

Berlin, 13. Juli 2022

trolley:motion auf der VDV-Elektrobuskonferenz 2022

von Dr.-Ing. E.h. Harry Hondius, Dipl.-Ing. ETH, Beaufays, Belgien



1. Batterie-Trolleybus Van Hool ExquiCity mit Kiepe-Ausrüstung an der Riviera Vaudoise auf dem Weg nach Rennaz Village über Hôpital de Rennaz. Der Bus misst 18 x 2,55 m, hat TSA-Motoren mit 2 x 120 kW und Batterien mit 30 kWh, 85 kW. Zwischen Villeneuve Gare und Rennaz Village wird auf 3 km (einfache Distanz) fahrdrahtlos gefahren. Aufnahme: Remontees, Lizenz: CC BY-SA 4.0



2. DGT 92 der VBZ, Zürich, ein Hess-Swissstrolley Plus, auf Probefahrt auf der Hardbrücke, die eine leichte Tramfahrlösung aufweist. Aufnahme: R. Gerbig

Unter der Moderation des trolley:motion-Präsidenten Dr. Wolfgang Backhaus fand am 13. Juli 2022 im Rahmen der VDV-Elektrobuskonferenz – Mobilität der Zukunft von 11:30 Uhr bis 15:30 Uhr die 7. trolley:motion-Konferenz mit elf Vorträgen statt.

Lage der Trolleybusysteme in der Welt

Es gibt weltweit etwa 276 Systeme mit ca. 35.000 Trolleybussen. Auf dem afrikanischen Kontinent kennt man ein System in Marrakesch, in Asien mehrere in China und Nordkorea und sonst recht viele im ehemaligen Sowjet- und Comecon-Bereich (wo man mit günstigem Atomstrom arbeitet). Die Schweiz ist mit zwölf Systemen und 536 Fahrzeugen (2020) in Europa ein wichtiger Spieler und auch Tschechien und die Slowakei sind bedeutende Trolleybusländer in der EU. Auch in den baltischen Ländern spielen Trolleybusse eine ernstzunehmende Rolle. In der westlichen EU hielt Italien dem Trolleybus in einem gewissen Rahmen die Treue. Athen hat das größte Obus-System in der EU und erwarb zu den Olympischen Spielen 2004 von Van Hool und Neoplan zusammen 311 Trolleybusse.

Wichtige Systeme gingen in jüngerer Zeit verloren, Gent (Belgien), Wellington (Neuseeland) mit 37 relativ neuen Niederflur-Trolleybussen aus Brasilien, Boston mit seiner unterirdischen Station Harvard Square, und Moskau 2020 – nach London (stillgelegt 1962) das größte System der Welt, mit 1700 Fahrzeugen. 539 Obusse wurden laut Blickpunkt Straßenbahn von Moskau an russische Provinzstädte abgegeben, ca. 200 sind noch nicht verteilt. Die Stilllegung wurde ungeachtet der Proteste der Bevölkerung durchgezogen, der angegebene Grund waren die hohen Investitionen in die Stromversorgung. In Nordamerika verbleiben an der Westküste drei große Systeme – San Francisco, Seattle und Vancouver – und daneben Dayton und Philadelphia. Schaffhausen (Schweiz) wird als Resultat eines von Consultants vorgeschlagenen Planes eine Irizar-Batteriebus-Stadt, die verbleibenden sieben Trolleybusse funktionieren als Batterietrolleys und werden 2027, am Ende ihrer Lebensdauer, verschwinden. Dagegen wird La Chaux-de-Fonds, das seine Solaris/Cegelec-Trolleybusse

verkaufte aber die Fahrdrähte hängen ließ, wieder in alter Stärke in Betrieb gehen. Der kantonal-kommunale Verkehrsbetrieb Transports Publics Neuchâtelois SA (transN) beschafft 30 neue Trolleybusse, welche im Netz Neuchâtel Hochflurfahrzeuge aus dem Jahr 1991 ersetzen und in La-Chaux-de-Fonds die Rückkehr zum Obusbetrieb ermöglichen.

Die bekannten Hersteller von Trolleybussen

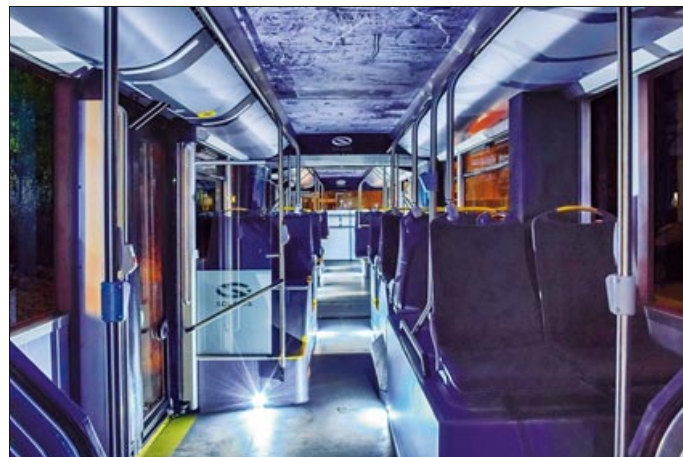
Marktführer in der EU ist Solaris mit 1800 seit 2002 an Kunden von Norwegen (Bergen) bis Rumänien und Spanien gelieferten Trollinos mit E-Ausrüstungen von Cegelec (mit Siliciumcarbid-Wechselrichtern), Kiepe Electric, Medcom (ebenfalls mit SiC-Wechselrichtern) und Škoda Electric. Verkauft Škoda Electric die Fahrzeuge, heißen sie Škoda Tr. Die PPF-Schwestergesellschaft von Škoda, Tamsa, hat für Škoda Electric einen neuen Niederflur-Trolleybus entworfen, Škoda T'City, der es Škoda ermög-



3. Präsentation des ersten von elf DGT-Batteriebussen Hess Lightram 5 25 mit viereinhalb Türen im Betriebshof in Winterthur Aufn.: Stadtbus Winterthur



4. Der Doppelgelenk-Trolley-Batteriebus Van Hool Exqui.City/Kiepe der Linzer Linien dreht im Betriebshof Linz. Das Fahrzeug weist vier Doppeltüren auf. HH



7. Solaris Trollino 24, Blick in die Wagenteile 2 und 3; der Gang ist flach.

Aufnahme: Solaris



5. Solaris Trollino 24 Metrostyle/Cegelec mit viereinhalb Türen, Übersicht der Anordnung der Antriebsmodule und E-Geräte

Abbildung: Solaris; SG

lichen könnte, an seine große Comecon-Geschichte als internationaler Trolleybuslieferant von 14.500 Stück anzuschließen.

Cegelec gibt an, 500 Trolleybus-E-Ausrüstungen geliefert zu haben und liefert Trolleybusse zusammen mit Solaris und SOR, Libchav. SOR arbeitet auch mit Škoda Electric und Rail Electronics zusammen.

Iveco liefert aus seinem tschechischen Werk Trolleybusse mit Škoda-Ausrüstungen u.a. nach Limoges.

Die Schweiz wies 2020 536 Trolleybusse auf, davon waren in Genf 33 Stück und in Montreux 16 Stück vom Typ Van Hool Exqui.City mit Kiepe



6. Prototyp des Solaris Trollino 24 Metrostyle/Cegelec bei einer Demonstrationsfahrt in Bratislava

Aufnahme: Solaris



8. Der DGT Solaris Trollino 24/Škoda Electric mit fünf Doppeltüren für DPP Prag

Abbildung: Solaris

und in Winterthur zehn Solaris/Cegelec. Alle anderen Trolleybusse wurden von Carrosserie Hess, Bellach, geliefert, neuerdings mit Stadler/ABB und eigener Gesamtsteuerung. Hess bezog Stahlteile aus Minsk und holte die Minsker Mitarbeiter nach Bellach. Exportiert wurde bzw. wird nach Arnhem (40 Stück), Limoges (vier Stück), Lyon (34), Nancy (22), Solingen (15) und Salzburg (42).

Wenn es tatsächlich 35.000 Trolleybusse in der Welt gibt und sie würden nach 20 Jahren ersetzt, dann wären pro Jahr 1750 neue Fahrzeuge nötig. In China werden Trolleybusse hergestellt, ebenso in Brasilien für die Systeme in São Paulo und Santos von Mercedes-Benz oder Scania in Zusammenarbeit mit CAIO/Electra. In Kanada und den USA liefern New Flyer/Kiepe und Mexico kauft chinesische Gelenktrolleybusse.

Laut Blickpunkt Straßenbahn 2/2021 werden in Russland Trolleybusse bei Trolsa (Engels), WMS (Transalfa, Wologda), UTTS (Nefas, Ufa) und PK Transportyje Systemy gebaut; im Durchschnitt 160 pro Jahr. In der Ukraine gibt es Bogdan (Luzk), Elektron (Lwiw), Etalon (Tschernigow), Vinbau (Winniza), mit einer Produktion von im Durchschnitt 162 Stück pro Jahr, beide in den Jahren 2016–2020 mit großen Schwankungen. Der Krieg hat große Schäden in Mariupol (ein gerade von der Europäischen Bank für Wiederaufbau und Entwicklung EBWE, bzw. EBRD, finanziertes Projekt), Charkiw und Kiew angerichtet.

Neue Perspektive: Fahrend laden von Batterien

Eine neue Perspektive für den Trolleybus wie für die politisch gewünschte Elektrifizierung von Buslinien hat sich mit der dynamischen Lademöglichkeit IMC® bzw. der Ausgestaltung als Batterie-Oberleitungs-Bus (BOB) angedient. Man lädt während der Fahrt unter Fahrleitungen, die 50 oder 60 % der Strecke überspannen, die bescheidenen Batterien von 45–65 kWh auf und kann damit mindestens 10–30 km mit voller Geschwindigkeit und Beschleunigung als Batteriebus fahren. Studien des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) und der UITP haben gezeigt, dass diese Ladelösung wichtige Ersparnisse bei der Investition in die Ladeinfra-



9. BRT-Obuslinie 71 in Shanghai, 12-m- und 18-m-Batterietrolleybusse in einem Land mit mehr als 60.000 reinen Batteriebussen! Aufnahme: A. Bätzner



11. BRT-OL 71, nach der Kreuzung heißt es andrachten und weiterfahren Aufnahme: A. Bätzner



10. BRT-OL 71 passiert drahtlos eine Kreuzung Aufnahme: A. Bätzner

struktur bringen kann. Fast alle neuen Trolleybusse haben Batterien, sei es als Notaggregat, sei es in vermehrtem Maße als Energiequelle für fahrdrahtlose Fahrten. Einige Beispiele:

Der BOB findet sich in Bergen (Norwegen) mit zehn Gelenkfahrzeugen Solaris/Škoda Trollino 18, in Arnhem (Niederlande) mit zwei umgebauten zweimotorigen Hess/Kiepe-Gelenktrolleybussen mit 30-kWh-Batterien, in Eberswalde mit einem umgebauten Solaris/Cegelec-Gelenkwagen und Plänen für den Umbau der elf restlichen Fahrzeuge. Ferner gibt es in Solingen bald 20 Solaris Trollino 18, die letzten 16 mit 60-kWh-Batterien, und 16 Solaris Trollino 12 mit 45-kWh-Batterien. Kiepe Electric ist hier der Partner. Esslingen hat vier Solaris Trollino 18/Kiepe und Zürich neun Hess Trolleyplus 5 GT und drei DGT für BOB-Betrieb zur Verfügung womit die OL 83

betrieben wird. Ferner gibt es BOB-Linien in St. Gallen, in Luzern nach Ebikon, in Genf nach Cressy mit einem Teil der 56 Van Hool Exqui.City, als Erweiterung der mit 16 Van Hool Exqui.City betriebenen VMCV-Obuslinie Vevey-Montreux-Chillon-Villeneuve nach Rennaz Village (Abb. 1) und in Salzburg mit den ersten 15 Hess Lightram5 nach Grödig.

Doppelgelenk-Obusse mit Zweiachsantrieb

Eine zweite sehr interessante Perspektive ist der zweimotorig angetriebene Doppelgelenk-BOB. Dieselangetriebene Doppelgelenkbusse lancierte in Europa in den 1980er Jahren zuerst Bordeaux in Hochflurausführung und in bescheidener Zahl auf den OL 7 und 8. Die Busse waren mit Zweiachs-antrieb versehen und hergestellt von Renault. Van Hool startete 2002 mit seinen niederflurigen AGG 300 in Utrecht, mit Antrieb der Achse 2, und Genf, Hamburg (OL M5) und Aachen folgten. Die zweite Generation fährt z.Z. auf der OL 28 in Utrecht. Hess und Van Hool lieferten diesel-elektrische Doppelgelenk-Hybridbusse an luxemburgische Unternehmen wie Sales-Lentz und Voyages Emile Weber. In Genf, Zürich und Luzern fahren seit 2006 Hess/Kiepe-Doppelgelenk-Trolleybusse mit Hilfsdieselmotoren – in Genf zehn Stück, in Zürich 14+17 (umgebaut auf Batteriehilfsbetrieb) und in Luzern 29 Stück. Diese können mit den Hilfsbatterien einige Kilometer mit beschränkter Geschwindigkeit und Leistung fahren, z.B. bei Straßenbauarbeiten etc. Dann kam von Hess/Stadler/ABB der Swisstrolley, oder auch Lightram5, und hier war ein echter BOB geboren: gleiche Beschleunigung wie unter dem Fahrdraht fahrend und mindestens 10 km Fahrt mit Fahrgästen ohne Fahrdraht, und danach wieder fahrend laden unter dem Fahrdraht.

Die Doppelgelenk-Variante ist eine interessante Alternative zur Stadtbahn. Mit $24,7 \times 2,55 = 63 \text{ m}^2$ bewegt sich der Beschaffungspreis zwischen 1,1 und 1,3 Mio. EUR oder ca. 20.000 EUR/m². Damit kostet das Fahrzeug die Hälfte der z.Z. günstigsten Niederflurtram. Dazu kommen Gleichrichter sowie Fahrleitungen für 60 % der Strecke. Für mittelgroße

Technische Daten von Batterie-Trolleybussen und einem reinen Batteriebus (der schwerer ist)

Hersteller	Stadt	Betrieb, Fahrzeugnummern	Baujahr	Maße L x B (m)	Leergewicht (t)	Zulässiges Gesamtgew. (t)	Leistung (kW)	Batterieleistung/Energie (kW/kWh)	Sitze + Stehpl. (4/m ²)
Solaris/Cegelec	Eberswalde	BBG, 063	2012	18 x 2,55	18,225	28	1 x 250	120/42	41 + 98(z)
Van Hool/Kiepe	Genf	TPG, 1601-1633	2014	18,61 x 2,55	20,2	30	2 x 120	85/32,5	41 + 88
Hess/Stadler/ABB	Salzburg	Salzburg AG, 401-442	2017/24	18,7 x 2,55	± 18	± 30	1 x 240	200/60	38 + 155(z)
Solaris/Kiepe	Esslingen	SVE, 501-504	2016	18,75 x 2,55	20,5	28	2 x 160	150/46	44 + 68
Hess SwissTrolley Plus	Zürich	VBZ, 183	2016	18,74 x 2,55	± 18,6	30	2 x 152 PMS	240/60	42 + 101(z)
Solaris/Škoda	Prag	DPP, 20 St., Trollino 24	2023	24,7 x 2,55	23	39,3	2 x 160	± 200/58	60 + 160(z)
Hess/Stadler/ABB	Zürich	VBZ, 92-94	2019	24,74 x 2,55	23,76	40	2 x 160 PMS	240/70	52 + 104
Hess/Stadler/ABB	Bern	Bernmobil, 41-54	ab 2019	24,74 x 2,55	23,94	39,825	2 x 160 PMS	240/57	48 + 112
Van Hool/Kiepe	Linz	Linz AG, 221-240	2017-19	23,82 x 2,55	24,1	36,5	2 x 160	90/26**	56 + 127(z)
Hess/ABB (Batteriebus)	Basel	BVB, 8 St., Lightram 25	2024*	24,37 x 2,55*	25,274*	± 40*	2 x 160 PMS*	320/533*	44 + 162(z)*

DC: Dynamic Charging, IMC®: In-Motion Charging, (z): zugelassene Zahl, * Daten: D. Madörin, CH-Ettingen, wp.tram-bus-basel.ch, ** vorbereitet für eine Verdoppelung

Städte bewegt man sich damit in einem anderen Kostenrahmen als bei der Tram; eine ideale Lösung speziell wenn die Linien Steigungen aufweisen.

Hess lieferte je drei DGT-BOB an Zürich (Wagen 92-94, Abb. 2) und an Luzern, je elf Stück an St. Gallen und Winterthur (Abb. 3), 14 an Bern und zwölf an Lausanne, insgesamt zur Zeit 54 Wagen in der Schweiz. Dazu gesellen sich Aufträge für 22 BOB vom Typ Lightram5 für Nancy als Ersatz für den TVR. In Summe ergibt dies 76 Stück.

Ferner liefern Hess/ABB 60 Doppelgelenk-Batteriebusse für ein neues BRT-System in Brisbane (Australien), die mit dem jetzt von Hitachi Energy angebotenen TOSA-System mittels Stoßladungen an bestimmten Haltestellen versorgt werden. In Nantes fahren bereits 22 solcher Fahrzeuge, die auf der 8 km langen Linie 4 mittels sechs 600-kW-TOSA-Ladern, die damals noch von ABB geliefert wurden, während der Haltestellenaufenthalte innerhalb von 60 Sekunden geladen werden. Dazu kommen zwei Lader an den Endhaltestellen. Für die OL 50 wischen dem Centralbahnhof Basel SBB und dem Euroairport (Flughafen Basel-Mulhouse) liefert Hess acht doppelgelenkige Batteriebusse. Mit 166 Stück ist Hess z.Z. deutlich der Marktführer bei den elektrisch angetriebenen Doppelgelenkbussen.

Van Hool/Kiepe liefern 29 DGT an Linz (Abb. 4), und 56 mittels dem System Alstom SRS an den Haltestellen geladene Doppelgelenk-Batteriebusse Exqui.City mit Siemens-Elektrik für ein BRT-System im Raum Paris/Île-de-France; das ergibt 85 Fahrzeuge. Solaris ist es, nach Demonstrationen mit seinem in Gdynia und auf der Busworld 2018 ausgestellten DGT-Prototyp Trollino 24, in Winterthur, den baltischen Staaten und Bratislava (Abb. 5-7) gelungen, Aufträge für 16 BOB vom Typ Trollino 24 für Bratislava und 20 für eine neue Batterie-Trolleybuslinie in Prag (Abb. 8) zu erhalten, beide mit elektrischen Ausrüstungen von Škoda Electric. Für Solaris ergibt sich ein Auftragsbestand von 36 Fahrzeugen dieses Typs. Alle DGT haben angetriebene Achsen 2 und 3, die Achsen 1 und 4 sind gelenkt. Die Fahrzeuge fügen sich harmonisch im Straßenverkehr ein.

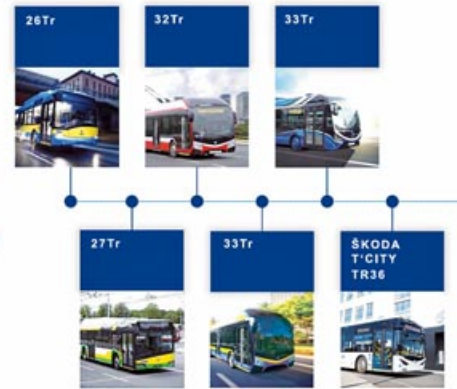
Hier ist eine sehr interessante Möglichkeit geschaffen worden, im Rahmen der Energie- und Verkehrswende die elektrische Beförderungskapazität auf der Straße zu erhöhen, und gleichzeitig während der Fahrt die Batterien zu laden. Man kann die „Ladestrecken“ so platzieren, dass sie städtebaulich am wenigsten stören, und auf die teuren und komplizierten Luftweichen größtenteils verzichten. Depotladungen sind ganz einfach über Oberleitungen zu realisieren. Speziell für Trambetriebe, die bereits größere Gleichrichterzahlen in Betrieb haben, ist eine Erweiterung für den Trolleybetrieb einfach zu realisieren.

Einige Ausschreibungen

Transdev Nederland hat für Arnhem zehn BOB bei Solaris/Medcom/TSA bestellt, um die Verlängerung der OL 1 von Oosterbeek (Ende des Fahrdrahts) nach Ede-Wageningen zu betreiben. Esslingen hat für die Elektrifizierung seines Busnetzes 36 Gelenk-BOB und zehn 12-m-Ausführungen ausgeschrieben. Die VBZ, Zürich, schreiben 13 GT- und 13 DGT aus mit Optionen für 55 GT und 85 DGT, womit gegen 2030 die meiste-

TROLLEYBUSES ŠKODA

- Experience in trolleybus production for over 85 years
- More than 14,500 trolleybuses produced and delivered worldwide
- Standard solution for dynamic charging of trolleybuses
- On request solution with battery range extender, power between 21 - 52 kWh, range up to 12 km
- Drive with asynchronous motor
- Single or articulated low-floor trolleybus – 12m, 15m, 18m and 24m
- Deliveries e.g. to CZ, SK, HU, IT, FR, NO, SWE, RO, BG
- New service campaign launched to upgrade old fleet with new battery technology



12. Das Škoda-Trolleybusprogramm: 26 Tr und 27 Tr sind Solaris-Trollinos, 32 Tr und 33 Tr sind Iveco-Fahrzeuge, beide Busse mit Škoda-Electric-Ausrüstung; Tr 36 ist die neue Variante mit Schwesterunternehmen Tamsa. Škoda spricht von 14.500 insgesamt produzierten Trolleybussen, bietet Batterieinhalte von 21-52 kWh für Fahrten abseits der Fahrleitung an und schlägt die Nachrüstung älterer Fahrzeuge mit modernen Batteriespeichern (anstelle von Diesel-Hilfsantrieben) vor.

Abbildung: Škoda

Ausbau Batterietrolley-Netz

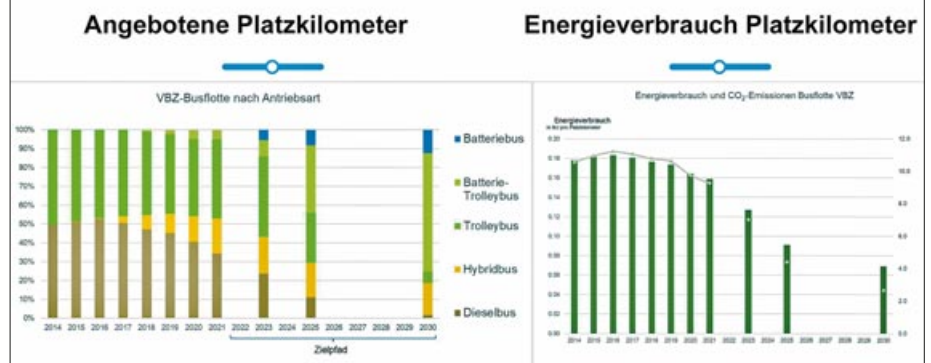


- Bestehendes Trolleybusnetz
- Neue Batterietrolley-Linien
- Neue Fahrleitung Linien 69 und 80
- Neue Fahrleitung Linien 83 und 89

13. Der Ausbau des Batterie-Trolleybusnetzes in Zürich bis 2028

Abbildung: VBZ

Nutzen der Elektrifizierung (Stand Ende 2021)



14. Die Planung der weiteren Elektrifizierung der VBZ-Busflotte bis 2030: links die Entwicklung der Platz-km nach Fahrzeugtypen – Trolley- und Batterietrolley werden 70 % übernehmen; rechts die Abnahme der eingekauften Brennstoffe, Diesel an der Zapfsäule umgerechnet in kWh, die „elektrischen“ kWh gemessen beim Kauf und rechts die beachtliche Abnahme des CO₂-Ausstoßes. Der Energieversorger EWZ, wie die VBZ ein Unternehmen der Stadt Zürich, bezieht seinen Strom aus Atom- und Wasserkraftwerken.

Abbildung: VBZ

TESTPHASE | 2010-2020

2011 – 2020 | Elektrobusse

- bipolare Ladetechnologie, Gelegenheitsladen (kurze Oberleitung)
- Synergien mit dem Straßenbahn Energienetz (Speisung)



Seit 2/2022 | Elektrobusse

- regelmäßiger Betrieb
- 14x E-Busse Škoda 36BB (12 m)
- bipolare Ladetechnologie
- Speisung (660 V) – aus dem Straßenbahnnetz
- EU-Förderung



2017 – 2020 | dynamische Aufladung

- Pilotprojekt auf der Straße Prosecká, BOB
- Linie 58 (Palmovka – Letňany)



15. Die schrittweise Entwicklung der Prager Trolley-Batteriebusprojekte; Fortsetzung der Ladung aus dem Straßenbahn-Fahrleitungsnetz. Der Škoda/Temsa-36BB-Batteriebus wird zum Teil aus dem Tramnetz aufgeladen, und hat zur galvanischen Trennung einen DC/AC/AC/DC-Wandler an Bord. Abbildung: DPP Prag

Einige Vorträge

Arnd Bätzner, Mitglied des UITP-Direktoriums und Co-Chair UITP Trolleybus Committee, hielt einen eindrucksvollen Vortrag (139 Folien, darunter 39 über Shanghai, s.u.) über alle Aspekte der internationalen Batterie-Trolleybus-Entwicklungen. Die Bilder 9-11 zeigen eine BRT-BOB-Linie in Shanghai, die mit 12-m- und 18-m-Bussen betrieben wird. Ein faszinierendes System mit Haltestellen in der Mittellage und Fahrzeugen mit links angeordneten Türen. In dem Vortrag wurden alle Facetten der fahrleitungsbedienten Pneu Fahrzeuge beleuchtet.

Christian Osterer, Betriebsleiter Obus der Salzburg AG, ging auf die spezifischen Eigenschaften des recht großen Salzburger Trolleybus-systems, das 125 Fahrzeuge umfasst, ein. Der Fuhrpark besteht vorwiegend aus 70 Gelenktrolleybussen Solaris/Cegelec Trollino 18 mit angetriebener Achse 3, und wird 2024 zusätzlich 42 (15+14+13) Hess-Gelenkfahrzeuge Lightram 19 umfassen, mit E-Ausrüstungsteilen von Stadler und ABB und einer Gesamtsteuerung von Hess. Die Achse 2 ist von einem flüssigkeitsgekühltem 240-kW-Motor angetrieben. Diese Fahrzeuge bieten Platz für insgesamt 155 Personen und haben 38 Sitzplätze. Die Batteriekapazität beträgt 60 kWh. Geladen wird entweder im Depot oder unter der Fahrleitung mit „dynamic charging“.

Die ersten Fahrzeuge kamen auf der OL 5 zum Einsatz, wobei zwischen Birkensiedlung und Grödig ohne Fahrleitung im Batteriebetrieb gefahren wird. In Nonntal wurde noch ein zusätzlicher Gleichrichter beigestellt. Tagsüber wird auf einer Distanz von 15,6 km während 62 Minuten unter Fahrleitungen gefahren und 8,4 km bzw. 28 Minuten im Batteriebetrieb. Abends startet die OL 5 in der Innenstadt und dann ist die Fahrzeit unter Fahrdrähten für die verbleibenden 11,4 km auf 32 Minuten reduziert.

Der Vortragende zeigte sich sehr zufrieden über das erste Betriebsjahr, das quasi störungsfrei verlief. Der Durchschnittsverbrauch belief sich auf 2,04 kWh/km. Die gesamte Flotte verbrauchte im Jahr 2020 durchschnittlich 2,28 kWh/km, dazu kam der Stromverlust durch die Transport- und Heizleistung im Winter, ergab 2,44 kWh/km.

Die Salzburger OL 5 ist relativ flach und nicht sehr durch Staus gestört. Die gesamte Bremsrekuperationsleistung wird im Bus verwendet für Klimaanlage, Hilfsgeräte, Heizung und Aufladung der Batterien. In den kältesten Wintertagen konnte der Verbrauch schon mal auf 3,51 kWh/km steigen.

1. NEUE BOB LINIE | ... im Bau

Linie 140 (58) (Palmovka – Miskovice = 23 km beide Richtungen)

- ca. 50% Oberleitung (750 V DC)
- 3 Unterwerke (inkl. Reaktivierung des ehemaligen O-Bus-Unterwerks)
- Ladestelle an Endstationen
- Nachtauladen im Betriebshof
- 15 Gelenkfahrzeuge (18 m) SOR-Cegelec TNS 18
- Akku-Kapazität für 12 km
- im Bau bis 10/2022, EU-Förderung



15.10.2022 – Inbetriebnahme der Infrastruktur
Bis 12/2022 – Lieferung des ersten Fahrzeuges, Probefahrten
Bis 4/2023 – Regelmäßiger Betrieb mit allen Fahrzeugen

16. Prag, das Projekt der Erweiterung der OL 58 zur 11,5 km langen Batterie-Trolley-OL 140 mit Fahrleitungsbetrieb auf 50 % der Strecke; 15 Batterie-Trolleybusse von SOR/Cegelec sind im Anmarsch. Abbildung: DPP Prag

FLUGHAFEN BOB LINIE | ... (fast) im Bau

Flughafenlinie 119 (59) (Bhf. Veleslavin – Flughafen)

- ca. 50% Oberleitung (750 V DC)
- 4 Unterwerke
- Ladestelle an Endstationen
- Nachtauladen im Betriebshof
- 20 Doppelgelenkfahrzeuge (24 m) – Škoda-Solaris 24M, höhere Kapazität
- Baubeginn erwartet noch in diesem Jahr



2/2022 – Kontrakt für neue Fahrzeuge abgeschlossen
6/2022 – Auftrag auf Oberleitungsbau publiziert
12/2023 – Inbetriebnahme der Infrastruktur erwartet
Bis 12/2023 – Lieferung des ersten Fahrzeuges, Probefahrten
Bis 2/2024 – Regelmäßiger Betrieb mit allen Fahrzeugen

Demo Projekt UITP E-BRT 2030 Teilnehmer

17. Das nächste Prager Projekt ist die Einrichtung einer 9 km langen Batterie-Trolley-Linie zwischen dem U-Bahnhof Veleslavin und dem Flughafen. Sie wird ab Februar 2024 mit 20 DGT Solaris Trollino 24/Škoda Electric fahren, zu ca. 50 % im Batteriebetrieb. Abbildung: DPP Prag

Tanya Altmann, Senior Vice President Bus Mobility Skoda Transportation, gab eine Übersicht über das Trolleybusprogramm der Firma (Abb. 12).

Christian Böckmann, Fachleiter Fahrzeugmanagement der VBZ, Zürich, stellte seinen Vortrag unter den Titel: „Trolleybus – Betriebserfahrungen und Systemausbau in Zürich“.

Die VBZ setzten ihre Politik der Einführung von Batterie-Trolleybussen konsequent fort. Abbildung 13 zeigt die geplanten Linien bis 2028, wobei der Abschnitt Milchbuck–Hardplatz bereits elektrifiziert ist. Über die Ausschreibungen wurde bereits berichtet. Abbildung 14 vermittelt einen Eindruck über die gekauften Energiemengen und den abnehmenden CO₂-Ausstoß bis 2030. Dabei ist immer zu bedenken, dass es um an Zapfsäulen getanktes Dieselöl, das in kWh umgerechnet wird, und um echte Stromwerte (in kWh) gemäß Aufzeichnungen der Abrechnungs-Strommessgeräte geht. Somit sind die Verluste der Elektrizitätserzeugung und der Übertragungsweg von der Erzeugung bis zur Messeinrichtung nicht berücksichtigt, aber beim Diesel geht der der volle Umwandlungswirkungsgrad getankter Brennstoff/Motorleistung von etwa 47 % in die Berechnung ein.

Libor Hincica, Director of Sales Development and Marketing bei Cegelec a.s., Prag, jetzt eine Tochter der Vinci Energies, Lyon, gab eine sehr dynamische Übersicht über die Trolleybus-Aktivitäten seiner Firma, die u.a. leichte ästhetische Masten und Fahrdrachtaufhängungen liefert und sich auf die Verwendung von LTO- und NMC-Batterien konzentriert, welche als ideal für die Anwendung bei „dynamic charging“ angesehen werden. Cegelec liefert Wechselrichter mit SiC-Transistoren statt IGBT, und DC/DC-Wandler mit galvanischer Trennung, sodass eine einfache Isolation genügt. Der Vortragende sah im Trolley-Batteriebus das wirtschaftlichste Investment der Energiewende. Ein 12-m-Trolleybus kostet in Tschechien, der Slowakei oder Ungarn 380.000 EUR und mit Batterie 430.000 EUR. Er fasste die wichtigsten Positionen der Trolleybusse wie folgt zusammen:

- Aufladen der Batterien über 60 % der Strecke ist umweltfreundlich und kostengünstig.
- Der Rekuperationsfaktor liegt relativ hoch.
- Die Lebensdauer von Fahrzeugen und Anlagen ist erwiesenermaßen 20 Jahre.
- Der Ersatz von Dieselnissen und Busfahrern kann auf einer 1:1-Basis erfolgen.

Jan Barchanek, Bus Unit Manager DPP, Prag, trug zum Thema „Neue Trolleybus-Linien für Prag“ vor und sah die dynamische Aufladung als neue Chance für Obusse.

Der Vortragende konnte das Resultat von über längere Zeit konsequent durchgeführten Arbeiten zeigen. Die Prager Verkehrsbetriebe DPP befördern jährlich 1,3 Mrd. Fahrgäste, davon 48 % mit der U-Bahn, 27 % mit der Straßenbahn und 25 % mit Bussen. 65 % der 178 Mio. Wagenkilometer mit 75 % der Fahrgäste pro Jahr werden elektrisch gefahren, die 62 Mio. Bus-km verbrauchen 30 Mio. Liter Dieselöl p.a. Die Stadt Prag liegt im Tal der Moldau und hat daher Außenviertel, die einen Höhenunterschied bis zu 230 m aufweisen; demzufolge müssen von den Buslinien entsprechende Steigungen überwunden werden. Es sind 1200 Busse im Einsatz, 40 % davon sind Gelenkwagen. Batterie-Trolleybusse sind für die schwer belasteten Linien, die Steigungen überwinden müssen, die geeignete Wahl. Dazu kommen auf der Infrastrukturseite DPP-interne komplementäre Strategien und man kann im Unternehmen Know-how teilen. Es

WEITERE PROJEKTE | Übersicht

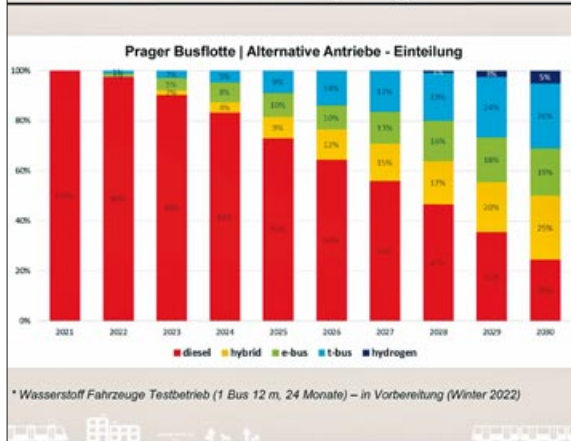
Zeithorizont	Anzahl der Fahrzeuge	Typ	Linien	Zustand
2024-2026	70x 12m	O-Busse	131,137,176,191, 201	Projekt weit fortgeschritten
2024-2026	100x 12m	E-Busse (2polige)	Verschiedene	Planungsphase wurde aufgenommen
2026+	>100x 12m/18m/24m	O-Busse	112,136,142,150, 174,184,225	Planungsphase wurde aufgenommen
2026+	>100x 12m	E-Busse (2polige)	Verschiedene	Langfristiger Plan
?	?	E-Busse (4polige)	?	Studien



18. Die langfristige Prager Planung für die Energiewende im Busbetrieb: Batterie-Trolleys und vom Tramnetz geladene Batteriebusse sind vorgesehen.

Abbildung: DPP Prag

DEKARBONISIERUNGSPLAN | Prager Bus Flotte



Clean Vehicle Directive (2009/33/EU) Revision 2019
Quoten für CZ: 41% bis 2025 und 60% bis 2030 (1/2 muss emissionsfrei sein)

Klimaerklärung der Hauptstadt Prag (2019)
Minderung des CO₂-Ausstoßes um 45% bis 2030 (im Vergleich zu 2010)

Klimaplan für Prag (2021)
2030 – 50% Bus Emission frei + 25% Bus teilweise sauber

19. Der Dekarbonisierungsplan der DPP Prag bis 2030 mit Unterstützung durch den Einsatz der Trolleybusse (hellblau) mit einem Anteil, der von 1 % (2022) auf 26 % (2030) steigt

Abbildung: DPP Prag

gibt bereits 41 Unterwerke für den Trambetrieb. Die benötigte Gleichstrom-Energie kann gemeinsam eingekauft, die bestehende Versorgung optimal genutzt werden und man kann von der Rekuperation beim Bremsen profitieren, im Sommer 25 %, im Winter durch den hohen eigenen Verbrauch 2-5 %. Durch die Ladestrategie mit einem zweipoligen System kann man Strom aus dem Straßenbahn-Fahrleitungsnetz beziehen. Die Abbildungen 15, 16 und 17 zeigen die konsequente Weiterentwicklung des Batterie-Buskonzeptes, welches in einer Gelenkbus- und einer Doppelgelenkbuslinie resultiert. Abbildung 18 zeigt die Planung bis 2026. Es könnten 70 12-m-Trolleybusse und über 100 Gelenkfahrzeuge beschafft werden. Abbildung 19 schließlich geht davon aus, dass 2030 26 % der Busse Trolleybusse sein werden. Höchst erfreulich, dass in der EU eine Großstadt mit 1,25 Mio. Einwohnern bei der Elektrifizierung ihrer Busflotte auf Batterietrolleybusse setzt!

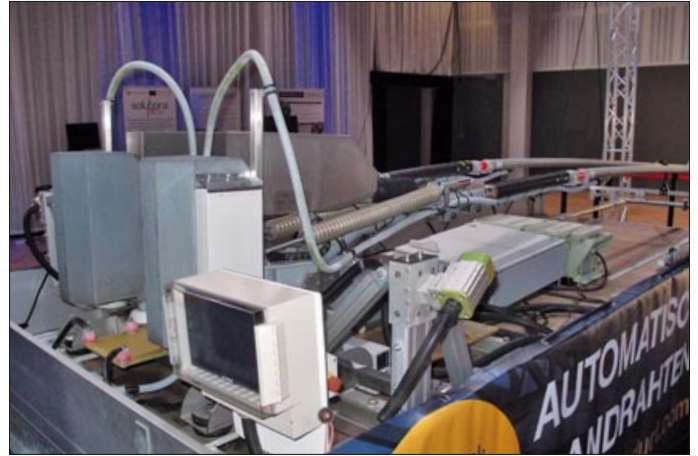
Dr. Jan Messerschmidt, Geschäftsführer LibroDuct GmbH & Co. KG, Saarbrücken, sprach über „automatisches Andrahten fürTrolleybusse“.

Der Ladeprozess auf der Strecke verläuft bei aktuellen Batterie-Trolleybussen ziemlich einfach. An bestimmten Haltestellen sind Trichter genannte Andrahthilfen montiert, die die Schleifschuhe der Trolleybusstangen während des Andrahtens an die Oberleitungsdrähte leiten. Zu beachten ist, dass dies nur im Stillstand funktioniert und der Bus immer exakt unter der Oberleitung mit dem Trichter stehen muss. Umgekehrt gehen beim Abdrahten, wiederum nur im Stand, die Trolleystangen pneumatisch gesteuert herunter und werden in Haken gefangen. Die Saarbrücker Firma LibroDuct will den gesamten Abdraht- und Andrahtprozess nun



20. Automatische An- und Abdrahtanlage von LibroDuct, aufgestellt neben dem Konferenzraum der VDV-Elektrobuskonferenz im Estrel-Hotel, Berlin

auch für fahrende Fahrzeuge automatisieren. Das Andrahten im Stand, auch an Haltestellen, in denen die Oberleitung seitlich versetzt geführt ist (typisch bei Bushaltestellen), ist bereits mit dem heutigen Entwicklungsstand realisiert: LibroDuct machte dazu 2018 mit einem BOB Solaris/Cegelec Trollino 18 in Eberswalde, der mit einem Trolleyerstangensystem von Lekov (mittlerweile zu Wabtec gehörend) ausgerüstet war und einer Cegelec-Steuerung, ausführliche Versuche und konnte ihr System sogar in den CAN-Bus des Busses integrieren (dazu gibt es bei Youtube unter „LibroDuct“ ein Video von 14 Minuten Dauer). 2019 testete man das System mit einem Škoda-Trolleybus in Szeged (Ungarn). 2020-21 standen die Versuche aufgrund der Corona-Pandemie still. Die Firma zeigte auf der parallel zur VDV-Elektrobuskonferenz stattfindenden Fachmesse „ElekBu“ direkt neben der trolley:motion-Vortragshalle nun ihr fahrbares Demonstrationsmodell unter zwei Fahrleitungsparen, die in einer eigens aufge-



22. Trolleyerstangenmechanismus mit LibroDuct-Kameras (Grün)

Aufnahmen (2): HH

bauten Stellage gespannt waren, und zwar ein Paar direkt über dem Gerät und eines seitlich versetzt davon, um auch diesen Betriebsfall demonstrieren zu können. Auf dem fahrbaren Untersatz (Abb. 20) befand sich das LibroDuct-System, welches in Teilen noch auf dem „Typ 2“ von Kummler + Matter, ehemals Dornier, basiert. Es kann sowohl direkt vertikal als auch seitwärts verschwenkt an- und abdrahten. Die verschiedenen Teile sind in den Abbildungen 21 und 22 zu erkennen. Die Fahrdrähte werden durch zwei Kameras stereo-optisch (grün) als Muster erkannt, bei Dunkelheit von starken Infrarotlampen unterstützt, die auch Regen trotzen können. Die Stromabnahmeköpfe sind so ausgebildet, dass sie den Fahrdraht während des Andrahtprozesses umfassen. Das Schwingungsverhalten der Trolleyerstangen wird in der Steuerung berücksichtigt. Das System verfügt über ein Graphical User Interface und ist kompatibel mit modernen Traktionssystemen via Schnittstellen.

Eine ohne Frage interessante Entwicklung, die man in einem großen Batterie-Trolleybetrieb wie den VBZ, Zürich, z.B. auf der OL 83, ausführlich testen sollte. Wäre der Swisstrolley Plus 183 von Hess da nicht eine geeignete Option? Hess ist z.Z. einer der wenigen Systemanbieter von Batterietrolleybussen. Eine Integration von LibroDuct sollte da am schnellsten realisiert werden können.

Stefano Sirri, bei START Romagna verantwortlich für Qualität, Sicherheit und Umweltschutz, stellte das BRT-Batterie-Trolleybusprojekt Metromare vor. Die 9,8 km lange Linie erstreckt sich entlang der adriatischen Küste zwischen den Bahnhöfen Rimini und Ceccarini Riccione (Abb. 24). Die Busse rollen auf einer eigenen Trasse, die parallel zur Bahnstrecke gebaut wurde. Die zweispurigen Teile sind 7,3 m breit, die elf einspurigen Abschnitte 4,3 m. Die Bussteige haben eine Länge von 28 m, sind überdacht und haben eine Höhe von 300 mm (Abb. 23, 25). Sie sind für die Verwendung von Doppelgelenkbussen ausgelegt. Drei Gleichrichter sorgen für eine Spannung von 750 V DC. Es wurden neun Gelenk-Trolleybusse Van Hool/Kiepe Exqui.City gekauft. Sie messen 18 x 2,55 m. Ein 240-kW-TSA-Motor treibt die Achse 2 an. 150 Personen sind zugelassen, davon 37 auf Sitzen. Die Fahrzeuge sind ausgerüstet mit einer 45-kWh-LTO-Batterie, die bis zu 12-15 km fahrdrähtlose Fahrt ermöglicht. Die Linie verläuft auf einem schmalen Streifen zwischen dem adriatischen Meer und der Eisenbahn. Man möchte sie südwärts nach Cattolica und nordwärts innerhalb von Rimini erweitern. Erwartet wird, dass das Straßennetz im Hochsommer 25.000 Pkw weniger aufnehmen muss. Im Winter werden 600.000 Fahrgäste pro Monat befördert, im Sommer das Doppelte. Die Strecke wird durch Kameras überwacht. In enger Zusammenarbeit mit der Polizei soll die Busbahn auch wirklich für Busse freigehalten werden. Dabei müssen Fahrräder ebenso auf andere Wege verwiesen werden wie Menschen, die Feste feiern. Acht Busse können gleichzeitig auf der Strecke fahren. Dazu ist ein eisenbahntechnisches Signalsystem für die verschiedenen Segmente installiert worden (Abb. 26).

Fazit

Der Batterie-Trolleybus eröffnet für bestehende Systeme die Möglichkeit, Dieselbuslinien durch nur zu ca. 50 % verdrahtete Trolleybuslinien zu er-



21. LibroDuct, Übersicht der verschiedenen Komponenten und ihrer Funktion
Abbildung: LibroDuct



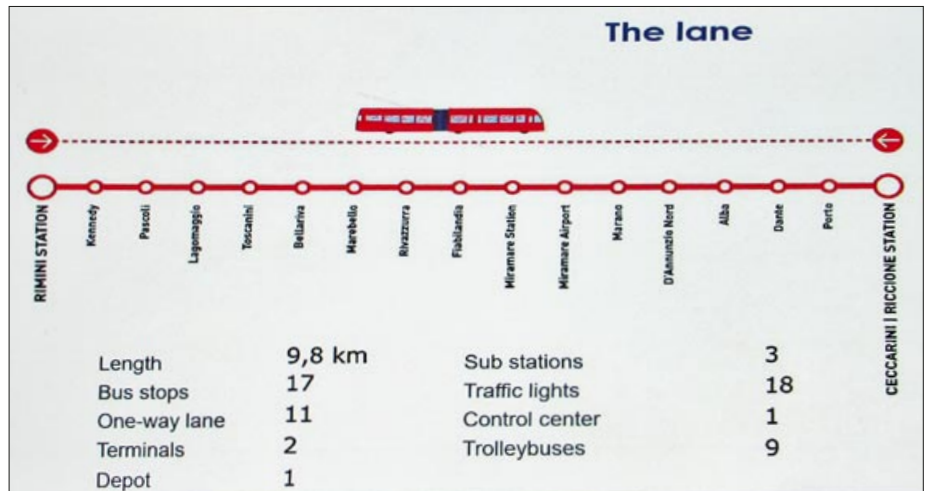
23. Zweispurige Haltestelle Rimini Station mit ebenerdigen Fußgängerübergang, Signalanlagen und drei Van-Hool-Fahrzeugen

Aufnahme: START Romagna

setzen. Vorteile dabei sind die gleichmäßige Ladung in der Zeit, in der unter Draht gefahren wird, wesentlich kleinere Batterien, eine gleiche Personenkapazität pro Fahrzeug und ein gleicher Fahrzeug- und Fahrerbedarf wie bei Dieselmotoren. Teure Luftweichen können fast immer vermieden werden. Großstädte wie Zürich elektrifizieren die wichtigsten Linien mit Steigungen auf diese Weise, ebenso die Großstadt Prag. Eine Menge kleinerer Systeme folgen. Es wäre zu wünschen, dass Berlin den politischen Mut findet, die Strecke Spandau-Bahnhof Zoo mit doppelgelenkigen Batterietrolleybussen zu elektrifizieren unter dem Motto: „Menschen befördern statt Batterien!“

Schrifttum

- H. Hondius: E-Mobilität: Welche Rolle kann der Trolleybus spielen? Stand und Perspektiven eines unterschätzten Verkehrsmittels, in: DER NAHVERKEHR 6/2018
- H. Hondius: Die Linz AG Linien nahmen Doppelgelenk-Trolleybusse in Betrieb, in: „stadtverkehr“ 9/2018, darin auf Seiten 22-23 eine Übersicht der Van-Hool-Trolleybusse
- H. Hondius: Elektrobusse: Eindrücke von InnoTrans und IAA Nutzfahrzeuge, in: „stadtverkehr“ 11/2018, S. 12ff., darin eine Kurzbeschreibung des Iveco-Crealis-Trolleybusses
- C. Walther: Stadtwerke Solingen wollen Batterie-Obus-Option einlösen, in: „stadtverkehr“ 3/2019, S. 49
- M. Šrámek: Neue Entwicklungen bei den tschechischen Obussen und Elektrobusen, in: „stadtverkehr“ 6/2019, S. 48
- H. Hondius: Trolleybus in Zürich: 80 Jahre und noch ein neues Leben vor sich, in: „stadtverkehr“ 7-8/2019, S. 35ff.
- S. Göbel: Obusse und Elektrobusse von Solaris: Aktuelle Entwicklungen, in: „stadtverkehr“ 9/2019, S. 18-19
- S. Göbel: Neue Batterie-Trolleybusse für Esslingen am Neckar, in: „stadtverkehr“ 10/2019, S. 8f.
- H. Hondius: Statisches Ladesystem SRS von Alstom nun auch geeignet für Elektrobusse, in: „stadtverkehr“ 11/2019, S. 4ff.
- H. Hondius: Drei elektrische Buslösungen von Hess/ABB in der Schweiz, in: „stadtverkehr“ 12/2019, S. 4ff.
- C. Walther: Erster Solinger Autobuslinie auf BOB-Betrieb umgestellt, in: „stadtverkehr“ 12/2019, S. 12ff.
- S. Limburg: Geschichte und Zukunft des Nahverkehrs in Winterthur, in: „stadtverkehr“ 5/2020, S. 43ff.
- S. Göbel: Moskauer Trolleybusse stillgelegt, in: „stadtverkehr“ 10/20, S. 41
- T. Naumann: Berlin: BVG auf dem Weg zum elektrischen Busbetrieb, in: „stadtverkehr“ 12/20, S. 4ff.
- M. Šrámek: Prag geht (wieder) den Trolleybusweg und ders.: Prag: Elektrobusse Škoda 36 BB E'City im Linienverkehr, in: „stadtverkehr“ 3/2022, S. 49/50



24. Eine italienische Trolley-BRT-Linie auf eigener Trasse ist „Metromare“ zwischen Rimini und Ceccarini Riccione, 9,8 km lang und überwiegend einspurig (elf einspurige Abschnitte). Neun Gelenktrolleybusse Van Hool Exquicity/Kiepe bedienen die Linie, welche küstenparallel einer Eisenbahnstrecke folgt und zwei Bahnhöfe verbindet.

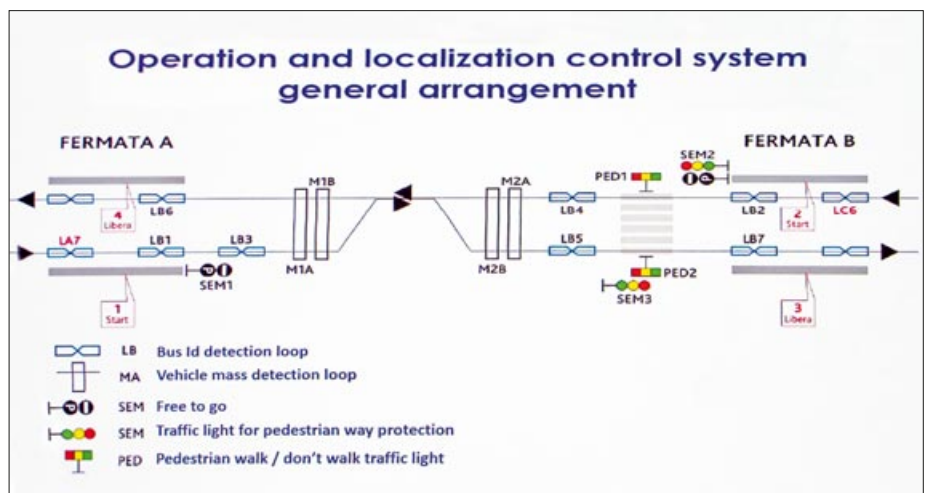
Abbildung: START Romagna



25. Haltestelle Lagomaggio an einem einspurigen Abschnitt der Trasse; Bussteige mit Scheuerleisten für beide Fahrrichtungen

Aufn.: START Romagna

- C. Walther: ÖPNV in Sarajevo wird gründlich modernisiert, in: „stadtverkehr“ 4/2022, S. 17ff.
- C. Walther: Neue Obusgeneration in Solingen in Dienst gestellt, in: „stadtverkehr“ 6/2022, S. 49



26. Das eisenbahnähnlich entworfene Signal- und Fahrzeug-Lokalisierungssystem für die Absicherung des einspurigen Betriebs. Niveaugleiche Fußgängerüberwege sind ampelgesichert.

Abb.: START Romagna