

Dekarbonisierung des Innsbrucker Bussystems 2021-2030: Grobe Bedarfsanalyse und Empfehlungen zur Systementscheidung

manni.schneiderbauer@gruene.at



Inhalt

1. Abstract	3
2. Anforderungen	4
a) Umfang und Gültigkeit der CVD	4
3. Frühere Zero-Emission-Bus-Projekte in Innsbruck	7
a) 1944–1976: O-Bus-Betrieb I	7
b) 1988–2007: O-Bus-Betrieb II	7
c) 2014: Nicht realisierte Umstellung der Linie W auf BE-Busse	7
d) 2010-2020: Tests von BE-Bussen	7
4. Systemwahlmöglichkeiten	8
a) Batterieelektrischer Bus	9
b) Wasserstoff-Brennstoffzellen-Elektrobus	13
c) Klassischer Trolleybus	14
d) Akku-Hybrid-Trolleybus mit Unterwegsladung	15
5. Beispiele für potenzielle Einsatzgebiete der verschiedenen Technologien	18
a) Linie A oder Linie M mit BE-Bussen (Kategorie Normalbus) zur Elektrobus-Einführung	18
b) Linie W mit E-Obussen (Kategorie Midibus) zum Erfahrung sammeln	18
c) Linie R mit Gelenk- oder Doppelgelenk-E-Obussen als infrastrukturorientierte Umstellung	18
d) Linie J mit E-Obussen (Kategorie Normalbus) als bedarfsorientierte Umstellung	19
6. Empfehlungen zu Systemwahl und Vorgehensweise	20
7. Unwägbarkeiten und Gamechanger	22
a) Technischer und ökologischer Durchbruch bei BE-Bussen	22
b) Bau des Westastes der Straßenbahnlinie 3 bzw. andere Ausbaumaßnahmen des Straßenbahn- und Regionalstadtbahnsystems	22
8. Exemplarische Grobschätzung von Erstinvestitionskosten	23
a) Variante: Gesamt-Erstinvestitionskosten ohne Straßenbahnerweiterung Linie 3-West	23
b) Variante: Gesamt-Erstinvestitionskosten mit Straßenbahnerweiterung Linie 3-West	23
9. Fördermöglichkeiten	24
Literatur, Quellen, Bildnachweise	25
a) Literatur und Quellen	25
b) Bildnachweise	26
ANHANG: Jumpstart-Umstellung der Linie A oder M auf BE-Busse	27

1. Abstract

Dies ist eine Grobanalyse des Auf- bzw. Umrüstungsbedarfs in Infrastruktur und Fuhrpark der Innsbrucker Verkehrsbetriebe ("IVB") unter zusätzlicher Berücksichtigung des Verkehrsverbund Tirol (VTG bzw. "VVT"), der durch die "Clean Vehicles Directive" der EU („CVD“) ab 2. August 2021 entsteht. Es werden die Anforderungen analysiert oder definiert und erklärt, ergänzt von einem kurzen Rückblick auf in Innsbruck genutzte Zero-Emission-Systeme der Vergangenheit, bevor der Umfang und alle relevanten, heute und in naher Zukunft zur Verfügung stehenden technischen Möglichkeiten beleuchtet werden. Darauf basierend folgt eine Systemwahlempfehlung unter Berücksichtigung der lokalen Spezifika, die begründet und deren Anfangsinvestitionskosten anhand beispielhafter alternativer Varianten grob geschätzt werden.

Empfohlen wird ein Mix von drei elektrischen Antriebs- und Energieversorgungssystemen: batterieelektrische Busse ("BE-Busse"), Trolleybusse ("O-Busse") mit Unterwegsladung ("E-Obusse") sowie ggf. Wasserstoff-Brennstoffzellen-Elektrobusse ("Brennstoffzellenbusse") auf langen Regionallinien sollen in Innsbruck neu eingeführt werden.

Ein weiterer Bestandteil der Empfehlung zur öV-Dekarbonisierung, der sich jedoch nur am Rande mit den Anforderungen der CVD überschneidet, ist die Umsetzung der politisch bereits vom Innsbrucker Gemeinderat im Grundsatz beschlossenen Straßenbahnstrecke zum Universitätssportinstitut bzw. ggf. in erweiterter Variante zum Flughafen als Ersatz des Westastes der Linie R.

Im Anhang folgt noch eine Guideline für einen schnellen Einstieg in die Dekarbonisierung durch kurzfristige Umstellung der Linien A oder M auf batterieelektrische Busse.

Dies ist keine akademische Studie. Ein Peer Review war nicht Teil des Entstehungsprozesses. Es wurde als politische Entscheidungshilfe erstellt.

2. Anforderungen

Im Integrierten Nationalen Energie- und Klimaplan 2021-2030 (NEKP)^{IX} ist festgelegt:

In der öffentlichen Beschaffung bzw. den öffentlichen Flotten wird die öffentliche Hand eine Vorbildrolle durch Umstellung auf Null- und Niedrigstmissionsfahrzeuge im Rahmen von routinemäßiger Ersatzbeschaffung (ohne spezielle Einsatzerfordernisse 22) übernehmen. Fahrzeuge sollen dabei gemäß dem Prinzip des Total Cost of Ownership (TCO) beschafft werden. Für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter wird eine attraktive Infrastruktur zum Radfahren und Laden von Elektrofahrzeugen geschaffen. Die künftigen Investitionserfordernisse der Gebietskörperschaften sind diesbezüglich noch zu erheben.

- Umsetzung der Clean Vehicle Directive durch Städte, Gemeinden, Länder und Bund
- Umsetzung und konsequente Weiterentwicklung des naBe-Aktionsplans und der dazugehörigen Kernkriterien für die Anschaffung von Fahrzeugen:
 - Weiterentwicklung der Mindestanzahl von emissionsfreien Fahrzeugen bei Neubeschaffungen (Zero Emission Quote);
 - Weitergehende jährliche Reduzierung der CO-Flottenobergrenzen für die Beschaffung konventioneller Fahrzeuge;

Mit der Clean Vehicles Directive, der Richtlinie zur Beschaffung sauberer Straßenfahrzeuge, ist ein EU-Gesetz in Vorbereitung zur Umsetzung in nationales Recht^{VIII}, das die EU-Staaten verpflichtet, für Neuanschaffungen im Rahmen neuer Vergabeverfahren u.a. in den Busfuhrparks des öffentlichen Verkehrs Fahrzeuge mit Low-Emission- und Zero-Emission-Antrieben heranzuziehen. Die in Österreich gültige Mindestanforderung besagt, dass von 2021 bis 2025 insgesamt 45 % der Fahrzeugbeschaffungen und von 2026 bis 2030 insgesamt 65 % der Fahrzeugbeschaffungen diesen Kriterien zu entsprechen haben. Dabei müssen von dem jeweiligen Anteil sauberer Straßenfahrzeuge 50 % Zero-Emission-Fahrzeuge sein und die restlichen 50 % Low-Emission.

	% konventionell max. erlaubt	% Low-Emission mind. erforderlich	% Zero-Emission mind. erforderlich
Bis 2020	100	0	0
2021–2025	55	22,5	22,5
2026–2030	35	32,5	32,5

Dieses Papier behandelt nur den Zero-Emission-, nicht aber den Low-Emission-Anteil des Fuhrparks.

a) Umfang und Gültigkeit der CVD

Mangels Verfügbarkeit entsprechender Zahlen des VVT, der über keinen betriebseigenen Busfuhrpark verfügt, beschränkt sich die folgende Betrachtung auf die IVB. Die IVB verfügen über einen homogen verwalteten eigenen Fuhrpark, der zyklisch erneuert wird: jährlich wird ein gewisser Teil der Altfahrzeuge durch Neufahrzeuge ersetzt, was aktuell ein Durchschnittsalter der Fahrzeuge von 6,9 Jahren ergibt^X. Diese werden regelmäßig ausgeschrieben und dann in jährlichen Tranchen geliefert. Die CVD wird mit 2.8.2021 gültig. Die Umsetzung in nationales Recht ist zum Publikationszeitpunkt dieser Untersuchung noch nicht erfolgt.

Der Fuhrpark der IVB umfasst 161¹ Busse und 52² Straßenbahnen. Dazu kommen 20³ Busse von Subunternehmen, also insgesamt ca. 233 Fahrzeuge im Liniendienst. Damit verfügt zwar bereits ca. 22,3 % des Gesamtfuhrparks (die Straßenbahnen) über einen Zero-Emission-Antrieb, für die CVD relevant sind aber lediglich die ca. 181 Busse.

Abhängig von Gefäßgröße und Linienlänge bedeutet das, dass mindestens der Fuhrpark von zwei bis drei Buslinien vollständig auf emissionsfreien Betrieb umzustellen ist (sofern im selben Zeitraum der Schienenverkehrsfuhrpark gleich bleibt).

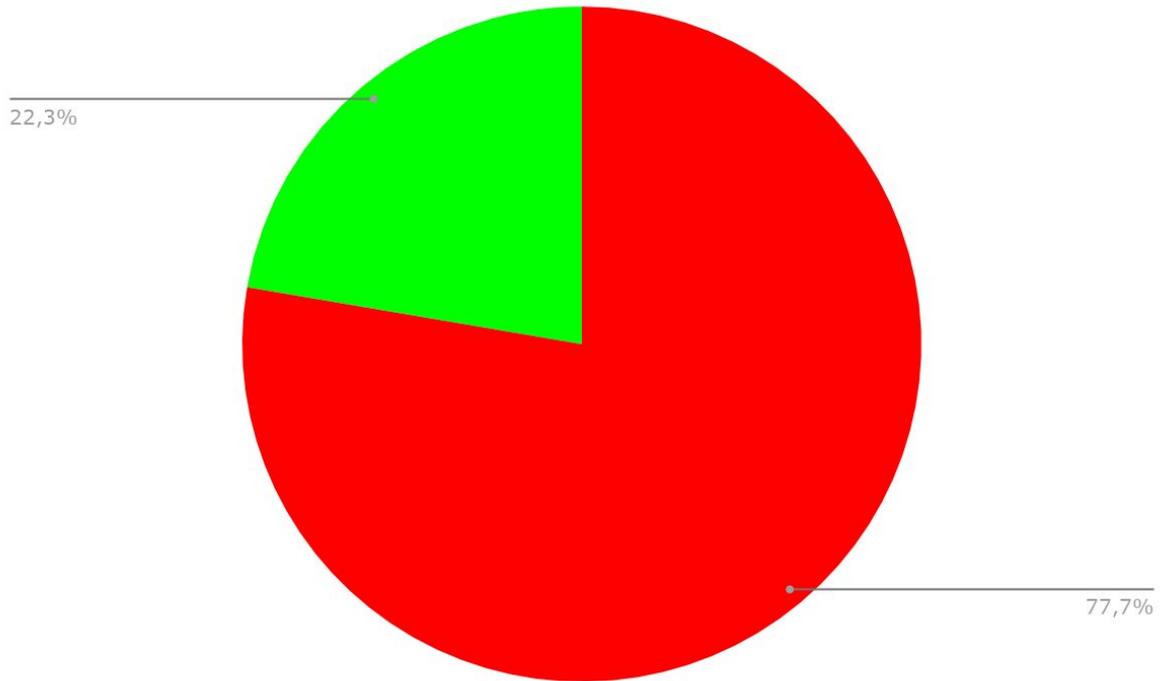
Empfehlung

¹ Stichtag 5.2.2020, kann im einstelligen Bereich variieren

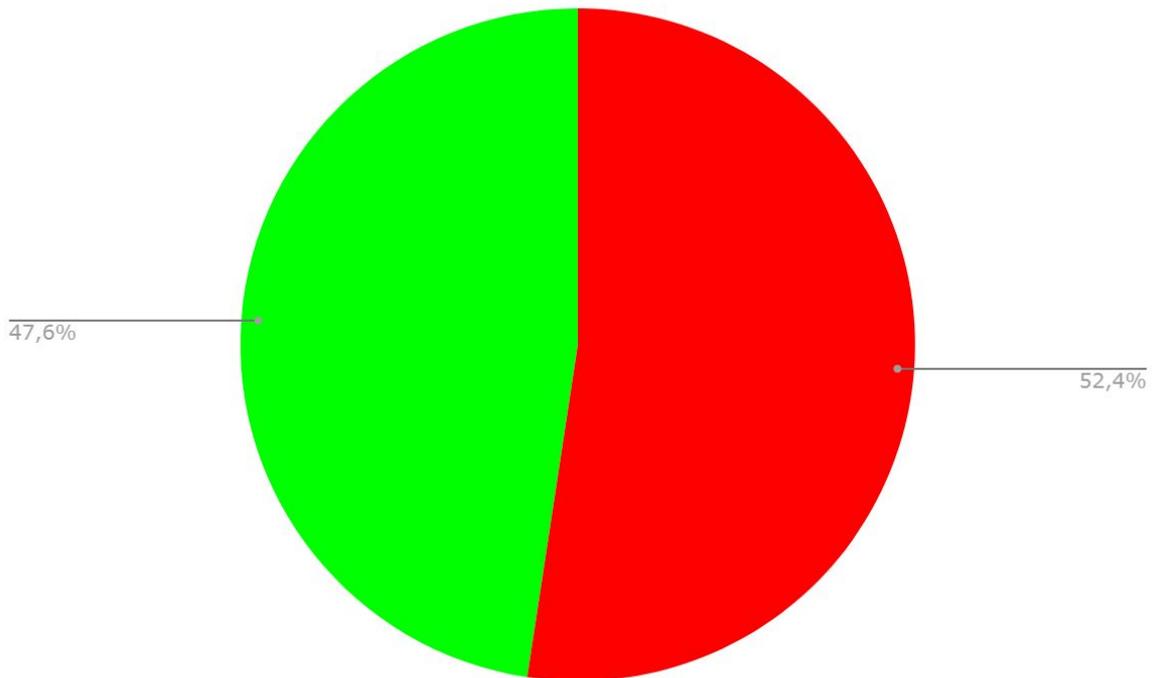
² Stichtag 4.1.2021

³ Stichtag 5.2.2020, kann um 1–3 Stück variieren

Dies ist zwar der Zielwert für 2030, zu einer eine möglichst rasch beginnenden⁴ schrittweisen Umstellung des *gesamten* Busfuhrparks wird aber aus Gründen von Lärmschutz, Luftreinhaltung und Image geraten.



Grafik 1: Heutige Situation – Alle Busse haben fossilen Antrieb (**Rot**), elektrischer Schienenverkehr (**Grün**)



Grafik 2: Mindest-Zielwert 2030 inkl. Schienenverkehr – 122 Fahrzeuge mit fossilem Antrieb (**Rot**), 111 Fahrzeuge Zero-Emission (**Grün**)

⁴ Siehe dazu [6. Empfehlungen zu Systemwahl und Vorgehensweise](#)

Durch Serviceoptimierungs- und -ausbaumaßnahmen sind Veränderungen der Fuhrparkgröße zu erwarten: der Busfuhrpark könnte auf Grund von Beschleunigungs- und Optimierungsmaßnahmen um ca. 20–25 Fahrzeuge schrumpfen. Auch können Anpassungen der Gefäßgrößen (z.B. Umstellung von Normal- auf Gelenkbusse) oder Intervalle Auswirkungen auf die Fahrzeuganzahl haben). All dies ist noch nicht verlässlich quantifizierbar. Deshalb gibt es noch eine ungewisse Schwankungsbreite für die Anzahl der benötigten bzw. gemäß CVD auszuschreibenden Zero-Emission-Fahrzeuge.

Empfehlung

Ein Mindestziel von 50 % Zero-Emission-Fahrzeugen im Gesamtfuhrpark wird für das Jahr 2030 empfohlen. In weiterer Folge sind möglichst rasch 100 % anzustreben, indem ab ca. 2025 keinerlei Dieselbusse mehr beschafft werden.
--

3. Frühere Zero-Emission-Bus-Projekte in Innsbruck

a) 1944–1976: O-Bus-Betrieb I

In Innsbruck wurde der O-Bus in den 1940er-Jahren erstmals eingeführt, wie auch in vielen anderen Städten des "Deutschen Reichs" aus Treibstoffmangel und oft auch mit dem Ziel, die damals als veraltet geltende Straßenbahn zu ersetzen. Dieses erste Innsbrucker O-Bus-System, bestehend aus den Linien A, B und C (A und C sehr grob wie die heutigen Linien A und M-Westast, B zwischen Pradl und Höttinger Au), existierte bis 1976.

Es wurde mit 600 V DC parallel zur Straßenbahn betrieben, manche Unterwerke wurden gemeinsam von beiden Systemen genutzt. Das O-Bus-Depot befand sich im Stadtteil Arzl an Stelle des heutigen Wohnquartiers Novapark.

b) 1988–2007: O-Bus-Betrieb II

1988 wurde das zweite Innsbrucker O-Bus-System eingeführt, als kostengünstiger Ersatz für eine zuvor geplant gewesene Schnellstraßenbahn durch die Reichenau entlang der Gumpfstraße und dem Langen Weg ins Olympische Dorf. Die damalige Systementscheidung war eine rein politische und aus fachlicher Sicht falsch, da die eigentlich notwendige Transportkapazitätssteigerung mittels eines spurgeführten Systems auf diese Weise nicht erfolgte. Folgerichtig musste das System 2007 wieder aufgegeben und ab 2010 schrittweise durch Schienenverkehr mit den Vorteilen von Spurführung, kürzerer Fahrzeit und deutlich größerer Transportkapazität ersetzt werden. Die ebenfalls vorgesehene Umstellung des Westastes der Linie R auf Schienenverkehr steht noch aus.

Auch dieses O-Bus-Netz wurde parallel zur Straßenbahn unter teils gemeinsamer Nutzung von Unterwerken betrieben; O-Bus-Fahrleitungen dienten auch als Verstärkungsleitungen für die Straßenbahn und vice versa. Zur Garagierung wurde im Betriebshof und Depot Pastorstraße ebenerdig eine Bushalle adaptiert und später durch Abstellmöglichkeiten im Tiefgeschoss erweitert.

c) 2014: Nicht realisierte Umstellung der Linie W auf BE-Busse

Eine in der Gemeinderatsperiode 2012–2018 vom Mobilitätsreferat geprüfte und für ca. 2014 vorgesehen gewesene Umstellung der Linie W auf BE-Busse ist nach Prüfung durch IVB und IKB wegen Unwirtschaftlichkeit abgesagt worden.⁵

d) 2010-2020: Tests von BE-Bussen

Durch IVB und ÖBB Postbus sowie durch andere Verkehrsunternehmen im VVT wurden vereinzelte Testfahrten ohne Fahrgäste mit BE-Bussen und Diesel-Elektro-Hybridbussen verschiedener Hersteller durchgeführt. Im Regionalbusverkehr des VVT fanden überdies auch bis zu acht Wochen dauernde Praxistests im Linienbetrieb statt.

Bei den durch die IVB durchgeführten Tests wurde der Fokus aus dem Autor nicht bekannten Gründen nur auf leistungstechnisch besonders anspruchsvolle und im Echtbetrieb mit BE-Bussen noch nicht abdeckbare Bergstrecken gelegt, anstatt sich auf Strecken im Flachen mit für batterieelektrischen Betrieb geeignetem Profil zu konzentrieren. Auch verzichtete man auf Testbetrieb mit Fahrgästen, wodurch die Tests keine Imagewirksamkeit erzielen konnten; sie fanden "unter Ausschluss der Öffentlichkeit" statt.

⁵ Die vorgesehenen Flashcharger-Midi-BE-Busse hätten eine aufwändige eigene Hochspannungsleitung oder einen Energiespeicher zur Versorgung einer Schnellladestation am Marktplatz erfordert; der zunächst angedachte simple Anschluss an die vorhandene Fahrleitung der Tram hätte nicht ausgereicht.

4. Systemwahlmöglichkeiten

Bei der Systemwahl ist zu beachten, dass allein die Erfüllung des Kriteriums der CO₂-Neutralität ebenso wie Umstellungen von Dieselbuslinien auf elektrische Schienenfahrzeuge nicht als "Zero-Emission" im Sinne der CVD gewertet werden. Jegliche Art von Schienenfahrzeug, auch Seilbahnen, sowie jede Art von Direktverbrenner-Straßenfahrzeug scheiden daher für die Systemwahl im 50-prozentigen Zero-Emission-Fuhrparkanteil aus: Gas (Methan, CNG, LNG, LPG), sonstige biologische, synthetische oder paraffinische Brennstoffe. Solche Energieträger und Antriebsarten kommen ausschließlich für die hier nicht behandelte „Low-Emission“-Hälfte des CVD-konformen Fuhrparks in Frage.

Nischensysteme und proprietäre Systeme mit hohem Investitions- oder Zuverlässigkeitsrisiko wie z.B. Bombardier GLT, Bombardier Primove, Alstom NTL⁶ oder Aptis werden nicht empfohlen und hier auch nicht näher betrachtet.

Empfehlung
Es wird empfohlen, den gemäß CVD vorgeschriebenen Low-Emission-Anteil ebenfalls mit Zero-Emission-Antrieben abzudecken, um kein weiteres Antriebssystem einführen und pflegen zu müssen.

⁶ vormals Translohr

a) Batterieelektrischer Bus

Es folgen mehrere Beispiele⁷ für bereits in Serienproduktion befindliche BE-Busse von den Herstellern, deren Produkte bei Innbus und Subunternehmen bereits im Einsatz sind.



Bild 1: MAN Lion's City 12 E; Feststoffbatterie, Reichweite 200–270 km pro Ladung, Ladedauer <3 h. Feststoffbatteriemodule auswechselbar im Fall von Technologie-Upgrade.



⁷ Alle Angaben laut Hersteller; die Reichweitenangaben sind der sichere Wert bei Außentemperaturen von -20 °C bis 40 °C sowie normaler Nutzung von Klimaanlage, Heizung und Bordnetz.

Bild 2: Mercedes eCitaro G; Gelenkbus 18 m (Bild), Feststoffbatterie, Reichweite 200-270 km pro Ladung, Ladedauer 5 h, somit nur geeignet für Overnight-Charging.



Bild 3: Solaris Urbino 18 electric; Gelenkbus mit 18 m (Bild), Feststoffbatterie, auch als Dreiachser mit 15 m. Reichweite 200 km pro Ladung, Ladedauer 5 h, somit nur geeignet für Overnight-Charging.



Bild 4: Mercedes eCitaro; Normalbus 12 m, Li-ion-Flüssigbatterie, damit zwar mit ca. 170 km pro Ladung geringere Kapazität, aber Flashcharging möglich (1 Schnelladestation im Linienweg).



Bild 5: Scania Citywide BEV; Normalbus 12 m, Li-ion-Flüssigbatterie, Flashcharger, Reichweite nur 100 km pro Ladung, aber von VUs und Fachmagazinen hervorragend bewertet ("zuverlässig wie ein Dieselbus").



Bild 6: Solaris Urbino 12 electric; Li-ion-Flüssigbatterie, Normalbus 12 m, auch als Midibus 8,9 m, Flashcharger, Reichweite 150 km pro Ladung.

Trotz großer Popularität und mittlerweile begonnener Nutzung im Realbetrieb in kleiner Stückzahl bei einzelnen Verkehrsunternehmen auch in Österreich und trotz ihres modernen Images besitzen BE-Busse technisch bedingt nicht die Zuverlässigkeit, Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Bussen mit Verbrennungsmotor. BE-Busse wurden daher von ca. 2010 bis ca. 2019 von Verkehrsunternehmen der westlichen Industriestaaten vor allem zu Testzwecken und aus Imagegründen beschafft. Erst seit 2020 sind von den hierzulande bevorzugten großen Herstellern wie Solaris Bus & Coach, Mercedes-Benz / Evobus oder MAN Nutzfahrzeuge BE-Busse in Serie als Normal- und Gelenkbusse erhältlich und geht das System auch in Westeuropa zunehmend in die Alltagsnutzung über. In asiatischen Ländern gibt es bereits Flotten mit mehreren hundert Fahrzeugen, wie etwa in Shenzhen, China^{xiv}. Dazu ist jedoch anzumerken, dass die in Shenzhen verwendeten 10,5 m langen, zweitürigen Fahrzeuge in Leichtbauweise den Kapazitäts- / Qualitätsansprüchen in Innsbruck nicht genügen würden.⁸

Hersteller-Richtpreisangaben sind nicht verfügbar, Anschaffungspreise sind daher per Ausschreibung zu ermitteln.

⁸ Neben etablierten Herstellern wie den am Kapitelbeginn genannten, deren BE-Busse meist modifizierte Versionen ihrer Produkte mit Verbrennungsmotor sind, gibt es am BE-Bus-Markt auch zahlreiche neue Hersteller, die Busse in Leichtbauweise mit höheren Reichweiten anbieten. Ein Beispiel dafür ist der niederländische Hersteller ebusco, der Reichweiten von 300–500 km pro Ladung verspricht und von dem am Stichtag über 100 Busse in Westeuropa laufen.^{xx} Solche Fahrzeuge sind meist mit Einschränkungen in Komfort, Ergonomie oder Sicherheit für Fahrgäste und Fahrpersonal verbunden, weswegen einige dieser Modelle in Österreich nicht zulassungsfähig sind.

Als Richtwerte können herangezogen werden:

BE-Bustyp	Fahrzeuglänge ca. m	Netto-Stückpreis ca. €
Midibus	9–11	400.000
Solobus	12	500.000
Gelenkbus	18	750.000
Doppelgelenkbus	22–25	unbekannt

Alle Modelle sind genauso wie Dieselsebusse in verschiedenen Konfigurationen erhältlich (Innenraum, Türtyp, Türanzahl, Außen-/Innenanzeigen, Klimaanlage, E-Motoren, etc.). Die Tür-Standardkonfiguration der IVB ist 3 Innenschwenktüren bei Normal- und Gelenkbussen.

Overnight-Charger sind BE-Busse, die nur ein Mal pro Betriebstag, i.d.R. über Nacht, aufgeladen werden müssen. Ihre Reichweite liegt unter Normalbedingungen⁹ bei ca. 260 km, so dass bei ganztägig betriebenen langen Linien pro Kurs ein Reservebus vorgehalten werden muss. Leistungsabfall, begrenzte Rekuperationsfähigkeit und durch die Batterien bedingtes hohes Gewicht erschweren bzw. verunmöglichen den Einsatz auf längeren Steigungstrecken.

Durch Einführung der Feststoff-Akku-Technologie im Jahr 2020 stieg die Speicherkapazität bei gleichem Gewicht um ca. 30 %, zuvor betrug die Reichweite nur ca. 200 km.

Flashcharger sind BE-Busse mit Schnellademöglichkeit. Sie verfügen über Ladepunkte an Haltestellen, meist an Endstationen. Durch die kleineren Batterien sind sie etwas leichter und in der Verfügbarkeit flexibler. Bei starker Entladung kann z.B. an der End- oder einer Zwischenstation etwas länger aufgeladen und damit auf ein Ersatzfahrzeug verzichtet werden - allerdings zu Lasten der Fahrplanteue oder zum Preis längerer fahrplanmäßiger Wendezeiten und somit wieder teurer zusätzlicher Kurse. Neben den bereits genannten Nachteilen benötigen sie auch noch elektrische Infrastruktur in Form der Ladestationen, der Stromabnehmer am Fahrzeug, vor allem aber der Stromzuführungen zu den Ladestationen, die für Flashcharger mit 10 kV oder mehr anzubinden sind. Die Dimensionierung der Ladestationen, insbesondere der Hochspannungsversorgung für Flashcharger muss sehr genau geplant werden. Bei Nichtverfügbarkeit von Hochspannung können in den Ladestationen Energiespeicher installiert werden, die jedoch ebenfalls kostenintensiv sind und kein durchgehendes Laden ermöglichen.

Schnellladen von Feststoff-Akkus ist nicht möglich; daraus resultiert, dass die Akkubatterien von Flashchargern entweder um ca. 30 % größer und schwerer sind als jene von Overnight-Chargern, was sich auf das Fassungsvermögen der Busse auswirkt, oder die Leistung bei gleich großer Batterie um 30 % geringer.

Schlussfolgerungen
<p>Der BE-Bus ist serienreif und Modelle großer europäischer Hersteller seit 2020 am Markt in Serie verfügbar, aber eingeschränkt einsetzbar. Die Anschaffungskosten für in Komfort und Kapazität dem Dieselsebus ungefähr ebenbürtige Modelle liegen in etwa doppelter Höhe eines Dieselsebus (ohne Akkubatterie, für diese gibt es teils Leasingmodelle), können allerdings zum Teil durch geringere Energie- und Betriebskosten sowie längere Lebensdauer kompensiert werden. Wirtschaftliche Amortisation ist nicht gegeben.</p> <p>Leistungsfähigkeit und Reichweite lassen einen Betrieb nur bei geeigneter Topografie zu; für Linien mit Höhenunterschieden von mehr als ca. 150 m sind BE-Busse nicht geeignet, da Rekuperation in die Akkubatterien nur eingeschränkt möglich ist, woraus eine signifikante Reichweiteneinschränkung und Überhitzungsprobleme bei Abwärtsfahrt resultieren.</p>

⁹ bei adäquatem Betrieb von Heizung oder Klimaanlage und geringen Höhenunterschieden

b) Wasserstoff-Brennstoffzellen-Elektrobus



Bild 7: Mercedes Citaro BZH in Bolzano Bozen (IT); 2013 wurden dort fünf Stück Vorserienfahrzeuge beschafft, erst 2022 sollen diese in Serie gehen^{xvii}; weitere 12 Stück Urbino 12 Hydrogen von Solaris wurden bestellt^{xviii} und sollen im Lauf des Jahres 2021 als weltweit erste Serienfahrzeuge ausgeliefert werden.

Eine von den IKB projektierte Wasserstoffproduktionsanlage würde Brennstoffzellenbusse als mögliche Alternative für Innsbruck und Umgebung ermöglichen.

Brennstoffzellenbusse sind bislang noch nicht in Serie verfügbar. Sie werden experimentell in einigen westeuropäischen Betrieben bereits seit 2004 eingesetzt, z.B. in Bozen seit 2013; in Wien wurde 2020 von ÖBB Postbus ein Fahrzeug getestet^{xvi}, ebenfalls seit 2020 wird in Wien ein Fahrzeug von den Wiener Linien getestet^{xiii}. Die Anschaffungskosten von Brennstoffzellenbussen sind deutlich höher als jene von BE-Bussen, die Hersteller- und Modellauswahl ist sehr klein. In Leistung und Reichweite sind sie aber Dieselnissen ebenbürtig, auch funktioniert die Technologie bereits zuverlässig, die praktischen Erfahrungen sind etwa in Bozen gut^{xi}.

Mit den anderen Elektrobus-Arten teilen sie sich die Vorteile des geräuschlosen Antriebs und der lokalen Schadstoffemissionslosigkeit und den Nachteil der etwas geringeren Fahrgastkapazität.

Schlussfolgerungen

Wasserstoff-Brennstoffzellen in Straßenfahrzeugen sind immer noch experimentell, was Risiken für Beschaffung und Betrieb birgt. Beschaffung und Betrieb sind mit deutlich höheren Kosten im Vergleich zu BE-Bussen verbunden, wengleich die Zuverlässigkeit sich in den vorhandenen experimentellen Installationen als gut herausgestellt hat und das System auch ein modernes Image genießt.

Die Produktion von Wasserstoff im Elektrolyseverfahren ist verlustreich und ökologisch nur zu verantworten, wenn dafür Ökostrom-Überschuss genutzt wird.

In Summe erscheint das System auf Grund der technischen und finanziellen Unwägbarkeiten als riskant. Jedoch dürfte der Brennstoffzellenbus nach heutigem Stand der Technik für lange Regional- und Fernbuslinien, deren Länge die Errichtung einer Fahrleitungsanlage und somit die Systeme O-Bus und E-Obus unfinanzierbar macht, auf Jahre die einzige Alternative zu Bussen mit Verbrennungsmotor sein. Auch z.B. der Fernbusanbieter Flixbus konzentriert seine Dekarbonisierungsbemühungen inzwischen auf die Brennstoffzelle.^{xix}

c) Klassischer Trolleybus

Abgesehen von der lokalen Emissionsfreiheit bietet der klassische O-Bus ohne Sekundärtrieb bzw. Energiespeicher gegenüber dem Euro6-Dieselsbus und dem CNG-/LNG-Bus bei großen Höhenunterschieden Vorteile, weil der Wirkungsgrad von E-Motoren deutlich besser ist als jener von Verbrennungsmotoren. Bergauffahrt ist so geräuscharm wie Bergabfahrt, und bei der Bergabfahrt kann sämtliche Energie in die Fahrleitung rekuperiert (durch die Abwärtsfahrt generierter Strom zurückgespeist) der beinahe zur Gänze sofort den bergauf fahrenden Bussen direkt nutzbar gemacht werden kann¹⁰; es ist dies das elektrisch nachgebildete Prinzip des mechanischen Gewichtsausgleichs, ähnlich einer Seilbahn mit Gegengewicht.

Da der nicht-hybride O-Bus keinen Sekundärtrieb und keine sekundären Energiespeicher besitzt, sind die Anschaffungskosten der Fahrzeuge im Vergleich zum E-Obus niedriger. Die Effizienz ist auf Grund des geringeren Fahrzeuggewichtes (keine Akkubatterien oder sonstigen Einrichtungen für hybriden Betrieb) höher, ebenso ist die Fahrgastkapazität um vier bis sechs Fahrgäste größer als bei einem E-Obus der gleichen Größenkategorie. Dem gegenüber stehen um ca. 50 % höhere Infrastrukturkosten von zusätzlich ca. € 500.000 pro Streckenkilometer¹¹ im Vergleich zum E-Obus.

Weltweit existieren heute 280 O-Bus-Betriebe^{xv}. Die meisten davon sind mehrere Jahrzehnte alt und befinden sich in Russland, den Nachfolgestaaten der Sowjetunion sowie in Osteuropa. Aber auch in Westeuropa finden sich viele O-Bus-Betriebe in vom Entwicklungsstand mit Österreich vergleichbaren Industriestaaten wie Frankreich, Italien und der Schweiz. Ähnlich wie die Straßenbahn konnte der O-Bus sich überall dort vom Image des "veralteten Verkehrssystems" lösen, wo das System modernisiert und in zeitgemäße ÖPNV-Strukturen integriert wurde. Aufgrund der großen Vielfalt an Betrieben sowie Herstellern von Fahrzeugen und Infrastruktur ist weder mittel- noch langfristig mit Beschaffungs- oder Wartungsproblemen zu rechnen.

In Österreich existieren O-Bus-Betriebe in Linz und in Salzburg. Salzburg zählt zu den größten O-Bus-Systemen in Westeuropa; in Linz werden auch Doppelgelenk-O-Busse eingesetzt. Für eine Systementscheidung in Innsbruck kann zusätzlich zu den Erfahrungen aus den früheren Innsbrucker O-Bus-Betrieben auch auf Erfahrungen in diesen Städten zurückgegriffen werden.

Schlussfolgerungen

Vorteile des Systems sind ausgeprägte technische Effizienz und die auf Grund des großen Weltmarktes relativ günstigen Fahrzeuge aller Größenordnungen vom Midibus über den Buszug bis zum Doppelgelenkbus. Nachteile sind die relativ hohen Investitionskosten für ortsfeste elektrische Infrastruktur. Die Beschaffungskosten der Fahrzeuge amortisieren sich im Vergleich mit Dieselsbussen durch die nahezu doppelt so lange Lebensdauer¹² und die niedrigeren Wartungskosten.

Als lokale Besonderheit ist in politische Überlegungen aber auch mit einzubeziehen, dass es in Innsbruck in der Vergangenheit wiederholt Kontroversen zum Thema O-Bus gab und vor allem der zweite O-Bus-Betrieb öffentlich kein besonders gutes Image hatte, zumal die Mitte der 1980er-Jahre getroffene politische Entscheidung für den im Vergleich zum Schienenverkehr weniger leistungsfähigen O-Bus fachlich falsch war, was entsprechende Auswirkungen auf den Betrieb hatte: die Busse waren anfangs zu den Hauptverkehrszeiten, später auch außerhalb dieser stets überfüllt. Politische Mehrheiten erscheinen daher für ein öffentlich eher als innovativ wahrgenommenes E-Obus-System leichter erzielbar als für den klassischen O-Bus.

¹⁰ Beim BE-Bus kann nur ein kleinerer Teil der Bremsenergie in den Akku rückgespeist werden; bei Bussen mit Verbrennungsmotor geht sämtliche Bremsenergie als Abwärme verloren

¹¹ 1 km doppelspurige Fahrleitung = ca. € 1 Mio.

¹² 20 Jahre gegenüber 12 Jahren bei Dieselsbussen

d) Akku-Hybrid-Trolleybus mit Unterwegsladung



Bild 8: E-Obus, Modell BGT-N1D von Carrosserie Hess AG der Salzburg AG
Länge: 18,741 m, Leergewicht: 18,407 t, 38 Sitz- / 103 Stehplätze, Klimaanlage, Fahrstrom 600/750 V DC, Akkubatterie 58 kWh für 8,4 km Batteriefahrt pro Umlauf + Reserve¹³

Mit dem Aufkommen der ersten BE-Busse vor rund 15 Jahren fanden sich bald auch erste O-Bus- und Tram-Hersteller, die kleinere Lithium-Ionen-Hilfsakkubatterien in ihre Fahrzeuge integrierten, um zunächst kurze fahrdrahtlose Abschnitte, z.B. in historischen Innenstädten, zu ermöglichen. Diese technische Innovation machte einige neue Tramsysteme oder neue Linien erst möglich, z.B. in Florenz (IT) oder Nizza (FR). Von der Anwendung von E-Obussen sind noch vergleichsweise wenige praktische Erfahrungen verfügbar, da O-Bus-Systeme in westlichen Ländern seltener geworden sind und der öffentliche Geldmangel in Osteuropa und in Schwellenländern nur punktuell Innovation ermöglicht. Die Technologie ist jedoch serienreif, in mehreren Städten im Echtbetrieb, und der Bedarf an Akkukapazität in Zusammenwirken mit der Unterwegsaufladung ist daher inzwischen auch präzise berechenbar¹⁴.

Seit 2020 liefern auch abseits der westlichen Industriestaaten immer mehr O-Bus-Hersteller Fahrzeuge mit Akkubatterien aus. Die Hybridtechnologie weist Vorteile beider Systeme auf. Der klassische O-Bus wird durch Onboard-Akkubatterien und mittels künstlicher Intelligenz (AI) gesteuerte Traktionsenergieverwaltung zum E-Obus erweitert und kann so auf langen Streckenabschnitten¹⁴ ohne Fahrleitung eingesetzt werden; wo eine Fahrleitung vorhanden ist, werden die Akkubatterien während der Fahrt aus der Fahrleitung geladen (herstellerspezifische Bezeichnungen dafür sind "In-Motion Charging" ("IMC"), „Hybrid Trolleybus“ oder „Dynamic Charger“). In Salzburg wurde der Begriff „E-Obus“ geprägt, der auch hier verwendet wird.

Für die Abschnitte mit Fahrleitung wird Trolleybus-Technologie verwendet, die um Komponenten für automatisches Aus- und Eindrahten und intelligentes Energiemanagement erweitert wurde.

¹³ alle Angaben gemäß Datenblatt des Herstellers

¹⁴ je nach Modell laut Herstellerangaben bis zu 50 % der Strecke

Das Eindrahten im Bereich eines Eindrahtungstrichters ist bei stehendem Bus in 18 s möglich¹⁵, was einem um 3 s verlängerten Fahrgastwechsel entspricht¹⁶.



Bild 9: Eindrahtungstrichter zum schnellen automatischen Eindrahten nach fahrleitungslosen Abschnitten

Im Vergleich zum O-Bus sind die Fahrzeuge auf Grund der Akkubatterien um ca. 1,2 t schwerer¹⁷. Letzteres wirkt sich negativ auf die Energieeffizienz aus.

E-Obus- bzw. IMC-Systeme im Linienbetrieb befinden sich z.B. in Salzburg sowie in den europäischen Städten Arnhem (NL), Esslingen (DE), Eberswalde (DE), Solingen (DE), St. Etienne (FR), Prag (CZ), Brasov (RO); in Nordamerika in Dayton, Ohio¹⁸.

Mehrere Betriebe auch in Westeuropa untersuchen die Einführung von E-Obussen oder planen sie bereits, so z.B. Berlin. Bisherige Erfahrungen sind überwiegend positiv, die Zuverlässigkeit und Ausfallsicherheit erscheint weit höher als jene von BE-Bussen mit Overnight- oder Flashcharging. Mehrere Hersteller bieten bereits entsprechende Fahrzeuge an¹⁹.

In Salzburg sind seit 15. Dezember 2019 E-Obusse auf Linie 5 eingesetzt; insgesamt 15 Gelenkfahrzeuge wurden beim Schweizer Hersteller Hess bestellt. Der Winter 2019/2020 wurde mit diesen Fahrzeugen ohne Probleme und bei vollem Heizbetrieb bewältigt¹⁹. Da Innsbruck und Salzburg über ähnliche klimatische und topografische Rahmenbedingungen verfügen, haben die Salzburger Erfahrungswerte kritische Aussagekraft für eine Systementscheidung in Innsbruck. Das gilt auch für Linz. Linz kann vor allem zum Einsatz von Doppelgelenkbussen, die in Innsbruck auf stark nachgefragten Linien wie C, F oder R ebenfalls in Erwägung zu ziehen sind, Erkenntnisse liefern.

Zur Zeit wird davon ausgegangen, dass für ein ausgewogenes Verhältnis von Akkukosten und -gewicht gegen Errichtungs- und Wartungskosten von Fahrdrähten und Unterwerken bei einer

¹⁵ eigene Messung am 18.8.2021 in Salzburg

¹⁶ Für die Dauer des Fahrgastwechsels werden bei den IVB in der Regel 15 s angesetzt

¹⁷ Gewicht der Akkubatterien der Hess-Fahrzeuge in Salzburg, Quelle: Salzburg AG

¹⁸ Eine vollständige Liste ist nicht verfügbar. 2020 haben mehrere weitere O-Bus-Betriebe Fahrzeuge mit Unterwegsladetechnologie beschafft.

¹⁹ Angabe Salzburg AG

Zuverlässigkeit, die gleich hoch sein soll wie bei Vollverdrahtung, bis zu 50 % der Strecke fahrleitungsfrei sein können. Grundsätzlich sind fahrdrahtlose Abschnitte nur bei leichter Neigung oder einer gleichmäßigen Abfolge von Steigungen und Senkungen sinnvoll. Aufgrund der Renommiertheit des Systems O-Bus sind für die Streckenabschnitte mit Fahrstromversorgung aus der Fahrleitung zuverlässige Komponenten verfügbar, die keiner weiteren Grundlagenforschung bedürfen.

An der Entwicklung und Verbesserung spezifischer IMC-Komponenten wird geforscht, beispielsweise an einem System für schnelleres automatisiertes Eindrahten während der Fahrt^{iv}. Die Akkubatteriekomponente unterliegt den gleichen Limitationen wie beim BE-Bus und profitiert somit direkt von der umfangreichen weltweiten Forschungstätigkeit zum BE-Bus.

Zu möglichen Synergien neuer mit bereits bestehenden elektrischen Verkehrsmitteln sind die Erkenntnisse des 2018 abgeschlossenen EU-Forschungsprojekts ELIPTIC verfügbar^{vii}.

Schlussfolgerungen

Der E-Obus vereint in sich viele Eigenschaften des BE-Busses und des O-Busses. Die Möglichkeit des Verzichts auf bis zur Hälfte der ortsfest installierten elektrischen Infrastruktur erleichtert die politische Durchsetzbarkeit, erhöht die Flexibilität und senkt die Investitions- und Wartungskosten, während die Investitions- und Betriebskosten der Fahrzeuge im Vergleich zum O-Bus höher sind. Zur Lebensdauer kann noch keine definitive Aussage getroffen werden, sie dürfte sich aber nicht vom O-Bus unterscheiden und kann auf 20 Jahre angesetzt werden.

Im Vergleich zum BE-Bus fallen durch die notwendigen Fahrleitungsanlagen zwar höhere Kosten an, im Gegenzug kann aber auf Ladeinfrastruktur im Remisenbereich und an Endstationen verzichtet werden. Die Reichweite ist einschränkungslos und Höhenunterschiede > 100 m sind problemlos bewältigbar; dafür ist das System ebenso ideal geeignet wie der O-Bus.

Die Möglichkeit, auf Fahrleitungen abschnittsweise zu verzichten und die fahrleitungslosen Streckenabschnitte mit großer planerischer Freiheit festlegen zu können eliminiert von vornherein politische und Genehmigungshindernisse wie etwa hinsichtlich des Ortsbildschutzes oder der Befestigungsmöglichkeiten für Fahrleitungen.

Die Zuverlässigkeit scheint jener von O-Bussen ebenbürtig zu sein²⁰.

²⁰ Angabe Salzburg AG am 18.8.2020: im Zeitraum 2019–2020, auch im Winter, traten keine Probleme auf

5. Beispiele für potenzielle Einsatzgebiete der verschiedenen Technologien

a) Linie A oder Linie M mit BE-Bussen (Kategorie Normalbus) zur Elektrobuss-Einführung

Als mit Normalbussen betriebene Linie ohne nennenswerte Höhenunterschiede ist die Linie M geeignet für die sofortige und risikoarme Umstellung auf BE-Busse.

Die Linie A wird ebenfalls mit Normalbussen betrieben, ihr Streckenprofil zeigt einen Höhenunterschied von 152 m. Sie ist daher ebenfalls besonders gut geeignet, weil in den Steigungen der Vorteil des geräuschlosen Antriebs und die hohe Fahrdynamik besonders zum Tragen kommen.

Weitere Details dazu im [ANHANG: Jumpstart-Umstellung der Linie A oder M auf BE-Busse](#).

b) Linie W mit E-Obussen (Kategorie Midibus) zum Erfahrung sammeln

Die Linie mit geringem Auslauf und Fahrgastzahlen, aber ausgeprägten Spitzen sowie einer Steigungsstrecke eignet sich zum Testen der Rekuperativwirkung und der wegfallenden Lärmemissionen; die Anrainer*innen in Hötting profitieren vom Wegfallen des Verbrennungsmotorenlärms bei der Bergauffahrt.

Auf der Gefällestrecke von der Schmelzergasse bis Alpenzoo wären jedenfalls rund 900 Meter zweispuriger Fahrdrabt erforderlich. Die Flachstrecke Innstraße bis Marktplatz (idealerweise bis Terminal, Wenden bei Johanneskirche) wäre ebenfalls ca. 900 Meter lang, hier könnten Länge, Position und Aufteilung des verbleibenden Fahrdrabtabschnittes bedarfsgerecht eingerichtet werden. Der bezüglich Ortsbildschutz kritischste Teil von St. Nikolaus zwischen Hans-Brenner-Platz und Innbrücke sowie der Abschnitt Innsbrücke bis Marktplatz könnten weitgehend fahrleitungsfrei bleiben. Damit würden keine technisch aufwändigen Fahrleitungsweichen und -kreuzungen beim Queren der Tramtrasse am Marktplatz benötigt. Die Linie W könnte gleichzeitig auf ein Intervall von 20 Minuten verdichtet werden; derzeit verkehrt sie bereits mit zwei Bussen, aber nur alle 30 Minuten mit langen unproduktiven Stehzeiten von 16 Minuten beim Alpenzoo.

Der Auslauf im Tagesverkehr erfordert zwei Midibusse. Vergleichbare Fahrzeuge laufen z.B. als O-Busse in Lyon (FR).

c) Linie R mit Gelenk- oder Doppelgelenk-E-Obussen als infrastrukturorientierte²¹ Umstellung

Aufrüstung auf "Metrobus-Standard" mit E-Obussen auf einer langen Hauptlinie mit hohem Fahrgastaufkommen; von Teilen der Bevölkerung lange geforderte Re-Elektrifizierung der Linie, entweder nur am Ostast oder auch am Westast, dort als Vorlauf für späteren Trambetrieb.

Bei Beibehaltung der Streckenführung kann auf ca. 5,3 km oder 50,2 % der ca. 10,5 km langen Strecke in den Stadtteilen Höttinger Au, Saggen und Reichenau ehemalige O-Bus-Infrastruktur reaktiviert werden. Auf weiteren 2,65 km oder 25,1 % kann elektrische Infrastruktur der Tram mitgenutzt werden. Damit sind insgesamt ca. 75% der Strecke bereits heute mit wieder- oder mitnutzbaren Bestandteilen elektrischer Infrastruktur versehen. Da die gesamte Strecke dieser Linie im Flachen verläuft, gibt es keine Abschnitte, auf denen Fahrleitungen unbedingt erforderlich sind. Die Abschnitte mit neuer Fahrleitung können somit kostensparend auf 50-60 % der Gesamtstrecke errichtet werden, auf denen bereits reaktivierbare oder bereits in Betrieb befindliche, durch die Tram genutzte elektrische Infrastruktur besteht, und / oder dort, wo eine gemeinsame Nutzung mit anderen Linien von IVB oder VVT erfolgen kann. Der Rest kann fahrleitungslos bleiben. Durch die Tram genutzte elektrische Infrastruktur muss zur Mitnutzung verstärkt werden.

Der Auslauf im Tagesverkehr erfordert bei bevorrangter Trassierung und entsprechender Beschleunigung ca. 10 Gelenk- oder Doppelgelenkbusse.

²¹ Siehe Erklärung "infrastrukturorientiert" in [6. Empfehlungen zu Systemwahl und Vorgehensweise](#)

d) Linie J mit E-Obussen (Kategorie Normalbus) als bedarfsorientierte²² Umstellung

Durchmesserlinie mit einem großen Anteil an Gefällestrecke; die rekuperative Rückspeisung (bergab fahrende Busse liefern direkt einen Großteil der Energie für die bergauf fahrenden) ergibt besonders hohe Energieeffizienz. Entlastung der Anrainer*innen in Hötting, Hungerburg, Igls und Lans durch Wegfallen des Verbrennungsmotorenlärms bei der Bergauffahrt.

Die Strecke teilt sich auf in ca. 4 km Gefällestrecke im Norden (25 %), ca. 4 km Flachstrecke durch das Stadtzentrum (25 %) und ca. 8 km Gefällestrecke im Süden (50 %). Damit sind ca. 75 % der Strecke mit Fahrleitung zu versehen, es bleibt aber genügend Spielraum für fahrleitungsfreie Ortsdurchfahrten durch Igls und Lans, auch kann die gesamte Strecke durch das Innsbrucker Stadtzentrum von St. Nikolaus bis Südpradl fahrleitungsfrei bleiben, wodurch auch hier kostenintensive und technisch aufwändige Fahrdrachtkreuzungssituationen mit der Tram vermieden werden können.

Da auf der Linie J kaum mehr Beschleunigungsmöglichkeiten bestehen, erfordert der Auslauf im Tagesverkehr bei gleichbleibendem Umfang und Streckenführung jedenfalls wie jetzt 10 12m-Solobusse.

²² Siehe Erklärung "bedarfsorientiert" in [6. Empfehlungen zu Systemwahl und Vorgehensweise](#)

6. Empfehlungen zu Systemwahl und Vorgehensweise

Ein einziges der verfügbaren Systeme allein ist nicht in der Lage, alle Anforderungen der Liniennetze von IVB und VVT wirtschaftlich, technisch und politisch akzeptabel abzudecken. Ein Mix mehrerer Technologien ist unumgänglich.

Empfehlung

Aus heutiger Sicht wird im IVB-Netz der Ersatz der Dieselsebusse auf Relationen

- mit sehr hohem potenziellem Fahrgastaufkommen (Linie C West, Linie R West, Quartier Pradl Süd, Schienenachse Amras–Rossau) **durch Straßenbahnen**²³,
- mit hohem Fahrgastaufkommen (Gelenkbus, Doppelgelenkbus) und / oder Höhenunterschieden größer als ca. 150 m oder dort, wo ein elektrischer Vorlaufbetrieb für späteren Schienenverkehr sinnvoll erscheint, **durch E-Obusse**
- sowie mit mittlerem bis geringem Fahrgastaufkommen (Normalbus, Midibus) und Höhenunterschieden kleiner als ca. 150 m **durch BE-Busse**

empfohlen.

Auf den VVT-Regionallinien wird der Ersatz der Dieselsebusse

- auf Relationen mit sehr hohem Fahrgastaufkommen (Inntal Ost-West, westliches Mittelgebirge) **durch Regionalstadtbahnen**²⁴
- auf den kürzeren Innsbrucker Vorort-Regionallinien **durch E-Obusse**
- sowie auf den längeren Regionallinien mit Überland- und Autobahnabschnitten **durch Wasserstoff-Brennstoffzellenbusse**

empfohlen.

Empfehlung

Um jeden weiteren Zeitverlust zu vermeiden, wird empfohlen, dass Innsbruck sich entsprechend skaliert (ca. 10:1) an der Vorgangsweise der Wiener Linien²⁵ orientiert, mit dem Ziel eines schnellstmöglich beginnenden Fahrgastbetriebs, idealerweise mit Testfahrzeugen bereits ab 2021 bis zum Eintreffen der erster eigener Fahrzeuge ab frühestens 2022.

Im Anhang ist deshalb ein [Vorschlag für eine Jumpstart-Umstellung](#) formuliert, mit deren Planung und Umsetzung nach politischer Maßgabe und Budgetierung sofort begonnen werden kann.

²³ nicht CVD-wirksam, wird in diesem Dokument deshalb nicht im Detail behandelt

²⁴ nicht CVD-wirksam, wird in diesem Dokument deshalb nicht im Detail behandelt

²⁵ Die Strategie der Wiener Linien^{xiii} (Auszug):

Bis 2027: 82 emissionslose Busse auf Wiens Straßen unterwegs

Die Wiener Linien starten 2021 mit der Ausschreibung für 62 Normalbusse mit reinem Elektroantrieb sowie für 10 Normalbussen mit Wasserstoffantrieb mit Brennstoffzelle.

2024 startet die Ausschreibung für die seit 2013 auf den Linien 2A und 3A erfolgreich eingesetzten E-Kleinbusse. Die ersten emissionslosen Busse werden ab 2023 im Fahrgastbetrieb unterwegs sein, spätestens 2027 werden insgesamt 82 Busse mit alternativem Antrieb die Euro-6-Busflotte verstärken. Die Investitionskosten dieser Ausschreibungen betragen mehr als 50 Millionen Euro. Im Süden Wiens entsteht deshalb ein Kompetenzzentrum für E-Busse. In Siebenbrunn wird eine eigene E-Busgarage entstehen mit dafür geeigneten Linien für den E-Betrieb.

Im Norden Wiens entsteht eine Wasserstoff-Tankstelle in der Garage Leopoldau. Dort wird erstmals Wasserstoff (H₂) als Antriebsform getestet. Voraussichtlich ab Juni 2020 wird der erste H₂-Testbus im Einsatz sein.

Für die Planung der Umstellung des Bussystems ohne betriebsnotwendige ortsfeste Einrichtungen auf ein System mit Fahrleitungen bzw. Ladestationen existieren zwei mögliche Ansätze: ein infrastrukturorientierter und ein bedarfsorientierter.

Im **infrastrukturorientierten** Ansatz wirken als Kriterien die Umstellungskosten und die Verfügbarkeit elektrischer Infrastruktur:

- Vorhandensein von Versorgungs- und Verstärkungsleitungen, Unterwerken und Masten ehemaliger O-Bus-Strecken: Linie R in der Reichenau und im Saggen, in der Höttinger Au sowie ehemalige Linie O in Allerheiligen.
- Mitnutzbarkeit von Infrastruktur der Straßenbahn: Stromversorgung für Fahrleitungen von O-Bus oder E-Obus oder Zwischenladestationen dort, wo Straßenbahnlinien parallel verkehren. v.a. in der Innenstadt; dort, wo Versorgungsleitungen und Unterwerke der Straßenbahn in der Nähe sind.
- Mitnutzbarkeit bereits errichteter neuer Fahrleitungsanlagen von E-Obus- oder O-Buslinien: spielt anfangs noch keine Rolle, aber später beim weiteren Ausbau des Systems.
- Synergien mit Regionallinien des VVT: im besten Fall wird gemeinsam geplant, realisiert und genutzt.

Im **bedarfsorientierten** Ansatz sind die wichtigsten Kriterien die mittels der Umstellung erzielbaren betrieblichen Vorteile:

- Lärmreduktion und Energieeinsparung durch Rekuperation: erzielbar mit allen elektrischen Antrieben auf Steigungs-/Gefällestrecken.
- Schnellere Amortisation der teureren Fahrzeuge und Infrastruktur: erzielbar bei hohem Fahrgastaufkommen.
- Abschnittsweiser Verzicht auf im Stadtbild störende Fahrleitungen: erzielbar mit BE-Bussen, teilweise erzielbar mit E-Obussen.
- Verzicht auf technisch komplexe, teure und wartungsintensive Fahrleitungskomponenten wie Weichen und Kreuzungen: erzielbar mit E-Obussen und BE-Bussen.

7. Unwägbarkeiten und Gamechanger

a) Technischer und ökologischer Durchbruch bei BE-Bussen

Bei weiterer Verbesserung der Speicherkapazität von Akkubatterien wäre der BE-Bus dem O-Bus und E-Obus wegen der wegfallenden Fahrleitungskosten und der noch höheren Flexibilität sowie dem Brennstoffzellenbus wegen der höheren Energieeffizienz zunehmend wirtschaftlich überlegen. Aus Gründen der Nachhaltigkeit müssen jedoch auch die ökologischen und ethischen Probleme der Rohstoffgewinnung für Akkus gelöst werden. Zu diesen Punkten ist keine seriöse Prognose möglich.

b) Bau des Westastes der Straßenbahnlinie 3 bzw. andere Ausbaumaßnahmen des Straßenbahn- und Regionalstadtbahnsystems

Aufgrund der geringeren Fahrzeuganzahl bei Umstellung des Westastes der Linie R auf Schienenverkehr erfordert die Umsetzung dieses politisch bereits (im Umfang des heutigen Westastes der Buslinie R) grundsatzbeschlossenen Schienennetzausbaus eine Neuberechnung der Investitionskosten, ist jedoch als ideale Variante zu sehen; diese Schienennetzerweiterung ist mittelfristig erforderlich²⁶, ein Elektrobusbetrieb egal mit welchem System auf Teilabschnitten der Linie R wäre grundsätzlich als Straßenbahn-Vorlaufbetrieb zu sehen.

Für die ca. 3,3 km lange Schienenstrecke zum Flughafen sind ca. € 30 Mio. zu veranschlagen; weitere ca. € 7 Mio für die zwei dafür benötigten zusätzlichen Straßenbahnfahrzeuge, sofern diese nicht durch Optimierungsmaßnahmen im Liniennetz freigespielt werden können.

Auch andere Schienenprojekte wie etwa der Straßenbahn zur Erschließung des projektierten Wohnviertels Pradl-Süd oder der Straßenbahnachse von Amras durch das Industriegebiet Roßau ins Olympische Dorf als Netzlückenschluss haben bei Realisierung Einfluss auf das Busnetz. Der weitere Tram-Ausbau wird hier zwar nicht im Detail behandelt, muss aber als unverzichtbarer Bestandteil der Dekarbonisierung immer prioritär mitbetrachtet werden.

²⁶ Ein Bussystem kann aus Kapazitätsgründen kein spurgeführtes Schienenverkehrsmittel gleichwertig ersetzen.

8. Exemplarische Grobschätzung von Erstinvestitionskosten

Die folgende Schätzung orientiert sich an den [in Abschnitt 5 angeführten Beispielen](#)²⁷.

Bei BE- und E-Obussen ist die Akkubatterie nach 7 bis 12 Jahren zu erneuern. Dafür fallen bei direkter Beschaffung Kosten von ca. € 400.000 pro Fahrzeug an²⁸. Da diese Kosten variieren können und es sich um Betriebskosten handelt, sind sie in den folgenden Initialkostenrechnungen nicht berücksichtigt.

Die ehemaligen O-Bus-Abstellmöglichkeiten im Betriebshof Pastorstraße könnten für O-Busse reaktiviert werden; E-Obusse, BE-Busse oder Brennstoffzellenbusse würden vermutlich aus Brandschutzgründen ein eigenes Depot oder einen Umbau erfordern; das festzustellen ist jedoch nicht Teil dieser Untersuchung, weshalb auch diese Kosten hier nicht berücksichtigt werden.

Fahrleitungskosten:

Die Kilometerkosten für zweispurige O-Bus-Fahrleitung inklusive elektrische Infrastruktur betragen ca. € 1 Mio.

Für die vorgeschlagenen drei Linien werden insgesamt ca. 20,1 km Fahrleitung benötigt (Linie R 6,8 km, Linie W: 1,3 km, Linie J: 12 km).

Die Fahrleitungskosten betragen somit **ca. € 20 Mio.**

Fahrzeugkosten:

Die Kosten für einen Gelenk-E-Obus betragen am Beispiel Salzburg ebenfalls € 1 Mio²⁹, das ist etwa das Dreifache eines Diesalgelenkbusse. Ein Solo- oder Midi-E-Obus kostet etwa 2/3 seines Diesel-Pendants. Zu beachten ist, dass Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb eine deutlich längere technische Lebensdauer haben. Während man bei Straßenbahnen mit 30 Jahren von der knapp dreifachen Lebensdauer eines Dieselmotors ausgeht, ist es bei BE- und O-Bussen mit 20 Jahren knapp das Doppelte³⁰. Der zukünftige Investitionsbedarf in die Fuhrparkerneuerung verringert sich entsprechend.

Für die vorgeschlagenen drei Linien werden mindestens 24 Busse (22 + 2 Reserve), evtl. 26 Busse benötigt, davon 11–13 Gelenk-, 11 Solo- und 2 Midibusse. Damit ist die Anforderung der CVD für 2030 nach heutigen Zahlen exakt erfüllt (diese können jedoch noch variieren).

Die Beschaffung der E-Obusse kostet somit **ca. € 20–22 Mio.**

a) Variante: Gesamt-Erstinvestitionskosten ohne Straßenbahnerweiterung Linie 3-West

Das Upgrade der Linien W, R und J auf E-Obus kostet in Summe **ca. € 41 Mio**³¹.

b) Variante: Gesamt-Erstinvestitionskosten mit Straßenbahnerweiterung Linie 3-West

Das Upgrade der Linien W, R-Ost und J auf E-Obus sowie der Linie R-West auf Straßenbahn kostet in Summe **ca. € 74,2 Mio**³².

Diese Summe setzt sich zum Unterschied von Variante a) folgendermaßen zusammen:

- € 41 Mio., wie Variante a)
- abzüglich 2,8 km O-Bus-Fahrleitung und 3 Gelenk-E-Obusse
- zuzüglich 3,3 km Straßenbahntrasse und 2 Straßenbahnen.

²⁷ ohne Berücksichtigung von [ANHANG: Jumpstart-Umstellung der Linie A oder M auf BE-Busse](#)

²⁸ Angabe der Salzburg AG für die Hess-Gelenkfahrzeuge

²⁹ Angabe der Salzburg AG

³⁰ Angabe der Salzburg AG

³¹ nicht berücksichtigt: Depot und Werkstätten, Akkubatterierneuerung

³² nicht berücksichtigt: Depot und Werkstätten, Akkubatterierneuerung

9. Fördermöglichkeiten

Es folgt exemplarisch die unvollständige Auflistung einiger Fördermöglichkeiten.

EU-Förderung ist möglich. Für das Projekt des In-Motion-Charging-O-Busses in Arnhem (NL) wurde z.B. im Rahmen des Interreg-Projektes^{vi} E-Bus 2020ⁱⁱ eine EU-Förderung von € 4,328 Mio. ausgeschüttet.

Durch das EU-Förderprogramm Electric Mobility Europe gefördert, beschäftigt sich das laufende Forschungsprogramm Trolley 2.0 seit 2018 spezifisch mit E-Obussen^v.

Elektrische Ladeinfrastrukturen, somit auch Overnight- und Schnellladeeinrichtungen für BE-Busse und Fahrleitungsanlagen für E-Obusse, werden gemäß Kommunalinvestitionsgesetz 2020 vom Bund gefördert^{xii}.

Bundesförderungen für elektrische Transportmittel könnten möglicherweise in naher Zukunft aus der von der Bundesregierung angekündigten "Nahverkehrsmilliarde" und der ebenfalls angekündigten „Regionalverkehrsmilliarde“ lukriert werden können, ein Inkrafttreten der entsprechenden Gesetze ist aber noch ausständig.

Literatur, Quellen, Bildnachweise

a) Literatur und Quellen

- (I) *Abhishek Singh Tomar, Bram Veenhuizen, Lejo Buning and Ben Pyman, 2018: Estimation of the Size of the Battery for Hybrid Electric Trolley Busses Using Backward Quasi-Static Modelling*
- (II) *E-Bus 2020, abgerufen am 1.12.2019: <https://www.keep.eu/project/17726/e-bus-2020-in-motion-charging>*
- (III) *Hersteller von Unterwegslader-Trolleybussen, abgerufen am 2.12.2019: [Iveco](#), [Hess-Kiepe](#), [Vossloh-Kiepe](#)*
- (IV) *Artikel auf [oiger.de](#), abgerufen am 19.12.2019:
<https://oiger.de/2019/06/24/zwickau-entwickelt-batterie-o-bus/171842>*
- (V) *Projektwebsite von Trolley 2.0, abgerufen am 10.12.2019: <https://www.trolleymotion.eu/trolley2-0/>*
- (VI) *Artikel auf [euregio.org](#), abgerufen am 10.12.2019:
<https://www.euregio.org/action/news/item/212/trolleybus-2.0-f-hrt-jetzt-in-arnhem/>*
- (VII) *ELIPTIC - Electrification of public transport in cities: <https://eliptic-project.eu/>*
- (VIII) *Siehe auch Erläuterungen auf [voewg.at](#), abgerufen am 18.1.2020:
<https://www.voewg.at/1919/02/25/trilog-einigung-zur-clean-vehicles-directive-richtlinie-zur-beschaffung-sauberer-strassenfahrzeuge/>*
- (IX) *PDF auf Website des BMK, abgerufen am 7.1.2021:
https://www.bmk.gv.at/themen/klima_umwelt/klimaschutz/nat_klimapolitik/energie_klimaplan.html*
- (X) *Fahrzeugstatistik, abgerufen am 4.1.2021: <http://forum.strassenbahn.tk/mobile/viewtopic.php?t=2025>*
- (XI) *PDF auf Website der Südtiroler Landesregierung, abgerufen am 4.1.2021:
https://www.wassertirol.at/fileadmin/user_upload/Wasser_Tirol_-_Dienstleistungs-GmbH/Unternehmen/News/2017/17-05-18_Alle_News_Bereich_Landesverwaltung_Autonome_Provinz_Bozen_-_Suedtirol.pdf*
- (XII) *KIG 2020 §2 Abs. 2, 14, abgerufen am 8.1.2021:
<https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20011210>*
- (XIII) *Artikel auf [wienerlinien.at](#), abgerufen am 9.1.2021:
<https://www.wienerlinien.at/eportal3/ep/contentView.do/pageTypeId/66526/programId/74577/contentTypeId/1001/channelId/-47186/contentId/5000824>*
- (XIV) *Casestudy Shenzhen 2020, abgerufen am 9.1.2021:
<https://iea.blob.core.windows.net/assets/db408b53-276c-47d6-8b05-52e53b1208e1/e-bus-case-study-Shenzhen.pdf>*
- (XV) *Trolley World Map der Lobbyorganisation Trolleymotion, abgerufen am 9.1.2021:
<https://www.trolleymotion.eu/trolleystaedte/>*
- (XVI) *Wasserstoffbusse auf [postbus.at](#), abgerufen am 10.1.2021:
<https://www.postbus.at/das-unternehmen/innovationen/wasserstoffbusse.html>*
- (XVII) *Artikel im Branchenmagazin [electrified](#), abgerufen am 10.1.2021:
<https://www.electrifiedmagazin.de/mobilitaet/mercedes-citaro-kommt-2022-mit-brennstoffzelle/4673/>*
- (XVIII) *Meldung auf [solaribus.com](#), abgerufen am 10.1.2021:
<https://www.solaribus.com/de/presse/bozen-bestellt-12-wasserstoffbusse-von-solaris-1107>*
- (XIX) *Artikel im Fachmagazin [ecomento](#), abgerufen am 10.1.2021:
<https://ecomento.de/2020/02/12/flibus-e-mobilitaet-vorerst-nur-eine-utopie/>*
- (XX) *Herstellerangaben und Live-Dashboard auf Hersteller-Website, abgerufen am 10.1.2021:
<https://www.ebusco.com/>*

b) Bildnachweise

Titelbild: Manni Schneiderbauer

Bild 1–6: Herstellerunterlage

Bild 7–9: Manni Schneiderbauer

ANHANG: Jumpstart-Umstellung der Linie A oder M auf BE-Busse

Zunächst wird beschrieben, nach welchen Kriterien die Vorselektion dieser Linien erfolgte. Zumindest eine von beiden soll von den Entscheidungstragenden ausgewählt werden.

- Wenn eine Schnellladestation für Flash-Charger errichtet werden soll, ist eine Linie der IVB auszuwählen, die auf längere Zeit mit Batteriebussen betrieben wird, wo also in dieser oder der nächsten GR-Periode voraussichtlich weder E-Obus, Brennstoffzellenbus noch Straßenbahn zum Einsatz kommen. Damit wird die Investition in den Ladeplatz abgesichert.
- Der Auslauf (Fahrzeuganzahl) im Tagesbetrieb der Linie sollte eher klein sein, 4–6 Busse, um mit einem politisch kurzfristig möglichen Budget eine Linie komplett mit BE-Bussen ausstatten zu können. Einzelne Dieselbusse zwischen den E-Bussen würden lärmtechnisch besonders negativ auffallen, weshalb der Regelumlauf typenrein sein sollte.
- Die Linie sollte eine Normalbuslinie sein (12-m-Busse), da Gelenkbuslinien eher für den Betrieb mit E-Obussen oder die Umstellung auf Straßenbahn in Frage kommen. Eine mittelfristige Umstellung auf Gelenkbusse sollte nicht im Raum stehen.
- Die Linie sollte topografisch für die Bedienung mit BE-Bussen geeignet sein, d.h. keine Höhenunterschiede > ca. 150 m aufweisen.
- Die Linie sollte von den IVB selbst betrieben werden, um Umstellungen und damit den Eingriff in Verträge mit Subunternehmen zu vermeiden. Da beispielsweise die von den IVB im Auftrag des VVT betriebenen Regionallinien 501–590 erst 2016 mit neuen EURO6-Dieseln ausstattet wurden und die Bedienung teilweise an das Subunternehmen Ledermais vergeben ist, kommen diese Linien für den Jumpstart nicht in Frage.
- Als Imageträger (erste mit BE-Bussen betriebene Linie) sollte die Linie zu den Durchmesserlinien gehören bzw. im Stadtbild gut wahrnehmbar sein und ein eher dichtes Intervall besitzen.

Bei Anwendung aller obenstehenden Kriterien bleiben die Linien A und M übrig, welche folgende Streckenprofile aufweisen:

- Linie A
 - Auslauf: 5 Busse im Tagesverkehr, 3 Busse im Abendverkehr
 - Höhenprofil (halber Umlauf):



Allerheiligenhöfe – Sadrach – Terminal Marktplatz – Rum Sanatorium

- Max. Höhenunterschied: 152 m
 - Umlauflänge: 22,8 km (Allerheiligenhöfe – Rum Sanatorium – Allerheiligenhöfe)
- Linie M
 - Auslauf: 4 Busse im Tagesverkehr³³, 2 Busse im Abendverkehr
 - Höhenprofil (halber Umlauf):

³³ Wurde mit dem Fahrplanwechsel 2020/2021 auf Grund von Problemen mit dem motorisierten Individualverkehr ("mIV") temporär auf 5 aufgestockt; der aufrechte politische Auftrag lautet, die Störungen durch den mIV zu beseitigen und den Auslauf wieder auf 4 zu reduzieren, was spätestens mit Umstellung auf BE-Busse geschehen muss



Mentlberg – Stadion

- Max. Höhenunterschied: 44 m
- Umlauflänge: 15,6 km (Mentlberg – Stadion – Mentlberg)

Die Auswahl des Fahrzeugherstellers muss in einer EU-Ausschreibung erfolgen. Dennoch läßt sich diese über technische Vorgaben in den Ausschreibungskriterien nach dem vorliegenden Bedarf eingrenzen.

Im Hinblick auf die Leistungsdaten der verschiedenen Batteriebusmodelle und die Charakteristika der beiden zur Auswahl stehenden Linien wird folgende Empfehlung formuliert:

Empfehlung

Es sollen BE-Busse beschafft werden, um die Linie A (5 Kurse) oder die Linie M (4 Kurse³⁴) durchgehend elektrisch zu betreiben.

Geeignete Fahrzeuge sind MAN Lion's City 12E, Mercedes eCitaro, Solaris Urbino 12 Electric oder Scania Citywide BEV; eine Hersteller-Vorauswahl soll daher diese drei Hersteller umfassen. Wartungs- und Reparaturmöglichkeit durch den Hersteller ist für einen Jumpstart unerlässlich, da ein ausreichend rascher Aufbau einer internen Werkstätte für BE-Busse samt ausgebildetem Personal nach Einschätzung des Autors nicht möglich ist.

Die mit Abstand günstigste Kombination aus Reichweite und Ladezeit des MAN Lion's City 12E könnte dabei besonders berücksichtigt (z.B. als Stand der Technik definiert) werden.

Vor der Ausschreibung soll untersucht werden, ob der Auslauf der umzustellenden Linie durch Beschleunigungs- und Entstörungsmaßnahmen um 1 Kurs verkleinert werden kann³⁵, so dass 1 BE-Bus weniger beschafft werden kann.

Zum Laden in der Busgarage per Overnight-Charging ist die Ausstattung von zunächst 3–5 Stellplätzen³⁶ mit Ladekabeln (80 kW) und entsprechender Stromversorgung erforderlich. Die elektrische Infrastruktur für das Overnight-Charging muss die Konsumation von 320 kW für 3 Stunden oder sequenziell von 160 kW für 2-mal 3 Stunden im Zeitraum ca. Mitternacht bis 6 Uhr morgens ermöglichen. Der Fahrzeugeinsatz muss entsprechend geplant werden.

Eine weitere Ladestation für Flash-Charging in der Wendezeit ist an einer der beiden Endstationen erforderlich. Hierbei hängen die maximalen Ladeströme von Bus- und Batterietyp und von der verfügbaren Hochspannung ab und können bis zu 600 kW betragen. Die Endstation "Stadion" der Linie A könnte dafür wegen der Verfügbarkeit von Hochspannung in der Nähe (Stadion-Stromversorgung) besser geeignet sein³⁷; die politisch ins Auge gefasste Anbindung des Stadions bzw. des geplanten Quartiers Pradl-Süd mittels Straßenbahn könnte aus Synergiegründen die Errichtung eines entsprechenden Unterwerks begünstigen.

Auf der umzustellenden Buslinie ist zur Sicherstellung der Wende- und damit der Ladezeiten in ihrer gesamten Länge störhaltfreier Verkehr sicherzustellen, wenn nötig auch durch neue Busspuren; jede Störung durch den Individualverkehr sollte unterbunden werden.

³⁴ nach Streichen des mit dem Fahrplanwechsel 2020/2021 hinzugefügten 5. Kurses

³⁵ Linie A Reduktion auf 4 Kurse, Linie M Reduktion auf 3 Kurse

³⁶ abhängig von Linie / Fahrzeugbedarf

³⁷ wurde nicht geprüft