

Neue schweizerische Elektrobuss-Entwicklungen

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



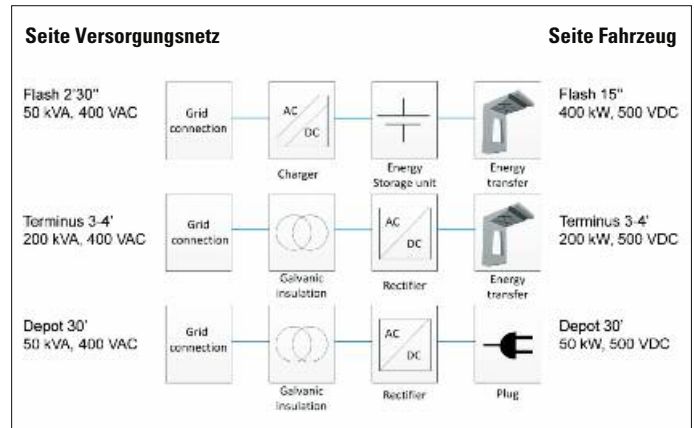
1. Der SwissTrolley plus wurde am 17. Januar 2017 bei den Verkehrsbetrieben Zürich vorgestellt. Aufnahme: Hess

Der „SwissTrolley plus“ ist ein vom Schweizer Bundesamt für Energie unterstütztes „Leuchtturmprojekt“ für die Realisierung eines reinen Elektromobilitätsfahrzeugs aus Schweizer Produktion mit nachhaltigen Komponenten und Steuerungen. Im Januar wurde der neuartige Trolleybus bei den Verkehrsbetrieben Zürich (VBZ) vorgestellt. Bevor wir das Fahrzeug im Detail betrachten blicken wir nach Genf, wo vor wenigen Jahren das TOSA-Projekt Vorarbeiten für eine Elektrifizierung von Buslinien jenseits der hergebrachten Standard-Trolleybuslösung erbrachte und nun auf der Linie 23 umgesetzt werden soll.

Genf

In „stadtverkehr“ 7-8/2013 beschrieben wir im Detail die TOSA-Testanlage in Genf zwischen dem Messegelände Palexpo und dem Flughafen, die Ladungsmethoden (darunter eine besonders schnelle Flash-Zwischenladung, eine „normale“ Opportunitätsladung und eine nächtliche Steckerladung) sowie das Fahrzeug. Letzteres basiert auf der Swisstrolley-4-Familie, benötigt aber keine doppelte Isolierung gegen den Fahrdraht. Dieser Test verlief offenbar positiv, und somit wurde am 15. Juli 2016 der Vertrag [1] zwischen TPG, Genève, ABB Sécheron und Hess für zwölf TOSA-Gelenkbusse, basiert auf dem Swisstrolley 4 und zugelassen für 133 Personen, unterzeichnet. Der TOSA-Bus war 2015 auf der COP21-Klimakonferenz in Paris ausgestellt.

Die Genfer Buslinie 23, Aéroport-Pont Butin-Grand-Lancy-Palettes-ZIPLÖ, wird bis Tours-de-Carouge verkürzt und vom Flughafen bis zum dortigen P+R-Parkplatz P47 verlängert, insgesamt 12 km, die zu Spitzenzeiten in 50 Minuten zurückgelegt werden (14,4 km/h). Es ist geplant, alle



3. Drei TOSA-Ladungsmethoden; die Spannung ist nun aber auf 600 V DC hinaufgesetzt und die Leistung bei der Flashladung auf 600 kW. Abbildung: ABB

zehn Minuten zu fahren. Man erwartet 10.000 Fahrgäste pro Arbeitstag. Die Eröffnung des TOSA-Betriebs der Linie 23 wird 2018 erwartet.

Von Tours-de-Carouge Richtung Flughafen werden neun Flashlader installiert, in der anderen Richtung vier, zusammen 13, bei insgesamt 50 Haltestellen. Die Ladestationen werden präfabriziert.

Abbildung 3 zeigt die drei Ladungsmethoden der Testanlage aus dem Jahr 2013. Das Prinzip bleibt in der nun vorgesehenen Anwendung dasselbe, die Leistungen und Spannungen sind jedoch erhöht. Die Flashladung ermöglicht die Ladung von 2,5 kWh in 15 Sekunden mit 600 kW. Die „Blitz“-Ladestationen werden mit 600 V DC (nicht mehr 400 V) betrieben und, wie Abbildung 3 zeigt, von Supercaps (Kapazität etwa 3 kWh) gespeist, die in etwa vier Minuten über einen 50 kW/380 V 3AC-Anschluss geladen werden. Das hat den großen Vorteil, dass die bestehende öffentliche 380 V 3AC-Stromverteilung genutzt werden kann.

An den Endhaltepunkten sind drei Lader aufgestellt, die fünf Minuten mit 400 kW laden können, das wären 33 kWh. Die Kapazität der Lithium-Titanatoxid-(LTO)-Batterien der Busse beträgt 69 kWh von denen etwa 46 kWh [2] genutzt werden, die Leistung ca. 300 kW. Die Lebensdauer ist auf zehn Jahre veranschlagt. Rechnen wir mit 2,2 kWh/km, dann könnte man den ganzen Parcours von 12 km ohne Zwischenlandung zurücklegen. Das Schema der vier Depotladeplätze ist ebenfalls in Abb. 3 angegeben. Man geht davon aus, dass, durch die bessere Rekuperation von Bremsenergie, der Stromverbrauch 10 % günstiger ist als beim Trolleybus.

Die zwölf Elektro-Gelenkbusse kosten 13,9 Mio. CHF. Sie haben eine E-Ausrüstung von ABB mit einem CC200-Duo-Wechselrichter und Bordnetz-Umrichter (BNU) sowie zwei 152-kW-PMS-Motoren (Permanentmagnet-Synchronmotoren; 2013 hatte das Versuchsfahrzeug noch ABB-Asynchronmotoren).



2. TOSA-Elektrobuss von Hess/ABB für Genf; dem Prototypen folgen nun zwölf Exemplare.

Aufnahme: ABB

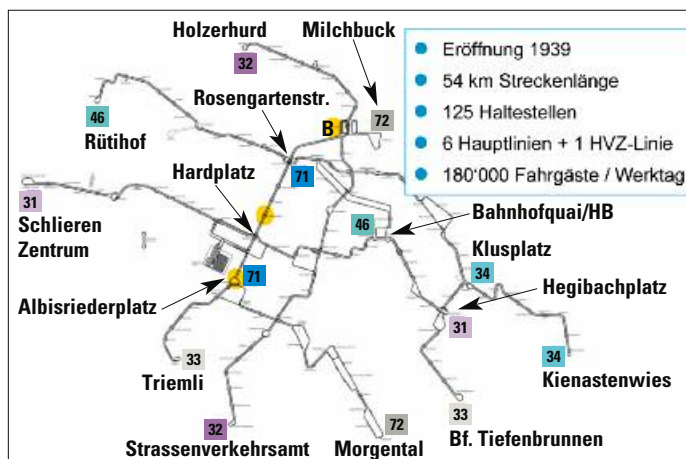
Die Gesamtkosten einschließlich der Ladeinfrastruktur betragen 24 Mio. CHF. Das Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) trägt 3,4 Mio. CHF bei. Die Transports Publics Genevois (TPG), das Office de Promotion des Industries et des Technologies (OPI), die Services industriels de Genève (SIG), ABB Sécheron SA und der Canton de Genève finanzieren die Ladestationen und die Bauarbeiten in Höhe von 15 Mio. CHF. Legt man die Gesamt-

kosten auf die Streckenlänge um, ergeben sich Kosten von 2 Mio. CHF pro km. Der Wechselkurs des Schweizer Franken ist mit 1 EUR = 1,07 CHF hinsichtlich der Kaufkraft zu hoch bewertet, lange Jahre entsprach 1 EUR etwa 1,5 CHF. Das ist ein großes Problem für die Schweizer Industrie, den Mittelstand in den Grenzgebieten und für den Tourismus.

Zürich

Die Verkehrsbetriebe Zürich (VBZ) betreiben ein Trolleybusnetz von 54 km Streckenlänge mit 125 Haltestellen und etwa 60 Mio. Fahrgästen pro Jahr (Abb. 4). Der Fuhrpark besteht aus den in der Tabelle 1 aufgeführten 39 Gelenkwagen und 31 Doppelgelenkwagen, sämtlich Hess-Swisstrolleys mit einer E-Ausrüstung von Kiepe.

Die 2013 beschafften Fahrzeuge hatten kein Dieselnotaggregat mehr, sondern eine Lithium-Eisenphosphat-(LiFePO₄-)Notbatterie [3]. Die Daten aller von der VBZ verwendeten Batterien befinden sich in der Tabelle 2. Die Fahrzeuge aus 2007 wurden ab 2014 von Hess und den VBZ umgebaut, die Dieselgeneratoren wurden durch Acta-LTO-Batteriepakete ersetzt. Die Dieselgeneratoren liefen wenig, sie waren daher selten auf der richtigen Betriebstemperatur und dadurch wirkten die Abgasreinigungssysteme nur sehr beschränkt, und außerdem liefen sie immer mit maximaler Tourenzahl, was die Umgebung akustisch zu spüren bekam. Dieser Umbau kostete 7 Mio. CHF. Die VBZ erwarten, dass der Betrag durch die Vereinfachung der Fahrleitungskonfiguration am Albisriederplatz (umgesetzt 2016, Abb. 5 und 6) und am Bucheggplatz (Abb. 7) in 2017 [4] kompensiert wird. Die Kosten belaufen sich also auf 200.000 CHF/Fahrzeug, für diesen Geldwert kann man in der EU einen VDL Citea LLE beschaffen! Die Linien 33 und 72 drahten Richtung Albisriederplatz am Hardplatz ab und 400 m später am Albisriederplatz wieder an. In Richtung Hardbrücke geschieht dasselbe. Der



4. Das Trolleybus-Streckennetz der VBZ, Zürich; zwischen Hardplatz und Albisriederplatz wird auf 400 m im Batteriebetrieb gefahren. Der Bucheggplatz (B) soll 2017 umgestaltet werden. Abbildung: VBZ; SG



5. Hardplatz, Trolleybus der Linie 72 beim Abdrahten, 25. April 2016
Aufnahmen ohne anderen Vermerk: HH

ComfoAccess® Modernstes Ticketingsystem



Hands Free, Stress Free: Pay as you Ride!
ComfoAccess®
Neueste Fahrgeldlösung für den ÖPV

- Be-in/Be-out-Lösung mit Raumerfassung
- Pay-as-you-Ride – ohne Bedienhandlung
- Praxiserprobt und zertifiziert durch die Schweizerischen Bundesbahnen
- Eröffnet neue Möglichkeiten der Tarifierung und Ertragssteigerung
- Anonyme Bewegungsdaten für Betriebsplanung und Marketing
- Kombinierbar mit EKS-Systemen zu einer Check-in/Be-out-Lösung
- Basierend auf VDV-KA-Stufe 3a



trapezgroup.de

Trapeze™
Here for the journey



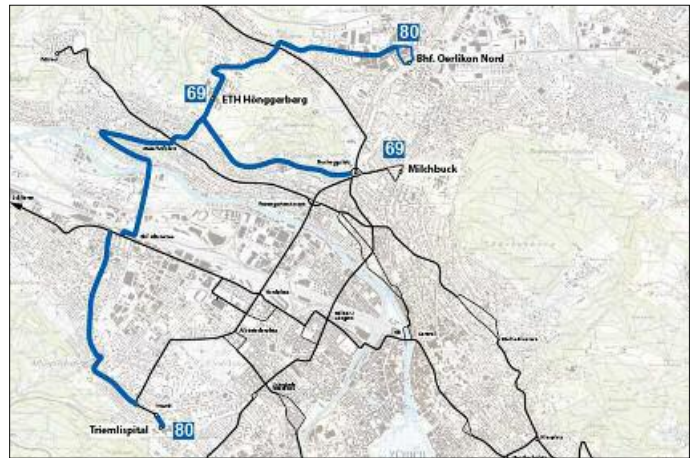
6. Albisriederplatz: neue Straßenbahnhaltestellen, fast keine Trolleyfahrlösungen mehr; Linie 72 beim Andrahten, 27. April 2016



8. OL 31 Doppelgelenk-Trolleybus der OL 31 auf einer Ausweichstrecke, Beatengasse, 3. September 2016
Aufnahme: R. Gerbig



7. Bucheggplatz, Fahrleitungsanlagen der Trolleybuslinien 32 und 72 und der Tramlinie 15; Blick auf das Dach eines DGT



9. Geplante Erweiterung des Trolleybusnetzes mit den OL 69 und 80

Abbildung: VBZ

Albisriederplatz wurde rekonstruiert und kann mit einem reinen Trolleybus nicht mehr befahren werden. Das Ab- und Andrahten erfordert wenig Zeit und funktioniert reibungslos. Automatisieren muss man das nicht. In Zürich wird die Leistung der Trolleybusse tatsächlich ausgenutzt, und hier merkt man eine relativ entscheidende Verminderung der Beschleunigung. Wegen Bauarbeiten in der Löwenstrasse fuhr die Trolleybuslinie 31 (Abb. 8), die mit Doppelgelenkfahrzeugen (DGT) betrieben wird, einen gut 1 km langen Abschnitt „ohne Fahrleitung“ (Kanonengasse–Bahnhofplatz bzw. Bahnhofplatz–Militär-/Langstrasse, Fahrzeit wohl gegen fünf, sechs Minuten, verschiedene Haltestellen). An einem Wochenende musste überdies Richtung Hegibachplatz via Usterstrasse, Bahnhofstrasse, Beatengasse und Waisenhausstrasse umgeleitet werden. In zum Teil engen Straßen erforderte das 90-Grad-Abbiegemanöver, die sehr gut gemeistert wurden. Eine echte Schwäche war, dass man, um Strom zu sparen, die Klimaanlage abstellte, was bei hohen Außentemperaturen zu stickiger Luft und beschlagenen Fensterscheiben führt.

SwissTrolley plus

Carrosserie Hess, Bellach, ist ein mittelständisches Unternehmen, das zwei Nischen bearbeitet, Trolleybusse und Busanhänger. Bei Letzterem ist sie, nach der Insolvenz von Göppel, Monopolist. Der Trolleybus ist in Westeuropa vor allem in der Schweiz und Italien präsent. VDL, Vison und Heuliez (Cristalis) haben aufgehört, Trolleybusse zu produzieren. Bleiben Hess und Van Hool und gelegentlich Iveco. In der EU führt Solaris/Skoda, und daneben gibt es SOR, ABB, Cegelec und Kiepe liefern E-Ausrüstungen. Arnhem, Esslingen, Luzern, Salzburg, Solingen und Zürich sind aktive Trolleybusstädte. In Luzern merkt man, dass sich bei der geplanten Verlängerung der OL 1 nach Ebikon Widerstand gegen die Fahrdrahtanlagen regt.

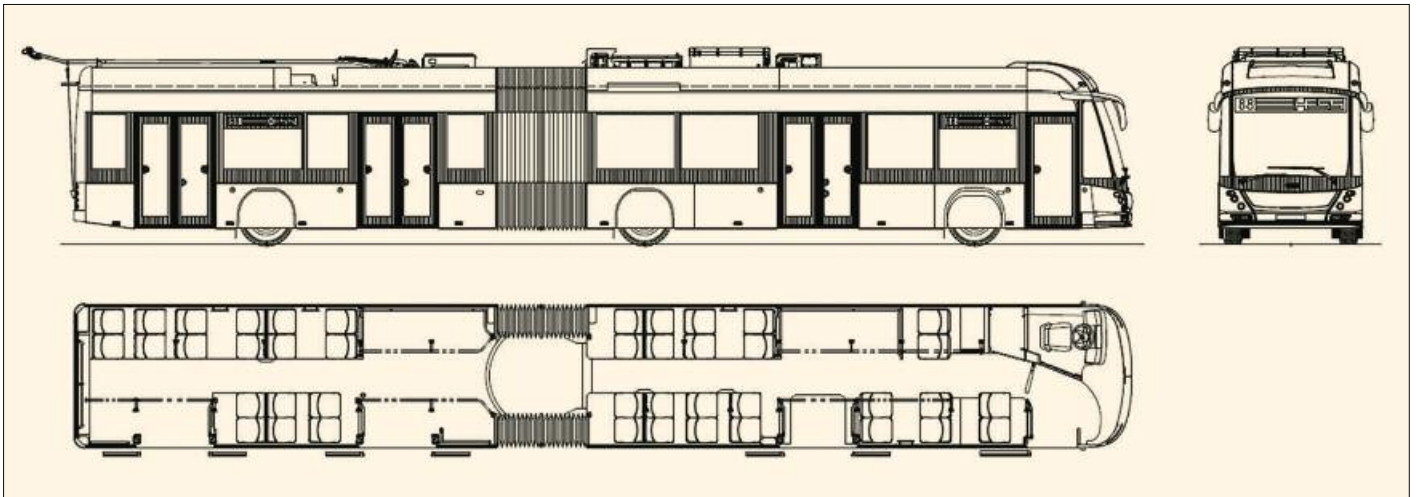
Verkehrsunternehmen, die Trolleybusse betreiben, tun gut daran, sie zu pflegen und auszubauen. Mindestens in den nächsten 20 Jahren wird der Trolleybus im hügeligen Gelände allen anderen Traktionsarten überlegen bleiben. Es ist deshalb logisch, dass Hess die Initiative ergriff, einen Trolleybus zu entwickeln, der die Vorteile des Ursprungsmodells beibehält und Batterien einsetzt, um das Ganze universeller nutzbar zu machen und Energie zu sparen.

Wie eingangs erwähnt, ist der „SwissTrolley plus“ ein von der Schweizerischen Eidgenossenschaft durch das Bundesamt für Energie (BFE) unterstütztes Projekt. Der Einsatz des Fahrzeugs ist Teil der Elektrifizierungsstrategie „eBus VBZ“ [5, 6, 7]. Diese umfasst neben dem Probetrieb mit einem Quartier-Elektrobus von SOR und neuen Volvo-Hybridgelenkbussen auch die Umstellung der Omnibuslinien 69 und 80 auf Trolleybusbetrieb (Abb. 9). Für den „eBus VBZ“-Plan sind die nächsten Schritte:

- Nachrüstung der Trolleybus-Serie 1 mit Traktionsbatterien (läuft, siehe oben)
- „Flexibilisierter Trolleybus light“: fahrleitungsloses Fahren auf kurzen Teilstrecken
- Elektrifizierung in Planung: OL 69 Höggerberg–Milchbuck (4,2 km), OL 80 Bahnhof Oerlikon–Triemlisplatz (11,8 km)

Der SwissTrolley plus (Abb. 1, 10, 11) ist etwa 1 t leichter [8] als sein Vorgänger Swisstrolley 4. Das ist teils der leichteren mechanischen Konstruktion, teils der Verwendung von PMS-Motoren und teils der leichteren Heizungs- und Lüftungsanlagen zu verdanken. So wird z.B. eine Strahlungsheizung verwendet.

Die notwendige LTO-Hochleistungsbatterie von 60 kWh wird so konzipiert, dass zusätzlich zum Fahren im Batteriemodus die Stromspitzen der



10. SwissTrolley plus, Fahrzeugeinteilung; die Batterien sind auf dem Dach platziert.

Abbildung: Hess

Fahrleitung abgeflacht werden. Die Batterie wird während der Fahrt schonend mit 11–22 kW aufgeladen. Man sollte bis zu 10 km fahrdrahtlos mit ihr fahren können.

Der SwissTrolley plus benötigt ausgeklügelte Steuer- und Regelalgorithmen (Abb. 12), um den Batterieladestand vorausschauend und energieeffizient planen und steuern zu können. Die ETH Zürich [9] liefert das nötige Know-how in der Regelungstechnik, um Batteriefahrzeuge zuverlässig und mit minimalem Energiebedarf durch die Strecke zu leiten. Das Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik der ETHZ entwickelt ein selbstlernendes Energiemanagement, welches Reichweite,

Energieeffizienz, Batterie Lebensdauer sowie den Energiebedarf der Nebenverbraucher unter Berücksichtigung von positionsabhängigen Streckeninformationen gleichzeitig optimiert. Zusätzlich wird eine Auslegungssoftware erstellt, die eine optimale Wahl der elektrischen Komponenten unter Berücksichtigung des geplanten Einsatzes ermöglicht.

Trotz modernster Batterietechnologie übersteigt die Lebensdauer von Trolleybussen diejenige von Batterien. Um die Batterie dennoch nicht unnötig oft austauschen zu müssen, forscht das BFH-CSEM-Zentrum Energiespeicherung [10] der Berner Fachhochschule an Vorhersagemodellen und Methoden, wie die Batterie Lebensdauer maximiert werden kann:

CLEAN CITIES – SMART BUSES



MOTION & EMOTION **HES**

Tabelle 1: Hauptdaten der Zürcher Trolleybusse

Bezeichnung	Wagennr.	Baujahr	Länge x Breite (m)	Leergew. (t)	zuläss. Gesamtgew. (t)	Leistung (kW)	Notaggregat (kW*)	Sitze + Stehplätze (4/m²)
3 BGT-N2C	144-161	2007	18,7 x 2,55	19,5	30	2 x 160 TSA	Batterie 75	45 + 70
4 BGT-N2D	162-182	2013	18,7 x 2,55	19,6	30	2 x 120 TSA	Batterie 61	44 + 70
BGGT-N2C	61-77	2007	24,7 x 2,55	24	38,1	2 x 160	Batterie 61	60 + 96
BGGT-N2C	78-91	2013	24,7 x 2,55	24	38,1	2 x 160	Batterie 75	60 + 96
SwissTrolley plus	183	2016	18,74 x 2,55	±18,6	30	2 x 152 PMS max.	Batterie 240	42 + 101

* Entladeleistung

- Die Batterie wird innerhalb eines bestimmten Ladezustands betrieben, um genügend Energie für Fahrten ohne Oberleitung zu garantieren und gleichzeitig Energie durch regeneratives Bremsen aufzunehmen.
- Regeneratives Bremsen bei Bergabfahrten und beim Bremsvorgang vor jeder Haltestelle ermöglicht das Nachladen der Batterie und erhöht die Energieeffizienz gegenüber herkömmlichen Trolleybussen.
- Die Batterie unterstützt bei der Entlastung des Oberleitungsnetzes.

Durch all diese Maßnahmen sollte der Trolley-Batteriebus 15 % weniger Strom verbrauchen. Man stelle sich das in etwa so vor: die OL 33 fährt vom Hardplatz (Höhe ü.M. 406 m) über die Hardbrücke, nach rechts in die Rotbuchstrasse und steigt unentwegt über den Schaffhauserplatz, die Riedtlistrasse bis zur Winterthurerstrasse und weiter bis zum Toblerplatz (526 m). Von da aus geht es nur hinunter bis zur Seefeldstrasse (406 m). Wenn die Batterie am Hardplatz vollgeladen ist, kann sie bis zur Winterthurerstrasse dazu beitragen, die Spitzen in der Stromabnahme zu senken. Sie wird bei jeder Bremsung auch bergauf etwas geladen. Dann sollte sie am Toblerplatz fast leer sein, so dass sie in der Seefeldstrasse, dank Bremsrekuperation während des Höhenunterschiedes von 120 m, wieder gut geladen ist.

Der SwissTrolley plus startet in den nächsten Wochen seinen Testbetrieb vorerst ohne Fahrgäste auf unterschiedlichen Linien im Netz der VBZ. Nach erfolgreicher Testphase und Zulassung des BAV (Bundesamt für Verkehr) nach der Trolleybusnorm EN 50502 und der Batteriebusnorm ECE R100 ist der Einsatz mit Fahrgästen geplant. Die Testperiode soll zwei Jahre betragen. Es sollen 17 solcher Busse beschafft werden.

Tab. 2: Daten der in den VBZ-Trolleys verwendeten Batterien

Lieferlos 2012/2013**DGT Longo 2 (Hess-Bezeichnung: BGGT-N2C), Nr. 78-91:**

Batterietyp:	Lithium-Eisenphosphat (LiFePO4)
Energieinhalt:	64 kWh (davon 80 % betrieblich nutzbar)
Entladeleistung:	min. 75 kW
Ladeleistung:	max. 30 kW
Einbauvolumen:	ca. 1,5 m³
Gewicht:	764 kg inkl. Container

GT (Swisstrolley4, Hess-Bezeichnung: 4 BGT-N2D), Nr. 162-182:

Batterietyp:	Lithium Eisenphosphat (LiFePO4)
Energieinhalt:	51 kWh (davon 80 % betrieblich nutzbar)
Entladeleistung:	min. 61 kW
Ladeleistung:	max. 24 kW
Einbauvolumen:	ca. 1,5 m³
Gewicht:	780 kg inkl. Container

GT und DGT Lieferlos 2006/2007, Umbau 2016/17, Nr. 144-161 und 61-77

Batterietyp:	Lithium-Titanatoxid (Li2TiO3)
Energieinhalt:	35 kWh (davon 80 % betrieblich nutzbar)
Entladeleistung:	200 kW (Spitze), 120 kW (Dauer)
Ladeleistung:	1C: 200 kW (Spitze), 120 kW (Dauer)
Einbauvolumen:	ca. 1,5 m³
Gewicht:	800 kg inkl. Container und Umrichter

SwissTrolley plus:

Batterietyp:	Lithium-Titanatoxid (Li2TiO3)
Energieinhalt:	60 kWh (davon 80 % betrieblich nutzbar)
Entladeleistung:	350 kW (Spitze), 240 kW (Dauer)
Ladeleistung:	1C: 350 kW (Spitze), 240 kW (Dauer)
Gewicht:	1200 kg

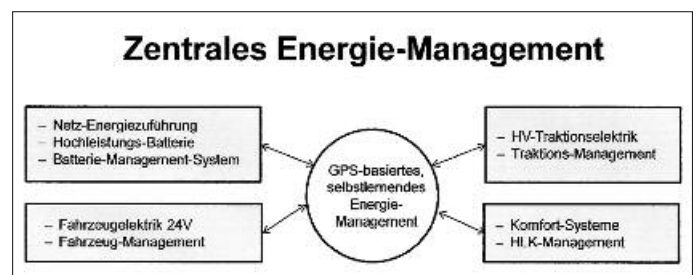


11. SwissTrolley plus bei der Zentralwerkstatt der VBZ. Alle Projektpartner sind unterhalb der Heckklappe angezeigt. Aufnahme: Hess

Das Projekt SwissTrolley plus wurde von der Carrosserie HESS AG in Zusammenarbeit mit den VBZ lanciert. Die Partner ETH Zürich und Berner Fachhochschule nutzen das Projekt als Forschungsplattform für Untersuchungen in den Bereichen Steuerung und Optimierung sowie Batterietechnologie. Das Bundesamt für Energie unterstützt das Vorhaben im Rahmen seiner Förderprogramme für Energieforschung und Leuchtturmprojekte. Fazit: Der SwissTrolley plus steht für gebündeltes Schweizer Know-how.

Schrifttum

- <http://ge.ch/transport/actualites/tosa-ligne-23-cest-parti-lunion-partenariale-publique-privée-au-service-du-bus-du-futur>
- T. Patey et al.: Charged in a Flash, in: ABB Review 4/16
- A. Vogel: Trolleybus mit Batterie-Notfahrt. Ein Erfahrungsbericht, 21. Mai 2014, Fribourg
- H. Feurer: Trolleybus = Batteriebus mit dynamischer Nachladung, 5. Trolleymotion-Konferenz, Berlin, 20. September 2016
- G. Schoch, VBZ: Strategie eBus VBZ, Präsentation 17. November 2016
- S. Hotz: Den Trolleybus neu erfunden, in: NZZ, 18. Januar 2017
- C. Rütimann, VBZ: SwissTrolley plus, hier fährt die Zukunft. VBZ setzen ihre Elektrifizierungsstrategie fort, Präsentation 17. Januar 2017
- A. Naef, Hess: Clean cities – smart buses, Präsentation 17. Januar 2017
- Prof. C. Onder, ETHZ: Selbstlernendes Energiemanagement, Präsentation 17. Januar 2017
- A. Vezzini, Berner Fachhochschule: Hochleistungs-Traktionsbatterie im SwissTrolley plus, Technische Aspekte, Forschungseinblicke und Blick in die Zukunft, Präsentation 17. Januar 2017



12. SwissTrolley plus, zentrales Energiemanagement

Abbildung: Hess