



LITRA

Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr
Service d'information pour les transports publics
Servizio d'informazione per i trasporti pubblici
Survetsch d'informaziun per il traffic public



Unterwegs zu einem klimaneutralen öV

Prix LITRA-Publikation

Vorwort – Der öV auf dem Weg zu (noch) mehr Nachhaltigkeit

Der öffentliche Verkehr hat im Bereich der Nachhaltigkeit zu Recht einen guten Ruf in der Schweiz. In allen drei Dimensionen der Nachhaltigkeit kann er punkten:

Ökologisch

Der spezifische Energie- und Flächenverbrauch ist viel tiefer als beim Individualverkehr, entsprechend sind auch die Auswirkungen auf die Umwelt im Mittel viel tiefer als beim MIV.

Ökonomisch

Der öffentliche Verkehr bildet das Rückgrat des Wirtschafts- und Lebensraumes der Schweiz, sowohl in den städtischen Agglomerationen wie auch auf dem Land. Die Qualität der öV-Erschliessung korreliert stark mit der Entwicklung eines Ortes oder einer Region. Das zeigt das Beispiel der Zürcher S-Bahn eindrücklich.

Sozialverträglich

Der öV in der Schweiz ist von hoher Qualität und für alle zugänglich und erschwinglich – dies dank grosszügiger Mitfinanzierung durch die öffentliche Hand und zielgerichteten gesetzlichen Vorgaben.

Trotzdem besteht Verbesserungspotenzial, insbesondere in der Dimension Ökologie. Die guten Werte stammen hier nämlich primär aus dem Bahnverkehr, wo die Schweiz dank voller Elektrifizierung und einem weitgehend CO₂-freien Strom-Produktionsmix ausgezeichnet abschneidet. Im öffentlichen Verkehr auf der Strasse besteht aber dringender Handlungsbedarf: Der Busverkehr basiert noch weitgehend auf Verbrennungsmotoren mit Diesel als Treibstoff. Zudem sind die Auslastungswerte vieler Buslinien eher tief, so dass die spezifischen Emissionen pro gefahrenen Fahrgast-Kilometer nicht weit unter denjenigen des MIV liegen.

Die öV-Unternehmen haben dies erkannt und bereiten sich auf eine Umstellung der Fahrzeugflotte auf emissionsfreie Antriebssysteme vor – dies im Einklang mit der Energiestrategie des Bundes, die vorschreibt, die Treibhausgasemissionen in der Schweiz auf ein klimaverträgliches Niveau zu senken. Diese Umstellung tönt einfach, ist aber äusserst anspruchsvoll, da nicht einfach nur Dieselfahrzeuge durch Fahrzeuge mit Elektromotoren ersetzt werden können.



Abbildung 1 | In der Region Sarnen (OW) fährt PostAuto bereits elektrisch

Die PostAuto- oder Buslinien müssen komplett neu geplant werden. Denn es gilt, die Ladekonzepte mitzuberücksichtigen. Soll unterwegs oder im Depot geladen werden? Dafür gilt es Standzeiten einzurechnen, was zu einer kompletten Neuplanung ganzer Betriebszonen führt. PostAuto hat die Berechnungsgrundlagen für die Umstellung von PostAuto-Linien entwickelt. Auf dieser Grundlage können dann die Fahrzeuge beschafft werden – sofern solche in der notwendigen Grösse und Ausstattung auf dem Markt bereits angeboten werden. Noch eignet sich nicht jede Strecke für eine Umstellung auf Elektroantrieb.

Die nächste Hürde ist die Bereitstellung der Ladeinfrastruktur. Neben der Sicherung der entsprechenden Standorte muss auch die vorgelagerte Netzinfrastruktur des lokalen Energieversorgers eine ausreichende Kapazität aufweisen – oder das Netz muss ausgebaut werden. Wie einst beim Aufbau des Tankstellennetzes für Benzin- oder Dieselfahrzeuge stehen wir hier am Anfang.

Ist das alles sichergestellt, folgt die grösste Hürde, die Finanzierung. Ein Elektrobuss kostet heute noch etwa das Doppelte eines Dieselfusses, und da auch die Ladeinfrastruktur finanziert werden muss, sind die Betriebskosten (noch) höher als beim Dieselfahrzeug. Dies unter anderem auch deshalb, weil der Diesel bis heute durch die Rückerstattung der Mineralölsteuer vergünstigt an den öV abgegeben wird.

Die Mehrkosten können dem Besteller weiterverrechnet werden, aber dies setzt voraus, dass Bund und Kantone auch Budgets für diese entsprechenden Mehrkosten zur Verfügung haben. Ist dies nicht der Fall, gehen die Mehrkosten zu Lasten von bestehenden Angeboten, was zu einer schwierigen Güterabwägung führen kann.

Die Umstellung auf alternative Antriebssysteme ist also ein komplexes, langfristig anzulegendes Projekt für die ganze Branche. Wir sind bereit, benötigen dazu aber die Unterstützung der Besteller und unserer Partner. So kommt diese Publikation der LITRA genau zur richtigen Zeit. Ich freue mich auf spannende Projekte, die auf uns zukommen und bin überzeugt, dass der Schweizer öV beim Thema Nachhaltigkeit weiterhin eine führende Rolle spielen kann.



Christian Plüss

CEO PostAuto, Mitglied der Konzernleitung Post und Mitglied des geschäftsleitenden Ausschusses der LITRA

Unterwegs zu einem klimaneutralen öV

Im Jahr 2050, so die Zielvorgabe des Bundesrats, soll die Schweiz nicht mehr Treibhausgase ausstossen als natürliche und technische Speicher aufnehmen können. Dieses «Netto Null»-Ziel bedeutet eine Herkulesaufgabe, gerade auch für den Mobilitätssektor. Der öffentliche Verkehr hat gute Voraussetzungen, die Aufgabe zu meistern. Denn heute schon bewältigen Bahn, Tram und Trolleybusse den Löwenanteil der schweizweiten Transportleistung elektrisch, und dies mit einem hohen Anteil an erneuerbarem Strom. Obwohl der öffentliche Verkehr nur vier Prozent der CO₂-Emissionen im Mobilitätssektor verursacht, kann er zur Erreichung der Schweizer Klimaziele beitragen: Indem er seinen Anteil am Gesamtverkehr steigert, und indem er auf nachhaltige Treibstoffe setzt.

Auf dem Weg zu einem klimaneutralen öV bieten Autobusse den grössten Hebel. Sie bewältigen gut zehn Prozent des öffentlichen Personenverkehrs und sind für ein Gros der Treibhausgase im öV verantwortlich. Neben den 2'400 Bussen von PostAuto befördern rund 3'000 Busse die Menschen im Regional- und Stadtverkehr. Die meisten Fahrzeuge werden heute noch mit Diesel betrieben. Doch gerade die Städte bieten gute Voraussetzungen für eine Umstellung auf Elektrobusse. Berücksichtigt man, dass auch Produktion und Entsorgung von Fahrzeugen und Batterien Treibhausgasemissionen verursachen, stossen Elektrobusse 75 bis 90 Prozent weniger Treibhausgase aus als Dieselbusse. Damit sind sie die «grüne Ergänzung» zu den 800 Trams, 550 Trolleybussen und all den S-Bahnen, die die Schweizer Städte heute schon erschliessen.

Batterie- statt Dieselbusse

Im März 2021 hat der Bundesrat einen Expertenbericht verabschiedet, angestossen durch den parlamentarischen Vorstoss «Nichtfossilen Verkehrsträgern im öffentlichen Verkehr auf Strassen zum Durchbruch verhelfen» (Postulat 19.3000). Das Bundesamt für Energie entwickelt darin eine mittelfristige Perspektive für die Umstellung des öffentlichen Busverkehrs. «Batteriebusse stehen als fossilfreie Antriebsoption für den Ersatz der Dieselbusse aus einer Gesamtsicht bezüglich Kosten und Umweltnutzen im Vordergrund», halten die Fachleute des BFE fest.

Nach ihrer Einschätzung kann der Ortsverkehr schneller elektrifiziert werden als der regionale Personenverkehr, denn in den Städten sind die Buslinien kürzer und die Topographie ist weniger anspruchsvoll. Zudem können vielerorts bestehende Oberleitungen für den Einsatz von Batterie-Trolleybussen genutzt werden. Der Bericht skizziert drei Szenarien für die Elektrifizierung der Busflotten in unterschiedlichem Tempo. Im mittleren («realistischen») Szenario entfallen im Ortsverkehr schon kurzfristig (2023) ein Viertel der Ersatzbeschaffungen auf Elektrobusse. Dieser Anteil nimmt in den Folgejahren stetig zu. Ab 2030 würden ausschliesslich Batteriebusse beschafft. Folgt man diesem Szenario, werden zwischen 2023 und 2034 schweizweit 1'300 Dieselbusse durch Batteriebusse ersetzt. Im Jahr 2034 bestünden die städtischen Busflotten durchschnittlich zu 70 Prozent aus Elektrobussen. Die Treibhausgas-Emissionen könnten auf diesem Weg um 60 Prozent gegenüber 2023 gesenkt werden.

Finanzielle Anreize für fossilfreie Antriebe

Für die Elektrifizierung stehen mit Batterie-unterstützten Trolleybussen und Batteriebussen ausgereifte Technologien bereit. Die verkehrspolitischen Beschlüsse der jüngsten Zeit wecken die Hoffnung, dass die Elektrifizierung der städtischen Busnetze mittelfristig auch finanziell zu meistern ist, trotz der zurzeit noch höheren Kosten von Elektrofahrzeugen. Ein zentraler Pfeiler ist das neue CO₂-Gesetz, sofern es im Juni 2021 die Referendumsabstimmung besteht. Das Gesetz schafft für Busbetreiber ab 2026 einen finanziellen Anreiz zum Umstieg auf nicht-fossile Antriebe: Diesel wird für sie teurer, weil sie nicht länger von der Mineralölsteuer befreit sind, doch im Gegenzug verfügt der Bund über zusätzliche Mittel, die er zweckgebunden zur Förderung CO₂-neutraler, erneuerbarer Antriebstechnologien im strassengebundenen öV einsetzt. Weitere Mittel für die Transformation der Busflotten kommen möglicherweise aus dem Klimafonds, der mit dem CO₂-Gesetz eingerichtet wird.

«Batteriebusse stehen als fossilfreie Antriebsoption für den Ersatz der Dieselbusse im Vordergrund.»

BFE-Expertenbericht

Der Verkehrssektor leistet einen massgeblichen Beitrag zur Emissionsminderung.

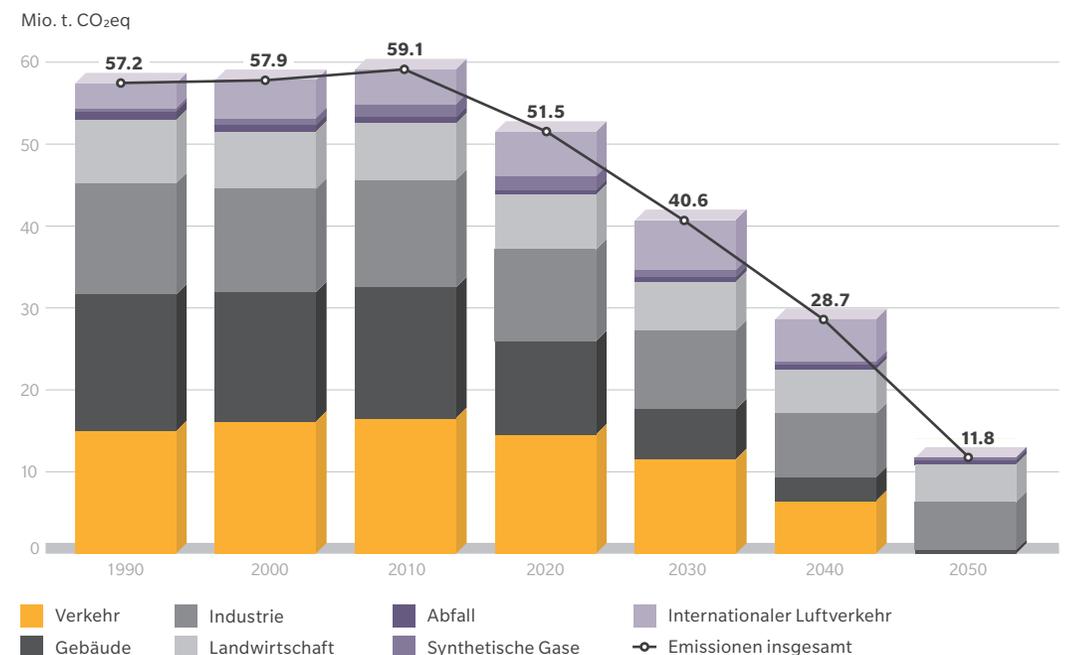


Abbildung 2 | Netto-Null-Ziel des Bundesrates

Batteriebusse elektrisieren Schweizer Städte

Im Januar 1988 nahm Zermatt den ersten Batteriebus in Betrieb. So spektakulär der Schritt des Walliser Tourismusorts war, so stand er doch in einer langen Schweizer Tradition elektrifizierter Stadtverkehre. Denn bereits 1888 fuhr am Genfersee zwischen Vevey und Schloss Chillon das erste Tram. Dieses Verkehrsmittel wurde über die Jahrzehnte stark ausgebaut und verfügte 1950 landesweit über ein Streckennetz von 400 km. 1932 schuf Lausanne die erste Trolleybus-Verbindung. Elektrobusse mit Oberleitungen erfuhren in der Nachkriegszeit einen Aufschwung. 1970 bedienten sie in Schweizer Städten ein Netz von über 300 km.

Schon früh erwuchs den elektrisch angetriebenen Verkehrsmitteln aus dem günstigen, von Schienen und Fahrleitungen unabhängigen Dieselbus Konkurrenz. Mitte der 1970er Jahre überschritt die Netzlänge im schweizweiten Nahverkehr die 1000 km-Marke. Bis heute decken fossil angetriebene Busse in Schweizer Städten mal 40 Prozent, mal 80 Prozent und im Fall von Lugano sogar 100 Prozent der Verkehrsleistung ab. Doch die Akzeptanz dieses Verkehrsmittels schwindet. Angespornt durch die Klimadebatte stehen die Zeichen auf einer vollständigen Elektrifizierung der städtischen Busnetze. Neun der zehn grössten Schweizer Städte fahren heute eine klare Elektrifizierungsstrategie, und selbst Lugano, das noch keine Beschlüsse gefasst hat, tendiert nach einer Evaluation von Wasserstoff- und Elektrobusen zu diesem Weg.

Basel muss bis 2027 umstellen

Die Verkehrsbetriebe wollen ihre Fahrgäste künftig weitgehend elektrisch befördern, und zwar mit sauberem Strom. Am wenigsten Zeit für die Umstellung haben die Basler Verkehrs-Betriebe. Sie haben die gesetzliche Pflicht, ihre Busflotte bis 2027 zu 100 Prozent mit erneuerbarer Energie zu betreiben. Gut 60 Batteriebusse werden diese Aufgabe ab 2022 übernehmen, 2027 sollen nochmals so viele hinzukommen.

Auch andernorts liegen saubere Elektroantriebe im Trend. In den sieben Schweizer Städten mit Trolleybus-Netzen erlebt der Drahtbus eine Renaissance, indem er sich vom Fahrdrat emanzipiert: Ausgestattet mit einer Traktionsbatterie wird er in die Lage versetzt, Teile der Strecke ohne Oberleitung zurückzulegen. Dieses «Dynamic Charging» (auch: «In-Motion-Charging»/IMC) ermöglicht eine Erweiterung von Trolleybus-Linien, während neue Fahrleitungen kaum oder gar nicht gebaut werden müssen. In der Ostschweiz setzen St. Gallen und Winterthur auf solche Batterie-Trolleybusse. Winterthur will neben den drei bestehenden Trolleybus-Linien bis 2026 zwei weitere elektrifizieren und errichtet dafür 5 km Oberleitung neu. Ist dieser Elektrifizierungsschritt vollzogen, werden 90 Prozent der Busfahrgäste elektrisch befördert werden. Luzern erschliesst einen Entwicklungsschwerpunkt im Nordosten der Stadt durch Verlängerung einer Trolleybus-Linie, auf der leistungsfähige Doppelgelenkbusse eingesetzt werden.

In der Garage oder auf der Strecke laden

Ein anderer Trend sind Batteriebusse. Zur Ladung der Stromspeicher sind zwei Ladetechnologien in Diskussion. Die Verkehrsbetriebe Zürich wollen Batteriebusse, die ergänzend zu den Trolleybussen zum Einsatz kommen, im Depot laden. Andere Städte bevorzugen stattdessen Streckenlader. Wie dies umgesetzt werden kann, führen die Verkehrsbetriebe Schaffhausen vor Augen: Auf der städtischen Trolleybus-Linie und den sechs Dieselbus-Linien werden ab 2028 nur noch Batteriebusse verkehren, die geladen werden, wenn sie am Bahnhof Schaffhausen ihren Endhalt erreichen. Die Ladezeit wird dank Schnelllade-Technik nur durchschnittlich drei Minuten betragen. Die Oberleitungen der Trolleybus-Linie werden zurückgebaut. Ebenfalls ein Streckenlader ist der TOSA-Bus, den die Genfer Verkehrsbetriebe seit 2018 auf der Linie 23 einsetzen: Der Bus tankt auf seinem 12 km langen Kurs an 13 Schnellladestationen Strom, während die Fahrgäste aus- und einsteigen.

Künftig werden Schweizer Städte Tram, Trolleybusse und Batteriebusse mit unterschiedlichen Ladearten einsetzen. Um allen Bedürfnissen gerecht zu werden, dürften mehrere Technologien parallel genutzt werden. So etwa in Biel, wo Batterie-Trolleybusse, aber auch Batteriebusse mit dezentralen Lade-

stationen geplant sind. Die Stadt Bern will Dieselbusse einerseits durch Streckenlader mit Schnellladestationen an den Endhaltestellen (Linien 17 und 19) ersetzen, aber auch mit Depotladern (Linie 28) oder durch eine neue Tramlinie (Linie 10). Ferner soll eine bisher mit Gas- und Dieselbussen betriebene Linie künftig mit Batterie-Trolleybussen im teilfahrleitunglosen Betrieb bedient werden.

Die Tage des Dieselbusses sind gezählt

Die Elektrifizierung des städtischen Busverkehrs steckt mitten in der Umsetzung. Nachdem die Grundsatzentscheide gefallen sind, stehen für die Verkehrsbetriebe technische, betriebliche und finanzielle Fragen im Zentrum. Zumindest für eine Übergangszeit bleibt aber der flexible und kostengünstige Dieselbus noch ein wichtiger Teil der Busflotten, und so werden auch in jüngster Zeit neue Fahrzeuge dieses Typs – oft mit Hybridtechnologie – angeschafft. Doch auf lange Sicht scheinen die Tage des fossilen Antriebs gezählt. Ein Sprecher von BERNMOBIL sagt es so: «Wir gehen davon aus, dass der aktuelle Einkauf von Hybridbussen die letzte Beschaffung fossil angetriebener Fahrzeuge sein wird.»

Bis in zehn Jahren will St. Gallen ohne Dieselbusse auskommen.

Anzahl Fahrzeuge

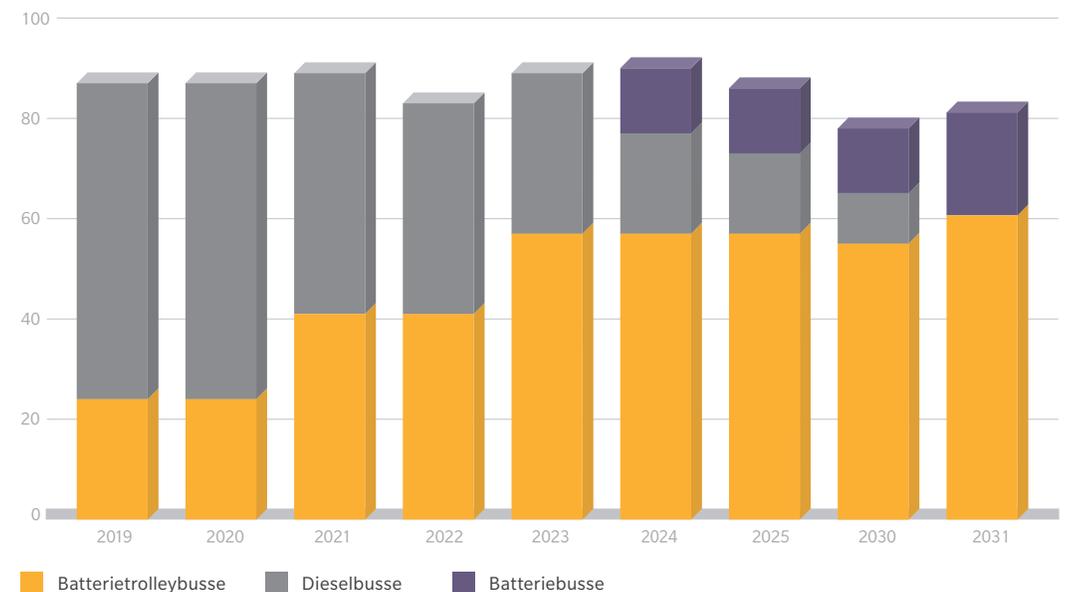


Abbildung 3 | Elektrifizierung der St. Galler Busflotte

Drei Ladekonzepte für Batteriebusse im Vergleich

Will ein Verkehrsbetrieb Batteriebusse einsetzen, braucht er ein schlüssiges Ladekonzept. An der École Polytechnique Fédérale de Lausanne hat Alain Azzi ein Modell entwickelt, wie die knifflige Aufgabe in der Praxis zu lösen ist. Die Masterarbeit entstand am Labor für Transport und Mobilität (Prof. Michel Bierlaire). Sie wurde im Herbst 2020 mit dem Prix LITRA ausgezeichnet.

Azzi legt seiner Studie beispielhaft das Busnetz der Lausanner Verkehrsbetriebe (Transports publics de la région lausannoise/tl) zugrunde. Die 25 Dieselbus-Linien – so die selbst gestellte Aufgabe – sollen innerhalb eines Jahrzehnts elektrifiziert werden. Der Autor fokussiert seinen Lösungsansatz auf Elektrobusse, die ihre Antriebsenergie ganz oder teilweise aus Batterien beziehen. Er zieht drei Ladetechnologien in Erwägung (siehe Tabelle):

- a |** Laden über Nacht im Fahrzeugdepot,
- b |** Laden während der Standzeit an den Wendehalten oder an den Haltestellen mittels Schnellladestationen,
- c |** Laden beim Fahren unter Draht.

Die letztgenannte Technologie versetzt Trolleybusse mit Traktionsbatterie in die Lage, Streckenabschnitte ohne Oberleitung zu befahren.



	Laden über Nacht (ONC)	Laden an Haltestellen (OPC)	Laden während Fahrt (IMC)
Batterietyp	hohe Energiedichte	hohe Ladeleistung	hohe Energiedichte
Batteriegewicht	schwer	leicht oder schwer (je nach Ladetyp)	leicht
Reichweite (im Batteriebetrieb)	90–150 km	20–30 km	30 km
Ladegeschwindigkeit	langsam	schnell	langsam
Ladeinfrastruktur	im Depot	an Wendehalten/ Haltestellen	Oberleitungen
Ladezeit	3–5 h	0.5–6 Min.	> 50 Prozent der Fahrzeit

Abbildung 4 | Drei Ladesysteme für Elektrobusse gemäss Studie von Alain Azzi

Präferenz für Laden am Wendehalten

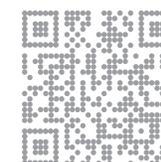
Das Ergebnis der Untersuchung ist überraschend eindeutig: Für praktisch alle Linien erweist sich das Laden an den Wendehalten als beste Option. Das Laden über Nacht scheidet laut Azzi als Ladetechnologie aus, da mit einer Batterieladung die erforderlichen Tagesreichweiten (ca. 250 km) und Einsatzdauern (17.5 und mehr Stunden) nicht gemeistert werden. Gegen das Laden während der Fahrt sprechen nach Einschätzung des Autors die hohen Beschaffungskosten für Batterie-trolleybusse. Nach Azzis Berechnung liesse sich die Elektrifizierung des Busnetzes binnen acht Jahren schrittweise umsetzen. Seine Studie weist ferner aus, in welchen Umsetzungsschritten die Elektrifizierung der gesamten Busflotte bei einem vorgegebenen Budget für Fahrzeugbeschaffung und Treibstoff umsetzbar wäre.

Die Untersuchung stützt sich auf das Lausanner Busnetz, beruht aber auf einer Reihe von Annahmen und Vereinfachungen. Fahrplan und Einsatzpläne der Fahrzeuge werden überdies als fixe Grössen behandelt. Auf dem Weg entsteht ein verallgemeinerbares Modell, mit dem sich die Elektrifizierung anderer Busnetze studieren lässt. «Unser Modell dürfte für städtische Verkehrsbetriebe eine wertvolle Hilfe sein, denn es lässt sich mit kleineren Anpassungen auf jede Buslinie in der Schweiz übertragen», sagt Alain Azzi. Konzentrieren sich Verkehrsbetriebe gern auf einzelne Linien, gibt ihnen das Modell ein Instrument an die Hand, das eine Gesamtschau auf die Elektrifizierung der Flotte erlaubt. Um das Modell auf das eigene Busnetz anzuwenden, braucht ein Verkehrsbetrieb zur Hauptsache die Daten zum Fahrplan und zum Fahrzeugpark. Diese werden für die Modellierung des künftigen, elektrifizierten Busnetzes mit Geoinformationsdaten der Haltestellen und Wetterdaten kombiniert.

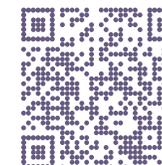
Modell auf Grundlage des Energieverbrauchs

Als Kerngrösse für die Elektrifizierung definiert das Azzi-Modell den Energieverbrauch für jede Linie. Um diesen zu berechnen, zieht der Autor physikalische Grössen wie Fahrzeuggewicht, Streckenlänge und Höhenunterschiede heran, beachtet aber auch Energierückgewinnung mittels Rekuperation. Im zweiten Schritt ermittelt er unter Einbezug von Wetterdaten den Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Hilfsbetriebe. Ist der Energiebedarf pro Linie einmal bestimmt, erlaubt das Rückschlüsse auf die einsetzbaren Ladetechnologien. Die technische Betrachtung wird durch eine ökonomische ergänzt: Für jede Linie werden die Investitions- und Betriebskosten mit und ohne Elektrifizierung berechnet. Auf der Grundlage wird eine kostenoptimale Elektrifizierungsstrategie entwickelt: Sie zeigt auf, welche Ladetechnologie für jede einzelne Linie vorzuziehen ist und in welcher zeitlichen Staffelung die Elektrifizierung im Rahmen eines vorgegebenen Investitionsvolumens umgesetzt werden kann.

Die Arbeit von Alain Azzi mit dem Titel «Étude en vue d'une électrification complète du réseau de bus tl à l'horizon 2030» ist abrufbar unter: litra.ch/de/alainazzi/



Mit dem Prix LITRA fördert die LITRA seit 2011 junge öV-Talente. Jährlich werden drei Bachelor- und Masterarbeiten zum Thema Mobilität ausgezeichnet. Erfahren Sie mehr!



«Laden, ohne das städtische Umfeld zu beeinträchtigen»

Laurent Mudry ist bei den Lausanner Verkehrsbetrieben (Transports publics de la région lausannoise/tl) verantwortlich für die Bereitstellung jenes Busnetzes, auf das sich Alain Azzi in seiner akademischen Arbeit bezieht (vgl. S. 8–9). Im Interview erläutert Verkehrsexperte Mudry, wie die tl die Elektrifizierung des städtischen Verkehrs einschliesslich der Dieselbus-Linien umsetzen wollen.

Herr Mudry, in Lausanne bilden zehn Trolleybus-Linien und zwei Metro-Verbindungen das Rückgrat des öffentlichen Verkehrs. Vier von fünf Fahrgästen werden mit nachhaltig produzierter Elektrizität befördert. Kann dieser Prozentsatz weiter erhöht werden?

Laurent Mudry | Im Vergleich zu anderen Verkehrsnetzen in der Schweiz ist der Anteil tatsächlich schon sehr hoch, und er wird in den kommenden Jahren weiter ansteigen: Unser Ziel ist, im Agglomerationsverkehr 100 Prozent zu erreichen bis im Jahr 2030. Um diesen Sprung hin zu einer umweltfreundlicheren Flotte zu schaffen, setzen wir auf mehrere Elemente. Auf der Strasse wird eine wachsende Anzahl von Trolleybussen zum Einsatz kommen, entweder Doppel- oder Einfachgelenkbusse. Allein in den nächsten zwölf Monaten wird unsere Trolleybus-Flotte von 80 auf 95 Einheiten wachsen. Das zweite Element ist eine neue Trambahnlinie bis 2026. Noch in diesem Jahr beginnen die Arbeiten für die Verbindung, die die Dieselbuslinie zwischen Lausanne-Flon und Renens ersetzen wird und später bis Bussigny verlängert werden soll. Bis 2028/2030 wird die neue Metro, die M3, fertiggestellt sein. Sie wird Lausanne-Gare mit La Blécherette verbinden. Schliesslich beabsichtigen wir, die verbleibenden Linien, die derzeit mit Dieselbussen bedient werden, schrittweise mit batteriebetriebenen Bussen auszustatten.

Das strategische Ziel des Bundesrates lautet, die CO₂-Emissionen bis 2050 auf «netto null» zu reduzieren. Was bedeutet das für die 150 Dieselbusse, die die tl derzeit im Lausanner Stadtverkehr einsetzen?

L. Mudry | Die tl haben in den letzten drei Jahren eine grosse Studie durchgeführt, um sich auf diese Energiewende vorzubereiten. Wir schreiben derzeit an unserer Vision für das Jahr 2030. Die Strategie wird aufzeigen, wie der Strassenverkehr bis 2030 CO₂-frei abgewickelt werden kann. Die Studie von Herrn Azzi hat uns geholfen, eine Roadmap für die nächsten zehn Jahre zu entwerfen. Sie hat uns einen Weg aufgezeigt, mit welcher Staffelung der Investitionen wir das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis und damit schnellstmöglich einen besonders markanten Dekarbonisierungseffekt erzielen können.

Durch Erneuerung der Flotte und sparsamere Motoren konnten wir den Dieselverbrauch in den letzten Jahren um 10 bis 15 Prozent senken. In einem nächsten Schritt werden wir die Dieselbusse auf den 25 städtischen Linien durch batterieelektrische Busse ersetzen. Die Elektrifizierung der ersten Linie ist für die zweite Hälfte des Jahres 2022 geplant. Ab 2023 werden wir dann schrittweise weitere Dieselbusse ersetzen, die das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben. Wir beginnen mit der topografisch einfachsten Strecke und schliessen mit der schwierigsten ab, weil wir in den nächsten Jahren weitere technische Verbesserungen erwarten.



«Würde unser Netz auf einen Schlag auf vollelektrischen Betrieb umgestellt, würde sich der Stromverbrauch verfünffachen.»

Laurent Mudry

Für die Batteriebusse wollen Sie zwei konduktive Ladesysteme einsetzen: Laden im Depot und Laden an den Wendehalten mit Lademasten. Wie entscheiden Sie, welches Ladesystem Sie für welche Linie nutzen?

L. Mudry | Das hängt von der Topografie und den täglich zurückgelegten Kilometern ab. Bei einer Strecke mit starkem Gefälle oder einem Streckenbedarf von mehr als 300 km/Tag ist Laden im Depot derzeit nicht möglich. Hier kommen deshalb Batterie-Trolleybusse zum Einsatz, die an der Endhaltestelle nachgeladen werden. Wir dürfen dabei nicht vergessen, dass das Laden an der Endhaltestelle Auswirkungen auf die Nutzung des öffentlichen Raums hat. Ladestationen beanspruchen Landflächen, und sie müssen umgesetzt werden, ohne das städtische Umfeld zu beeinträchtigen, da sie auf Widerstand der Anwohner stossen können.

Auch der Bau von Oberleitungen ist in gewissen Fällen umstritten. Wie geht man mit dieser Situation um?

L. Mudry | Trolleybusse haben bei uns eine lange Tradition. Lausanne war die allererste Stadt, als sie 1932 Trolleybusse einfuhrte. Grund war die Topografie. Diese bewährte Technik bietet uns heute neue Möglichkeiten. Mit Batterien ausgestattete Trolleybusse werden uns helfen, das Trolleybus-Netz zu erweitern, praktisch ohne neue Oberleitungen in der Stadt zu errichten. Es gibt lediglich zwei, drei Stellen, die damit ausgerüstet werden müssen.

Was sind die Herausforderungen bei der Elektrifizierung städtischer Dieselbus-Linien?

L. Mudry | Die Reichweite von Elektrobussen ist noch begrenzt; wir erwarten weitere Verbesserungen durch die Industrie. Eine grosse Herausforderung ist auch die Finanzierung: Ein batteriebetriebener Bus ist fast doppelt so teuer wie ein Dieselbus. Wir brauchen neue Instrumente, um die Elektrifizierung unserer Flotte zu finanzieren, da wir die Kosten nicht auf den Ticketpreis umlegen können ohne Gefahr zu laufen, Kunden zu verlieren. Ein letzter, nicht zu unterschätzender Punkt ist die Sicherstellung der Energieversorgung: Würde unser Netz 2021 auf einen Schlag auf vollelektrischen Betrieb umgestellt, würde sich der Stromverbrauch unserer Strassenflotte verfünffachen. Wir müssen also sicherstellen, dass wir genügend nachhaltige elektrische Energie kaufen können, und auch die Kapazitäten schaffen, diese Energie an die erforderlichen Orte zu bringen.

Herkulesaufgabe am Züriberg

Rund eine Million Menschen sind in der Stadt Zürich an einem Werktag mit den Verkehrsbetrieben Zürich (VBZ) unterwegs. Rund 85 Prozent der VBZ-Fahrgäste reisen in Trams und Trolleybussen heute schon mit erneuerbarem Strom. Daneben gibt es gut 20 städtische Dieselbus-Linien. Sie sollen laut VBZ-Strategie bis 2030 weitgehend elektrifiziert werden.

Für Ende 2021 planen die VBZ die Umstellung von vier ihrer sieben Quartierbus-Linien auf Batteriebusse. Sie werden nachts in der Garage geladen, mitunter auch tagsüber, um so die Stosszeiten morgens und

am späten Nachmittag zu bewältigen. Wichtiger, gemessen an der Transportleistung, ist die Elektrifizierung von vier stark frequentierten, eng getakteten Gelenkbus-Linien mit langen Umläufen und starken Steigungen. Hier sollen künftig anstelle von Dieselfahrzeugen Batterie-Trolleybusse im teilfahrleitungslosen Betrieb verkehren. Auf insgesamt 14 Kilometern Streckenlänge werden hierfür neue Fahrleitungen errichtet. Dank Umstellung dieser Linien sind dann täglich weitere rund 60'000 Passagiere elektrisch unterwegs.

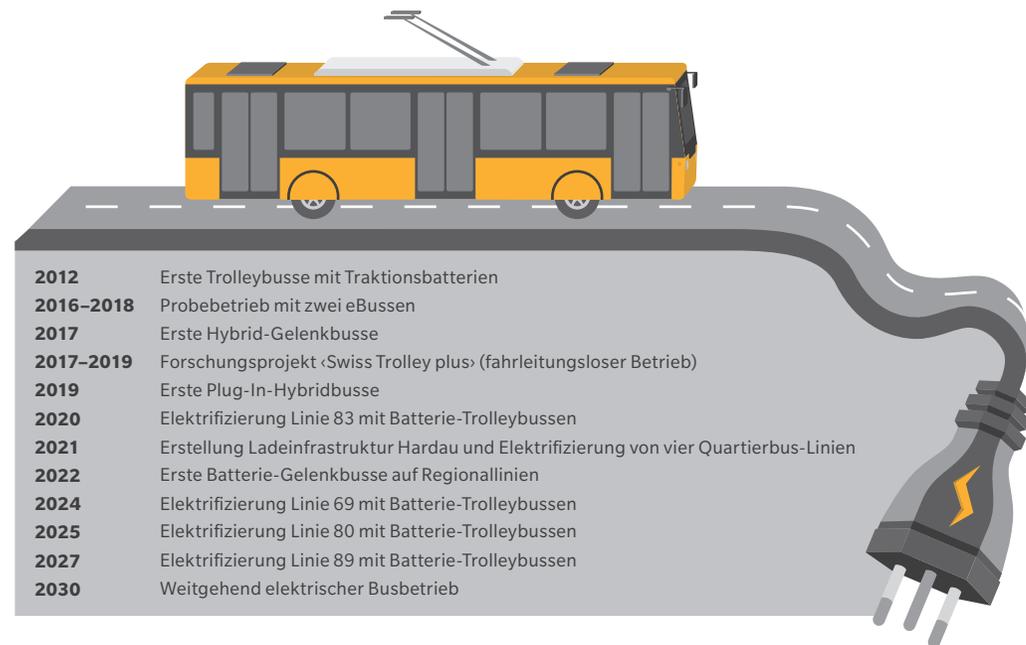


Abbildung 5 | Wichtige Elektrifizierungsschritte der VBZ-Busflotte

Komplexe Infrastrukturprojekte

Für die Elektrifizierung der verbleibenden Dieselbus-Linien stehen für die VBZ wie im Quartierverkehr Batteriebusse im Vordergrund, die in der Garage geladen werden. Die Garage Hardau wird bis Ende 2021 mit konduktiven 150 kW-Ladestationen ausgerüstet, was bei den Quartierbussen Ladezeiten von ca. zwei Stunden erlaubt. Später wird auch die Garage Hagenholz entsprechend ausgestattet. «Das sind komplexe Infrastrukturprojekte, die mit der Beschaffung von Lademanagementsystemen und Werkstattinfrastruktur einhergehen und beispielsweise auch Abklärungen zum Brandschutz erfordern», sagt David Sorg, Projektleiter Marktentwicklung VBZ. Ein standardisierter, modularer und einheitlicher Aufbau soll sicherstellen, dass künftige Fahrzeugbeschaffungen und Erweiterungen der Ladeinfrastruktur nicht eingeeengt werden.

Die Batteriekapazitäten decken den Regelbedarf. Für kalte Wintertage werden die Batteriebusse vorläufig noch mit fossilen Zusatzheizungen ausgerüstet. Die lebenszyklusbezogenen Mehrkosten dieser Fahrzeuge gegenüber Dieselbussen hängen von Rahmenbedingungen wie der Treibstoffzoll-Rückerstattung oder den Strompreisen ab. Aktuell sind Elektrobusse in der Beschaffung laut VBZ rund doppelt so teuer; die Lebenszyklus-Kosten liegen in Bezug auf die Linienerfolgsrechnung rund zehn

Prozent höher als bei Dieselbussen. Erheblich sind auch die betrieblichen Herausforderungen: Da Garagenlader oft nicht die ganze Tagesreichweite abzudecken vermögen, werden sie tagsüber gegen voll geladene Busse ausgetauscht. Die VBZ wollen den Fahrzeugtausch mit den Dienstplänen der Fahrerinnen und Fahrer abstimmen, um Lohnmehrkosten zu vermeiden. Auch braucht die Leitstelle künftig umfassende Informationen etwa zum Ladezustand der Fahrzeuge, um bei Störungen eingreifen zu können.

Flexibilität gewährleisten

Auch Ersatz- und Sonderverkehre halten für eine reine Elektroflotte einige Knacknüsse bereit. In Zürich herrscht etwa anlässlich des dreitägigen Zürichfäschts ein praktisch durchgehender 24-Stunden-Busbetrieb. Während der Batterie-Trolleybus dank der kontinuierlichen Stromversorgung auf der Strecke keine Einschränkungen bei der Betriebsdauer kennt, stellen die Ladezeiten der Batteriebusse hier ein Problem dar. Für solche Aufgaben setzen die VBZ bis in die erste Hälfte der 2030er-Jahre auf eine Teilflotte aus flexibel einsetzbaren Hybridbussen. Bis dahin müssen Lösungen gefunden werden, wie auch dieser Flottenteil auf nachhaltige Antriebsformen umgestellt werden kann.

Die Mehrkosten von Batteriebussen gegenüber Dieselbussen werden mittelfristig deutlich abnehmen.

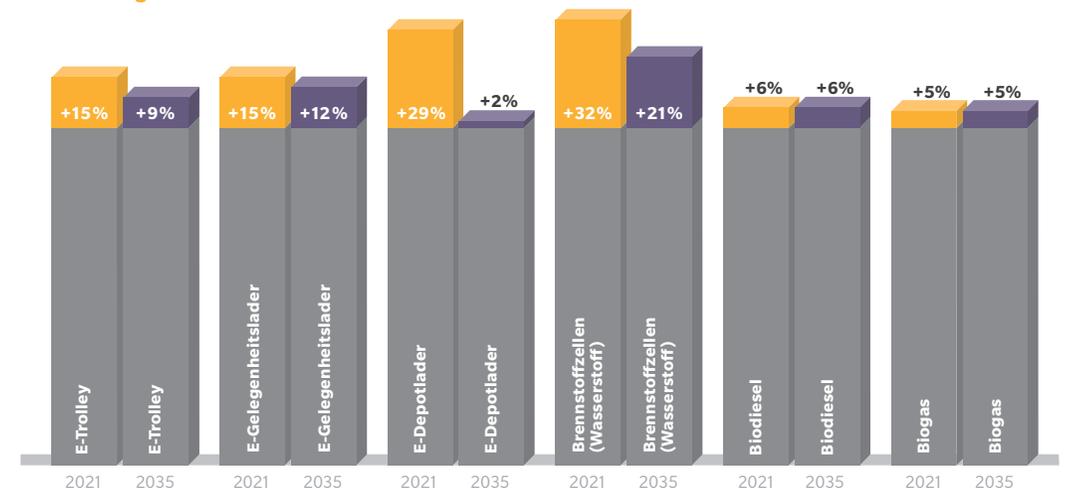


Abbildung 6 | Mehrkosten eines Gelenkbusse (ab 2026 ohne Mineralölsteuer-Rückerstattung)

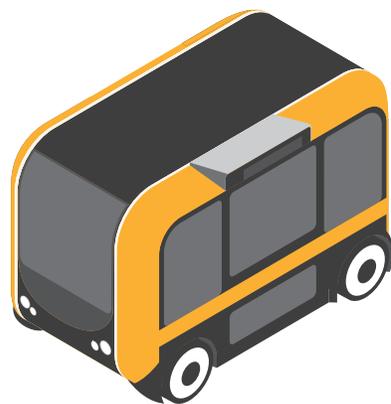
Fazit – Wie schnell setzen sich fossilfreie Busse im öffentlichen Verkehr durch?

Gastbeitrag Christoph Schreyer

Der öffentliche Verkehr. Energieeffizient und klimafreundlich soll er sein. Und das ist er auf den ersten Blick auch. Mit nur 6 Prozent des gesamten schweizerischen Verkehrsenergieverbrauchs leistet er über 20 Prozent der Verkehrsleistung im Personenverkehr, dazu noch ca. 40 Prozent im Güterverkehr. Und dies bei CO₂-Emissionen, die im Schnitt um über 85 Prozent tiefer sind als jene eines durchschnittlich ausgelasteten Personenwagens. Kein Wunder, ist der öffentliche Personenverkehr doch bereits mehrheitlich elektrisch unterwegs. Es gibt trotzdem Verbesserungspotenzial. Denn noch sind ca. 5'400 Dieselbusse im Einsatz, die rund 2 Prozent der CO₂-Emissionen des Schweizer Verkehrs ausstossen. Im regionalen Personenverkehr, aber auch in Städten und Agglomerationen sind Dieselbusse noch häufig anzutreffen. Die Kommission für Verkehr und Fernmeldewesen des Nationalrats (KVF-N) wollte vom Bundesrat wissen, wie und bis wann diese durch nichtfossile Alternativen ersetzt werden könnten. Dazu hat der Bundesrat im März 2021 einen Bericht publiziert.

In den kommenden Jahren müssen jährlich zwischen 400 und 500 der heute im Einsatz stehenden Dieselbusse altersbedingt ersetzt werden. Der Bericht des Bundesrats zeigt, dass sich Kosten- und Umweltsicht insbesondere elektrifizierte Busse als Alternativen eignen. Dazu gehören Batteriebusse mit Ladung im Depot, teilweise auch sogenannte Unterwegslader und – sofern bereits ein Trolleybusnetz vorhanden ist – auch Batterie-Trolleybusse. Auch für Brennstoffzellenbusse gibt es, wo eine direkte Elektrifizierung nicht möglich ist, längerfristig eine allerdings vergleichsweise teure Nische.

Die Umstellung auf fossilfreie Antriebstechnologien bietet sich vor allem dort an, wo Dieselbusse eins zu eins ersetzt werden können. Dies hängt unter anderem ab von Linienlänge, Topographie, Taktfrequenz, allfälligen Verstärkungen in Hauptverkehrszeiten, oder auch von den Wendezeiten an den Endhaltestellen. Teuer wird es, wenn für einen fossilfreien Betrieb zusätzliche Busse benötigt werden. Dies ist meist weder ökonomisch noch ökologisch sinnvoll. Denn auch fossilfreie (Elektro-)Busse brauchen bei der Herstellung Energie und verursachen dabei Treibhausgasemissionen. Kurzfristig lohnt sich das Umstellen insbesondere im Ortsverkehr in Städten und grösseren Agglomerationen. Dort gibt es teils bereits Trolleybusnetze, die erweitert werden können. Zudem sind die Linienlängen und topografischen Bedingungen nicht so anspruchsvoll wie im regionalen Personenverkehr. Der Bericht weist auch auf die raschen technologischen Entwicklungen im Bereich der Batteriebusse hin. So wird die Energiedichte der Batterien und damit die Reichweite laufend grösser, bei gleichzeitig sinkenden Systemkosten. Das vergrössert das Einsatzpotenzial der Batteriebusse erheblich.



Wie nun diesen fossilfreien Bussen zum Durchbruch verhelfen? Der Bundesrat meint, dass zunächst die bestehenden nationalen Fördermöglichkeiten wie die CO₂-Kompensation der Treibstoffimporteure (Stiftung KliK) sowie das Programm Agglomerationsverkehr maximal ausgeschöpft werden sollen. Mit der Revision des CO₂-Gesetzes wurde das Instrument der CO₂-Kompensation erheblich gestärkt. In der gleichen Revision wurde beschlossen, die Mineralölsteuerrückerstattung ab 2026 gestaffelt zunächst für den Ortsverkehr aufzuheben. Das verbessert die Ausgangslage von alternativen Antrieben bei Ausschreibungen. Die Mehrkosten im regionalen Personenverkehr, der von Bund und Kantonen gemeinsam bestellt und finanziert wird, können bis 2025 auf Seite Bund aus dem ordentlichen Verpflichtungskredit gedeckt werden. Eine Herausforderung sind die Mehrkosten im Ortsverkehr, wo der Bund keine Finanzierungsfunktion hat. Dennoch haben mehrere Kantone und Städte bereits beschlossen, ihre Busflotten mittelfristig komplett auf fossilfreie alternative Antriebe umzustellen. Möglich wäre, diese Umstellungsbemühungen mit Mitteln aus dem neuen Klimafonds zu unterstützen, falls das CO₂-Gesetz in der Referendumsabstimmung angenommen wird.

Wichtig bei all diesen Umstellungsüberlegungen ist immer die Frage, wie knappe öffentliche Mittel am zweckmässigsten eingesetzt werden. Die wichtigste Umwelt- und Klimawirkung des öffentlichen Verkehrs besteht ja darin, Fahrten vom MIV zum ÖV zu verlagern. Dafür braucht es ein möglichst gutes, kundengerechtes Angebot, das laufend optimiert wird. Ein etwas langsames Umstellungstempo hat darum durchaus auch Vorteile. Denn künftige fossilfreie Busgenerationen werden sowohl leistungsfähiger als auch günstiger sein. Das reduziert die Umstellungskosten und ermöglicht weiterhin ein attraktives ÖV-Angebot.



Christoph Schreyer,
Leiter Energieeffizienter Verkehr
beim Bundesamt für Energie

Die LITRA in Kürze

Die LITRA ist ein Verein nach Art. 60 ff. ZGB mit Sitz in Bern. Ihre Träger sind die Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs der Schweiz, die Kantone, die Wissenschaft, alle wichtigen Industrie- und Dienstleistungsunternehmen, die Bauwirtschaft sowie Unternehmen des Handels, des Gewerbes und der Planung.

Die LITRA wurde 1936 als «Ligue suisse pour l'organisation rationelle du trafic» (= LITRA) bzw. «Schweizerische Liga für rationelle Verkehrswirtschaft» gegründet und 1977 in «LITRA – Informationsdienst für den öffentlichen Verkehr» umbenannt.

Impressum

Herausgeberin

LITRA – Informationsdienst
für den öffentlichen Verkehr
Spitalgasse 32 | 3011 Bern
www.litra.ch

Gesamtkoordination

Michael Ruefer

Redaktion

Benedikt Vogel

Übersetzung

Céline Simon, Berlin

Quellenverzeichnis

Abbildung 1 | PostAuto

Abbildung 2 | Langfristige Klimastrategie
der Schweiz/BAFU

Abbildung 3 | Verkehrsbetriebe St. Gallen

Abbildung 4 | A. Azzi

Abbildung 5 | KALUZA+SCHMID/Angaben VBZ

Abbildung 6 | Bundesrats-Bericht
vom 12.03.2021 zu Postulat 19.3000/BFE

Gestaltung

KALUZA + SCHMID, St. Gallen

Druck

A. Walpen AG, Gossau

Auflage

500 Exemplare

