

Ein Batteriebus SOR/Cegelec EBN 11 bei den Prager Verkehrsbetrieben DPP

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



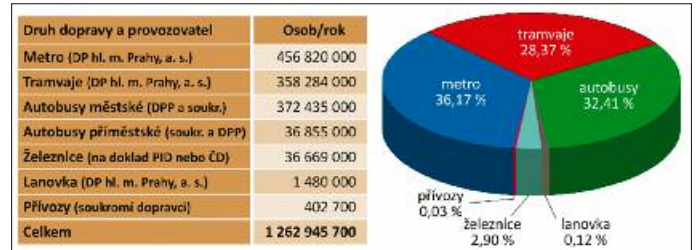
1. Der Versuchsbus 4001 von SOR/Cegelec am Želivského-Platz
Aufnahmen ohne anderen Vermerk: HH

Die Verkehrsbetriebe der tschechischen Hauptstadt Prag (Dopravní podnik hlavního města Prahy a.s., DPP) bedienen mit etwa 11.000 Mitarbeitern eine Bevölkerung von 1,27 Mio. Menschen. Das Verkehrsnetz besteht aus U-Bahnen, Straßenbahnen und Bussen. Im Verkehrsverbund PID sind auch Verkehrsmittel 17 anderer Betreiber integriert. Betrieben werden [1, 2]:

- Drei U-Bahnlinien, Streckenlänge 65,1 km, 730 Wagen mit einem Durchschnittsalter von 10,35 Jahren (Stand Ende 2015, Zählung ggf. ab Modernisierung), davon 53 Fünfwagenzüge des Typs M1, Bj. ab 1998, und 93 Fünfwagenzüge des russischen und ab 1996 modernisierten Typs 81-71M; durchschnittliche Reisegeschwindigkeit: 35,6 km/h, maximaler Fahrzeugbedarf in Spitzenzeiten: 101 Züge; 456,8 Mio. Fahrgäste im Jahr 2015 bzw. 1,57 Mio. Einsteiger pro Tag [2];
- 21 Tages- und neun Nacht-Straßenbahnlinien, 142,7 km Streckenlänge (52 % auf eigenem Bahnkörper), 18,8 km/h, 358,3 Mio. Fahrgäste im Jahr 2015 bzw. 1,19 Mio. Einsteiger pro Tag. Am 31. Dezember 2015 setzte sich die aktive Tramflotte wie folgt zusammen: 576, meist als Zweiwagenzüge eingesetzte Hochflurvierachser der Typen T3M (29 Stück), T3SU (CS) (65), T3R.P (350) und T6A5 (132) sowie 293 Nieder-



2. Strecke und Parameter der Buslinie 213, auf der der Elektrobus montags bis freitags eingesetzt wird. Die Linie entspricht ungefähr dem SORT-1-Profil. Die Linienlänge bezieht sich auf einen Umlauf (Hin- und Rückfahrt). Abb (2): DPP



3. Fahrgastzahlen im Prager Verkehrsverbund PID im Jahr 2015 und Anteile der Verkehrsmittel. Die Metro beförderte 456,82 Mio. Fahrgäste entsprechend 36,17 % am Gesamtverkehr von 1,26 Mrd. Fahrgästen. Die anderen Verkehrsmittel in der Übersicht links von oben nach unten: Straßenbahnen, Busse im Stadtgebiet und außerhalb, Eisenbahnen, Seilbahnen, Fähren Abb.: TSK Praha [2]

flurwagen (mindestens ein Tiefeinstieg) der Typen 15T (157 Stück), 14T (57), KT8D5.RN2P (46) und T3R.PLF (33). Das durchschnittliche Flottenalter war 11,68 Jahre. In den Spitzenzeiten wurden 399 Züge (601 Wagen) eingesetzt. Die Erwartung ist, dass 2018 die 15T-Flotte 250 Stück erreicht haben wird (500 T3-Äquivalente), die 57 T14 dann saniert (die Anlenkung der Fahrwerke zeigte Risse) und die Hochflurwagen aus dem Park verschwunden sind. Die 33 T3R.PLF mit Nf-Einstieg würden dann die Nachtlinien bedienen. Man kauft, sofern möglich, KT8-Fahrzeuge, um sie zu modernisieren und mit einem Nf-Mittelteil zu versehen. 48 Stück sollen dann im Park sein. Dies ist die ZR-Flexibilitätsflotte. Zum Straßenbahn-Betriebszweig gehören auch eine Seilbahn und ein Sessellift.

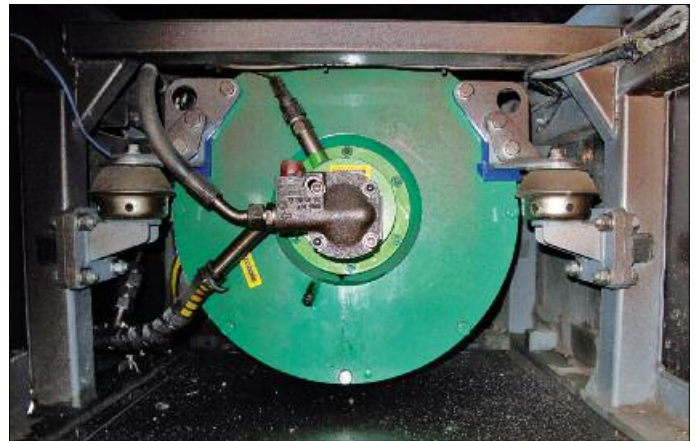
- 149 Buslinien (Ende 2015), 818 km Netzlänge, 24,2 km/h Reisegeschwindigkeit. Von 409,3 Mio. Busfahrgästen (1,16 Mio. Einsteiger pro Tag) in 2015 im Raum Prag entfielen 355,14 Mio. auf DPP (139 Linien, Linienlänge 1640 km). Die DPP-Flotte bestand Ende 2015 aus 1175 Bussen (Durchschnittsalter: 8,48 Jahre), davon 475 Gelenkbusse (369 niederflurig), 647 Standardbusse (479 Nf) und 64 Nf-Midis. Neu sind fünftürige 18,75-m-Busse SOR NB 18, die von einem Iveco-Motor Cursor 8 angetrieben werden. Zu den 1175 DPP-Bussen gesellen sich 695 Busse privater Betreiber; hier war Ende 2015 der Anteil hochfluriger Karosa-Solo- und Gelenkbusse noch höher (369 plus 28 Stück) als bei DPP. In den Spitzenzeiten sind 1317 Busse in der Stadt eingesetzt.



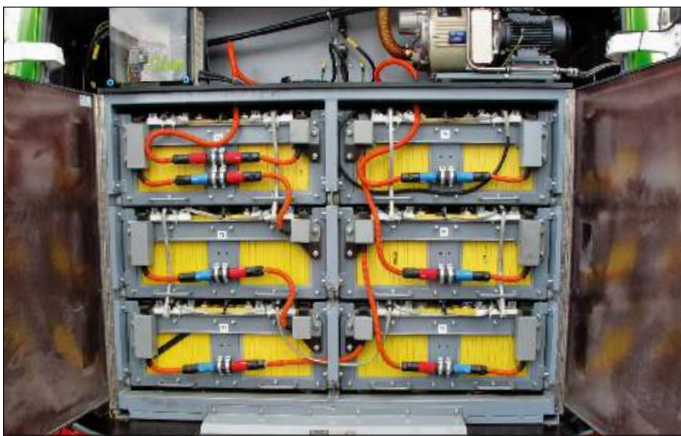
4. Strecke und Parameter der Buslinie 163, auf der der Test-Elektrobus an Wochenenden eingesetzt wird. Die Linie entspricht ungefähr dem SORT-2-Profil. Auch hier ist die Linienlänge für eine Hin- und Rückfahrt angegeben.



5. Innenraum des LE-Busses, Blick von vorne nach hinten



8. Der elastisch aufgehängte, wassergekühlte 120-kW-Asynchronmotor



6. Die LiFeYPO4-Batterie ist luftgekühlt, kann aber auch beheizt werden.



9. SOR EBN 11, Fahrerplatz

- Die Eisenbahnen der CD im Verkehrsverbund PID beförderten 2015 im Stadtgebiet 36,67 Mio. Fahrgäste; 117.000 Einsteiger pro Tag.

DPP beförderte 1,17 Mrd. Fahrgäste in 2015, eine sehr eindrucksvolle Beförderungszahl! (Brüssel 2015 MIVB/STIB: 370 Mio. ohne Eisenbahnen). 43 % der Menschen in Prag benutzen den ÖPNV, 33 % fahren Pkw, 23 % laufen und 1 % fahren Rad [2]. In Prag fuhren Trolleybusse von 29. August 1936 bis 15. Oktober 1972.

Der Test mit dem SOR/Cegelec-Batteriebus

Die angewandte Technik

Die DPP wollte einen Batteriebus testen [3], aber solche Tests werden in Tschechien, anders als Erdgasbusprojekte, nicht gefördert. DPP hatte

2011/2012 Versuche mit einem Breda-Zeus-Bus und 2014 mit einem SOR EBN 8 durchgeführt (beide mit Steckerladung) und 2014 mit einem Siemens-Rampini, bereits mit Aufladung über eine zweipolige Fahrleitung, wie in Wien. Man suchte nach einer kostengünstigen Lösung und hat zusammen mit Cegelec, Teil der Vinci Energie, und SOR ein Projekt ausgearbeitet. Man wollte einen Bus auf zwei Linien testen, werktags auf der OL 213 (Abb. 2) eher eine SORT-1-Linie (Standardised On-Road Test cycles, SORT 1 entspricht schwerem Stadtverkehr, 12 km/h Reisegeschwindigkeit) und samstags und sonntags auf der OL 163 (Abb. 4) eher mit einem SORT-2-Profil (definiert als leichter Stadtverkehr, 18 km/h). In erster Linie soll der Versuchsbetrieb ein Jahr dauern, von September 2015 bis Ende August 2016, und der Bus wird während dieser Periode geleast. Der SOR EBN 11 (Abb. 1, 5, technische Daten siehe Tabelle) ist ein schwarzstählerner LE-Bus mit einem Sandwich-Dach und Kunststoffseitenpaneelen. Die 180



7. Želivského-Platz mit Bushaltestelle; der Testbus 4001 steht ganz vorne, schwarze 600-V-DC-Speiseleitungen verbinden mit dem Tram-Fahrleitungsnetz.



10. Verbindungen der Batteriebus-Ladestelle mit dem Fahrleitungsnetz der Straßenbahn und mit den Schienen über den hinteren Mast



11. DC-DC-Wandler-Häuschen von Cegelec mit galvanischer Trennung; gespeist aus der Tramfahrlleitung liefert es 750 V DC für die Batteriebus-Ladung.



13. Zweipoliger Pantograph am Draht



12. Das kurze Stück zweipoliger Fahrleitung wird mit 750 V DC gespeist.



14. Bedienungspaneel des Pantographen mit Videoüberwachung

Zellen der LiFeYPO₄-Batterie (Lithium-Eisen-Yttrium-Phosphat, Abb. 6) sind luftgekühlt und können bei sehr tiefen Außentemperaturen auch geheizt werden. Der wassergekühlte, sechspolige Asynchronmotor ist hinten längs aufgehängt (Abb. 8). Die Fahrerkabine zeigt Abbildung 9. Es sind keine Bremswiderstände vorhanden.

Es wird auf zwei Arten geladen. Die DPP wünschte eine Direktladung aus dem Prager Straßenbahnnetz, das eine Mittelspannung von 600 V DC aufweist, jedoch nicht wie normalerweise + 20 %, - 30 %, d.h. innerhalb der Grenzen von 420 und 720 V DC operierend, sondern im Bereich von 400-1000 V DC. DPP schrieb wohl auch deshalb vor, dass die Speisung über eine Ladestation mit galvanischer Trennung erfolgen solle.

Abbildung 7 gibt eine Übersicht des Zelivskeho-Platzes mit Bushaltestellen, wobei für die Busse einschließlich des E-Busses maximal 40 m Länge zur Verfügung stehen.

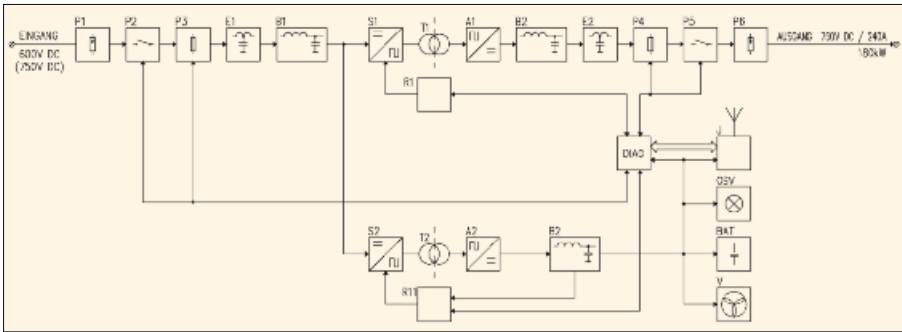
Abbildung 10 zeigt die Verbindung mit dem Straßenbahnnetz, mit zwei Fahrleitungen und mit der Schiene, durch Handschalter abschaltbar. Über einen Mast wird das Ladehäuschen gespeist (Abb. 11, 16). Dort werden 600 V DC zu 600 V 3AC 10 kHz umgeformt wonach diese Spannung in eine gegenüberliegende Spule induziert und dann bis 750 V DC gleichgerichtet wird. Die so erhaltene Ladespannung wird über einen neben den Häuschen stehenden Mast zu einer kurzen Sektion „Trolleyfahrlleitung“ geführt (Abb. 12). Ein zweipoliger Pantograph in der Mitte des Fahrzeugs (Abb. 13) verbindet dann diese Fahrleitung über einen Hochsetz- bzw. Tiefsetzsteller mit dem Zwischenkreis, von wo aus die Batterie geladen wird. Die Ladung wird vom Batterie-Management-System gesteuert. Aus dem Zwischenkreis werden auch die Heizung und über einen DC-DC-Wandler die 24-V-Gleichstrom-Hilfsbetriebe gespeist. Der Fahrer kann den Ladevorgang von seinem Platz aus überwachen (Abb. 14). Die Batterien können mit maximal 240 A geladen werden, was 1-1,2 % der Batteriekapazität oder 1,7-2,1 kWh/Minute entspricht. Ist die Batterie halb leer, werden zur vollen Ladung etwa 50 Minuten benötigt. Der Wirkungsgrad

der galvanischen Umsetzung beträgt 90 %. 80-90 % des Verbrauchs werden über diese Ladung gedeckt.

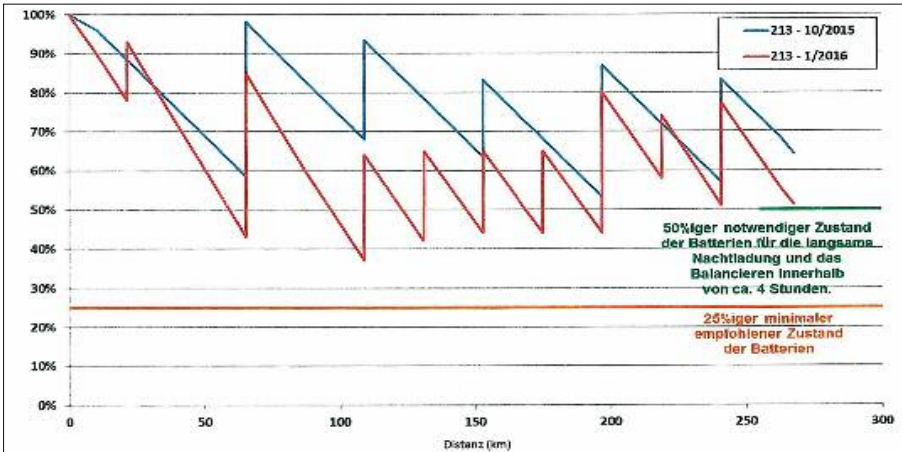
Warum ist ein Trolleybus doppelt isoliert (überwacht) und es gibt als zusätzliche Maßnahme noch eine Isolierung der Türleisten? Der negative Pol als Rückleiter des Stroms zur Zentrale hat durch den Draht eine viel kleinere Kapazität als die Schienen bei der Straßenbahn. Ist das Wetter sehr feucht und gäbe es diese Isolation nicht, würde der Retourstrom die Neigung haben, sich nicht nur über die Drähte sondern auch über die nassen Gummireifen einen Weg zu suchen. Menschen, die dann ein- oder aussteigen, könnten einen Stromstoß erhalten. Die galvanische Trennung vermeidet durch die Induktionsübertragung jeden direkten Kontakt mit der Stromquelle; es entsteht ein geschlossener Stromkreis: Häuschen >



15. Fünfpoliger Ladestecker



16. Blockdiagramm des Ladegeräts, gespeist aus der Tram-Fahrleitung, Ausgang an kurze Trolley-Leitung



17. Ladezustand des Busses der OL 213 an zwei verschiedenen Tagen (im Oktober 2015 bzw. Januar 2016) mit und ohne Einschaltung der Heizung



18. Ladegerät mit 440 V 3AC in der Garage Hostivar

zweipoliger Fahrdrat (hier: kurzer Abschnitt) > zweipoliger Pantograph > Zwischenkreis > Batterie. Alle E-Komponenten sind natürlich gegenüber dem Fahrzeug isoliert, aber man muss den Bus jetzt nicht mehr erden.

Der Rest des Ladeprozesses findet über Nacht im Betriebshof Hostivar mittels einer 400-V-3AC-Speisung durch einen fünfpoligen (geerdeten) Stecker (Abb. 15, 18) statt. Hier wird mit 32 A geladen, 0,2 % der Ladekapazität pro Minute oder 0,3 kWh/Minute.

Die Resultate

Wie bei modernen Straßenbahnen fluktuiert der Verbrauch sehr, abhängig vom Stromverbrauch für die Heizung oder Kühlung. Der SOR EBN 11 hatte keine Fahrgastraumkühlung; diese wird z.Z. installiert und im Sommer 2016 getestet.

Den Einfluss der Heizung zeigt die Grafik der Abbildung 17. Bei einem Parcours der OL 213 von 265 km/Tag wurde im Herbst sechs Mal geladen, die Batterie wurde nie unter 60 % der Kapazität entladen, im Winter wurde zehn Mal geladen und man ging bis zu 50 % herunter.

Der Verbrauch war bei 60 % Beladung im Sommer 2015 1,14 kWh/km, bei Betrieb mit Fahrgästen ohne Heizung im September 2015 1,08 kWh/km, mit Heizung im Oktober 1,6 kWh/km und im Winter, im Januar 2016, 2,23 kWh/km.

Wir fahren von Zelivského bis zum Btf Hostivar, wobei der Bus nur mit drei Personen besetzt war. Die Beschleunigung war wie beim Trolleybus, die Fahreigenschaften, die Straßenqualität in Betracht ziehend, in Ordnung, aber die Geräuschproduktion der DANA-Achse war eindeutig zu sehr Lkw-artig. Die elektronische Steuerung war nicht zu hören. DPP tauscht ihre Daten mit den ZeEUS- und ELIPTIC-Programmen aus. ■ ■

Schrifttum

- [1] Výroční zpráva 2015 (Jahresbericht), DPP Praha
- [2] Rocenka dopravy Praha 2015 (Verkehrs-Jahrbuch der Hauptstadt Prag), Technická správa komunikací hlavního města Prahy (TSK)
- [3] Jan Barchánek, Vortrag auf der VDV-Akademie-Konferenz: Elektrobusse – Markt der Zukunft!, Berlin, 29. Februar 2016

Technische Daten des LE-Batteriebusses SOR/Gegelec EBN 11

| | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|---|--------------------------------------|--|------------------|
| Baujahr | 2015 | Lichte Weite Tür 1 (mm) | 800 | Betriebliche Höchstgeschwindigkeit (km/h) | 80 |
| Mechanischer Teil | | Lichte Weite Türen 2 und 3 (mm) | 1200 | Elektrik | |
| Länge (mm) | 11.100 | Räder, Achsen, Bremsen | | Batterie, Spannung (V) | 180 x 3,2 = 573 |
| Breite (mm) | 2525 | Größte technisch zul. Achslast Achse 1; 2 (t) | 6,5; 10,8 | Batterieinhalt (Ah) | 300 |
| Höhe (mm) | 2920 | Achse 1, Typ | BN 004 IFS | Batteriekapazität (kWh) | 172 |
| Überhang vorn/hinten (mm) | 2350/1700 | Achse 2, Typ | DANA G150 | Batteriekühlung | Luft |
| Freilaufwinkel vorn/hinten (Grad) | 8/9 | Antrieb | asynchron, sechspolig, wassergekühlt | Batterieleistung (kW) | 150 |
| Radstand Achsen (m) | 6,32 | Antriebsmotor, Hersteller | Pragoimex/Ekova | Heizung, Leistung (kW) | 20,2 Widerstände |
| Bodenhöhe vorne (mm) | 360 | Leistung (kW) | 120 | Kapazität und spezifische Zahlen | |
| Bodenhöhe hinten (mm) | 800 | Übersetzung i | 1 : 6,5 | Sitze | 29 + Fahrer |
| Einstieghöhe Türen 1-3 (mm) | 325 | Knorr-Bremssyst. | Scheiben rundum, EBS, ABS, ASR | Stehplätze | 63 |
| Kneeling (mm) | 50 | Basisbremse | ED-Motorbremse | Zugelassene Personen | 92 + Fahrer |
| Gewicht, leer (t) | 10 | (sie lädt die Batterie, sonst Hilfsbetriebe) | | Leergewicht bezogen auf die Fläche (L x B) (kg/m²) | 360 |
| Zulässiges Gesamtgewicht (t) | 16,5 | Federung | ECAS Luft | Gewicht/Sitz (kg) | 345 |
| Türbauart | Außenschwenktüren | Lenkung | hydraulisch | Motorleistung bezogen auf das Leergewicht (kW/t) | 12 |