

Elektrisch in die Zukunft: Batteriebusse im Test bei den VBZ



Die Autoren



Christian Böckmann
Fachleiter Fahrzeugmanagement
VBZ und Projektleiter Batterie-
bus-Probefahrer



David Sorg
Projektleiter Marktentwicklung
VBZ und Strategie «eBus VBZ»



Adrian Vogel
Leiter Flottenmanagement
Bus VBZ



Oliver Obergfell
Projektleiter Unternehmens-
kommunikation VBZ



14



10



36

Editorial	5
Zusammenfassung	7
Elektrobusstrategie «eBus VBZ»	10
Batteriebusse – eine neue Welt	14
Die Probefahrzeuge	16
Quartier-eBus SOR EBN 8	16
Standard-eBus Caetano e.City Gold	17
Nutzen	18
Kundinnen und Kunden	18
Ökologie	22
Kosten und Wirtschaftlichkeit	26
Technische Erkenntnisse	28
Inbetriebnahme	28
Laufleistung	29
Verfügbarkeit	30
Energieverbrauch und Batteriedimensionierung	33
Energieverbrauch Standard-eBus	35
Energieverbrauch Quartier-eBus	36
Energieverbrauch Klimatisierung	38
Energieverbrauch Heizung	39
Ladeinfrastruktur	40
Werkstatt und Instandhaltung	42
Betriebliche Erkenntnisse	44
Betriebs- und Einsatzkonzept	44
Fahrdienst und Bereitstellung	45
Betriebssteuerung und Monitoringsystem	46



Zum Glück sind unsere Elektromobile nicht nur für 4 Personen gebaut.

Die meisten Zürcherinnen und Zürcher fahren auf Elektromobile ab, die wenig gemeinsam haben mit den niedlichen Prototypen der Autoindustrie: auf unsere Trams und Trolleybusse. Heute befördern wir 80% unserer Fahrgäste mit Elektro-Energie – das sind rund 720'000 Menschen pro Tag.

Die neue Fahrzeug-Generation nutzt sogar die Bremsenergie und kann daraus bis zu 13% ihres Energiebedarfs produzieren. Möchten auch Sie ohne Benzin super fahren? Dann steigen Sie doch einfach um. Für weitere Informationen: www.vbz.ch

VBZ Zürich Linie
Umsteigen lohnt sich.



Der Ur-Tesla war bereits 1894 auf den Strassen von Zürich unterwegs.

Es waren die Pioniere der privaten Gesellschaft Elektrische Strassenbahn Zürich (ESZ), die am 8. März 1894 in Zürich die erste elektrische Tramlinie ins Rollen brachten. 1896 kaufte die Stadt die ESZ. Heute befördern die VBZ 80% aller Fahrgäste mit umweltschonender Elektro-Energie –

in modernen Trams und Trolleybussen. Dieser Anteil soll weiter gesteigert werden, um die CO₂- und Lärm-Emissionen sowie die Abhängigkeit von fossilen Treibstoffen zu reduzieren. Wann steigen Sie auf die Nachfolger des Ur-Tesla um?

VBZ Zürich Linie
Umsteigen lohnt sich.

Vorwärts mit der Elektrifizierung

von Michael Baumer, Stadtrat und Vorsteher der Industriellen Betriebe

Die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) stehen für Elektromobilität. Bereits heute bewegen sich mehr als 80 Prozent der Fahrgäste mit Trams und Trolleybussen durch die Stadt, angetrieben mit vollständig erneuerbarem Strom. Doch damit nicht genug: Die VBZ sehen mit ihrer Strategie «eBus VBZ» vor, auch die verbleibenden rund 150 Dieselbusse bis 2030 weitgehend durch elektrisch angetriebene Fahrzeuge abzulösen. So wird der Energie- und Treibstoffverbrauch gesenkt, und die Verringerung von Treibhausgas- und Lärmemissionen schafft Lebensqualität in der Stadt.



«Wir müssen die Unternehmen der Stadtverwaltung mit modernen Technologien und dem dafür nötigen Denken und Handeln voranbringen. Die Elektrobusstrategie der VBZ ist ein gutes Beispiel dafür.»

Michael Baumer
Stadtrat und Vorsteher der
Industriellen Betriebe

Elektrische Antriebe haben in Zürich eine lange Tradition. Die Jubiläen von 125 Jahren elektrischem Trambetrieb (seit 1894) und 80 Jahren Trolleybus (seit 1939) fallen auf das Jahr 2019. Genau in diesem «elektrischen Jubiläumsjahr» bestellen die VBZ zum ersten Mal Batteriebusse,

die ab 2021 auf Zürcher Quartierbuslinien zum Einsatz kommen. Ausserdem verfolgen die VBZ und der Zürcher Verkehrsverbund (ZVV) die Umstellung der stark nachgefragten Linien 69 und 80 auf Trolleybusbetrieb. Erfreulicherweise hat dieses Vorhaben in das Agglomerationsprogramm des Bundes Eingang gefunden, wodurch die Finanzierung gesichert ist.

Für eine umweltfreundliche und stadtgerechte Mobilität braucht es aber noch mehr: Busse dürfen nicht im Stau stecken bleiben. Dafür braucht der ÖV eigene Spuren, eine intelligente Steuerung des Verkehrssystems und die dafür nötige Infrastruktur, auch in einem umkämpften Strassenraum. Die städtische Strategie «Stadtverkehr 2025» bündelt Massnahmen, um den Modalsplit weiter in Richtung der umweltfreundlichen Fortbewegungsmittel zu verschieben. Die Fahrgäste des ÖV sollen auch in Zukunft von schnellen, pünktlichen und komfortablen Verbindungen profitieren können. Nur so wird es gelingen, die Mobilität der wachsenden Stadt so zu bewältigen, dass wir ihre hohe Lebensqualität erhalten können.



In Kürze

Im Rahmen der Elektrobusstrategie «eBus VBZ» haben die Verkehrsbetriebe Zürich zwei temporär angemietete Batteriebusse im Linienbetrieb getestet. Die zwischen Oktober 2016 und November 2018 durchgeführten Probebetriebe sind eine zentrale Grundlage für die bevorstehende Beschaffung batteriebetriebener Quartier- und Standardbusse.

Die beiden «elektrischen Exoten» unterscheiden sich nicht nur im Aussehen von ihren dieselbetriebenen «Kollegen» – auch die geräuscharme und ruckfreie Beschleunigung fällt aufmerksamen Fahrgästen auf. Die Fahrerinnen und Fahrer überzeugt der sparsame und komfortable Elektroantrieb – und die Stadtbevölkerung freut sich über die leisen Fahrzeuge mit ihren abgasfreien Motoren.



«Öffentlicher Verkehr in der Stadt ist energieeffizient und platzsparend. Neben innovativen Antriebstechnologien braucht der ÖV vor allem eigene Spuren und Bevorzugungsmassnahmen – denn auch ein Elektrobus ist für unsere Fahrgäste nur dann attraktiv, wenn er nicht im Stau steht.»

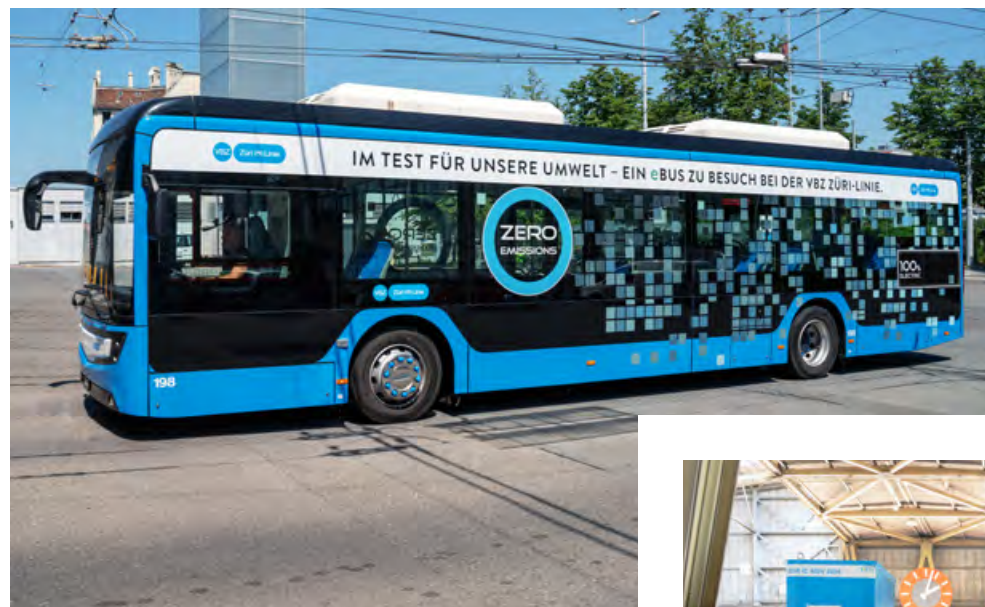
Dr. Guido Schoch
Direktor VBZ

Durch die Probebetriebe haben die VBZ in den vergangenen zwei Jahren umfangreiche Erfahrungen mit der Batteriebusstechnologie gewonnen. Die Energieverbrauchsdaten, die auf unterschiedlichen Linien, mit variierender Auslastung und bei verschiedenen klimatischen Bedingungen gesammelt wurden, dienen zur technischen Auslegung des zukünftigen Batteriebussystems. Die Erkenntnisse zur Praxistauglichkeit und zu betrieblichen, ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten bilden die Grundlage für die zukünftigen Einsatzkonzepte und Lade Strategien. Nicht zuletzt haben die Probebetriebe dazu beigetragen, den Nutzen für die Kundinnen und Kunden erlebbar und erfahrbar zu machen. Parallel dazu haben die VBZ eine Machbarkeitsstudie für die Garagen-Ladeinfrastruktur erarbeitet, die für den Betrieb einer Batteriebusflotte notwendig wird.



«Es ist erfreulich, dass die Elektromobilität im öffentlichen Verkehr zunimmt. Dazu gehören neben dem Ausbau der Trolleybusnetze auch die Batteriebus-Probefetriebe der VBZ. Dies ist ein klares Bekenntnis für das Interesse an dieser neuen Technologie als Alternative zu Fahrzeugen mit herkömmlichem Treibstoff.»

Carmen Walker Späh
Regierungsrätin und Volkswirtschafts-
direktorin des Kantons Zürich



Batteriebusse im Probefetrieb
bei den VBZ.

Der ZVV hat die Testbetriebe von Anfang an eng begleitet und in der Folge einen Grundsatzentscheid zur Beschaffung elektrischer Quartierbusse samt zugehöriger Ladeinfrastrukturen getroffen. Damit sollen die Zürcher Quartierbuslinien 35, 38, 39, 73 und 307 bis Ende 2021 auf elektrischen Betrieb umgestellt werden. Auch im Bereich der Standardbusse (d. h. zwölf Meter lange Busse ohne Gelenk) streben die VBZ und der ZVV eine Beschaffung erster Batteriefahrzeuge an, die voraussichtlich ab 2022 auf den Linien 66 und 78 zum Einsatz kommen werden.



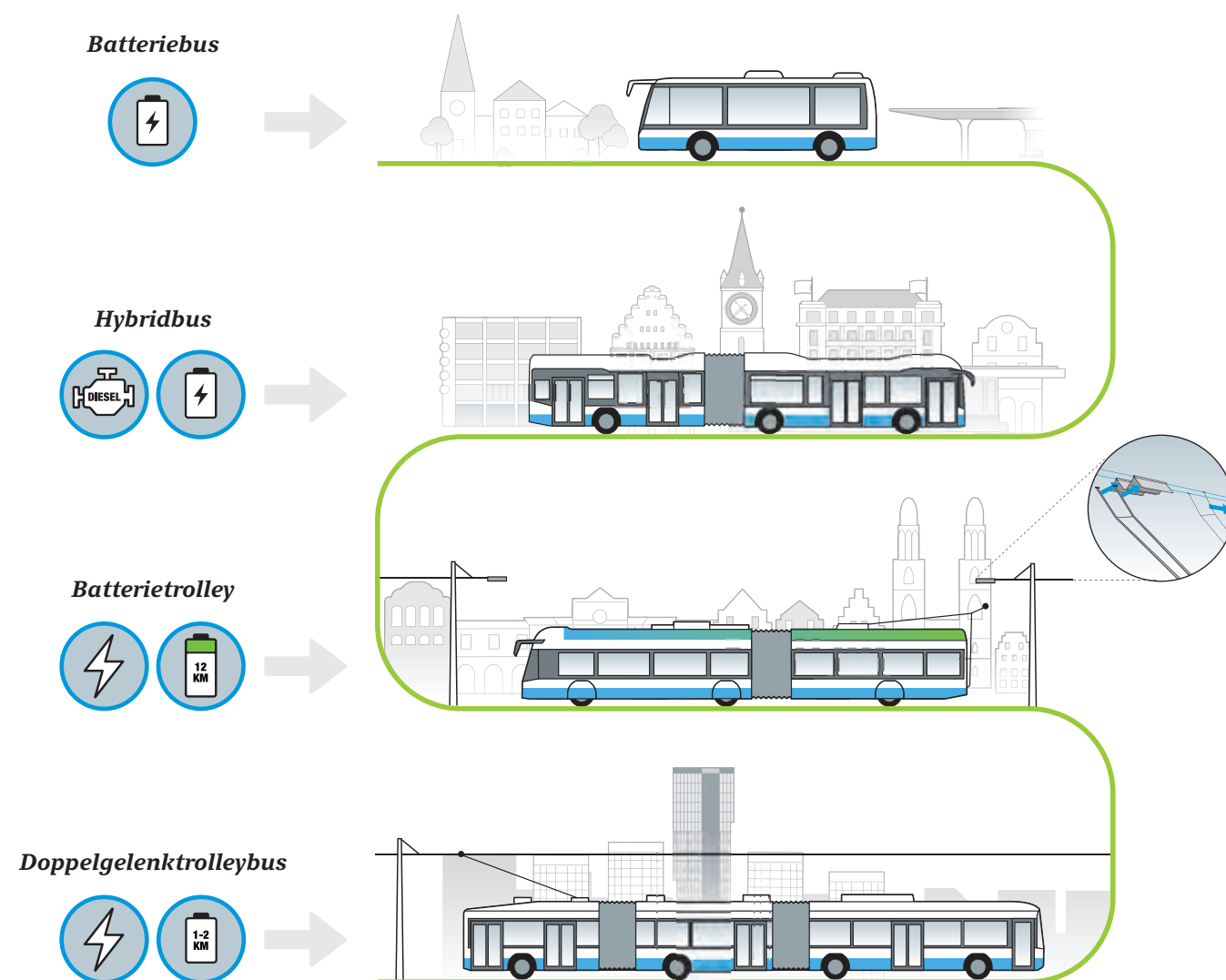
Die wichtigsten Erkenntnisse aus den Probefetrieben sind:

- Batteriebusse eignen sich grundsätzlich für den Linieneinsatz im Quartier- und Standardbusbereich bei den VBZ. In Abstimmung mit dem ZVV sollen deshalb bis Ende 2021 erste Quartierbuslinien auf Batteriebusse umgestellt werden.
- Beim Quartier- und Standardbus soll die Aufladung der Batterien aus wirtschaftlichen und betrieblichen Gründen schwerpunktmässig in den Busgaragen erfolgen. Dazu wird in einem ersten Schritt die Garage Hardau mit leistungsfähigen und modular erweiterbaren Stromversorgungs- und Ladeinfrastrukturen ausgerüstet. Die gesammelten Erfahrungen sollen in einem zweiten Schritt für eine Ausrüstung der Garage Hagenholz genutzt werden.
- Die Schnittstelle zwischen dem Fahrzeug und der Ladeinfrastruktur ist ein wichtiges Element, das sich in den Probefetrieben als kritisch erwiesen hat. Bei der Flottenbeschaffung muss ein robustes, standardisiertes und wartungsarmes Ladesystem gewählt werden, das die Aufladung verschiedener Busse – unabhängig vom Hersteller – mit äusserst hoher Zuverlässigkeit, Sicherheit und Verfügbarkeit garantiert.
- Die vorab getroffenen Annahmen zum Energieverbrauch und zur erforderlichen Antriebsleistung der Batteriebusse haben sich weitgehend bestätigt. Eine Reichweite von 150 km ist auf den Quartier- und Standardbuslinien der VBZ mit vernünftigen Batteriegrössen erreichbar.
- Kraftstoffbetriebene Zusatzheizungen für besonders kalte Tage sind vorerst noch erforderlich, da sich der hohe Energieverbrauch von Heizsystemen sehr stark auf die Batteriereichweite auswirken würde. Perspektivisch werden die Zusatzheizungen jedoch mit der Weiterentwicklung der Batterietechnologie und der zu erwartenden Effizienzsteigerung bei Heizungssystemen wegfallen.
- Um eine Batteriebusflotte zu betreiben, müssen intelligente Lademanagementsysteme eingeführt werden, damit die gesamthafte Anschlussleistung in der Garage in einem wirtschaftlichen Bereich gehalten werden kann. Dies erfordert eine intelligente Integration in die betriebstechnischen IT-Systeme.
- Neue Technologien und IT-Systeme treten auf den Markt. Eine bedarfsgerechte Einbindung der Batteriebusse in die betriebstechnischen IT-Systeme der Zukunft ist die Voraussetzung, um den Nutzen der Elektrifizierung voll ausschöpfen zu können.
- Da die Batteriereichweiten noch nicht für alle heutigen Fahrzeugumläufe ausreichen, müssen Einsatzkonzepte mit Ladereserven und zusätzlichen Aus- und Einfahrten der Busse vorgesehen werden. Dazu müssen in der Angebots- und Umlaufplanung zukünftig weitere Parameter berücksichtigt werden, wie z. B. die Batteriereichweite und die Dauer von Batterieladezyklen.
- Bei den Probefahrzeugen traten insgesamt nur wenige Störungen des Elektroantriebs und des Batteriesystems auf. Hingegen kam es teilweise zu Ausfällen und Störungen einzelner antriebsunabhängiger Komponenten (insb. Türen), die nicht immer sofort behoben werden konnten. Bei einer Serienbeschaffung müssen diese Komponenten deshalb den üblichen VBZ-Standards entsprechen und eine schnelle und einfache Wartung erlauben.
- Kundenumfragen haben gezeigt, dass die Fahrgäste die neue Technologie mehrheitlich positiv beurteilen und deren Vorteile deutlich wahrnehmen.
- Unter den heutigen Rahmenbedingungen ist eine Kostenneutralität von Elektrobusen gegenüber Dieselfahrzeugen noch nicht erreichbar. Bezogen auf die Linienerfolgsrechnung bewegen sich die Mehrkosten im einstelligen Prozentbereich.

Elektrobusstrategie «eBus VBZ»

Trams und Trolleybusse bewältigen heute rund 80 Prozent des Fahrgastaufkommens der VBZ – und dies mit vollständig erneuerbarem Strom.

Die verbleibenden, rund 150 Dieselflusse der VBZ haben im Jahr 2017 mehr als 14'700 Tonnen CO₂ emittiert. Zum Vergleich: Ein Flug von Zürich auf die Kanarischen Inseln und zurück verursacht Emissionen von rund einer Tonne CO₂ pro Person. Die Elektrobusstrategie «eBus VBZ» verfolgt deshalb das Ziel, die Dieselflusse bis 2030 weitgehend durch Fahrzeuge mit Elektroantrieb abzulösen. Damit sinkt der Energie- und Treibstoffverbrauch des öffentlichen Verkehrs deutlich und die Schadstoff-, Treibhausgas- und Lärmemissionen werden reduziert.



Bei der Umstellung der Dieselflusse auf elektrischen Antrieb müssen die Technologie und der Einsatzzweck jeweils optimal aufeinander abgestimmt sein. Die knapp 30 städtischen Buslinien unterscheiden sich nämlich stark voneinander. Auf Hochleistungsbuslinien (dichter Takt, hohe Nachfrage und grosse Fahrzeuge) ist der Trolleybus mit partieller Fahrleitungsinfrastruktur (als «Batterietrolley» mit dynamischer Ladung während der Fahrt) weiterhin das effizienteste und wirtschaftlichste Elektrifizierungskonzept. Dank kontinuierlicher Energiezuführung ab Fahrleitung stösst er im Linieneinsatz an keine Grenzen in puncto Reichweite und ist sehr energieeffizient.

Überdies profitiert auch der Trolleybus von der Batterietechnologie: Die VBZ haben bereits 2012 als eines der ersten Verkehrsunternehmen weltweit Trolleybusse mit Traktionsbatterien beschafft. Seit 2017 ist die gesamte Zürcher Trolleybusflotte mit Traktionsbatterien ausgerüstet und so in der Lage, kurze Teilstrecken flexibel ohne Fahrleitung zu befahren. So verkehren die Trolleybusse der Linien 33 und 72 zwischen Albisriederplatz und Hardplatz bereits planmässig im Batteriemodus. Baustellen können heute meist ohne temporäre Fahrleitungen überbrückt werden, solange die durchgängige Energieversorgung des Gesamtnetzes gewährleistet bleibt. Dienstfahrleitungen und komplexe Fahrleitungsknotenpunkte werden, wo betrieblich und wirtschaftlich sinnvoll, schrittweise vereinfacht. Damit bleibt das bewährte Fahrleitungsnetz der Trolleybusse auch zukünftig das Rückgrat der Elektrobusflotte in Zürich.

Mit dem Forschungsprojekt «SwissTrolley plus» wird dieser Ansatz konsequent weiterverfolgt. Dank einer leistungsfähigen Traktionsbatterie, sparsamen Heizungskonzepten und innovativen Energiesteuerungsalgorithmen werden die Flexibilität, Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit des Systems Trolleybus weiter erhöht. Der Trolleybus wird so zum Batteriebus, der



«Die Flexibilität und Wirtschaftlichkeit des Systems Trolleybus steigen durch die Entwicklungen in der Batterietechnologie erheblich. Die Fahrleitungsinfrastruktur kann so deutlich effizienter und kostengünstiger gestaltet werden. Unser Forschungsprojekt 'SwissTrolley plus' zeigt die Umsetzbarkeit und Zukunftsfähigkeit dieses Ansatzes in der Praxis sichtbar auf.»

Hans Konrad Bareiss
Leiter Unternehmensbereich Markt VBZ

seine Traktionsbatterien an der Fahrleitung auflädt. In naher Zukunft soll das Zürcher Trolleybusnetz deshalb mit einzelnen Fahrleitungsabschnitten auf Hochleistungslinien gezielt erweitert werden: Die VBZ und der ZVV planen, in einem nächsten Schritt die stark nachgefragten Buslinien 69 und 80 zur ETH Höggerberg auf Trolleybusbetrieb mit teilweiser Fahrleitungsinfrastruktur umzustellen.

Bei Buslinien mit einem dünnen Takt und kleineren Fahrzeugen (z. B. Quartier- und einige Standardbuslinien) ist die Situation eine ganz andere. Hier zeigt sich, dass es bei den spezifischen Einsatzmustern der VBZ meist wirtschaftlicher ist, Batteriebusse hauptsächlich in den Garagen aufzuladen, als Ladestationen oder Fahrleitungen auf der Strecke zu betreiben. Dies selbst dann, wenn die Busse während des Tages planmässig ausgetauscht werden müssen, weil die Reichweite der Batterien heute noch nicht mit den Tagesleistungen von Dieselflusen mithalten kann. Voraussetzungen dafür sind allerdings leistungsfähige Ladeinfrastrukturen in den Garagen sowie passende Betriebs- und Einsatzkonzepte.

Auch die seit 2017 im Einsatz stehenden Dieselfhybridbusse sind Teil der Elektrobusstrategie. Mit ihrem teil-

elektrischen Antriebsstrang sind sie in der Lage, Bremsenergie in einer Traktionsbatterie zurückzugewinnen und Anfahrvorgänge elektrisch zu unterstützen. Mit dieser flexibel einsetzbaren Brückentechnologie werden bereits erhebliche Treibstoff-, Schadstoff- und Lärmsparungen erreicht, von denen neben den Fahrgästen auch Anwohnende und die Umwelt profitieren.

Auf diesem Weg wollen die VBZ auch die Weiterentwicklungen innerhalb der Hybridtechnologie gezielt nutzen. So werden die VBZ bereits ab Mitte 2019 erste eHybridbusse in Betrieb nehmen, die nicht nur ihre Bremsenergie zurückgewinnen können, sondern zusätzlich über die Möglichkeit verfügen, die Batterie

extern mit elektrischer Energie aufzuladen. Dadurch kann der Anteil elektrisch gefahrener Kilometer gegenüber konventionellen Hybridbussen noch einmal deutlich erhöht werden, was entsprechende Energie- und Emissionseinsparungen mit sich bringt. Die universelle Einsetzbarkeit von Hybrid- und eHybridbussen stellt ausserdem auch mittelfristig genug Flexibilität im Betrieb sicher, z. B. für Trainersatz- und Sonderverkehre.

Weiterführende Informationen zur Elektrobusstrategie der VBZ:
www.vbz.ch/zukunft



«Wir blicken 2019 bereits auf 80 Jahre Trolleybusbetrieb in Zürich zurück. Der Einsatz batteriebetriebener Busse ist jedoch neu. Mit den Probefahrten haben wir uns gründlich auf diese neue Technologie vorbereitet. Dies ist Teil einer ganzheitlichen Elektrobusstrategie, die von den unterschiedlichen Charakteristiken der Buslinien ausgeht.»

David Sorg
 Projektleiter Marktentwicklung VBZ
 und Strategie «eBus VBZ»



Batteriebusse – eine neue Welt

Im Oktober 2016 fand auf Zürichs Strassen eine Premiere statt: Zum ersten Mal stand in der Limmatstadt ein batteriebetriebener Quartierbus probe-weise im öffentlichen Linieneinsatz.

Zwischen Mai und November 2018 haben die VBZ einen weiteren Batteriebus getestet, um auf möglichst vielen Linien und zu verschiedenen Jahreszeiten Verbrauchsdaten zu sammeln.



«Wir haben in den Probetrieben detailliert untersucht, wie viel Energie die Busse auf einzelnen Linienabschnitten und unter unterschiedlichen Bedingungen benötigen. Dies kann je nach Jahreszeit, Topographie und Anzahl Fahrgästen stark schwanken. Wir wollen unsere bevorstehenden Elektrobusbeschaffungen auf repräsentative, langfristige und verlässliche Daten stützen – deshalb haben wir den Quartier-eBus für zwei Jahre gemietet. Auch der elektrische Standardbus stand ein halbes Jahr bei uns im Einsatz.»

Christian Böckmann
Fachleiter Fahrzeugmanagement VBZ und
Projektleiter Batteriebus-Probetriebe

Bilanz
Quartier-
eBus

25'000
Liter
Treibstoff
eingespart

120'000
kWh
weniger verbrauchte
Primärenergie
als ein vergleichbarer
Dieselbus

91
Tonnen
CO₂
vermieden

2,5
kg
Partikel-
masse
eingespart

Probetrieb
Oktober 2016 –
August 2018

60'000
km
zurückgelegt

150'000
Passagiere
befördert

97
kg
NO_x
vermieden

Wozu Probetriebe?

Im weltweiten Massstab sind Batteriebusse inzwischen etabliert. Insbesondere in China sind bereits heute zehntausende Batteriebusse unterwegs. Auch in Europa gibt es Städte, die solche Busse bereits im grossen Stil beschafft haben. Die VBZ und der ZVV sind dennoch überzeugt, dass eine gründliche vorherige Erprobung für eine erfolgreiche Beschaffung von Batteriebusen entscheidend ist. Nur so können praktische Erfahrungen mit der neuen Technologie gesammelt und wichtige Fragen im Realbetrieb geklärt werden:

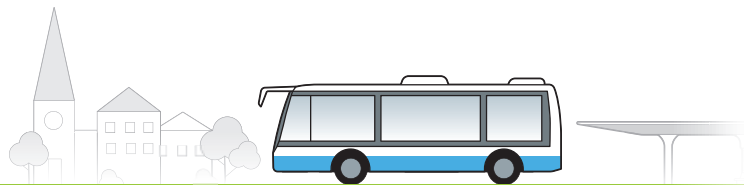
- Wie zuverlässig sind Batteriebusse im Linieneinsatz?
- Welche Energieverbräuche treten in der Praxis, auf unterschiedlichen Strecken, mit variierender Auslastung und unter verschiedenen Einsatzbedingungen auf?
- Wie viel Energie benötigt der Antrieb, wie viel die einzelnen Nebenverbraucher?
- Wie gross muss die Batteriereichweite sein, um einen möglichst wirtschaftlichen Einsatz zu gestatten? Welche Batteriegrössen und -typen sind dafür notwendig?
- Wie müssen die Umläufe definiert sein, damit die Batteriereichweite optimal ausgenützt wird?
- Wie viel Antriebsleistung wird benötigt, damit der Fahrplan eingehalten werden kann?
- Welche Heiz- und Klimatisierungskonzepte müssen gewählt werden? Sind vollelektrische Heizkonzepte bei Batteriebussen möglich, sinnvoll und wirtschaftlich?
- Wie lange dauert das Nachladen einer Batterie unter verschiedenen Bedingungen?
- Welche Ladekonzepte sind praktikabel? Ist die Aufladung über eine Steckerverbindung über längere Zeit störungsfrei und zuverlässig?
- Was gilt es beim Ladevorgang zu beachten? Welche Ladeleistung ist notwendig? Wie funktioniert das Balancing der Batterien?
- Wie gestaltet sich die Wartung von Batteriebusen in der Praxis? Welche Herausforderungen treten dabei auf?
- Welche Anforderungen ergeben sich aus der neuen Antriebstechnologie an den Fahrdienst?
- Sind Betriebskonzepte mit reichweitenbedingtem, planmässigem Fahrzeugtausch und ausschliesslicher Aufladung in der Garage praktikabel?
- Wie reagieren die Kundinnen und Kunden auf die neue Technologie?
- Welche Anpassungen der IT-Systeme sind zum Betrieb von Batteriebussen notwendig?

Die Probefahrzeuge

Quartier-eBus SOR EBN 8

Der für zwei Jahre gemietete, acht Meter lange Quartier-eBus EBN 8 ist ein Produkt des tschechischen Fahrzeugherstellers SOR. Der wendige Midibus mit 16 Sitz- und 20 Stehplätzen eignet sich für Quartierbuslinien und verfügt laut Herstellerangaben über eine Reichweite von 120-180 Kilometern. Ausgangspunkt des Probebetriebs war im Oktober 2016 zuerst die VBZ-Busgarage Hardau, später die Garage Hagenholz. Das Fahrzeug wurde – mit Ausnahme der weit vom Standort Hagenholz entfernten Linie 73 – auf allen Quartierbuslinien der VBZ eingesetzt.

Dank des 120 kW starken Elektroantriebs mit Asynchronmotoren von Cegelec bekundete das Fahrzeug auch auf den steigungsreichen Strecken der Linien 38 und 39 keine Mühe, die vorgegebenen Fahrplanzeiten einzuhalten. Die Kapazität der im Heck eingebauten Lithium-Ionen-Batterie beträgt 172 kWh. Das Fahrzeug verfügt über eine Lüftung, Klimaanlage und kraftstoffbetriebene Zusatzheizung. Die Aufladung erfolgte ausschliesslich über ein in der Garage stationiertes Ladegerät mit einer Kabelverbindung.

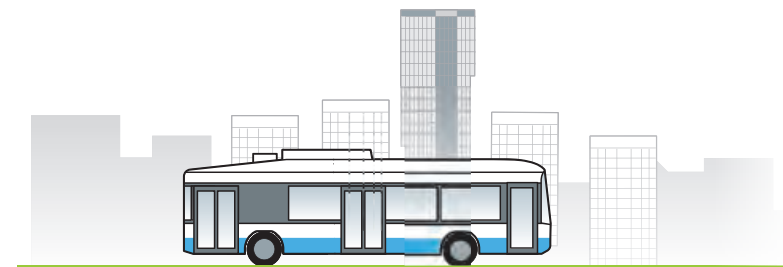


Probebetrieb Oktober 2016 August 2018	Reichweite 120–180 km	Sitzplätze 16	Länge 8 Meter
Kapazität Lithium-Ionen- Batterie 172 kWh	120 kW Elektroantrieb mit Asynchron- motoren	Stehplätze 20	Rollstuhl- platz 1

Standard-eBus Caetano e.City Gold

Der zwölf Meter lange, batteriebetriebene Standard-eBus vom Typ e.City Gold ist im Cobolt-Verfahren der Schweizer Carrosserie Hess AG aufgebaut und wird vom portugiesischen Bushersteller Caetano in Lizenz gebaut. Der dreitürige Bus verfügt über 35 Sitz- und 43 Stehplätze sowie einen Rollstuhlplatz. Eingesetzt wurde das Fahrzeug aus der Garage Hardau, wo die Aufladung mit einem Ladegerät des Herstellers Siemens erfolgte.

Der Bus wird durch einen Permanentmagnet-Synchronmotor mit einer Leistung von 160 kW angetrieben. Die Batteriekapazität beträgt 150 kWh, ausserdem verfügt das Fahrzeug über eine kraftstoffbetriebene Zusatzheizung sowie eine Klimaanlage. Der halbjährige Probebetrieb umfasste Einsätze auf den Linien 37, 66, 67, 76, 77 und 78. Im August und September 2018 verkehrte das Testfahrzeug leihweise für einen Monat bei Postauto in Frauenfeld.



Probebetrieb Mai 2018 November 2018	Reichweite 100–120 km	Sitzplätze 35	Länge 12 Meter
Kapazität Lithium-Ionen- Batterie 150 kWh	160 kW Elektroantrieb mit Permanentmagnet- Synchronmotor	Stehplätze 43	Rollstuhl- platz 1

Kundinnen und Kunden

Die Fahrgäste der VBZ sollen von zeitgemässen und attraktiven Dienstleistungen profitieren.

Dazu zählen neben einer sicheren, zuverlässigen und pünktlichen Fahrt auch moderne, umweltfreundliche und leise Fahrzeuge, die der Vorreiterrolle des öffentlichen Verkehrs in punkto Energieeffizienz und Umweltverträglichkeit gerecht werden.

Insbesondere die Quartier- und Standardbusse verkehren in Zürich oft in dicht besiedelten und verkehrsarmen Wohngebieten, die in Bezug auf Lärm- und Schadstoffemissionen besonders sensibel sind. Der Einsatz sauberer und leiser Busse ist hier besonders wichtig und stellt für die Kundinnen und Kunden sowie für Anwohnende, Stadtbevölkerung und Besuchende einen grossen Mehrwert dar.

«Mit Wehmut denke ich an die schöne Probezeit des eBusses zurück. Als Anwohner der stark befahrenen Michelstrasse war ich froh um dieses leise Surren – eine schöne Abwechslung zum lauten Schnauben des «normalen» 38er's. Von daher wäre es wünschenswert, diesen eBus (oder generell einen eBus) auf dieser Linie anzutreffen.»

Simon
Online-Kommentar

Kurzfristig brachten die Probetriebe aber auch Einschränkungen für die Kundinnen und Kunden mit sich. Die Kritik der Kundinnen und Kunden bezog sich hauptsächlich auf die Ausstattung der Probefahrzeuge, die nicht durchgehend den gewohnten VBZ-Standards entsprach. Dies insbesondere bei den Türen, Haltewunschtastern, Festhaltungsmöglichkeiten und der Zugänglichkeit der Sitze. Beim Probefahrzeug SOR wurde auf den nachfragestärksten Quartierbuslinien 38, 40 und 64 ausserdem das eingeschränkte Platzangebot im Vergleich zu den sonst eingesetzten, etwas grösseren Diesel-Midibussen bemängelt.

Dialog mit Fahrgästen und Öffentlichkeit

Um eine breite Akzeptanz für die Probetriebe zu schaffen, wurden Fahrgäste, Politik und Öffentlichkeit von Anfang an einbezogen. Zu Beginn des Quartierbus-Probetriebs wurde das Fahrzeug an einer Medienkonferenz der Öffentlichkeit vorgestellt. In den Fahrzeugen und an den Haltestellen wurde mit Plakaten auf den Probetrieb hingewiesen; ausserdem wurden interessierte Fahrgäste über Social Media und die Servicestelle «ZVV Contact» laufend über den aktuellen Linieneinsatz der eBusse informiert.

Insgesamt stiessen die Probetriebe auf ein grosses öffentliches, politisches und mediales Interesse, was sich auch in zahlreichen Berichten in Print- und Online-medien, Radio und Fernsehen niederschlug.

«Wieso soll denn ein eBus weniger Komfort bieten? Wäre doch super, wenn die lärmenden Dinger wegkommen. Schon das bietet einen Mehrwert für alle Leute, die an einer Buslinie wohnen.»

Onkel Thom
Online-Kommentar



Beide Fahrzeuge wurden zwischenzeitlich auch auf Veranstaltungen und leihweise bei anderen Verkehrsbetrieben eingesetzt. Damit ist es gelungen, das Interesse von Fahrgästen und Bevölkerung für elektrische Busantriebe zu wecken, was sich in vielen zustimmenden Rückmeldungen widerspiegelte.

Im Frühling 2017 wurden auf den Quartierbuslinien 40 und 64 Kundenbefragungen durchgeführt. Besonders positiv äusserten sich die Fahrgäste zum Geräuschpegel und zur innovativen Antriebstechnologie insgesamt. Erfreulicherweise beurteilten die Fahrgäste im Elektrobus auch Fragen zur subjektiven, allgemeinen Bewertung der Innovationskraft und Umweltfreundlichkeit der VBZ durchgehend besser als in einem parallel verkehrenden Dieselbus.

eLEKTRISIEREND

Alfred Gugelmann · 17 days ago

Eine kurze Bergauffahrt am Dienstagabend 21.3. mit der Linie 39 überzeugte durchaus. Die sanfte und doch kräftige ruckfreie Traktion, auch auf dieser relativ steilen und kurvigen Strecke, zeugen von einer guten Auslegung. Elektronik, Motor und Getriebe blieben leise und dürften den Anwohnern und Passagieren sehr willkommen sein.

Vereinheitlichung der Quartierbusflotte

Heute besteht die VBZ-Quartierbusflotte aus Kleinbussen vom Typ Mercedes Sprinter und aus Midibussen vom Typ MAN A35. Die Kleinbusse werden bei den VBZ regulär nur noch auf den Linien 39 und 73 eingesetzt. Die auf der Quartierbuslinie 91 in Witikon eingesetzten Kleinbusse werden von einem Transportbeauftragten betrieben. Aus wirtschaftlichen Gründen streben die VBZ im Zuge der Elektrifizierung eine Vereinheitlichung der Quartierbusflotte an. Dies wird möglich, da die Unterschiede zwischen Klein- und Midibussen hinsichtlich Treibstoffverbrauch und Lärmemissionen bei elektrischen Fahrzeugen deutlich weniger stark ins Gewicht fallen als bei den heutigen Dieselnbussen. Um auf allen Linien weiterhin ein ausreichendes Platzangebot bereitstellen zu können, werden die neuen Quartierbusse einheitlich in der Grössenordnung der heutigen Midibusse beschafft.



Der erfolgreiche Testeinsatz des Probefahrzeugs SOR auf der Linie 39 am Zürichberg hat gezeigt, dass eine Umstellung dieser anspruchsvollen Kleinbuslinie auf Midibusse möglich ist. Der getestete Elektrobus ist mit 2,53 Metern deutlich breiter als die heutigen Kleinbusse und entspricht hinsichtlich der Fahrgeometrie einem Midibus. Obwohl der Linienfahrweg während des Testbetriebs durch Baustellen zusätzlich eingeengt war, hat das Probefahrzeug SOR den Fahrplan auf der Linie 39 insgesamt sogar besser einhalten können als die heutigen Diesel-Kleinbusse. Dies dürfte insbesondere auf den leistungsstarken Elektroantrieb zurückzuführen sein, der auf der Bergstrecke besonders von Vorteil ist.

«In ein paar Jahren kommen immer bessere Lösungen auf den Markt, gemäss dem Motto: Das Gipfeli von heute ist morgen schon von gestern. Der Einstieg mit einem Versuchsbus macht durchaus Sinn.»

Jürgen Baumann
Online-Kommentar



Ökologie

In der Stadt Zürich wurden 2008 die Ziele der «2000-Watt-Gesellschaft» per Volksabstimmung beschlossen. Diese in der Gemeindeordnung verankerte Strategie verlangt eine drastische Reduktion von Primärenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen.

Auch die Energiestrategie 2050 des Bundes verlangt Massnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs und zur vermehrten Nutzung erneuerbarer Energien. Dazu sind auch Massnahmen im Mobilitätssektor notwendig, die – wie etwa die Umstellung der Linien 69 und 80 auf Trolleybusbetrieb – im Aktionsplan «Stadtverkehr 2025» aufgeführt sind. Die ZVV-Strategie 2018-2021 legt die Schwerpunkte im Umweltbereich ebenfalls auf eine energieeffiziente Leistungserbringung und auf eine Verminderung des Luftschadstoffausstosses. Sie hält fest, dass marktreife und wirtschaftlich sinnvolle Alternativen zu konventionellen Dieselbussen unterstützt werden sollen.

Energieeffizienz und Schadstoffeinsparungen

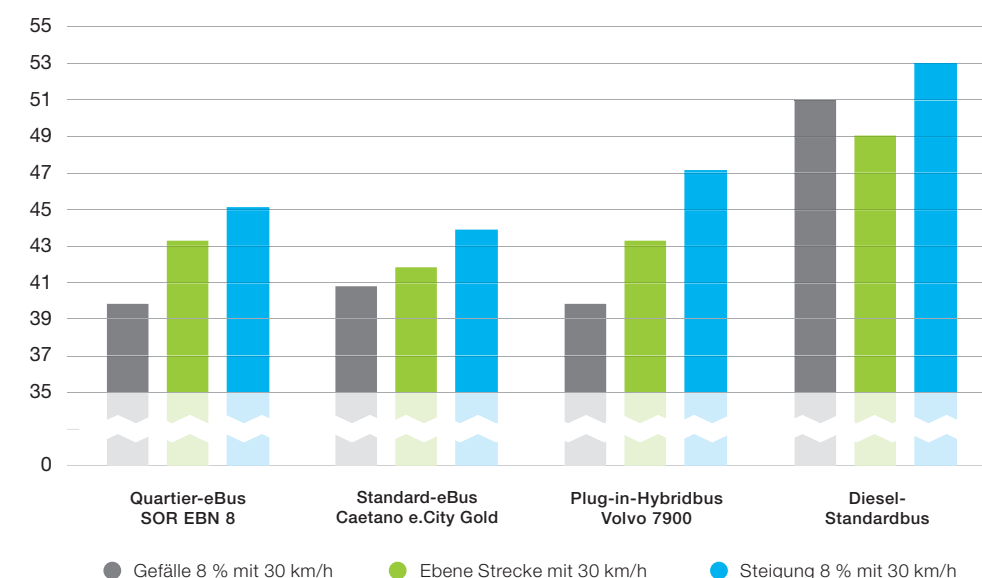
Elektrisch angetriebene Fahrzeuge zeichnen sich durch eine hohe Energieeffizienz und einen minimalen Ausstoss an Luftschadstoffen aus. Die Vorteile des elektrischen Antriebs tragen also direkt dazu bei, die politischen Zielsetzungen beim Energieverbrauch und bei den Schadstoff- und Treibhausgasemissionen zu erreichen. Alleine im Probebetrieb mit dem Quartier-eBus wurden ca. 25'000 Liter Treibstoff eingespart sowie 97 kg NO_x, 2,5 kg PM (Partikelmasse) und 91 Tonnen CO₂ weniger ausgestossen.



Nächtliche Geräuschmessfahrten mit den Probefahrzeugen

Geräuschemissionen von Diesel- und Elektrobussen

in Leq/h in 1 m zur Achse in dB(A) – eigene Messung VBZ



Die heute aus 11 Midi- und 3 Kleinbussen bestehende Quartierbusflotte hat im Jahr 2016 bei 930'000 km Linieneinsatz rund 355'000 Liter Diesel verbraucht. Dies entspricht CO₂-Emissionen von rund 884'000 kg pro Jahr, die mit dem Einsatz elektrischer Quartierbusse und dem CO₂-freien Strommix der VBZ zukünftig weitgehend eliminiert werden. Ein geringer Restbetrag verbleibt durch die reichweitenbedingt notwendigen Zusatzheizungen der Fahrzeuge.

Bei einer Steigung von 8 Prozent fällt der Vorteil des Elektromotors noch stärker ins Gewicht: Hier lagen die Emissionen des elektrischen Standardbusses bei der Bergfahrt um 9 dB(A) und bei der Talfahrt um 10 dB(A) tiefer als beim Dieselbus. Dabei ist zu berücksichtigen, dass bereits eine Abnahme um 3 dB(A) einer Halbierung des Schalldruckpegels entspricht, während das menschliche Ohr eine Veränderung von 5 bis 10 dB(A) deutlich wahrnimmt.

Reduktion von Lärmemissionen

In Zusammenarbeit mit dem Umwelt- und Gesundheitsschutz der Stadt Zürich (UGZ) wurden in den Probebetrieben auch begleitende Lärmmessungen durchgeführt. Die Messwerte wurden so erhoben, dass sie in das Berechnungsmodell sonROAD18 der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA) integriert werden können.

Bei den Messungen auf ebener Strecke lagen die Geräuschemissionen der untersuchten Elektrobusse je nach Geschwindigkeit zwischen 3 und 7 dB(A) tiefer als diejenigen von entsprechenden Dieselbussen.

Dies zeigt, dass Elektrobusse besonders im tiefen Geschwindigkeitsbereich und auf Steigungsstrecken ein hohes Potenzial für die Reduktion von Geräuschemissionen aufweisen, da hier vor allem das Antriebsgeräusch massgebend ist. Dies kommt insbesondere im innerstädtischen Bereich, in Quartieren mit einer anspruchsvollen Topographie sowie bei Abfahrten nach Haltestellen und Lichtsignalen zum Tragen.



IM TEST FÜR UNSERE UMWELT - EIN eBUS ZU BESUCH BEI DER VBZ ZÜRI-LINIE.



198

198

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Umstellung der Quartier- und Standardbusflotte auf elektrische Antriebe führt zu Veränderungen bei der Wirtschaftlichkeit über den gesamten Fahrzeuglebenszyklus.

Höhere Fahrzeugbeschaffungskosten und neu zu erstellende Infrastrukturen für die Aufladung der Batterien stehen den Einsparungen durch deutlich geringere Energiekosten und einem geringeren Verschleiss gegenüber. Da ein langfristig funktionierender öffentlicher Verkehr möglichst wirtschaftlich sein muss, spielt ein angemessenes Verhältnis zwischen Kosten und Nutzen für die VBZ und den ZVV eine zentrale Rolle bei der Elektrifizierung der Busflotte.

Wirtschaftlichkeitsrechnungen für die Quartier- und Standardbusflotte der VBZ zeigen, dass die Mehrkosten gegenüber dem Dieselbusbetrieb im einstelligen Prozentbereich liegen dürften, wenn man sie auf die Linienerfolgsrechnung bezieht. Beim Standardbus sind die prozentualen Mehrkosten tendenziell geringer als beim Quartierbus, da hier auf zahlreichen Linien Verstärkerfahrzeuge in den Hauptverkehrszeiten im Einsatz sind, die bereits mit den heutigen Batteriereichweiten ohne zusätzliche «Ladereserven» durch Elektrobusse ersetzt werden können.

Abhängigkeit von Energie-, Fahrzeug- und Batteriekosten

Der mit Abstand grösste Einflussfaktor auf die Wirtschaftlichkeit von Batteriebussen ist der Energiepreis. Die Strom- und Dieselpreise hängen, neben dem Marktgeschehen, auch stark von politischen Festlegungen und Anreizsystemen ab. Deshalb hat die Gestaltung dieser Marktmechanismen, wie etwa die Treibstoffzollrückerstattung beim Diesel, einen wesentlichen Einfluss auf den Markterfolg von Elektrobussen. Dies betrifft alle schweizerischen Verkehrsbetriebe in ähnlicher Weise und sollte auf unterschiedlichen politischen Ebenen angegangen werden.

Ausserdem ist die politische Verpflichtung zur ausschliesslichen Verwendung von erneuerbarem Strom zwar aus ökologischer Sicht sinnvoll und gerechtfertigt, schafft aber einen gravierenden wirtschaftlichen Fehlanreiz zulasten elektrischer Busse, solange die Verkehrsunternehmen bzw. die Verkehrsverbünde selber dafür aufkommen müssen. Eine Möglichkeit, solche Fehlanreize zu korrigieren, wären Förderprogramme, wie sie aktuell vom Verband öffentlicher Verkehr (VÖV) und vom Schweizerischen Städteverband gefordert werden; diese sind in anderen Ländern teilweise bereits deutlich weiter verbreitet. Die VBZ engagieren sich in der Gruppe «Bus der Zukunft» und über die einschlägigen Fachkommissionen des VÖV für einen vertieften Erfahrungsaustausch und gemeinsame Anstrengungen in der Branche.

Die Wirtschaftlichkeit wird ausserdem massgeblich durch die Fahrzeug- und Batteriepreise bestimmt, für die mit zunehmenden Mengen in Zukunft eine sinkende Entwicklung erwartet wird. Die VBZ haben als einziges Schweizer Verkehrsunternehmen an der Elektrobus-Beschaffungsinitiative des Verbandes Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) teilgenommen, um den Markthochlauf dieser Technologie durch die Bündelung der Aktivitäten verschiedener Nahverkehrsunternehmen zu beschleunigen. Perspektivisch darf so eine Annäherung der Wirtschaftlichkeit von Elektrobussen an jene von Dieselbussen erwartet werden.

Ladekonzepte

Theoretische Überlegungen in der Vorbereitung der Probetriebe haben gezeigt, dass die Aufladung der elektrischen Quartier- und Standardbusse unter den spezifischen Verhältnissen der VBZ aus wirtschaftlichen und betrieblichen Gründen ausschliesslich in der Garage erfolgen sollte. Insbesondere bei den VBZ-Quartierbuslinien scheiden Strecken-Ladestationen aus, da diese Linien meist in einem weniger dichten Takt verkehren und solche Ladeinfrastrukturen somit

schlecht ausgelastet und unwirtschaftlich wären. Ausserdem würden die kurzen Wendezeiten an den Endhaltestellen ohnehin meist keine ausreichende Nachladung erlauben, selbst wenn sehr hohe (und damit teure) Ladeleistungen installiert würden.

Die heute verfügbaren Batteriegrössen gestatten allerdings bei Garagenlader-Fahrzeugen noch keine ausreichenden Reichweiten, um ganze Tagesleistungen auf sämtlichen VBZ-Buslinien abzudecken. Diese betragen teilweise über 300 km pro Tag und Fahrzeug. Dadurch entsteht die Notwendigkeit, zusätzliche Fahrzeuge als «Ladereserven» zu beschaffen. Im Vergleich zu einem Betrieb mit Dieselfahrzeugen resultiert also ein Fahrzeugmehrbedarf, der durch eine möglichst geschickte Einsatzplanung über das ganze Flottensegment minimiert wird. Ausserdem sind zusätzliche Ein- und Ausrückfahrten notwendig, wenn die Fahrzeuge tagsüber planmässig auf der Linie ausgetauscht werden müssen. In der Umlaufplanung wird angestrebt, diese Fahrten weitestgehend mit den Dienstablösungen zu kombinieren, damit möglichst keine zusätzlichen Personalkosten entstehen.

Technische Erkenntnisse

Inbetriebnahme

Die beiden Probefahrzeuge waren nur für eine gewisse Zeit bei den VBZ im Einsatz und unterschieden sich als Einzelstücke deutlich von der restlichen Busflotte. Dennoch mussten sie für einen regulären Linienbetrieb mit zahlreichen VBZ-Komponenten wie Leitsystem-Anbindung, Fahrgast-Informationssystem, Fahrschein-Entwertern und passenden Zielanzeigen ausgestattet werden. Um die Probefahrzeuge für die Kundinnen und Kunden erkenntlich zu machen, wurden die Fahrzeuge mit einer speziellen Aussengestaltung versehen. Die Heckfläche des Quartierbusses wurde als thematisch passende Werbefläche an das ewz vermietet. Zusätzlich wurden beim Quartierbus Datenlogger eingebaut, um die Verbrauchsdaten zu erheben. Der Inbetriebnahme des gesamten Systems (eBus und Ladestation) kommt eine hohe Bedeutung zu. Dazu zählt die Integration des Fahrzeugs in die bestehenden Prozesse und Systeme der Bereiche Fahrzeugbereitstellung,



Inbetriebnahme Standard-eBus Caetano e.City Gold

Instandhaltung, Werkstatt, Fahrbetrieb, Betriebsüberwachung und Störungsmanagement. Mit eigens erstellten Schulungsunterlagen wurde das Fahrpersonal in die Besonderheiten der Fahrzeuge eingewiesen. Fahrdienst-Coaches, Leitstellen-Mitarbeitende und die mobilen ServiceleiterInnen wurden durch Spezialisten der Fahrzeughersteller geschult.

Die grösste technische Herausforderung bei der Inbetriebnahme bestand jedoch in der Abstimmung der Ladeinfrastruktur auf das Fahrzeug. Bei beiden Fahrzeugen verzögerte sich die Betriebsaufnahme aufgrund von Softwareproblemen im Zusammenspiel von Ladestation und Fahrzeug, die sehr aufwändig zu beheben waren. Dies führte in den ersten Betriebswochen bei beiden Fahrzeugen zu langen Ausfällen und einer tiefen Verfügbarkeit, die jedoch in der Folge deutlich gesteigert werden konnte.

Als besonders knifflig erwies sich ausserdem die Türsteuerung, die ein anderes Handling als in den gewohnten VBZ-Fahrzeugen erfordert. So ist beim Quartierbus keine Wartesaalschaltung eingebaut und der Standardbus verfügt aussen über keine Türdrücker für die Fahrgäste.



«Der eAntrieb lief zuverlässig, mit der Ladeinfrastruktur gab es hingegen einige Hürden. So mussten wir gleich zu Beginn des Probetriebs mit dem Quartier-eBus aufgrund eines defekten Pins im Spezialstecker einen längeren Ausfall hinnehmen. Die Beschaffung eines passenden Ersatzsteckers beanspruchte viel Zeit.»

Christian Böckmann
Fachleiter Fahrzeugmanagement VBZ und
Projektleiter Batteriebus-Probefahrzeuge

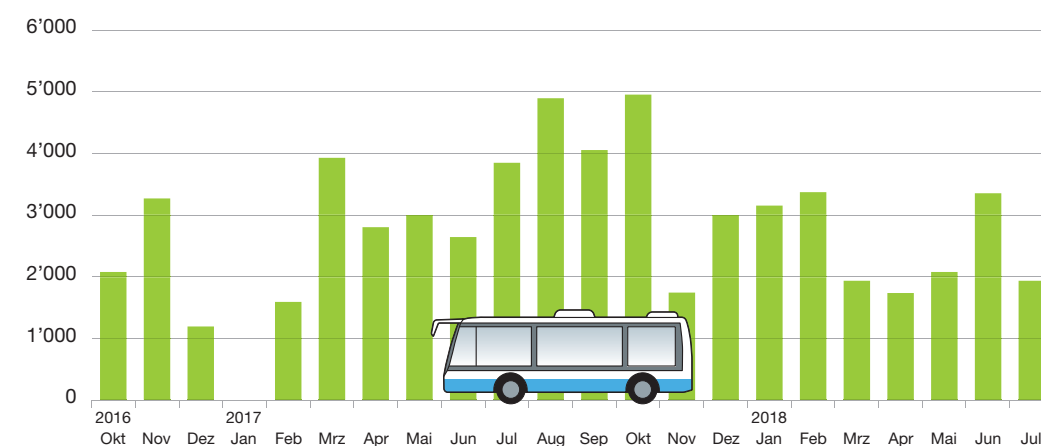
Laufleistung

Ein direkter Vergleich der Laufleistungsdaten der Probefahrzeuge mit konventionellen Dieselnbussen wäre nicht zielführend, da in den Testbetrieben eigene, auf die Projektziele ausgerichtete Umlauf- und Einsatzpläne erstellt wurden. So war die Einsatzplanung vor allem auf die Verbrauchsmessungen ausgerichtet und nicht auf eine möglichst hohe, gesamthafte Laufleistung. Durch den geplanten Wechsel zwischen den Linien ergaben sich teilweise auch Einsatzpausen, die in einem regulären Linienbetrieb nicht vorkommen.

Für die Probefahrzeuge wurden jeweils eigene Umlaufpläne erstellt, die auf die Batteriereichweiten Rücksicht nehmen und gleichzeitig auf die bestehende Einsatz- und Dienstplanung der VBZ abgestimmt sind. Dennoch erreichte der Quartier-eBus SOR EBN 8 zwischen Oktober 2016 und Juli 2018 über 60'000 Kilometer Laufleistung. Auch das Probefahrzeug Caetano legte alleine im Juli 2018 fast 2'500 Kilometer zurück.

Laufleistung – Quartier-eBus SOR EBN 8

in km



Verfügbarkeit

Linienbusse sind im Einsatz stark gefordert und müssen über ihre gesamte Lebensdauer eine sehr hohe Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit erreichen. Dies kann bei einem Probetrieb nicht im gleichen Umfang erwartet werden, da es sich um eine zeitlich begrenzte Erprobung neuer Technologien und um Einzelfahrzeuge handelt, die nicht dem Flottenstandard entsprechen. Erfreulicherweise pendelten sich die Störungen beim Antrieb, bei der Batterie und beim Ladevorgang nach der Inbetriebnahmephase auf einem sehr tiefen Niveau ein und waren vergleichbar mit den Antriebsstörungen bei konventionellen Dieselnissen.

Verbleibende Ausfälle und störungsbedingte Verspätungen waren meist nicht der Antriebstechnologie anzulasten, sondern hatten folgende Gründe:

- Da die Probefahrzeuge Einzelstücke sind, konnten sie mit den vorhandenen Ersatzteilen nicht immer sofort repariert werden. Wenn Störungen an Komponenten auftraten (Fahrzielanzeigen, Türsystem, Heizung, Starterbatterie etc.), dauerte die Reparatur meist deutlich länger als bei den Flottenfahrzeugen.
- Während der Probetriebe lag der Unterhalt der Fahrzeuge vertraglich beim Vermieter. Aufgrund teilweise langer Reaktionszeiten bei den After-Sales-Prozessen der Vermieter, entstanden mitunter lange Durchlaufzeiten bei Fahrzeugstörungen, die nicht an der Fahrzeugtechnik lagen, sondern organisatorische Ursachen hatten. In einigen Fällen mussten ausserdem die ausländischen Hersteller der Fahrzeuge und der Ladegeräte einbezogen werden, was zu längeren Ausfallzeiten führte.

- Aus wirtschaftlichen Gründen waren bei den Probefahrzeugen nur rudimentäre bauliche Anpassungen an die üblichen VBZ-Standards möglich. Da ihre Ausstattung somit vom Flottenstandard abwich, resultierten in Einzelfällen Unsicherheiten in der korrekten Bedienung durch Fahrpersonal und Fahrgäste, die im schlechtesten Fall zu Störungen und Fahrzeugausfällen führten. Beim Probefahrzeug SOR traten zu Beginn einige Fahrtausfälle auf, weil der Deckel des Ladesteckers nicht richtig geschlossen wurde und das Fahrzeug dadurch nicht gestartet werden konnte. Auch für die Leitstelle und die Serviceleiter, die normalerweise bei Störungen an den Flottenfahrzeugen über Funk Hilfe leisten können, waren die Probefahrzeuge weitgehend Neuland.



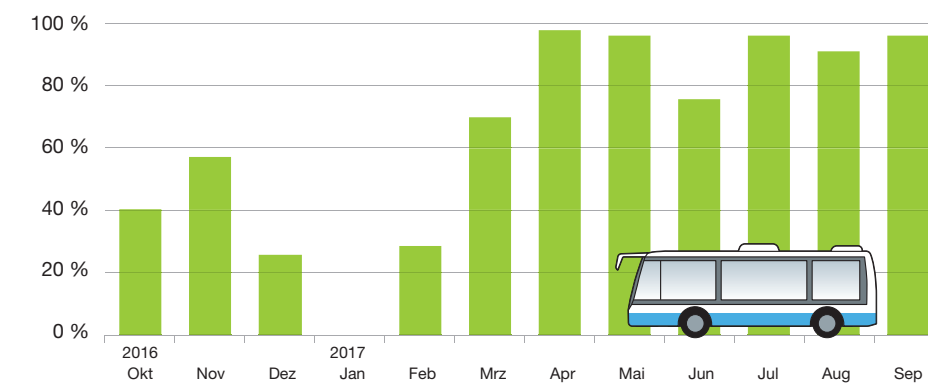
«Mit den Testbetrieben setzen wir unsere ganzheitliche Elektrobusstrategie schrittweise in die Tat um. Unser Ansatz stösst in der Fachwelt auf reges Interesse. Mindestens so wichtig ist jedoch, die eigene Belegschaft aus Werkstatt und Fahrdienst frühzeitig auf diesem Weg mitzunehmen. Dabei spüre ich ein ausserordentlich hohes Engagement, wofür allen Beteiligten ein grosses Dankeschön gebührt.»

Christoph Rütimann
Leiter Technik VBZ

Diesen anfänglichen Verfügbarkeitsproblemen wurde mit technischen Massnahmen, Personalschulungen und organisatorischen Anpassungen begegnet. Um schneller auf technische Störungen zu reagieren, erfolgte in Absprache mit dem Fahrzeugvermieter des Probefahrzeugs SOR ein umfassender Kompetenzaufbau bei den VBZ. Durch den Abschluss eines direkten Servicevertrags zwischen dem Fahrzeughersteller SOR und den VBZ wurde die Verantwortung für die Wartung in einer späteren Phase gänzlich an die VBZ übertragen. Somit konnte nicht nur die Wissensbasis nutzbringend verstärkt werden – auch die Prozesse und Zuständigkeiten im Fahrzeugunterhalt wurden geklärt und die Reaktionszeiten deutlich verkürzt.

Diese Massnahmen zeigten Wirkung. Nach der Einführungsphase näherte sich die Verfügbarkeit beider Probefahrzeuge derjenigen von konventionellen Dieselnissen an. Das Probefahrzeug SOR erreichte in späteren Testphasen sogar höhere Verfügbarkeitswerte als die herkömmlichen, dieselbetriebenen Klein- und Midibusse, was vor allem auf das unkompliziertere elektrische Antriebssystem zurückzuführen ist.

Verfügbarkeit – Quartier-eBus SOR EBN 8
in Prozent





Energieverbrauch und Batteriedimensionierung

Ein zentrales Ziel der Testbetriebe war die Messung des Energieverbrauchs der Probefahrzeuge, um Anhaltspunkte für die Dimensionierung der Batterien zu gewinnen. Die Batteriedimensionierung (Energieinhalt, Kapazität) und die Wahl des Batterietyps (Bauart und Zellchemie) sind äusserst komplex, da sich zahlreiche Faktoren gegenseitig beeinflussen. Folgende Fragen standen hinsichtlich Energieverbrauch im Fokus:

- Wie viel Strom verbrauchen die Probefahrzeuge auf welchen Streckenabschnitten?
- Wie stark schwankt der Energieverbrauch zwischen den Linien und unter verschiedenen Einsatzbedingungen (Aussentemperatur, Witterungsverhältnisse, Auslastung, Verkehrsaufkommen)?
- Wie verteilt sich der Energieverbrauch auf den Antrieb, die elektrischen Nebenverbraucher und die kraftstoffbetriebene Heizung?
- Sind die vorab angenommenen Batteriereichweiten auch im Realbetrieb und unter Extrembedingungen realistisch?
- Ist der vorab errechnete Fahrzeugbedarf (inkl. Ladereserven) korrekt?
- Wie gross muss die Batteriekapazität sein, damit keine vorzeitige Batteriealterung eintritt?

Bei der Zellchemie bestehen diverse Zielkonflikte, z. B. zwischen dem spezifischen Energieinhalt pro Gewichts- bzw. Volumeneinheit, möglichst hohen Lade- und Entladeleistungen, grösstmöglicher Sicherheit und Wirtschaftlichkeit. Je nach Zellchemie existieren eher kapazitäts- oder leistungsorientierte Batterietypen. Zu berücksichtigen ist, dass die Fahrzeughersteller auf Skaleneffekte setzen und die Batteriepakete modulweise und standardisiert anbieten. Da die Verkehrsbetriebe als Fahrzeugbesteller auf diese, in der Regel langfristig ausgelegten Lieferbeziehungen zwischen Batterie- und Fahrzeugherstellern kaum Einfluss haben, ergeben sich praktisch keine Gestaltungsmöglichkeiten bei der Wahl der Bauart und Zellchemie der Batterien.

Bei der Dimensionierung der Batterien bestehen hingegen grössere Spielräume. Hier gilt es auf jeden Fall zu vermeiden, dass die Fahrzeuge bei Extrembedingungen (z. B. bei hohen Temperaturen und maximaler Klimatisierungsleistung) ohne Strom auf der Strecke stehen bleiben. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass sich ein grosser Lade- bzw. Entladehub (Differenz zwischen Höchstladestand und maximaler Entladetiefe) überproportional negativ auf die Batteriealterung auswirkt. Dies bedeutet, dass eine zu klein dimensionierte Batterie aufgrund ihrer höheren Beanspruchung und der damit verbundenen kürzeren Lebensdauer wirtschaftlich und ökologisch nicht optimal ist. Andererseits darf die Batterie nicht durch allzu konservative Annahmen überdimensioniert werden, da dies zulasten der Energieeffizienz (höheres Gesamtgewicht) und der Wirtschaftlichkeit (Anschaffungskosten) gehen würde. Diese Abhängigkeiten sind einerseits bei der Fahrzeug-

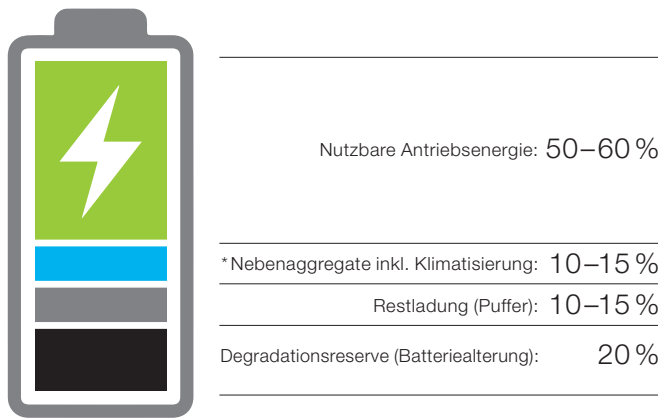
beschaffung zu berücksichtigen, andererseits ist in der Einsatzplanung darauf zu achten, dass die Batteriekapazität möglichst sparsam ausgenützt wird, um die Entladetiefe und damit die Batteriealterung gering zu halten.

Da sich neben der Entladetiefe auch die Ladeleistung und Betriebstemperatur auf die Batterielebensdauer auswirken, ergibt sich eine komplexe Optimierungsaufgabe des Gesamtsystems. Mit hohen Ladeleistungen und einer leistungsorientierten Zellchemie kann die Ladezeit stark verkürzt werden, wodurch die Busse rascher wieder für den nächsten Einsatz zur Verfügung stehen. Nachteilig ist dabei, dass leistungsorientierte Batterien tendenziell teurer und schwerer sind als kapazitätsorientierte Batterien, ausserdem ist ihr Energieinhalt pro Gewichtseinheit kleiner. Kapazitätsorientierte Batterien erlauben dagegen nur geringere Ladeleistungen, was die Aufladezeit entsprechend verlängert und weniger Leistung für den Antrieb zur Verfügung stellt.

Die Batteriealterung kann von einem leistungsfähigen und richtig ausgelegten Batteriemanagementsystem (BMS) sowie von einer passenden Festlegung der Differenz zwischen betrieblich nutzbarer und technisch installierter Batteriekapazität entscheidend beeinflusst werden. Die Optimierung des Gesamtsystems liegt somit grösstenteils in der Verantwortung der Fahrzeughersteller. Seitens der Verkehrsunternehmen kann die Qualität dieser Optimierung nur beschränkt beeinflusst werden, z. B. durch die Forderung einer vertraglich festgelegten Mindestgarantiezeit für die Batterien. Abgesehen von der technischen Umsetzbarkeit ist dabei wichtig, dass solche Forderungen mit den standardisierten Konzepten der Fahrzeughersteller auch tatsächlich abbildbar sein müssen.

Nutzbare und technisch installierte Kapazität von Traktionsbatterien

in Prozent



* Annahme: Elektroheizung mit Wärmepumpe sowie kraftstoffbetriebene Zusatzheizung

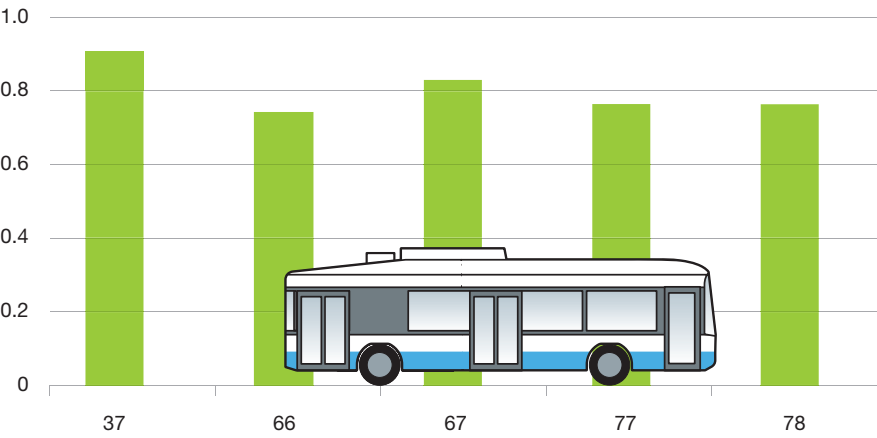
Energieverbrauch Standard-eBus

Beim Standard-eBus konnte der Energieverbrauch direkt mit dem eingebauten Monitoringsystem über die «CAN FMS»-Schnittstelle ausgelesen werden. Der Verbrauch (Antrieb und Nebenaggregate kombiniert) lag auf allen Linien deutlich unter 1 kWh/km, wobei die Schwankungen zwischen den Linien relativ gering ausfielen. Somit wurde die vorab getroffene Annahme eines durchschnittlichen Verbrauchs von 1,5 kWh/km deutlich unterschritten. Der ständige Energiebedarf der elektrischen Nebenverbraucher betrug durchschnittlich rund 0,38 kW.

Der Vergleich zwischen den Linien 66 und 37 belegt den deutlichen Einfluss der Topografie auf den Energieverbrauch. Während die Linie 66 zwischen Sihlstrasse und Neubühl eine durchschnittliche Steigung von lediglich 1,2 % aufweist, beträgt diese auf der Linie 37 zwischen dem Bahnhof Zürich Affoltern und der ETH Hönggerberg rund 3,8 % (Höhendifferenz von 75 Metern auf ca. zwei Kilometern Linienlänge).

Verbrauch nach Linie – Standard-eBus Caetano e.City Gold

in kWh/km



Energieverbrauch Quartier-eBus

Der Quartier-eBus SOR verfügte über kein Monitoring-system, weshalb für den Probetrieb eigens Datenlogger verbaut wurden. Damit wurde der Energieverbrauch jeweils differenziert nach Antrieb und Nebenaggregaten erhoben und via GPS dem Standort im Linienverlauf zugeordnet. Die elektrischen Nebenverbraucher umfassen Luftkompressor, Lenkung, Klimaanlage, Lüftung, Klimatisierung der Traktionsbatterie, Fahrgastinfo, Innen- und Aussenbeleuchtung, Türen und Absenkvorrichtung (Kneeling).

Beim Quartierbus konnte ein Durchschnittsverbrauch von knapp 1 kWh/km ermittelt werden, wovon der Antrieb rund 0,85 kWh/km ausmachte. Die Nebenaggregate benötigten rund 0,14 kWh/km, wobei deren Energiebedarf

grundsätzlich nicht streckenbezogen, sondern dauerhaft (auch im Stillstand) anfällt. So betrug der ständige Energiebedarf der Nebenverbraucher beim Quartier-eBus SOR durchschnittlich 0,35 kW, was ziemlich genau dem Verbrauchswert beim Standard-eBus Caetano entspricht.

Ein eher unerwartetes Resultat zeigte sich im direkten Vergleich des Verbrauchs bei den Linien 39 und 40. So lag der Energieverbrauch auf beiden Linien praktisch gleichauf, obwohl die Linie 39 stellenweise beträchtliche Steigungen aufweist, die sich zu einer Höhendifferenz von immerhin 115 Metern auf gut drei Kilometern Linienlänge summieren. Die Linie 40 hingegen ist vergleichsweise flach und erreicht auf knapp fünf Kilometern Linienlänge nur eine Höhendifferenz von 54 Metern.

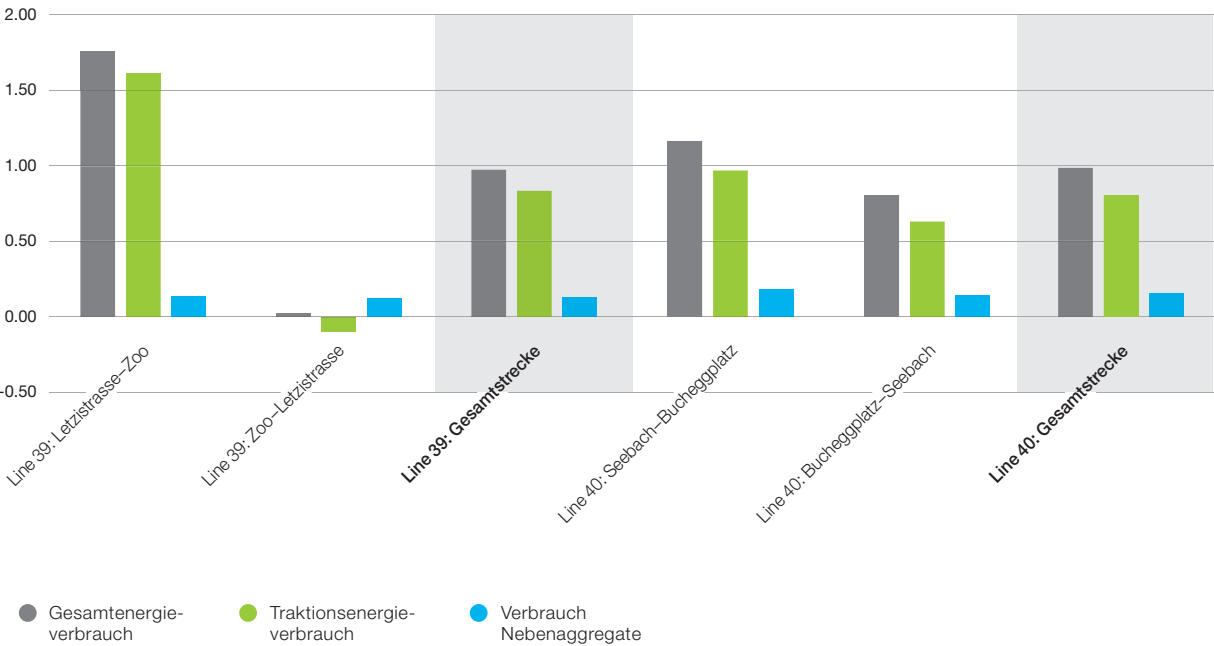
Obwohl der Gesamtverbrauch auf beiden Linien praktisch identisch war, ergab sich für die einzelnen Linienabschnitte ein differenziertes Bild. So betrug der Energieverbrauch bei der Bergfahrt auf der Linie 39 von der Letzistrasse zum Zoo mehr als 1,75 kWh/km, während der Verbrauch auf der Talfahrt zurück zur Letzistrasse praktisch bei null lag, da durch die Rekuperation beim Bremsen mehr Energie zurückgewonnen wurde als für den Antrieb auf dieser Strecke notwendig war (negativer Verbrauch des Antriebs). Dieser Effekt konnte auch auf der Linie 40 beobachtet werden, jedoch war die Rekuperation aufgrund der flacheren Topografie deutlich weniger ausgeprägt.

Die auf einzelne Haltestellenabschnitte bezogene Analyse der Linie 40 zeigt, dass der Verbrauch auf derselben Strecke je nach Verhältnissen teilweise stark schwankt. Bei der Systemdimensionierung und Einsatzplanung müssen deshalb neben den Medianwerten unbedingt auch die Extreme und die statistischen Verteilungen der Verbrauchswerte berücksichtigt werden.

Die deutlich vom Median abweichenden Maximalwerte in Seebach dürften davon herrühren, dass hier am Linienende teilweise ein erhöhter kilometerbezogener Verbrauch aufgezeichnet wurde, wenn die Nebenaggregate während des Endaufenthalts im Stillstand weitergelaufen sind (z. B. Klimatisierung an einem heissen Sommertag).

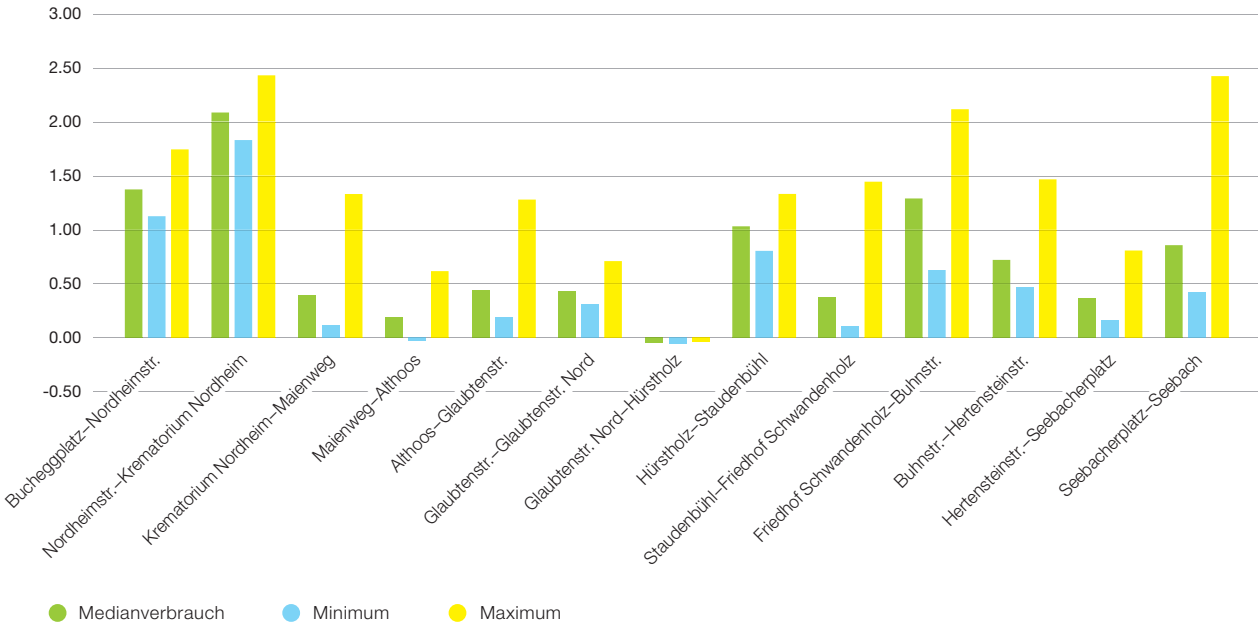
Verbrauch auf den Linien 39/40 – Quartierbus SOR EBN 8

Verbrauch (kWh/km)



Verbrauch auf der Linie 40 – Quartierbus SOR EBN 8

Verbrauch (kWh/km)



Energieverbrauch Klimatisierung

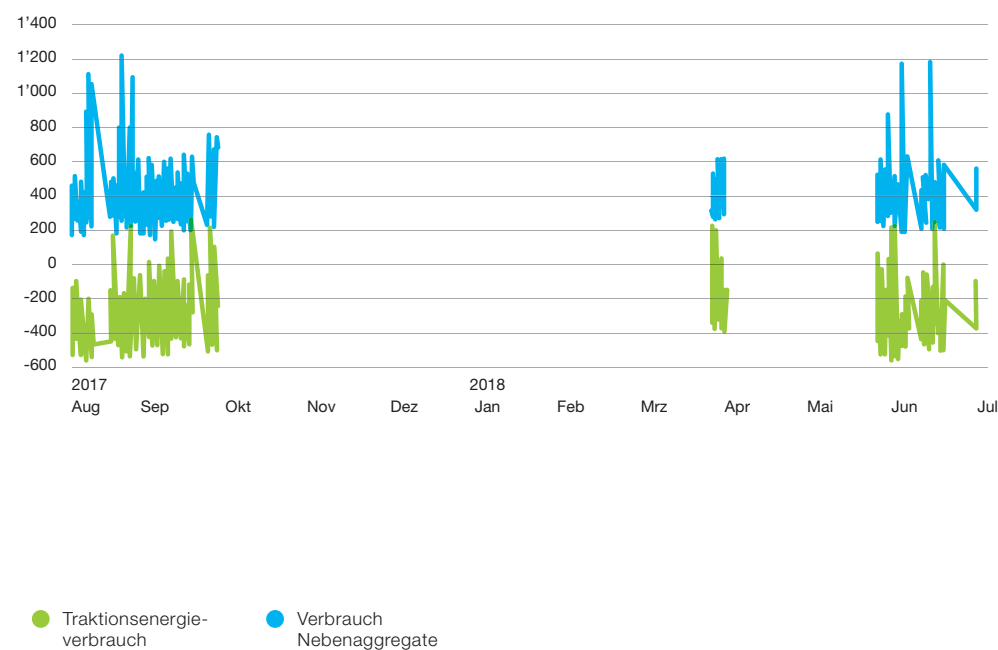
Auch wenn die Auswertungen gezeigt haben, dass der Antrieb für den weitaus grössten Teil des Verbrauchs verantwortlich war, müssen zur Batteriedimensionierung auch die Variationen des Energieverbrauchs der Nebenaggregate eingeplant werden. Diese ergeben sich z. B. je nach Temperaturbedingungen (Klimatisierung, Lüftung) und Nachfrage (Türnutzung und Kneeling).

Die zeitbezogene Analyse der elektrischen Nebenverbraucher zeigte unter anderem den spürbaren Einfluss der Klimatisierung an heissen Sommertagen. Besonders deutlich war dies bei den Talfahrten Zoo–Letzistrasse, bei denen der Verbrauch der Nebenaggregate gegenüber dem (talwärts praktisch verbrauchsfreien) Antrieb vergleichsweise stark ins Gewicht fiel.

Hier zeigte sich, dass der Energieverbrauch der Nebenaggregate an besonders heissen Tagen im August 2017 und Juni 2018 rund doppelt so hoch war wie im kühleren September, Oktober und April. Aufgrund der mengenmässigen Dominanz des Antriebs war der Einfluss der Klimatisierung auf den Gesamtenergieverbrauch beim Quartierbus überschaubar, dies kann jedoch bei Fahrzeugen mit leistungsfähigeren Klimaanlage zukünftig stärker ins Gewicht fallen.

Energieverbrauch Quartierbus SOR EBN 8, Linie 39: Zoo–Letzistrasse (talwärts)

Verbrauch (Wh/Fahrt)



Energieverbrauch Heizung

Beide Probefahrzeuge verfügen neben der elektrischen Heizung über eine Zusatzheizung für besonders kalte Tage, die mit Dieseldieselstoff betrieben wird. Dies muss vor dem Hintergrund der Verbrauchsdaten der Heizungen betrachtet werden. Diese zeigen nämlich, dass die Schwankungen der Verbräuche bei einer ausschliesslich elektrischen Heizung der Busse derart gross würden, dass die Batterie für die meiste Zeit des Jahres stark überdimensioniert wäre.

Verbrauchsauswertungen aus dem Quartierbus zeigten auf, dass z. B. im besonders kalten Februar 2018 alleine für die Heizung ein Stromäquivalent von fast 0,8 kWh/km benötigt wurde. Damit würde der theoretische maximale Energieverbrauch im Winter rund 2,1 kWh/km betragen. Das heisst, dass sich mit einer rein elektrischen Heizung der gesamte Stromverbrauch an kalten Wintertagen praktisch verdoppeln würde.

Eine wesentliche Erkenntnis aus den Probefahrten ist deshalb, dass bis zum Erreichen namhafter Fortschritte bei der Batterietechnologie bzw. der Energieeffizienz



«Auf den ersten Blick erscheint es paradox, ein Elektrofahrzeug mit einer fossilen Zusatzheizung zu betreiben. Noch paradoxer wäre es jedoch, das ganze Jahr eine überdimensionierte und viel zu schwere Batterie mitzuschleppen, die nur an wenigen Tagen voll ausgenützt würde.»

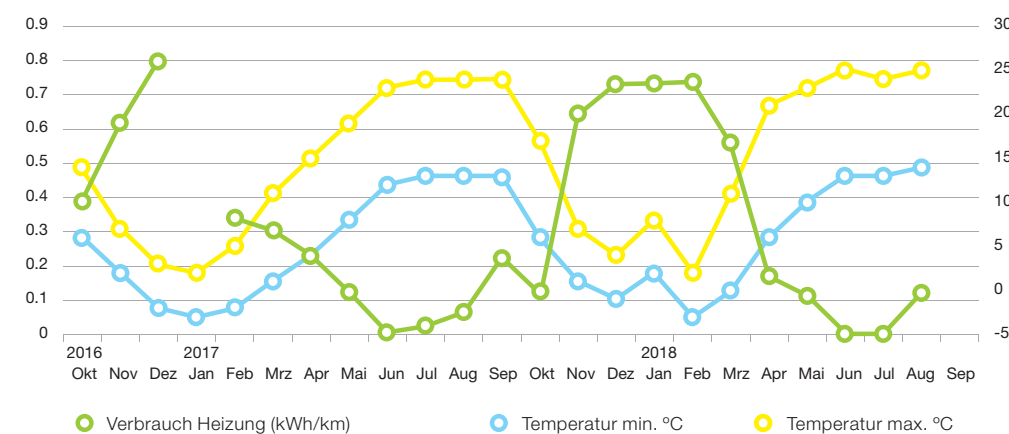
Adrian Vogel
Leiter Flottenmanagement Bus VBZ

von Heizungssystemen, weiterhin fossile Zusatzheizungen als Brückentechnologie in Kauf genommen werden müssen. Denkbar wäre eine Eingrenzung der Betriebsmittel für die Heizung auf CO₂-neutrale Energieträger, wie z. B. Bioethanol oder synthetisch hergestellte Kraftstoffe. Ausserdem soll der Energiebedarf der Zusatzheizungen durch den Einsatz von Wärmepumpen etc. weiter minimiert werden.

Wenn die Fahrzeuge durch die Ladeinfrastruktur in der Garage elektrisch auf Betriebstemperatur vorkonditioniert werden, werden die Gesamtemissionen und der Heizbedarf weiter gesenkt. Die Vorkonditionierung bedingt allerdings eine intelligente Steuerung durch ein Betriebshof- bzw. Lademanagementsystem und verlängert die Ladezeit in der Garage.

Energieverbrauch Zusatzheizung – Quartier-eBus SOR EBN 8

Verbrauch in kWh/km (Skala links), Aussentemperatur in °C (Skala rechts)

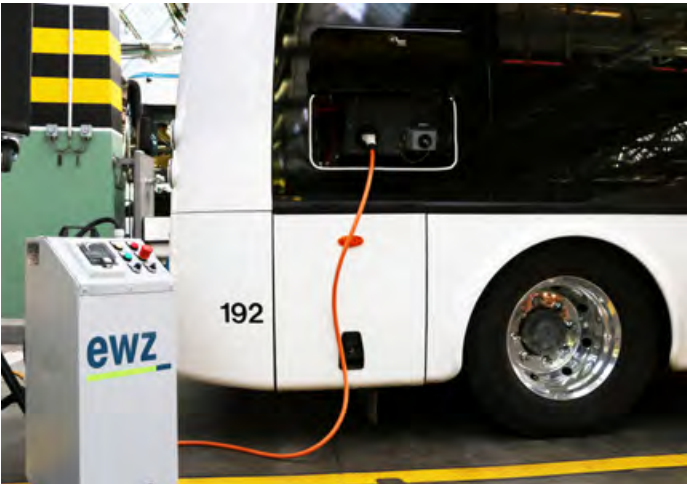


Ladeinfrastruktur

Temporäre Ladegeräte im Probebetrieb

Für die Testbetriebe wurden die mitgelieferten Ladegeräte temporär in den VBZ-Busgaragen aufgestellt. Der Anschluss der Ladegeräte war mit provisorischen Verkabelungen – ohne zusätzliche Hausinstallationen – möglich, da die in den Garagen vorhandenen Leistungsreserven eine Ladestromstärke von 64 Ampere zuließen. Für grössere Ladestromstärken und damit kürzere Ladezeiten (die seitens der Ladestationen möglich gewesen wären) – hätte es zusätzliche Hausinstallationen gebraucht.

Der Wirkungsgrad der Ladegeräte wurde im Probebetrieb nicht analysiert. Aufgrund von Vergleichswerten aus anderen Versuchsbetrieben kann jedoch ein Wirkungsgrad von ca. 90 Prozent angenommen werden.



Ladegerät im Probebetrieb

Bedarfsgerechte Ladeinfrastruktur im Flottenbetrieb

Die Verbrauchsdaten der Probebetriebe haben gezeigt, dass der Strombedarf in einen Bereich vorstossen wird, der deutlich höhere Anschlussleistungen in den Garagen voraussetzt. Da die Fahrzeuge heute während eines Tages oft mehrere Kurseinsätze hintereinander fahren, ist im Realbetrieb eine möglichst kurze Ladezeit in den Garagen entscheidend. Für die Verhältnisse der VBZ ist eine maximale Ladezeit von ca. zwei Stunden ausreichend, damit die Fahrzeuge rechtzeitig wieder für ihren nächsten Einsatz zur Verfügung stehen. Die Ladeleistung in den Garagen muss also genügend hoch sein, um Fahrzeuge nach jedem Einsatz in rund zwei Stunden wieder voll zu laden. Wenn man davon ausgeht, dass eine Reichweite von bis zu 200 km (bzw. die dabei verbrauchte Energiemenge in kWh) in maximal zwei Stunden nachgeladen werden muss, ist bei einem angenommenen Durchschnittsverbrauch von ca. 1,5 kWh/km eine Ladeleistung von ca. 150 kW pro Standplatz erforderlich.

Um die gesamthafte Anschlussleistung der Garagen in einem vertretbaren Bereich zu halten und die einzelnen Ladegeräte untereinander zu koordinieren, ist ausserdem

eine intelligente Steuerung mit Lademanagementsystemen erforderlich. Dabei muss ein hohes Mass an Standardisierung der Ladeinfrastruktur, der Schnittstelle und der kommunikativen Verbindung zum Batteriemanagementsystem des Fahrzeugs erreicht werden. Dank dieser Standardisierung mit festgelegten Ladeschnittstellen und Kommunikationsprotokollen kann die Ladeinfrastruktur in einem eigenen Bauprojekt unabhängig von den zu beschaffenden Batteriebussen erstellt werden. So wird erreicht, dass zukünftige Fahrzeugbeschaffungen unabhängig von der Ladeinfrastruktur erfolgen können und eine grösstmögliche Autonomie erhalten bleibt.

Für die Erstellung einer solchen flottentauglichen Garagen-Ladeinfrastruktur und der zugehörigen Stromversorgungsanlage wurde parallel zu den Probebetrieben eine Machbarkeitsstudie für die Garage Hardau ausgearbeitet. Die VBZ streben einen standardisierten, modularen und einheitlichen Aufbau auf Basis von CCS2-Steckern an. Diese Lösung erlaubt eine Ladeleistung von bis zu 150 kW pro Stecker und soll durch eine geschickte Platzierung in der Abstellanlage von allen – unterschiedlich langen – Elektrobusen flexibel genutzt werden können. Andere Ladesysteme (Pantograph oder induktive Systeme) stehen nach den Erfahrungen im Probebetrieb für die Garagenladung nicht im Fokus, spielen aber bei anderen Systemen (Trolleybus oder Zwischenladung) weiterhin eine Rolle.



«Temporäre Installationen machen zwar für Probebetriebe Sinn, die Beschaffung von grösseren Elektrobusflotten ist jedoch nur mit einer standardisierten, leistungsfähigen, ausfallsicheren und intelligenten Ladeinfrastruktur denkbar. Dazu haben wir für die Garage Hardau eine Machbarkeitsstudie erstellt.»

Christian Senn
Projektleiter Garagen-Ladeinfrastrukturen
und Leiter Baumanagement VBZ

Technische Daten Ladegerät SOR:

Eingangsspannung	3 x 400 V AC / 50 Hz
Ladestrom (max.)	63 – 200 A
Ladezeit (80 % Entladung)	ca. 3h 45min

Werkstatt und Instandhaltung

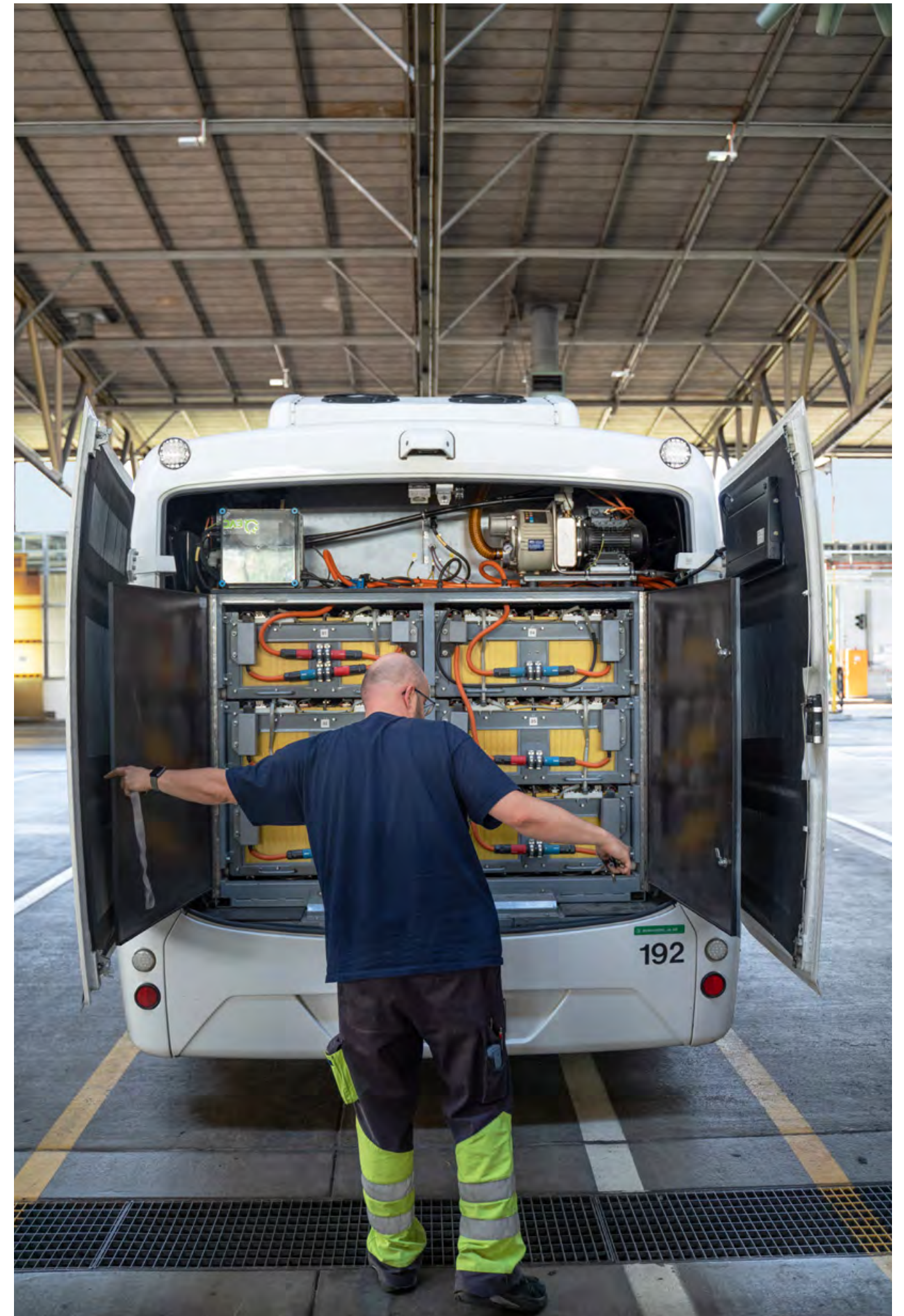
Die Einführung von Fahrzeugen mit elektrischem Antriebsstrang führt meist zu einem umfangreichen Anpassungsbedarf in den Werkstätten und bei der Qualifizierung des Personals. Die Werkstätten der VBZ sind jedoch durch die vielfältigen Erfahrungen mit Trolley- und Hybridbussen bereits gut vorbereitet. Die Mitarbeitenden in der Instandhaltung verfügen über einen guten Qualifikationsgrad in der Elektrotechnik, ausserdem ermöglichen die vorhandenen Dacharbeitsstände die Wartung der zunehmend auf dem Fahrzeugdach platzierten Komponenten.

Trotz dieser guten Voraussetzungen in den Werkstätten der VBZ haben die Probefahrer auch hier zu einem Lerneffekt und Erfahrungsgewinn im Umgang mit Batteriebussen geführt. Dies lässt sich an der deutlichen Steigerung der Verfügbarkeit der Fahrzeuge im Projektverlauf gut erkennen. Mit dem Abschluss des Servicevertrags zwischen dem Fahrzeughersteller SOR und den VBZ wurden umfangreiche Schulungen des technischen Personals und der Mitarbeitenden des Ereignismanagements durchgeführt. Die VBZ haben damit bereits in den Probefahrerbetriebe ein vertieftes Know-how zur Instandhaltung von Batteriebussen aufgebaut.

Um langfristig gültige Aussagen zur Entwicklung des Instandhaltungsaufwands und der Instandhaltungskosten zu treffen, waren die Probefahrerbetriebe zu kurz. Gemäss Aussagen von Busherstellern kann aber von einer markanten Senkung der Wartungs- und Reparaturkosten ausgegangen werden.

Folgende Faktoren sind dabei massgebend:

- Wesentlich einfacherer und daher wartungsärmerer elektrischer Antriebsstrang
- Kompletter Wegfall des Verbrennungsmotors, des Getriebes und der gesamten Abgasreinigungsanlage
- Weniger Verschleiss bei der Bremsanlage dank Rekuperation
- Deutlich geringere Temperaturextreme im Antriebsstrang
- Weniger Vibrationen im ganzen Fahrzeug
- Höhere Lebensdauer der elektronischen Geräte



Betriebliche Erkenntnisse

Betriebs- und Einsatzkonzept

Die Einsatzplanung der beiden Probefahrzeuge verfolgte das Ziel, auf allen Linien repräsentative Verbrauchsdaten zu erheben. Da die Umläufe bewusst nicht am obersten Limit der nutzbaren Batteriereichweite geplant wurden, waren im Laufe der Probebetriebe praktisch keine Ausfälle aufgrund unzureichender Batterieladung (bzw. zu geringer Restreichweite) zu verzeichnen. Ausserdem wurden die Einsatzblöcke sowie die Ein- und Ausrückfahrten der eBusse auf die ordentlichen Dienstabläufe des Fahrpersonals abgestimmt. Dadurch konnte der Mehraufwand beim Personal sehr gering gehalten werden, da die Wegzeiten zum Ablösepunkt ohnehin vergütet werden.

Die vorgängigen theoretischen Überlegungen zum künftigen Einsatzkonzept einer Elektrobusflotte wurden durch die Probebetriebe im Wesentlichen bestätigt. Der Standard-eBus Caetano e.City Gold wurde zeitweise bis zu vier Mal pro Tag auf unterschiedlichen Umläufen eingesetzt und zwischendurch in der Garage aufgeladen.

Daraus ergaben sich mitunter hohe Tagesleistungen mit mehrmaliger Nutzung der Batteriereichweite innerhalb eines Tages.

Eine Erkenntnis daraus ist, dass das Quartierbusnetz der VBZ mit 18 Elektrobusen grundsätzlich betrieben werden kann, ohne dass ein Fahrzeug länger als 150 km am Stück unterwegs ist. Bereits heute sind Fahrzeuge mit entsprechenden Batteriekapazitäten auf dem Markt erhältlich. Da das Quartierbusnetz heute mit 14 Dieselnissen betrieben wird, verringern sich bei zusätzlichen Fahrzeugen als Ladereserve die jährlichen Laufleistungen pro Fahrzeug, was sich perspektivisch in einer längeren Fahrzeuglebensdauer auswirkt. Durch ein optimiertes Einsatzkonzept kann die mit Standardbussen bediente Linie 78 bei Batteriereichweiten von 150 km ohne einen Mehrbedarf an Fahrzeugen auf Elektrobusse umgestellt werden.



Fahrdienst und Bereitstellung

Die Batteriebusse wurden während des Probebetriebs regulär im Linienverkehr eingesetzt und vom gesamten Fahrpersonal der VBZ gefahren. Vorgängig wurde für beide Fahrzeuge eine Bedienungsanleitung zur Verfügung gestellt; das Fahrpersonal konnte sich ausserdem während definierter Zeiträume mit den Besonderheiten der Fahrzeuge vertraut machen und kurze Probefahrten absolvieren. Durch diese Vorbereitungen kam es während des Probebetriebs nur zu wenigen Störungen aufgrund von Fehlbedienungen. Die Fahrerinnen und Fahrer zeigten insgesamt ein grosses Interesse und eine hohe Akzeptanz für die zukünftige Antriebstechnologie.



«Die Elektrobusse kamen beim Fahrpersonal insgesamt sehr gut an. Wer täglich Bus fährt, schätzt den geräuscharmen, kraftvollen und ruckfreien Antrieb besonders. Dass dabei auch die Fahrgäste, die Anwohnerinnen und die Umwelt profitieren, ist ein grosses Plus.»

Hansjörg Feurer
Leiter Betrieb Bus VBZ

Die Aufladung der Fahrzeuge wurde im Probebetrieb in den Bereitstellungsprozess des Instandhaltungspersonals integriert und lag somit nicht im Aufgabenbereich des Fahrdienstes. Diese Aufgabenteilung funktionierte sehr gut und es kam zu keinen Störungen



«Ich hatte insgesamt vier Mal das Vergnügen, den SOR zu fahren. Die Umstellung vom Diesel- zum Elektrobus erfordert einiges an Übung. Auch wenn die Innenraumgestaltung und die Türsteuerung im Probefahrzeug noch nicht optimal waren, bin ich überzeugt, dass sich die Elektrobusse gerade in den Quartieren bewähren werden.»

Silke Strietzel Konzok
Buspilotin VBZ

durch unterlassene Ladung der Busse. Allerdings kam es zu Beginn des Probebetriebs vor, dass die fossile Zusatzheizung in Kälteperioden nicht immer rechtzeitig betankt wurde.

Die Auswertung der Energieverbräuche und der Erfahrungsaustausch in der Branche haben gezeigt, dass die Fahrweise einen grossen Einfluss auf den Energieverbrauch von eBussen hat. Dieser Effekt kommt aufgrund der Rekuperation bei elektrisch angetriebenen Fahrzeugen noch deutlich stärker zum Tragen als beim Dieselnissen. Deshalb sollten mit der Einführung von eBussen auch weiterhin gezielte, an den elektrischen Antrieb angepasste Eco-Drive-Programme für den Fahrdienst durchgeführt werden, um den Energieverbrauch durch eine sparsame Fahrweise positiv zu beeinflussen.

Betriebssteuerung und Monitoringsystem

In den Probefahrbetrieben lag die Verantwortung für die Überwachung von Restreichweite und Batteriezustand ausschliesslich beim Fahrpersonal – analog zur Tankanzeige bei Dieselnissen. Es ist jedoch bereits heute technisch möglich, detaillierte Betriebszustände der Fahrzeuge auch für die Leitstelle und Werkstatt sichtbar zu machen. Das Probefahrzeug Caetano verfügte bereits über eine Monitoringsoftware, die jederzeit webbasiert über Standort, Ladezustand, Energieverbrauch, Fahrleistung und weitere Parameter des Fahrzeugs Auskunft gibt. Die VBZ konnten das mitgelieferte Programm ViriCiti im Rahmen des Probefahrbetriebs testen und für die Datenauswertungen verwenden.

Mit der Elektrifizierung der Antriebe und Nebenaggregate geht eine zunehmende informationstechnologische Durchdringung der Fahrzeuge einher. Während die Fahrzeugperipherien früher weitgehend über mechanische, pneumatische und hydraulische Systeme miteinander verbunden waren, ermöglichen die elektronischen Verbindungen heute neue Chancen in der Vernetzung von Aggregaten und Systemen innerhalb und ausserhalb des Fahrzeugs.

So tauschen die Fahrzeuge, Ladeinfrastrukturen und umgebenden Systeme über die definierten Schnittstellen zukünftig immer mehr Daten aus. Zu den weiterentwickelten Planungs- und Leitsystemen gesellen sich Betriebshof-, Stromversorgungs- und Lademanagement-

systeme, die mit den Instandhaltungs- und Diagnose-systemen der Werkstatt, mit der Leitstelle, den Fahr-zeugen, den Ladeinfrastrukturen und untereinander in vielfältiger Weise kommunizieren. So werden die Leit- und Betriebssteuerungssysteme im Rahmen der Instandhaltung zum Hilfsmittel für die Störungsüber-wachung, Diagnose und Prävention.

Durch die neuen Möglichkeiten ergeben sich weitreichende Auswirkungen auf die betriebstechnischen IT-Systeme und Prozesse, die den Rahmen der Probebetriebe und der Elektrobusstrategie sprengen. Als indirekten Effekt der Probebetriebe haben die VBZ eine Auslegeordnung der bestehenden und zukünftigen betrieblichen Systeme angestossen. In jedem Fall wird es nötig sein, bei der zukünftigen Einführung einer grösseren eBus-Flotte die Chancen, Risiken und Veränderungen, die sich aus den neuen Technologien ergeben, vertieft abzuklären. Diese Erkenntnis zeigt, dass die Elektrifizierung der Busflotte nicht beim Antrieb aufhört; vielmehr muss sie als Auslöser und Türöffner für unterschiedliche Zukunftstechnologien verstanden und genutzt werden.

