EIN TROLLEY, DER AUCH OHNE OBERLEITUNG FÄHRT

Trolleybusse erfreuen sich in Schweizer Städten noch immer grosser Beliebtheit. Der Ausbau der Oberleitungen stösst aber mitunter auf Widerstand. Hier schliesst der Bushersteller Carrosserie Hess AG (Bellach/SO) nun eine Lücke: Der neu entwickelte «Swiss Trolley plus» ist mit einer leistungsfähigen Batterie ausgestattet und kann so auf Linien eingesetzt werden, die nur teilweise mit Oberleitungen ausgerüstet sind. Auch beim Energiekonsum setzt der neue Bus Massstäbe: Dank Leichtbauweise und ausgeklügeltem Energiemanagement spart er gegenüber einem herkömmlichen Trolleybus mindestens 15% Energie.



Blick auf das Dach des Swiss Trolley plus in der VBZ-Busgarage Hardau: Die in der weissen Metallbox untergebrachte Batterie ist 1,2 t schwer und hat eine Speicherkapazität von 60 kWh. Zum Vergleich: Ein Elektrobus mit der gleichen Fahrleistung, der während der ganzen Betriebszeit ausschliesslich aus der Batterie versorgt würde, müsste eine Batterie mit ca. 600 kWh Kapazität haben. Eine solche Batterie würde rund 5 t wiegen und würde den Bus massiv schwerer (und den Betrieb unwirtschaftlich) machen. Foto: B. Vogel

erschienen.

Wer als Passagier auf der Buslinie 33 guer durch die Stadt Zürich unterwegs ist, fühlt sich wie in jedem anderen Schweizer Trolleybus. Dabei kommt auf dieser Strecke seit Mai 2017 ein Fahrzeug zum Einsatz, das es so bisher nicht gab: Der Bus ist mit einer Batterie ausgerüstet und kann auch auf längeren Strecken fahren, die nicht mit Oberleitungen ausgerüstet sind. Der Wechsel zwischen beiden Betriebsarten erfolgt, ohne dass die Fahrgäste etwas mitbekommen. Buschauffeur Fatmir Alijaj führt dem Journalisten an der Haltestelle Albisriederplatz vor, wie es geht: Während die Fahrgäste an der Haltestelle aus- und einsteigen, betätigt der Buschauffeur in der Fahrerkabine einen Knopf, und schon werden die Stromabnehmer eingezogen – <abdrahten> heisst es im Fachjargon. Der Vorgang dauert wenige Sekunden, dann fährt der Bus weiter. Bei einer anderen Station dann der umgekehrte Vorgang: Auf Knopfdruck werden die Stromabnehmer wieder an die Oberleitungen hochgefahren. Ein Trichter sorgt dafür, dass die Stromabnehmerköpfe beim Eindrahten zuverlässig in die Leitungen einfädeln. «Das ist ein Routinevorgang, die Trefferquote liegt bei über 99%», sagt Chauffeur Alijaj.

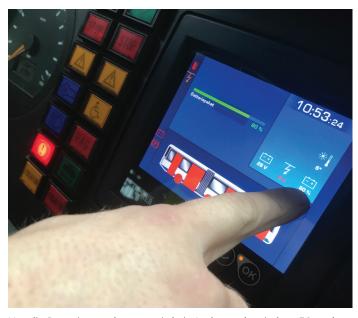
Weitere Linien elektrisch bedient

Ob der Bus im Oberleitungs- oder Batteriebetrieb fährt, hat auf die Motorenleistung keinen Einfluss. Ein Vorteil, den aufmerksame Buspassagiere möglicherweise bemerken, ist, dass das neue Fahrzeug einen tieferen Geräuschpegel hat als bisherige Trolleybusse. Das liegt an den Synchronmotoren, die mit einer tieferen Drehzahl betrieben werden können. Der entscheidende Vorzug des neuen Busses: Er kann auf Linien eingesetzt werden, die nur auf Teilstrecken mit Oberleitungen ausgerüstet sind. Das gilt bei den Verkehrsbetrieben der Stadt Zürich (VBZ) zum Beispiel für die Linie 83 (Milchbuck-Hardbrücke-Bhf Altstetten). Hier kommen bisher Dieselbusse zum Einsatz, obwohl die Linie auf längeren Abschnitten parallel zu vorhandenen Trolleybuslinien verläuft. Dank des neuen Busses können die VBZ nun erstmals auch ein elektrisch betriebenes Fahrzeug einsetzen. Das neuartige Fahrzeugkonzept ist ferner Grundlage für die Elektrifizierung der wichtigen Linien 69 und 80 (beide erschliessen unter anderem die ETH Hönggerberg), die bisher mit Dieselbussen bedient werden. Für die Umstellung der Linien auf Trolleybusbetrieb müssen so nur ausgewählte Teilstrecken mit Oberleitungen versehen werden.

«In den ersten Monaten hat der Bus seine Praxistauglichkeit unter Beweis gestellt; abgesehen von ein paar Kinderkrankheiten hat der Swiss Trolley plus unsere Erwartungen voll er-

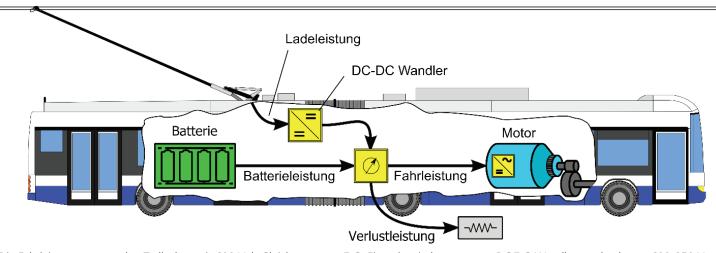


Für Busfahrer (im Bild: VBZ-Chauffeur Fatmir Alijaj) bringt der Swiss Trolley plus nur geringe Umstellungen mit sich. Eine davon ist das programmierfähige Fahrpedal, das eine energiesparende Fahrweise begünstigt. Foto: B. Vogel



Um die Batterie zu schonen, wird ein Ladestand zwischen 50 und 85% angestrebt. Foto: B. Vogel

füllt. Unsere Fahrer konnten ohne spezielle Schulung auf den neuen Bus umsteigen. Wir können mit diesem Fahrzeugkonzept bestehende Linien zukünftig ohne zusätzliche Oberleitungen verlängern», sagt Oliver Tabbert, Projektverantwortlicher bei den VBZ. Das Antriebskonzept ermöglicht auch die Vereinfachung von komplexen Oberleitungen, beispielsweise durch den Verzicht auf selten genutzte Verbindungen, welche im Batteriemodus zurückgelegt werden können.



Die Fahrleitung versorgt den Trolleybus mit 600 Volt Gleichspannung/DC. Ein galvanisch getrennter DC/DC-Wandler macht daraus 600-850 V DC zur Versorgung der Batterie. Da die zwei Fahrmotoren und das Bordnetz (Licht, Heizung, Luftkompressor für Bremsen) mit Wechselstrom betrieben werden, ist ein Umrichter nötig. Illustration: VBZ

Leichter und energieeffizienter

Die Carrosserie Hess AG hat den Swiss Trolley plus – so der Projektname – innerhalb eines Jahres entwickelt. Die VBZ waren als Partner bei der Auslegung der Anforderungen und bei der Inbetriebnahme beteiligt. Das Bundesamt für Energie unterstützt das Industrieprojekt finanziell im Rahmen seines Leuchtturm-Programms. Der Bus vereint mehrere Innovationen: Das Gefährt ist eine Tonne leichter als ein herkömmlicher Trolleybus, wodurch es eine höhere Nutzlast hat (163 statt 150 Passagiere) – und dies obwohl die Batterie 600 kg schwerer ist als die Notbatterie, die ein herkömmlicher Trolleybus mit sich führt. Die Gewichtsreduktion gelang dank Leichtbauweise (z.B. Kompositplatten statt Schwerholz für den Boden) und Gewichtseinsparungen bei Traktions- und Heizungssystem. Neu konzipiert sind auch Heizung, Lüftung und Kühlung (HLK): Zwei Luft-Wasser-Wärmepumpen produzieren die Wärme und Kälte, die den Fahrgastraum über ein Rohrleitungsnetz heizt bzw. kühlt, zugleich aber auch für die Kühlung der Batterie sorgt. Die notwendige Mindesttemperatur im Bus kann um 2 Grad Celsius gesenkt werden, weil der Innenraum zusätzlich von der Decke mit einer Infrarotheizung bestrahlt wird.

Die Leichtbauweise und das gewählte HLK-System verbessern die Energieeffizienz des Busses. Energie sparen auch die verbesserte Rekuperation der Bremsenergie und das Antriebssystem mit Synchronmotoren. Letztere arbeiten im Vergleich zu Asynchronmotoren je nach Geschwindigkeitsbereich um bis zu 8% effizienter, sie erlauben eine kompak-

tere Bauweise und brauchen weniger Unterhalt. Das von ABB Turgi entwickelte Traktionssystem kommt erstmals in einem Hess-Trolleybus zum Einsatz. Der wassergekühlte Elektromotor kann verwendet werden, weil der neue Trolleybus mit einem DC-DC-Wandler ausgerüstet ist, der den Bus galvanisch vom Versorgungsnetz der Oberleitungen trennt. Dank der galvanischen Trennung kann der Bus unterhalb des DC-DC-Wandlers wie ein konventioneller Batteriebus konzipiert werden; das heisst, es ist keine doppelte Isolation der Fahrzeugkomponenten (auch nicht der Fahrmotoren) notwendig. Die Trennung des Antriebstranges vom Fahrleitungsnetz ist auch der Grund für den effizienteren Betrieb: Während konventi-



Anders als in der Elektromobilität üblich, wird der Swiss Trolley plus nicht mit einem Asynchronmotor, sondern von einem Synchronmotor angetrieben. Dieser ist zwar etwas komplizierter in der Ansteuerung und sicheren Handhabung. Dafür braucht er weniger Energie und lässt höhere Drehmomente und dadurch eine niedrigere Drehzahl zu. Foto: B. Vogel

onelle Trolleybusse nur dann überschüssige Bremsenergie ins Netz zurückspeisen können, wenn gleichzeitig ein anderer Bus diese benötigt, kann der Swiss Trolley plus seine Batterie jederzeit mit rekuperierter Bremsenergie laden.

«Der Bus dürfte gegenüber herkömmlichen Trolleybussen mit 15% weniger Energie auskommen. Diese eher konservative Schätzung wird durch die bisherigen Betriebsdaten bestätigt», sagt Hans-Jörg Gisler, der das Projekt für die Carrosserie Hess AG betreut hat, und ergänzt: «Weitere 8 bis 10% Energieersparnis streben wir mit dem Energiemanagementsystem an.» Das Energiemanagementsystem wurde durch die ETH Zürich entwickelt und wird im Bus schrittweise implementiert (vgl. Textbox unten).

Glättung von Leistungsspitzen

Dank der leistungsfähigen Batterie kann der Swiss Trolley plus im Praxiseinsatz zuverlässig 10 km ohne Oberleitung zurücklegen. Unter bestimmten Testbedingungen betrug die Reichweite sogar 20 bis 30 km. Die Reichweite hing dabei wesentlich vom HLK-System ab, da die Heizung unter extremen

Bedingungen im Winter etwa gleich viel Elektrizität benötigt wie die Motoren. Die auf dem Dach des Busses montierte Batterie hat eine Speicherkapazität von 60 kWh und eine Lade-/ Entladeleistung von 360 kW. Ihre Kapazität ist damit doppelt so gross wie jene der Notfallbatterie, die in herkömmlichen Trolleybussen eingebaut ist, die Leistung ist viermal so gross. Im Praxiseinsatz wird die Leistung nicht voll ausgeschöpft: im Alltagsbetrieb sollen nach Auskunft der VBZ 90 bis 100 kW beansprucht werden, maximal aber 200 kW. Die Batterie gehört zur Klasse der heute gängigen Lithium-Ionen-Batterien, wobei die verwendete LTO-Batteriechemie (Kathodenmaterial aus Lithium-Nickel-Mangan-Kobaltoxid, Anodenmaterial aus Lithium-Titanat-Oxid) eine hohe Leistungsfähigkeit und ein tiefes Gewicht begünstigt. Die Lebensdauer wird auf mindestens acht Jahre veranschlagt.

Die Batterie liefert die Energie für Traktion und HLK-System und nimmt die Rekuperationsenergie auf. Sie ist nicht nur bedeutsam für den jeweiligen Bus, sondern auch für das Energieversorgungsnetz eines Verkehrsbetriebs: Sie kann nämlich so gesteuert werden, dass sie nicht geladen wird, wenn das

EIN BUS LERNT SELBSTÄNDIG STROM SPAREN

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zum Swiss Trolley plus haben Wissenschaftler der ETH Zürich um Prof. Christopher Onder (Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik) ein Energiemanagementsystem entwickelt. Dieses steuert das Laden und Entladen der Batterie und senkt auf diese Weise den Energieverbrauch und erhöht die Lebensdauer der Batterie. Das kann beispielsweise bedeuten, dass der Ladestand der Batterie so gesteuert wird, dass diese auch bei einem Energiezufluss durch Rekuperation im gewünschten Ladezustand (idealerweise zwischen 50 und 85%) bleibt. Oder dass die Heizung bei einer Steigfahrt gedrosselt wird, um die Batterie zu schonen.

Das Energiemanagementsystem ist selbstlernend: Wird der Swiss Trolley plus auf einer neuen Linie eingesetzt, zeichnet das GPS-gestützte System positionsabhängige Streckeninformationen auf, z.B. Haltestellen, Topografie, Durchschnittsgeschwindigkeit oder Passagierzahl auf den jeweiligen Streckenabschnitten. Nach wenigen Kursen ist das System in der Lage, auf der Grundlage der erhobenen Daten Reichweite, Energieeffizienz, Batterielebensdauer und Energiebedarf der Nebenverbraucher zu optimieren. Auch erstellten die ETH-Forscher eine Auslegungssoftware, die dem Hersteller hilft, die elektrischen Komponenten unter Berücksichtigung des geplanten Einsatzes optimal auszuwählen.

In das Energiemanagementsystem fliesst auch ein Batteriealterungsmodell ein, das das Kompetenzzentrum BFH-CSEM-Zentrum Energiespeicherung der Berner Fachhochschule (Prof. Andrea Vezzini) im Zuge des Projekts entwickelt hat. Das Modell enthält detaillierte Steuerungsvorgaben, die auf eine längstmögliche Lebensdauer der Batterie abzielen.

Ein zusätzliches Projekt wird für Echtzeit-Datenmanagement mit Innosuisse umgesetzt: Die Betriebsdaten des Busses werden in Echtzeit an den Betreiber übermittelt und erlauben damit eine vorausschauende Planung von Wartungsarbeiten. BV



Der Swiss Trolley plus ist ein Trolleybus mit 163 Plätzen, der dank einer 60 kWh-Batterie Strecken von bis zu zehn Kilometern planmässig ohne Oberleitungen zurücklegen kann. Die gleiche Technologie verwendet auch ein Doppelgelenkbus für über 200 Personen, von dem die Verkehrsbetriebe Zürich 2018 drei Exemplare für den Einsatz auf den Linien 31 und 32 beschaffen. Im Doppelgelenker kommt eine grössere Batterie (70 kWh) zum Einsatz. Foto: VBZ

Gesamtnetz gerade stark belastet ist. «Für Verkehrsbetriebe, die bei der Stromversorgung an ihre Kapazitätsgrenze stossen, ist diese Glättung von Leistungsspitzen sehr nützlich und hilft, Kosten zu sparen», sagt VBZ-Fachmann Tabbert.

Absatz im In- und Ausland

Die Carrosserie Hess AG hat den Swiss Trolley plus zunächst für den Schweizer Markt konzipiert, sieht aber auch gute Exportchancen für Städte in den Nachbarstaaten der Schweiz und in Holland, die Trolleybusse im Einsatz haben oder deren Wiedereinführung erwägen. In der ersten Hälfte 2018 wirbt der Bus in verschiedenen Schweizer Städten auf einer Roadshow für seine Fähigkeit zum teil-fahrleitungslosen Betrieb. Zürich, Bern und Biel haben schon Trolleybusse bestellt, die zumindest Komponenten der neuen Technologie verwenden. St. Gallen und weitere Städte haben Interesse geäussert, den teil-fahrleitungslosen Betrieb ebenfalls umsetzen.

- Weitere Informationen zum BFE-Leuchtturmprojekt: https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=36721
- → Auskünfte zu dem Projekt erteilt Dr. Men Wirz (men. wirz[at]bfe.admin.ch), BFE-Sektion Cleantech.
- Weitere Fachbeiträge über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Mobilität finden Sie unter www.bfe.admin.ch/CT/verkehr.

PILOT-, DEMONSTRATIONS- UND LEUCHTTURM-PROJEKTE DES BFE

Der Swiss Trolley plus gehört zu den Leuchtturmprojekten, mit denen das Bundesamt für Energie (BFE) die Entwicklung von sparsamen und rationellen Energietechnologien fördert und die Nutzung erneuerbarer Energien vorantreibt. Das BFE fördert Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte mit 40% der anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

Informationen unter: www.bfe.admin.ch/pilotdemonstration www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm