfrist ab Beginn der Ausarbeitung, in einer ersten Version festgelegt werden.

Bereits heute wurden in einigen Kantonen und Städten, z.B. Schaffhausen mit dem raschen Ausbau von Ladeinfrastruktur für E-Busse,

unterschiedliche technische und systemische Fakten geschaffen. Eine vollständige Vereinheitlichung und damit Interoperabilität ist somit nicht mehr vollständig (schweizweit) möglich, aber für die Zukunft können Grundlagen geschaffen werden um dies, zumindest (inter)regional zu ermöglichen.

Aus technischen und systemischen Gründen (Gefahr eines «Lock-in» und Insellösungen) besteht ein grosser Zeitdruck. Das «Window of Opportunity» für die Sicherung der Interoperabilität ist jetzt. Daher empfehlen wir die Ausarbeitung einer ersten Version der Richtlinien innert Jahresfrist ab Projektstart (Anfangs 2023). Updates können anschliessend in geeigneter Form folgen.

4.6 Die Richtlinien stellen optionale Leitplanken dar

Wir verstehen und empfehlen die Richtlinien als Opt-In zu entwickeln. Akteure müssen so explizit auf sie verweisen, wenn sie zur Anwendung kommen sollen. So behalten die Akteure viel Gestaltungsspielraum. Sie können auch rascher implementiert werden.

Die Richtlinien können festgelegt werden und Akteure sich verpflichten, sich künftig an ihnen zu orientieren, unter dem Vorbehalt, dass bereits gewisse Fakten in einigen Regionen geschaffen wurden und Systeme in Betrieb sind. Diese sollen sicher bis Ende Lebenszyklus wie gehabt weiter betrieben werden können.

Eine echte Standardisierung mit regulatorischer Vorgabe oder Systemführerschaft bräuchte eine Gesetzesgrundlage und damit zu viel Zeit (ÖV-Landschaft ist schon heute sehr komplex). Deshalb ist eine Soft-Standardisierung besser: Sie gewährleistet eine schnellere Akzeptanz.

Jedoch wurde keine juristische Analyse durchgeführt, da diese nicht Teil dieser Studie war. Deshalb können wir nicht abschliessend beurteilen, ob aus juristischer Sicht neue Richtlinien für die Interoperabilität zwischen den ÖV-Bestellern genügen oder ob dafür eine Änderung bei der Ausschreibung, in der Verordnung oder im Gesetz notwendig ist.

4.7 Alle Aspekte des Ladesystems öffentlicher Busse abdecken

Die Richtlinien beschreiben die Planung, Bestellung und den Betrieb von Ladesystemen aller Elektrobusse. Sie schliessen also neben Opportunity Charging auch die Nutzung von Depotladern mit ein.

Die Richtlinien umfassen folgende Themenblöcke

- Technologie (Top-Down oder Bottom Up)
- Regionsübergreifende Planung
- Leitsysteme und deren Kommunikation
- Nutzung TU-fremder Ladeinfrastruktur
- Konzept über das Teilen
- Zukunftsperspektive: Investitionssicherheit, die heute fehlt. Wir sind in einer Transformation - es braucht Gewissheit, dass OC langfristig bleibt.

- Schweizweite Standards für Steckertypen, Ladeprotokolle und Pantograph-Konzepte
- Sharing von Ladeinfrastruktur-Komponenten im Fahrplanfall («2 TU an der gleichen Haltestelle»)
- Wem gehört die zeitliche Flexibilität
- Zugang zu und Verrechnung von Ladeleistungen im ausserfahrplanmässigen Fällen
- Interoperabilität? Leitsysteme?
- Verbundspezifisches Ticketing, Ladeinfrastruktur-Priorisierung
- Betriebsmittelübergabe von Ladeinfrastruktur
- Eigentums- und Betriebsmodelle für Ladeinfrastruktur in Depots und an Haltestellen
- Redundanz in der Ladeinfrastruktur, um Ausfallsrisiken zu minimieren
- Ersatzverkehr (geplant und ungeplant und damit Betrieb in nicht angemessenen Einsatzgebiet von Fahrzeugen)
- Umgang mit Grossanlässen oder Events (Sicherstellung Transportleistung)
- Umgang mit Grossbaustellen (und damit ggf. Nicht-Erreichbarkeit einzelner Ladestationen)
- Evakuierung
- Umleitungen bzw. Sperrungen von Strecken aufgrund Grossbaustellen, Unfällen oder Grossanlässen
- Staatliche Aufgaben bei der Planung, beim Bau, Betrieb sowie der Überwachung und Inspektion

Es ist nicht geplant, Trolleybussysteme miteinzubeziehen. Sie stellen eine Sonderform des leitungsgebundenen Strassen-ÖV dar mit geringerem Bedarf an Interoperabilität.

5. Rollen und Organisationsmodelle für Ladesysteme für Elektrobusse

5.1 Top-Down-Planung von Ladeinfrastruktur auf Stufe Linienbündel sinnvoll

Es besteht Bedarf nach einer «angebotsorientierten Top-down Planung für Ladeinfrastruktur» im Sinne einer angebotsorientierten Betrachtung auf Stufe Linienbündel (z.B. im Rahmen reg. KÖV, Tarifverbunde oder Busnetze).

Was beim schienengebundenen ÖV etabliert ist, wird infolge der Elektrifizierung und der damit einhergehenden starken Ladeinfrastruktur-Abhängigkeit auch den strassengebundenen ÖV erfassen: Die Kosten, um mehrere Systeme parallel zu betreiben, sind häufig höher als die scheinbaren Vorteile einer für jedes Angebot optimierten Technologie. In einer ÖV-Region mit einigen hundert ÖV-Bussen sollte es deshalb beispielsweise nicht Wasserstoffbusse, Panto-down-OC-Busse, Stecker-OC-Busse, Panto-Depotlader und Stecker-Depotlader geben. Auch wenn jede der vorgenannten Technologien je für eine einzelne Buslinie optimal scheint. Erfahrungsgemäss dürften pro ÖV-Region in der Regel zwei Ladetechnologien das vernünftige Maximum darstellen. Beispielsweise Depotlader und OC-Busse, in einzelnen Fällen möglicherweise Depotlader und Brennstoffzellenbusse.

Sobald klar ist, dass in einer ÖV-Region für mehrere Buslinien OC-Ladekonzepte das Optimum darstellen und die kritische Grösse für eine OC-Busflotte erreicht wäre, ändert dies den möglichen Technologieentscheid auch für andere Buslinien, welche zwar mit Depotladern mit grossen Batteriekapazitäten bewältigbar wären, aber mindestens so gut mit OC-Ladetechnologie – falls diese in der betreffenden ÖV-Region für andere Buslinien ohnehin eingeführt wird.

Daraus ergibt sich, dass die Festlegung der optimalen Ladetechnologie pro Buslinie nicht zielführend ist. Stattdessen sollte pro «ÖV-Region» (ein hier bewusst nicht genauer definierter Begriff; der räumliche Perimeter wird im Einzelfall festzulegen sein) identifiziert werden, wie auch die aus Sicht der Ladetechnologie «schwierigsten» Buslinien bis 2040 elektrifiziert werden können. Dies legt den «Mix» an Ladetechnologien für das betreffende Linienbündel fest. Nachfolgend kann dann für die weiteren Buslinien identifiziert werden, welche Ladetechnologien aus dem «Mix» betriebswirtschaftlich optimal sind.

5.2 Möglichst grosse Sharing-Tiefe bei Opportunity Charging wünschenswert

Dabei helfen gemeinsame Grundsätze in Bezug auf Technologie. Beim Opportunity Charging sind verschiedene Ebenen des Teilens, sog. Sharing-Tiefen möglich (siehe Abbildung 2).

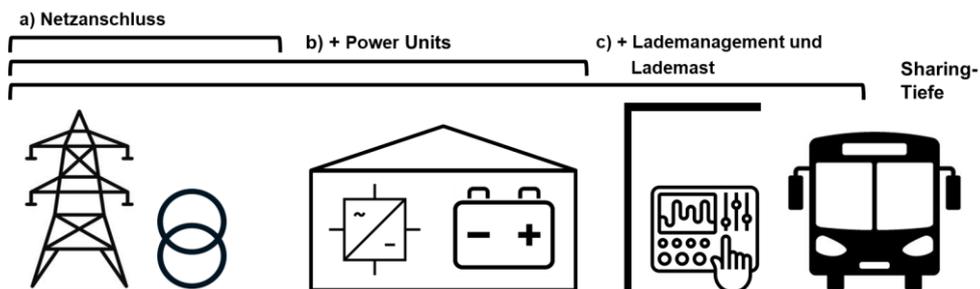


Abbildung 2. Sharing-Modell: Schematische Darstellung der möglichen Sharing Tiefen

Die grössten Kosten entstehen im Bereich Basisinfrastruktur, d.h. Netzanschluss und Power Units (in der Abbildung: (a) und (b)). Der Ausbau der Lademasten inklusiv Lademanagement ist ebenfalls teuer. Je grösser die Sharing-Tiefe ist, desto stärker kommen Kostensynergien zum Tragen. Daher ist aus Sicht der verschiedenen Akteure (insb. aus Sicht der ÖV-Besteller) eine grosse Sharing-Tiefe zu bevorzugen.

Umsetzbarkeit

- Der Netzanschluss (a) kann problemlos geteilt werden.
- Das Teilen von Power Units (b) sollte überall problemlos umsetzbar sein. Eine Power Unit kann – falls notwendig – an verschiedene Lademasten angeschlossen werden, die dann nicht zwingend geteilt werden. Allerdings ist hier Expertise notwendig (Zusammenarbeit mit Energiedienstleister).
- Das Teilen der Lademasten (c) kann eine operative Herausforderung darstellen, da Opportunity Charging in der Regel an Endhaltestellen oder Knotenpunkten geplant wird. In solchen Knotenpunkten haben die TU teilweise eigene, immer gleiche Haltekanten (dies ist auch in der Kundenkommunikation zum Einsteigeort wichtig). Ebenso kommen in solchen Knoten die Busse teilweise abgestimmt auf einen Taktfahrplan an und haben so zeitgleichen Ladebedarf.

Der Schnittpunkt des Sharing-Modells ist sinnvollerweise dort, wo die Abrechnung und Verwaltung der Ladeinfrastruktur gemacht wird.

Fazit: Eine grössere Sharing-Tiefe ist zwar wirtschaftlich attraktiver, bringt aber auch mehr Komplexität in der Abwicklung. Es wird daher empfohlen, situativ abzuwägen, so viel wie möglich zu teilen. Der Netzanschluss (Basisinfrastruktur) und wenn möglich die Power-Units sollten auf jeden Fall geteilt werden. Dies dürfte in vielen Fällen das Optimum darstellen. Das Aufgeben von bisher getrennten Haltekanten je TU umwillen der Reduktion der benötigten Anzahl Lademasten wird in der Regel Auswirkungen auf die Fahrplanstabilität haben, kann aber in Einzelfällen sinnvoll sein (wenn erst ein Teil der Busflotte elektrifiziert unterwegs ist).

5.3 Keine separate Ausschreibung der Ladeinfrastruktur durch Kantone

Heute schreiben die Kantone eine Transportleistung alleine oder gemeinsam mit Nachbarkantonen aus bzw. bestellen diese (bei Bus und Bahn der Fall). Bei Linien des Regionalverkehrs ist auch der Bund mitbeteiligt. Es ist nicht

die Absicht der Besteller, Infrastrukturleistungen auszuschreiben. Die Infrastruktur ist vielmehr Bestandteil bzw. Grundlage für eine Transportleistung. Allerdings garantiert der Kanton die Finanzierung und koordiniert den Prozess der Bestellung der Transportleistung.

Dies ist auch in Zukunft so wünschenswert und wird mit Depotladern so betrieben. Es lässt den TU die Option, selbst abzuschätzen wo welches System (Depotlader vs. Opportunity Charging) Sinn macht. Bei ihnen liegt auch das Know-How (bzw. ist auszubauen). Allfällige Mehrkosten müssen in der Offerte durch die TU berücksichtigt und entsprechend deklariert werden. Auch der Bund finanziert Mehrkosten für Elektrobusse mit.

Heute fehlt technisches Know-How, sowohl bei den Bestellern als auch bei den TU. Dieses muss aufgebaut werden. Es ist zu prüfen, ob alle TU (unabhängig von deren Grösse) das Know-How in derselben Tiefe aufbauen müssen. Bei kleineren macht dies unter Umständen keinen Sinn, viel eher machen da bspw. «Fahrzeugpools» o.ä. Sinn.

Die Benennung eines formalen Systemführers für die Elektrobus-Stromversorgung, analog zur Bahnstromversorgung, ist eine zu prüfende Möglichkeit. Denkbar ist aber auch die Erarbeitung eines Sets von Richtlinien, Empfehlungen oder Standards so, dass die Besteller von ÖV-Leistungen diese vorschreiben können, und gleichzeitig die Anbieter von Bussen und Ladeinfrastruktur sich an diese Richtlinien und Standards orientieren können.

Ähnlich sieht man dies heute bei (Diesel-)Betankungsanlagen. Sie werden nicht durch den ÖV-Besteller geplant bzw. ausgeschrieben. Entweder gehören sie den TU und werden von diesen betrieben, oder (v.a. kleinere TU bzw. TU mit vielen kleineren Depots) Ausbau und Betrieb von Diesel-Betankungsinfrastruktur werden ausgelagert an spezialisierte Anbieter. Und selbstredend gibt es zu Diesel-Betankungsanlagen Richtlinien und Standards.

Die ordentliche Laufzeit von ÖV-Bestellungen beträgt zwei Jahre (sogenannte Fahrplanperiode), die ÖV-Konzessionsvergaben betragen zehn Jahre und Dieselbusse werden in der Regel über 12 bis 14 Jahre abgeschrieben. Die übliche Abschreibungsdauer von Ladeinfrastrukturen wäre mit ca. 20 Jahren hingegen deutlich länger. Die Stromversorger schreiben die Anlagen über 20 bis zu 40 Jahre ab. Die heutigen Regelungen sind im ÖV-Bestellverfahren für Ladeinfrastrukturen ein Problem. Es bestehen neue Anforderungen betr. klarer Regelung der Betriebsmittelübergabe und der Festlegung der Restwerte.

5.4 Ausbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur durch spezialisierte Anbieter

Es ist (stark) zu prüfen, ob sich wenige spezialisierte Anbieter auf den Aufbau und den Betrieb von Ladeinfrastrukturnetzen auf Verbundebene fokussieren sollten (Sharing-Tiefe noch unbekannt).

Grundsätzlich bestehen zwei mögliche Umsetzungen des Betriebs:

— Ausbau und Betrieb der Ladeinfrastruktur wird, analog dem Individualverkehr, durch CPO (Charge Point Operator) sichergestellt. Der CPO kann

ein Energiedienstleister oder eine spezialisierte Firma (z.B. MOVE) sein. Die TU sind Kunden. Mögliche Umsetzung: Grosses TU hat zwei Verträge mit AÖV (Fahrleistung und Infrastruktur), kleines TU bietet nur Fahrleistung an.

— Ausbau und Betrieb erfolgt durch die TU selbst. Dafür muss erst Know-How aufgebaut werden.

5.5 Grosse indirekte Vorteile von interoperablen Systemen

Abgesehen von der Hardware (Basisinfrastruktur und Lademasten) kann das Sharing auch in anderem Sinne verstanden werden. Es bestehen wesentliche systemische, längerfristige Vorteile von Interoperabilität. Dies betrifft die koordinierte oder gemeinsame Beschaffung (von Bussen und/oder Ladeinfrastruktur inkl. Netzanschluss und Power Units), das Know-How, die Aus- und Weiterbildung im Bereich Elektrifizierung bzw. Opportunity Charging, die Wartung, das Überlassen eines Fahrzeugs an einen anderen TU sowie die Reduktion des Bedarfs an Reserve-Fahrzeugen. Auch die Betriebsmittelübergabe, d.h. die Übernahme der Busse durch ein anderes TU im Rahmen einer Neuvergabe, wird wesentlich erleichtert und lässt sich vertraglich besser abbilden. Auch die Zusammenarbeit mehrerer TU im Falle von geplantem oder ungeplantem Ersatzverkehr wird dadurch wesentlich erleichtert.

Diese Vorteile aus der Interoperabilität von Elektrobussen sind wirtschaftlich zwar schwer quantifizierbar, aber aus einer ÖV-Systemsicht für alle Akteure sehr relevant. Sie sollten wann immer möglich genutzt werden. Mehr zur möglicher Ausgestaltung in Kapitel 2.4.

5.6 Gesamtgesellschaftliche Vorteile: Resilienz zugunsten von nicht im Fahrplan abgebildeten Ereignissen

Ereignisse ausserhalb des Fahrplans (Ersatzverkehr geplant oder ungeplant, Grossanlässe, Notlagen bis hin zur Evakuierung) sind für die ÖV-Kunden und die Allgemeinheit von hoher Relevanz. Elektrifizierte Busflotten sind herausgefordert, hier die gleiche hohe Flexibilität wie die bisher dominanten Dieselmotoren zu gewährleisten. Die Interoperabilität von Elektrobussen würde die Abdeckung solcher Fälle erheblich erleichtern. Auch diese Vorteile, welche sich aus der Interoperabilität von Elektrobussen ergeben, sind wirtschaftlich zwar schwer quantifizierbar, aber aus einer gesamtgesellschaftlichen und einer ÖV-Systemsicht sehr relevant.

Das Thema *Redundanz der Ladeinfrastruktur* muss ebenfalls vertieft werden. Bei der Planung muss eine gewisse Redundanz vorgesehen werden, um Ausfallsrisiken zu minimieren. Eine Baustelle, ein Defekt oder eine Umleitung können zum Ausfall einer oder mehrerer Ladestationen an Haltestellen führen. Aber auch die Ladeinfrastruktur in Busdepots stellt ein (Klumpen-)Ausfallrisiko dar. Erstens muss geklärt werden, welche Form die Redundanz haben soll (überdimensionierte Infrastruktur im Depot, auf der Strecke, Reserve-Busse). Zweitens ist zu prüfen, ob eine Zusammenarbeit zwischen mehreren TU (TU-übergreifende Redundanz) sich lohnt, um das System robuster zu machen.

6. Übersicht über die Einsparungseffekte dank Interoperabilität

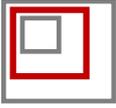
	Allgemeine Effekte und Depotladung	Spezifisch für Opportunity Charging
<p>Einsparungen auf Ebene TU / Buslinie</p> 	<p>Interoperabilitäts-Standards erlauben die schnellere Formulierung technischer Spezifikationen → Beschleunigung von Ausschreibungen</p> <p>Interoperabilitäts-Standards führen dazu, dass auf Pilotprojekte verzichtet werden kann und grössere Flotten früher beschafft werden</p> <p>Interoperabilitäts-Standards vereinfachen es Energie-Dienstleistungsfirmen, kleineren TU Services für Bau, Unterhalt und ggf. Betrieb von LIS anzubieten</p>	<p>Interoperabilitäts-Standards erlauben die schnellere Elektrifizierung anspruchsvoller Linien dank (ggf. gemeinsame genutzte) Ladeinfrastruktur an Haltestellen</p> <p>Die gemeinsame Nutzung von Ladeinfrastruktur (auf Ebene Netzanschluss, ggf. Power Units, ggf. Lademasten) an Haltestellen reduziert die Kosten für das einzelne TU</p>
<p>Einsparungen auf Ebene Linienbündel</p> 	<p>Interoperabilität vereinfacht die Betriebsmittelübergabe von alternativen Antrieben und ihre Ladeinfrastruktur stark</p> <p>Interoperabilität ermöglicht (v.a. in Aufbauphasen), die Anzahl Reservefahrzeuge zu reduzieren und übergeordnet bereitzuhalten</p> <p>Interoperabilität vereinfacht es, die Ladeinfrastruktur in Bus-Garagen durch mehrere TUs zu nutzen</p>	<p>Die Planung für (oft TU-übergreifende) Linienbündel sichert die kritische Grösse für Betrieb von OC-LIS → schnellere + günstigere Elektrifizierung auch anspruchsvoller Buslinien</p> <p>Interoperabilität auf Ebene Linienbündel erlaubt es ÖV-Bestellern, einzelne Linien durch versch. Anbieter abzudecken oder Anbieter zu wechseln</p>
<p>Einsparungen auf Ebene ÖV-System</p> 	<p>Interoperabilität erlaubt gemeinsame, grössere Bestellungen, und führt zu einem breiteren + kostengünstigeren Angebot auf Seiten der Hersteller</p> <p>Interoperabilität vereinfacht die gemeinsame Aus- und Weiterbildung, und damit die schnellere Umsetzung der Energiewende im Bereich ÖV-Busse</p> <p>Interoperabilität erlaubt den Verkauf von Bussen an andere TU (wie bei Dieseln) und damit die höhere Ausschöpfung ihrer technischen Lebensdauer</p> <p>Interoperabilität ermöglicht den (geplanten und ungeplanten) Bahn-Ersatz zu geringeren Kosten (und damit geringere Kosten für den Unterhalt der Bahninfrastruktur)</p> <p>Interoperabilität erhöht die Resilienz des Systems und ermöglicht die Verschiebung und den Einsatz von Elektrobussen in ausserordentlichen Lagen</p>	<p>Interoperabilität reduziert die Kosten für den Betrieb von OC-Infrastruktur (Ersatzteile sowie Fachkenntnisse, auch bei Dienstleistern)</p> <p>Interoperabilität vereinfacht die Festlegung von Förderkriterien und Regeln zur Abschreibedauern einzelner Komponenten (Netzanschluss, Power Units, Masten)</p>
<p>*Kosteneinsparungen <u>oder</u> höhere CO₂-Reduktion → günstigeres CHF-pro-ingesparte-Tonne-CO₂-Verhältnis</p>		

Tabelle 10: Einsparungseffekte infolge der Interoperabilität von E-Bussen

Eine Quantifizierung der Kosteneinsparungseffekte der einzelnen Aspekte der Interoperabilität erwies sich als nicht möglich. Einerseits fehlen dazu die Daten auf Ebene Buslinie. Andererseits lassen sich die Einsparungen auf Ebene Linienbündel bzw. gesamtes ÖV-System nur grob abschätzen, da sie einerseits in der Zukunft liegen und andererseits noch keine allgemein akzeptierten Kostenfaktoren für die Erleichterung des Bahn-Ersatzbetriebs oder für die erhöhte Resilienz für Nicht-Fahrplanfälle etabliert sind. Eine solche Berechnung kann deshalb aufgrund der Komplexität und der vorhandenen Randbedingungen nur im Rahmen einer konkreten Einzelfallbetrachtung durchgeführt werden.

7. Fazit und vorgeschlagene Institutionalisierung der Empfehlungen und Richtlinien zur Interoperabilität von Elektrobussen

7.1 Phase 1 für Dringendes, danach institutionell verankerte Phase 2

Dieses Kapitel beschreibt die wünschbare inhaltliche Ausgestaltung und organisatorische Konzeption der in Kapitel 4 und 5 beschriebenen Inhalte für Empfehlungen und Richtlinien im Anschluss an dieses Projekt. Es handelt sich um Handlungsoptionen aus Sicht des Projektteams.

Neben der Interoperabilität auf technischer Ebene, d.h. der Ladeinfrastrukturen (Kompatibilität von Pantographen und Steckern sowie räumliche Anordnung der Stecker bzw. Ladekabeln) gibt es auch die «digitale» Interoperabilität (die Authentifizierung der Busse, d.h. dass überhaupt Strom fließen kann, sowie die Lösung der Abrechnung). Die technische Interoperabilität ist sozusagen die Voraussetzung, aber ab Anfang sollte auch die digitale Interoperabilität mitgedacht und thematisiert werden.

Aufgrund der Dringlichkeit der Thematik (vielerorts sind bereits Busse mit alternativen Antrieben in Betrieb, andernorts sind diese in Planung, siehe Kapitel 4.5) empfehlen wir ein zweiphasiges Vorgehen. So kann möglichst rasch eine erste Version der Empfehlungen und «Richtlinien» zur Verfügung stehen und darauf referenziert werden. Ob aus juristischer Sicht Richtlinien das geeignetste Mittel sind, wurde in dieser Studie nicht untersucht. In der ersten Phase stünde das Fachmännische und Nötigste im Vordergrund, sowie die Suche nach der bestgeeigneten institutionellen Verankerung. Die zweite Phase ist längerfristig ausgelegt und umfasst die Konsolidierung der Empfehlungen und Richtlinien sowie ihre Ergänzung um weniger dringenden Themen, die Umsetzung der institutionellen Trägerschaft sowie die laufende Weiterentwicklung und Prüfung neuer technologischer Entwicklungen.

7.2 Phase 1: Dringende Themen und Suche nach institutioneller Verankerung

Die Aufbauphase sollte (aufgrund der Dringlichkeit) eine erhöhte Aktivität erlauben und vorzugsweise im Rahmen eines zeitlich befristeten Projekts erfolgen. Eine erste Version der Empfehlungen und Richtlinien «InteropE-Bus» (Arbeitstitel) in möglichst allen wichtigen Dimensionen sollte rasch erfolgen und möglichst bis Anfang 2024 vorliegen.

Ziele dieser ersten Phase sind:

- Das Thema der Interoperabilität von Elektrobussen etablieren und vorantreiben, Verständnis schaffen für die grossen direkten, indirekten (Kapitel 5.5) und gesamtgesellschaftlich (Kapitel 5.6) Vorteile.
- Für die Akteure des ÖV-Systems sichtbar sein, sowie als neutral und fachmännisch anerkannt gelten, um die Grundlage für akzeptierte und

eingesetzte Empfehlungen und Richtlinien (oder auch «Weisungen» oder «Standards») zu erarbeiten (> analog SIA).

- Die Empfehlungen und Richtlinien sind auf Freiwilligkeit ausgelegt: Sie können für einzelne ÖV-Gebiete, ÖV-Besteller, ÖV-Linienbündel oder TU umgesetzt werden. Je mehr ÖV-Gebiete je mehr Empfehlungen und Richtlinien umsetzen, desto höher werden die Vorteile sein bei der Kostenreduktion der Elektrifizierung, bei der Sicherung der ÖV-Qualität und bei der Resilienz (indirekte und gesamtgesellschaftliche Effekte).
- Die Empfehlungen und Richtlinien sollen flexibel sein dort, wo bereits technologische Umsetzungen vorhanden sind (z.B. in Elektrobus-Pionierstädten wie Schaffhausen, Basel-Stadt, Genf, Bern, Zürich).
- Es braucht ein Steuerungsgremium, welches fähig ist zu beschliessen, welche Empfehlungen und Richtlinien prioritär erarbeitet werden sollen, und ein verlässliches Projektmanagement, damit zu diesen Themen dann auch tatsächlich rechtzeitig Erstfassungen der Empfehlungen und Richtlinien vorliegen.
- Alle Akteure sollen auf die Empfehlungen und Richtlinien referenzieren können: Besteller in der Ausschreibung / TU in der Bus-Beschaffung / Energiedienstleister im Aufbau von LIS.
- Längerfristig gesicherte Existenz (es soll davon ausgegangen werden können, dass die Empfehlungen und Richtlinien während der ganzen üblichen Laufzeit einer ÖV-Bestellung / einer Ausschreibung + Vergabe von ÖV-Leistungen existieren).
- Initialisierung eines Screenings der technologischen Entwicklung sowie der internationalen regulatorischen Entwicklung und allfälliger Empfehlungen und Richtlinien auf Stufe EU oder EU-Mitgliedstaaten, ggf. Übertragung in die Schweiz.
- Pflege der Kontakte zu relevanten Institutionen (BAV, KKDöV, VöV, usw.).

In dieser Phase ist ein Projektteam mit Vertretung aller relevanten Akteursgruppen (Besteller, TU und Energiedienstleister) notwendig, um eine umfassende Sicht zu gewährleisten. Die Akteursgruppen sind die folgenden:

- PostAuto: Aufgrund vorhandener Linien in der ganzen Schweiz besteht die Möglichkeit, eine sehr aktive Rolle in der Gestaltung einzunehmen. Gleichzeitig ist eine Teilnahme in der Ausgestaltung unumgänglich, weil überall Schnittstellen mit PostAuto bestehen (geteilte Haltestellen).
- Regionale TU: Heterogene Akteursgruppe, sehr unterschiedliche Grösse und Reife bezüglich E-Mobilität. Entweder Vorreiter oder sehr klein und daher tendenziell eher «Mitnutzer» bei z.B. Opportunity Charging Ladestationen
- Energiedienstleister: Neuer Akteur im öffentlichen Busverkehr, wenn es um alternative Antriebe geht. Dieser Akteur hat Interesse Beitrag zu leisten aber braucht sehr klare Aufträge, weil wenig ÖV-Know-How

vorhanden ist. Gleichzeitig ist dieser Akteur für den Ausbau sehr wichtig und muss daher von Anfang an mitgedacht werden.

- Kantonale AöV: Sehen das Thema als dringend an, haben wenig Know-How im technischen Bereich E-Bus, wollen an ihren Prozessen nicht viel anpassen. Befürworten Standardisierung und möchten dort auch eine aktive Rolle einnehmen.
- BAV: Wichtigkeit des Themas erkannt, nimmt aktuell eher eine passive Rolle ein im Sinne der Unterstützung. Wenn es um eine de facto Harmonisierung / Standardisierung geht, sollte dies beibehalten werden.
- Weitere (Tiefbauämter, Kunden, städtische und kommunale Organisationen, LKW-Organisationen): Können punktuell miteinbezogen werden, wo Schnittstellen erkannt werden. Beispielsweise wenn es um die Nutzung der Fläche (Busstation), um Kundenverhalten oder um Teilen der Ladeinfrastruktur mit LKW oder kommunalen Fahrzeugen geht.

In der Aufbauphase sind die **möglichen institutionellen Trägerschaften** zu prüfen. Es bieten sich grundsätzlich die Branchenverbände oder bestehende Organisationen an. Wichtig für die künftige «InteropEBus»-Trägerschaft ist: Neutralität, fachliche Kompetenz, Relevanz im System ÖV-Schweiz. Die Trägerschaft muss somit von den Akteursgruppen anerkannt sein (neutral, fachmännisch, pro-aktiv) und Empfehlungen und Richtlinien verabschieden können. Sie muss über die Beschlussfähigkeit verfügen, um zu priorisieren und zeitnah die Entwürfe der Empfehlungen und Richtlinien zu vernehmlassen und nach der Verabschiedung zu publizieren.

Die verschiedenen **Eigenschaften und Stärken der möglichen institutionellen Trägerschaften** wurden für eine erste Auslegeordnung in den folgenden Dimensionen zusammengefasst:

- Relevanz im System ÖV (Anerkennung von allen Akteuren)
- Kompetenz in der Ausarbeitung (technisches Know-How, richtiger Themenfokus)
- Kompetenz in der Umsetzung (Möglichkeiten zum Einbezug aller Akteure, genügend Durchschlagskraft)
- Neutralität
- Handlungsfähigkeit (rasche Entscheidungswege und -kompetenzen)
- Weisungscharakter (Durchsetzungsfähigkeit)

Nachstehende Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse der Auslegeordnung zu den Eigenschaften und Stärken der möglichen institutionellen Trägerschaften.

Wir empfehlen unter Berücksichtigung der relevanten Aspekte die weitere Verfolgung der Varianten «KKDöV» oder «eigenes Projekt». Auch eine Systemführerschaft, die am ehesten durch PostAuto wahrzunehmen wäre, wird als sinnvolle und machbare Lösung wahrgenommen.

Bewertung der Eigenschaften und Stärken der möglichen institutionellen Trägerschaften in der Übersicht

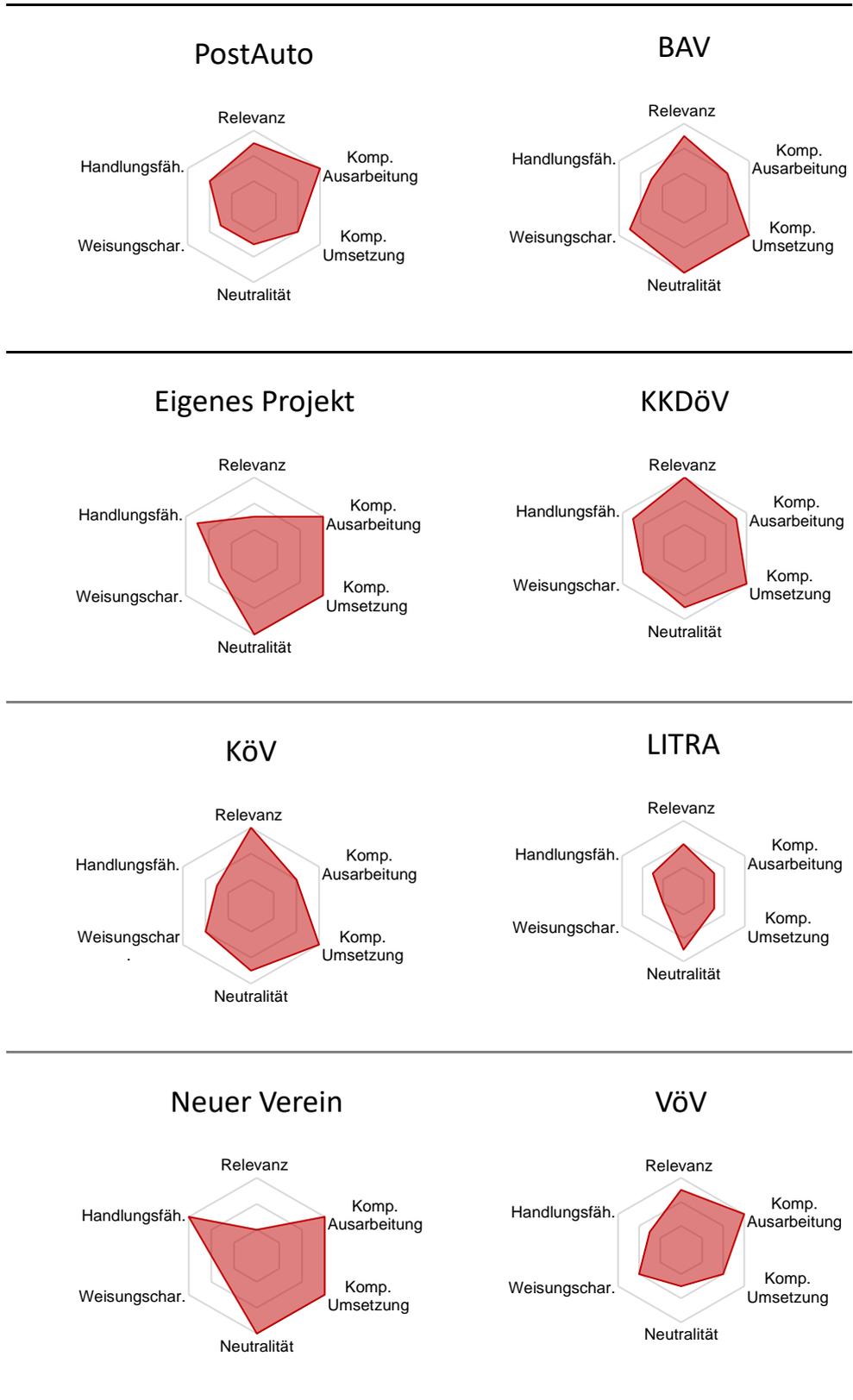


Abbildung 3. Bewertung der Trägerschaft-Varianten.

Ergänzende spezifische Hinweise zu den einzelnen Trägerschaft-Optionen:

BAV. Neben der Möglichkeit des BAV, effektiv bindende Standards zu definieren (technisch, operativ, prozessual), entspricht eine Trägerschaft durch das BAV nicht der Empfehlung der Projektgruppe. Es soll keine effektive Standardisierung sein, sondern Ziel ist, rasch eine de facto Standardisierung zu erreichen.

Eigenes Projekt. Die Bewertung erfolgte unter der Annahme, dass relevante Akteure aller Gruppen Teil des Projekts sind. Mit ihnen auch die Kompetenz und Relevanz.

KKDöV. Eine Bereitschaft, das Thema anzugehen konnte abgeklärt werden und liegt vor. Das Gremium eignet sich durch seinen übergreifenden Charakter.

KöV. Ist aufgrund der hohen strategischen Ebenen und Flughöhe mit Direktoren als Einsitz für Ausarbeitung nicht sinnvoll.

Litra. Hat als primären Fokus eher Informationsdissemination als Ausarbeitung. Es scheint sinnvoll, die Kanäle nach Ausarbeitung zur Verbreitung zu nutzen.

Neuer Verein. Eine Vereinsgründung kann zu lange dauern, Verein hat allenfalls zu wenig Dynamik. Gleichzeitig könnten hier auch alle relevanten Akteure Teil des Vereins werden (analog eigenes Projekt)

PostAuto. Postauto ist regional überall vertreten und hat daher ein hohes Eigeninteresse und Relevanz. PostAuto wird bereits heute oft in ähnlichen Fragestellungen angefragt (durch Kantone). Der Aufwand bei PostAuto wäre gross und würde zu einer Systemführerschaft führen. Diese erachten wir als sinnvoll, aber erst in Phase 2 (siehe unten).

VöV. Möglichkeit, eine separate Arbeitsgruppe zu bilden besteht. Beim VöV ist der Fokus sehr TU lastig, wodurch der Einbezug anderer Akteure herausfordernder ist.

7.3 Phase 2: Institutionalisierung und Übergang in den Regelbetrieb

Die zweite Phase hat keinen Projektcharakter mehr, sondern verfestigt die Organisation mit dem Übergang in eine definitive Trägerschaft und deren Finanzierung. Die Trägerschaft führt das Thema schweizweit, ist die treibende Kraft in dem Thema und organisiert regelmässig Treffen für die relevanten Akteure für Wissensaustausch in Technologie, Interoperabilität und Stand der Technik.

Ziele dieser Phase sind:

- Regelmässig wiederkehrende Aktualisierung der Empfehlungen und Richtlinien, um auf dem State of the Art zu bleiben
- Offenes Agenda-Setting durch Leitung der Plattform
- Periodisches Screening der technologischen Entwicklungen sowie der regulatorischen Änderungen im benachbarten Ausland
- Gegenseitiges Lernen voneinander

Die Organisationsform ist noch offen und kann in einem (bestehenden) Branchengremium, einer Begleitgruppe oder Fachgruppe stattfinden. Die Ausgestaltung wird in Phase 1 konkretisiert und Anforderungen definiert. Die Anforderungen an eine Trägerschaft sind analog der Phase 1.

7.4 Agenda der zu bearbeitenden Inhalte ergibt sich aus den Hauptaussagen

«InteropEBus» (Arbeitstitel) arbeitet Empfehlungen sowie Richtlinien (ggf. auch «Standards») zu den nachfolgend beschriebenen Inhalten aus. Wir empfehlen eine Differenzierung in Priorität 1: Basispunkte, Priorität 2: Vertiefungspunkte. Die Priorisierung bezieht sich auf die Phase 1. Ergebnis der Phase 1 soll auch sein, die Schwerpunkte in Phase 2 zu definieren und deren Trägerschaft festzulegen.

Priorität 1: Basispunkte

- Planungsempfehlung als Systementscheid in der Umsetzungsplanung für alle in die Planung involvierten Akteure (Besteller, TU, Energiedienstleister): es sollen bei der Umstellung auf alternative Antriebe immer eine adäquate Region oder Linienbündel betrachtet werden (über TU-, Kantons-, Tarifverbund-, Energienetz-Grenze hinaus), sog. «Planungsradius». Damit soll von der Linien- oder TU-Sicht weggekommen werden und ein übergeordnet gesteuertes System geschaffen werden. Mit dieser adäquaten Betrachtung (je Region unterschiedlich gross, umfassend), können dann aus Gesamtsystem-Sicht die optimalen Ladepunkte definiert werden (mit allen zu involvierenden Akteuren).
- Übersicht über nationale und internationale Standards, insbesondere der EU und Empfehlung zu einer Übertragung in die Schweiz bzw. Erklärung über allfällige Abweichungen davon. Dies bildet eine Basis und gibt Legitimation für ergänzende, Schweiz-spezifische Richtlinien.
- Interoperabilität: welche Bedingungen müssen gegeben sein, damit möglichst zweckmässig die Interoperabilität sichergestellt werden kann? Hier werden insbesondere Aspekte behandelt, die z. B. in Infrastruktur nicht mehr oder nur mit grossem Aufwand änderbar sind. Die Aspekte betreffen technologische Vorgaben (eingesetzte Technologie) sowie prozessuale Vorgaben.
- Vorgaben für das Leitsystem
- Anforderungen an Leistung für Basisinfrastruktur
- Ladeberechtigung: zugehöriger Prozess und Rollen sollen definiert sein.
- Set von technischen Spezifikationen, die für Fahrzeugausschreibung genutzt werden können.
- Keine «Überschreibung» von bereits in Betrieb genommenen Systemen (z.B. Schaffhausen, Basel-Stadt)
- Richtlinie zum Umgang mit zusätzlichen Leistungen bzw. Sonderfällen (geplanter und ungeplanter Ersatzverkehr, ausserordentliche Lagen und Grossereignisse, Evakuationen der Bevölkerung), Abschätzung von Kosten, Nutzen und Sinnhaftigkeit der Umstellung auf alternative Antriebe

- Aussage, dass ansonsten alle gleichen Bestimmungen wie für andere Busse gelten (Diesel-Busse, bereits in Betrieb genommene Busse mit alternativen Antrieben) in Bezug auf Behindertengesetz, Sicherheit, Sicherheitsaspekte der Elektroinstallation gelten.

Priorität 2: Vertiefungspunkte

Die Vertiefungspunkte sollen auch ausgearbeitet werden, aber zeitlich versetzt, im Nachgang zu den Basispunkten.

- Interoperabilität: welche Bedingungen müssen gegeben sein, damit möglichst weitgehende und umfassende Interoperabilität sichergestellt werden kann? Im Vergleich zu den Basispunkten werden hier Aspekte behandelt, die auch zu einem nachgelagerten Zeitpunkt noch verändert werden können, um mehr Vereinheitlichung sicherzustellen.
- Richtlinien für Abrechnungslösungen (Workflow und Rollen in der Rechnungsstellung und Abrechnung).
- Festlegung der Rollen, insbesondere auch von nationalen Ämtern und Organisationen: BAV, KöV, VöV etc.
- Einschätzung zur technologischen Entwicklung in den nächsten 5, 10, 20 Jahren.
- Übersicht oder Sammlung von Best Practices. Die Sammlung hilft neuen Akteuren oder kleineren TU das bestehende Wissen zu nutzen und voneinander zu lernen.
- Übersicht über eingesetzte Technologien je Region bzw. TU in der Schweiz. Die Übersicht hilft den beteiligten Akteuren, zu erkennen, wo welche Technologie eingesetzt wird.

Ausgeschlossen und nicht behandelt würden folgende Themen:

- Effektive Entscheide, welche Linien auf welche alternativen Antriebstechnologien umgestellt werden (Ablöseplan für einzelne TU oder gar Regionen).

Gesetzt den Fall, dass die Richtlinien ausgearbeitet sind, soll auf sie referenziert werden können. Kantonale Besteller, und auch Transportunternehmen können sich in Ausschreibungen oder Bestellungen darauf beziehen. Umsetzer der Richtlinien sind stets die TU.

Andere, bisher nicht behandelte Akteure wie z. B. Organisationen oder Ämter, die Förderungen oder Subventionen sprechen, sollten nicht im Widerspruch dazu handeln. Es ist auch denkbar, nur Subventionen zu sprechen, wenn eine Interoperabilität durch ein TU sichergestellt ist. Wenn es um die Aufhebung der Mineralölsteuer-Befreiung geht, ist es denkbar, entsprechend der Richtlinien-Konformität Befreiung beizubehalten. Wichtig ist dabei, dass sowohl Förderungen als auch Befreiungen von Abgaben weiterhin

für Ausnahmefälle ohne Konformität mit den Richtlinien möglich sind. Diese Ausnahmefälle sollten dann begründet sein.

Die Hersteller von Ladeinfrastruktur sollten wo möglich auch miteinbezogen werden, zumindest ABB als Schweizer Hersteller. Dass die Richtlinien technisch umsetzbar sind, muss gewährleistet sein. Sie sollen für öffentliche Ausschreibungen ein Set von Eignungskriterien beinhalten, die eins-zu-eins an Hersteller weitergegeben werden können.

Schliesslich soll ein laufender Abgleich mit anderen Initiativen stattfinden, um Doppelspurigkeiten zu vermeiden. Dies betrifft u. a. allfällige VöV-Arbeitsgruppen, Arbeiten der KTBB des VöV, sowie Gremien der VSE.

A1 Definition und Nutzung ausgewählter Fachbegriffe

Wir nutzen einheitliche Begriffe, und führen wo immer möglich keine neuen Begriffe ein. Hier zur Erläuterung für ausgewählte Begriffe unser Verständnis und ggf. Quellen.

- **Alternative Antriebe:** Alle künftigen Antriebsformen (also Nicht-Dieselbusse) gemäss der Verordnung über technische Anforderungen an Strassenfahrzeuge verwenden wir hierfür stets den Begriff alternative Antriebe. (https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/1995/4425_4425_4425/de#art_9_a):
Wir schliessen dabei Batteriebusse, Wasserstoffbusse sowie weitere Alternativen (Erdgas, Flüssiggas, mechanische Energie) mit ein. Andere genutzte Begriffe (elektrisch, emissionsfrei, fossilfrei) verwenden wir nicht.
- **Batteriebusse oder Elektrobusse:** Wollen wir spezifische Aussagen zu Bussen mit elektrischen Antrieben (Depotlader oder Opportunity Charging) machen, so verwenden wir diesen Begriff.
- **Besteller:** Wir verwenden maskuline Form, in Anlehnung an die Nutzung durch Alliance SwissPass, und weil in den behandelten Fällen der Besteller meist der Kanton ist.
- **Dekarbonisierung:** Umstellung auf alternative Antriebe. Wird genutzt, anstelle von Elektrifizierung, ausser wenn bereits klar ist, dass es sich um eine Umstellung auf Batteriebusse handelt (siehe nächster Punkt)
- **Elektrifizierung:** wird dort genutzt, wo es explizit um die Umstellung auf Batteriebusse geht.
- **Konduktives Laden:** Leistungsgebundenes Laden, bei dem eine physische Verbindung hergestellt wird, über welche dann der Strom fliesst.
- **Ladesystem:** Gesamtes System (technisch und organisatorisch) zum Laden von elektrischen Fahrzeugen.
- **LIS / Ladeinfrastruktur:** Technisches System für das Laden von Elektrobussen, inklusive Netzanschluss, Power Units, allfällige stationäre Batterien, Vor-Ort Lademanagementsystem sowie Lademasten
- **Öffentlicher Busverkehr:** Gesamtheit der relevanten Linien / Einzugsgebiet des Projekts, schliesst bewusst den Ortsverkehr mit ein.
- **Richtlinien:** Ergebnis oder Output der vorgeschlagenen Interoperabilität Standards. Vorliegender Bericht enthält erst eine Empfehlung zur Erarbeitung dieser Richtlinien.
- **Sonderfälle:** Situationen, die nicht im regulären, kommerziellen Jahresfahrplan hinterlegt sind und somit kein Regelfall ist. Es handelt sich dabei um geplanter oder ungeplanter Ersatzverkehr, Streckenumleitungen aufgrund Baustellen / Ereignisse, Zusatzleistungen bei Grossereignisse und Evakuation.

A2 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AÖV	Amt für öffentlicher Verkehr (generische Bezeichnung; kantonal kommen unterschiedliche Amtsnamen vor)
H2	Wasserstoff
HVZ	Hauptverkehrszeit
KKDöV	Konferenz der kantonalen Delegierten des öffentlichen Verkehrs
KöV	Konferenz der kantonalen Direktoren des öffentlichen Verkehrs
LIS	Ladeinfrastruktur
LITRA	Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr
OC	Opportunity Charging (Gelegenheitslader)
ÖV	Öffentlicher Verkehr
RPV	Regionaler Personenverkehr
TU	(konzessioniertes) Transportunternehmen
VKOVE	Verordnung über die Koordination des Verkehrswesens im Hinblick auf Ereignisfälle (AS 2016 1667)
VöV	Verband öffentlicher Verkehr

Tabelle 11: Abkürzungsverzeichnis

A3 Literaturverzeichnis

- BAV (2023). Energiekennzahlen öV 2020. Bundesamt für Verkehr, 05.05.2023, <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/allgemeine-themen/energie/energiekennzahlen-oev/energiekennzahlen-oev-2020.html>
- Bundesrat (2021-01). Langfristige Klimastrategie der Schweiz. Bern, 27. Januar 2021, 64 Seiten.
- Bundesrat (2021-03). Nichtfossilen Verkehrsträgern im öffentlichen Verkehr auf Strassen zum Durchbruch verhelfen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulates 19.3000 KVF-NR vom 15. Januar 2019. Bern, 12. März 2021, 63 Seiten
- EBP, Engadin Bus, Paul-Scherrer-Institut (2020). Alternative Busantriebe für ländlich-touristische Bergregionen: Fallstudie Oberengadin. BAV ESÖV Projekt P-196 (Download von bav.admin.ch: [Link](#))
- EBP (2022-05). Electric and Hydrogen Mobility Scenarios Switzerland 2022. Regionalized scenarios for passenger cars, light commercial vehicles, heavy commercial vehicles, and buses. Zurich, May 16, 2022, 35 pages. (Download von www.ebp.ch: [Link](#))
- HEIA (Haute Ecole d'Ingénierie et d'Architecture de Fribourg), TPF Trafic (Transports Publics Fribourgeois Trafic). (2022). Motorisation à l'hydrogène des bus de transport public. BAV ESÖV Projekt P-155
- Fedlex (Publikationsplattform des Bundesrechts). (2022). Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge. Art. 9a Fahrzeuge mit alternativem Antrieb und emissionsfreiem Antrieb
- Infras (2020). Abschätzung des Einsatz- und CO₂-Reduktionspotenzials durch Busse mit nicht fossilen Antriebstechnologien und Fördermöglichkeiten. Grundlagenstudie zum Postulatsbericht 19.3000. Im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) und des Bundesamts für Verkehr (BAV). ESÖV Projekt P-201. Bern, 12. Oktober 2020, 256 Seiten.
- RBS (Regionalverkehr Bern-Solothurn), VCDB VerkehrsConsult Dresden-Berlin (2021). Leitfaden Flottenelektrifizierung für Busbetriebe. Schlussbericht. BAV ESÖV Projekt P-144
- SIA (Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein) (2020). Infrastruktur für Elektrofahrzeuge in Gebäuden. SIA 2060:2020.