



Schlussbericht vom 30.11.2019

SwissTrolley plus

Ein gemeinsames Projekt von HESS und VBZ





Datum: 30.11.2019

Ort: Bellach SO, Zürich ZH

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

Carrosserie HESS AG
Bielstrasse 7, 4512 Bellach
<https://www.hess-ag.ch>

Verkehrsbetriebe Zürich
Luggwegstrasse 65, 8048 Zürich
<https://www.stadt-zuerich.ch/vbz/>

Autor/in:

Anton Spycher, anton.spycher@hess-ag.ch
Martin Widmer, martin.widmer@hess-ag.ch
Nicolas Amacker, nicolas.amacker@hess-ag.ch
Hannes Aeberhard, hannes.aeberhard@hess-ag.ch
Nicolai Stucki, nicolai.stucki@hess-ag.ch
Yves Brügger, yves.bruegger@hess-ag.ch
Marcel Maag, marcel.maag@vbz.ch
Oliver Tabbert, oliver.tabbert@vbz.ch
Oliver Obergfell, oliver.obergfell@vbz.ch

BFE-Projektbegleitung:

Bundesamt für Energie, Sektion Cleantech, Herr Men Wirz, men.wirz@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501242-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich

Zusammenfassung

Durch das Projekt SwissTrolley plus konnte das bewährte System Trolleybus erfolgreich eine Generation weiterentwickelt werden – dies einerseits durch die Zusammenarbeit zwischen einem erfahrenen Trolleybusbetreiber (VBZ) und einem erfahrenen Trolleybushersteller (HESS), andererseits auch durch neue, vor allem technischen Bedingungen, welche durch den Trend Elektromobilität entstanden sind.

Die grösste Herausforderung im Projekt war, dass die Vorteile von neuen Traktions- und Speichertechnologien intelligent in den Trolleybus integriert werden konnten. Dies gelang vor allem durch den unkonventionellen Ansatz, den Trolleybus auf einer Elektrobusarchitektur aufzubauen und nach Trolleybusnorm mit Energie zu versorgen. Daraus entstand nebst einem energieeffizienteren und emissionsärmeren Antriebsstrang auch ein flexibleres Fahrzeug, welches grössere Streckenabschnitte ohne Leistungseinbussen oberleitungsfrei bewältigen kann.

Gleichzeitig wurde im parallel durchgeführten F&E Projekt von der ETH untersucht, wie man das Energiemanagement selbstlernend machen kann und von der BFH wurde untersucht, wie die verwendeten Batteriezellen altern und wie man diese Alterung abschätzen kann. Die Erkenntnisse aus diesen Untersuchungen werden in einem separaten Bericht festgehalten.

Résumé

Le projet SwissTrolley plus a contribué au développement de la nouvelle génération du System Trolleybus – d'une part grâce à la coopération entre un opérateur de trolleybus expérimenté (VBZ) et un fabricant de trolleybus confirmé (HESS), et d'autre part à cause de nouveautés, surtout techniques, qui ont été créés avec la tendance de la mobilité électrique.

Le plus gros défi du projet était d'intégrer intelligemment les avantages des nouvelles technologies de traction et de stockage au trolleybus. Ceci a été réalisé en appliquant une approche non conventionnelle consistant à construire le trolleybus sur une architecture de bus électrique et à l'alimenter en énergie conformément au standard de trolleybus. A part d'obtenir un groupe motopropulseur plus économe en énergie et pauvre en émissions, il en résulte un véhicule plus flexible, capable de couvrir des trajets plus longs sans perte de performance.

Dans le cadre des projets de recherche et développement menés en parallèle, l'ETH a fait des travaux sur la manière de faire de l'auto-apprentissage de la gestion de l'énergie et le BFH a étudié comment les cellules de la batterie vieillissaient et comment on pouvait estimer ce vieillissement. Les résultats de ces études seront consignés dans un rapport séparé.

Summary

With the project SwissTrolley plus the trolleybus could be enhanced successfully – on the one hand through the cooperation of a well experienced transport operator (VBZ) and a well experienced vehicle manufacturer (HESS) and on the other hand through technical circumstances that have arisen as a result of the trend towards electromobility.

The major challenge in the project was to combine the advantages of new traction and energy storage technologies with the trolleybus. This was achieved through the unique approach to design the trolleybus on an electric bus architecture and to supply electric energy according to trolleybus standards. This solution has not only made the vehicle more energy-efficient and lower in emissions, but also more flexible while driving without catenary network because there are no power limitations with the new traction battery.

At the same time in the sister R&D project, ETH Zurich has researched in self-learning energy management systems and BFH-TI analysed how battery cells age and how ageing can be estimated. The findings from these investigations will be published in a separate report.

Take-home messages

- Der Trolleybus ist wichtiger Bestandteil des Trends Elektromobilität. Dies auch dank der nachhaltigen Beschaffung der Betreiber, welche gewisse Mehrinvestitionskosten gegenüber Diesel- oder reinen Batteriebusen in Kauf nehmen und auch dank der Industrie in der Schweiz, welche dank enger Zusammenarbeit mit der Forschung innovativ bleiben kann.
- Für bestimmte Einsatzbedingungen bietet der Trolleybus auch zukünftig gegenüber reinen Batteriebusen betriebliche und wirtschaftliche Vorteile. Das neuentwickelte Konzept des „SwissTrolley plus“ macht das System Trolleybus noch flexibler und wirtschaftlicher, so dass den Verkehrsunternehmen ein zukunftsfähiges Produkt angeboten werden kann.
- Das BFE stellt dafür mit den Förderungsprogrammen P+D+L, sowie F&E eine sehr gute Plattform zur Verfügung

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé	3
Summary	4
Take-home messages	4
Inhaltsverzeichnis	5
Abkürzungsverzeichnis	7
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	8
1.1.1 Hintergrund Energieversorgung Stadt Zürich	8
1.1.2 Vergleich von Energieverbräuchen und CO2-Emissionen von verschiedenen Antriebssystemen	8
1.2 Motivation des Projektes	9
1.2.1 Motivation aus Sicht des Betreibers	9
1.2.2 Motivation aus Sicht des Herstellers	9
1.3 Projektziele	10
1.3.1 Revidierte und kommunizierte Gesamtprojektziele	10
2 Anlagenbeschrieb	12
2.1 Innovatives Traktionssystem	12
2.1.1 Vergleich zu konventionellem Trolleybus	13
2.1.2 Zusammenfassung Traktionsbatterie	13
2.1.3 Energiemanagement System	14
2.2 Innovatives Thermomanagement	14
2.2.1 Bedienung / Zusammenspiel der Systeme	15
3 Vorgehen und Methode	17
3.1 Projektleitung und -durchführung bei HESS.....	17
3.1.1 Vorstudie.....	17
3.1.2 Planung und Entwicklung:	17
3.1.3 Forschung (ausführliche Beschreibung in separatem Bericht):	17
3.1.4 Bau und Durchführung:	17
3.1.5 Messungen und Erfolgskontrolle	17
3.1.6 Technologietransfer:	17
3.1.7 Kommunikation:	18
3.2 Projektleitung und -durchführung bei den VBZ	18
4 Ergebnisse und Diskussion	19
4.1 Geringere Betriebskosten und bessere Flexibilität.....	19
4.1.1 Geringere Betriebskosten durch tiefere Leistungsspitzen.....	19

4.1.2	Geringere Betriebskosten durch tieferes Fahrzeuggewicht	19
4.1.3	Bessere Flexibilität	19
4.2	Verbesserte Energieeffizienz.....	20
4.2.1	Vergleichsmessung zwischen SwissTrolley4 und SwissTrolley plus	20
4.2.2	Verbrauchsaufteilung während der Vergleichsmessung	21
4.2.3	Reduzierung von Spitzenlasten.....	21
4.2.4	Vergleich über ein gesamtes Jahr	22
4.3	Erkenntnisse selbstlernendes Energiemanagement ETH [1].....	22
4.4	Erkenntnisse zur Alterung der Traktionsbatterie [1]	23
4.4.1	Ermittlung des SoH durch Referenzmessung	24
4.4.2	Ermittlung des SoH durch online Messmethoden in BMS oder VCU.....	25
4.5	Erkenntnisse aus dem Betrieb.....	25
4.5.1	Gesamtkostenbetrachtung (TCO)	25
5	Schlussfolgerungen und Fazit	27
5.1	Aus Sicht des Betreibers	27
5.2	Aus Sicht des Herstellers	27
6	Ausblick und zukünftige Umsetzung	28
6.1	Aus Sicht des Betreibers	28
6.2	Aus Sicht des Herstellers	28
7	Nationale und internationale Zusammenarbeit	29
7.1	Weitere, abgeschlossene Projekte mit SwissTrolley plus	29
7.1.1	In Zusammenarbeit mit HESS	29
8	Kommunikation	30
8.1	Einsatz im Rahmenprogramm eDays (Formel-E-Rennen)	30
8.2	Roadshow bei verschiedenen Verkehrsbetrieben.....	33
8.3	eBus-Tage 2019	37
9	Publikationen	38
9.1	Bericht für das BFE von Dr. Vogel aus Berlin	38
10	Literaturverzeichnis	44

Abkürzungsverzeichnis

APU	Auxiliary Power Unit (Hilfsaggregat)
BFH	Berner Fachhochschule
BMS	Batterie Management System
CC200	Typenbezeichnung von Traktions – und Nebenaggregatsumrichter (ST+)
DGG	Typenbezeichnung Traktions – und Nebenaggregatsumrichter (ST4)
DTC	Dynamic Test Center AG
ECE	United Nations Economic Commission for Europe
ECMS	Equivalent Consumption Minimization Strategy
ETH	Eidgenössische Technische Hochschule
FEC	Full equivalent cycle
GPS	Global Positioning System (Navigationssignal)
HESS	Carrosserie HESS AG
HLK	Heizung/Lüftung/Klimatisierung
LTO	Lithium-Titanat-Oxyd
LTO	Lithiumtitanatoxid
NMC	Lithium-Nickel-Mangan-Cobalt-Oxide
Obus	andere Bezeichnung für Trolleybus
OL	Oberleitung (Energieversorgung via Stromabnehmer)
PSM	Permanentmagnet-Synchron-Motor
SoC	State of Charge
SoH	State of Health
ST4	HESS Trolleybus (Vorgängerversion von ST+)
ST+	SwissTrolley plus
VCU	Vehicle Control Unit
VBZ	Verkehrsbetriebe Zürich

1 Einleitung

Seitens Betreiber sind Trolleybusse seit 80 Jahren erfolgreich im Einsatz. Vor allem auf topografisch anspruchsvollen Linien sind sie gegenüber der Strassenbahn überlegen und können im Vergleich zu anderen thermisch angetriebenen Bussen mehr Fahrgäste transportieren und weniger Emissionen ausstossen. Durch den SwissTrolley plus erhofft sich der Betreiber eine noch leistungsfähigere und flexiblere Lösung.

Die Herausforderung seitens Hersteller waren dabei den bewährten Trolleybus mit neuen Speichertechnologien und einem intelligentem Energiemanagement System weiterzuentwickeln. Dies gelang vor allem auch durch die spannende und gut funktionierende Zusammenarbeit mit den beiden Hochschulen ETH Zürich und BFH-TI. In dem gleichnamigen Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde einerseits ein selbstlernendes Energiemanagement System entwickelt (ETH) und untersucht wie die verwendeten Batteriezellen altern und ob man eine solche Alterung in einem Model abschätzen kann. Die Ergebnisse dazu werden in einem separaten Schlussbericht festgehalten:

<https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=37064>

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

1.1.1 Hintergrund Energieversorgung Stadt Zürich

Die VBZ beziehen den Strom vom Elektrizitätswerk der Stadt Zürich (ewz), das seit 2015 nur noch Stromprodukte zu 100% aus erneuerbarer Energie liefert. Gemäss einem Stadtratsbeschluss beziehen die Verkehrsbetriebe für den Betrieb der Fahrzeuge (Traktionsstrom) das Stromprodukt ewz.naturpower, das ebenso zu 100% aus erneuerbaren Energieträgern besteht. Die Traktionsstromkosten betragen 0.22 Franken pro Kilowattstunde (2017/2018).

1.1.2 Vergleich von Energieverbräuchen und CO₂-Emissionen von verschiedenen Antriebssystemen

Ein Hauptziel des Projekts war es, die Energieeffizienz des Fahrzeugs gegenüber einem konventionellen Trolleybus um 15% zu verbessern. Damit überhaupt eine Aussage dazu getroffen werden kann, braucht es Referenzenergieverbrauchswerte, welche VBZ aus dem Betrieb der verschiedenen Fahrzeuge zur Verfügung stellt.

Bei den unten aufgeführten Energieverbrauchswerten handelt es sich um durchschnittliche Werte, welche über das ganze Jahr und über die ganze Flotte erhoben wurden. Das Ziel ist es im Kapitel „4.2 Verbesserte Energieeffizienz“ einen Vergleich und resultierende Erkenntnis mit dem SwissTrolley plus zu machen.

Bei den CO₂-Emissionen handelt es sich bei den fossil angetriebenen Fahrzeugen um eine „tank to wheel“ Betrachtung, bei welcher die Herstellung und der Transport der Kraftstoffe nicht berücksichtigt wird. Bei den elektrisch angetriebenen Fahrzeugen handelt es sich um eine „well to wheel“ Betrachtung, die auch die Herstellung des Stroms berücksichtigt. Nicht berücksichtigt wird bei beiden Antriebstechnologien die Herstellung der Fahrzeuge selbst, also zum Beispiel die energieintensive Herstellung der Li-Ionen Traktionsbatterien.

Antriebssystem	Spez. Durchschnittsverbrauch	Fahrleistung pro Jahr (Annahme)	Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch pro Jahr	Spez. CO ₂ -Emission ^{1,2}	CO ₂ -Emissionen pro Jahr
Diesel Euro5 EEV (ab 2008)	0.60 dm ³ /km	65'000km	39'000dm ³	2.62 kg/dm ³	103'350kg
Diesel Euro6 (ab 2013)	0.54 dm ³ /km		35'100dm ³	2.62 kg/dm ³	93'015kg
Diesel Hybrid (ab 2016)	0.433 dm ³ /km		28'100dm ³	2.62 kg/dm ³	73'622kg
SwissTrolley 4 (ab 2012)	2.5 kWh/km		162'500kWh	0.0...0.169kg/kWh	≤ 27'463kg

Tabelle 1 Vergleich von verschiedenen Antriebssystemen mit Verbrauch und CO₂-Emissionen bei VBZ

1.2 Motivation des Projektes

1.2.1 Motivation aus Sicht des Betreibers

Seit 80 Jahren verkehren in Zürich Trolleybusse. Das heutige Netz umfasst fünf Linien mit einer Streckenlänge von rund 55 km. Zum Einsatz gelangen rund 75 Trolleybusse. Der Trolleybus bewährt sich neben dem Tram als leistungsfähiges, umweltfreundliches Transportmittel.

Frühzeitig haben die VBZ erkannt, dass das System Trolleybus durch die Fortschritte in der Batterietechnologie optimiert werden kann. Die im Jahr 2011 beschafften Trolleybusse des Typs Swisstrolley-4 wurden anstelle von Diesel-Notfahr aggregaten erstmals mit Traktionsbatterien ausgestattet, um bei Baustellen und Umleitungen kürzere Abschnitte abseits der Fahrleitungen emissionsfrei zurücklegen zu können. Aufgrund der positiven Erfahrungen mit den Batterien wurden ab 2013 im Hinblick auf die anstehende Sanierung der aufwändigen Fahrleitungsanlage am Albisriederplatz Versuche mit dem planmässigen Batteriebetrieb durchgeführt. Seit 2015 verkehren zwei Linien im Bereich des Platzes und auf der sich anschliessenden etwa 400m langen Teilstrecke im Batteriemodus. In der Folge wurden auch die übrigen Trolleybusse mit sogenannten „Energy-Packs“ ausgestattet und mehrere selten genutzte Dienstfahrleitungen wurden abgebaut. Die Aufwendungen für den Unterhalt der Fahrleitungsanlagen konnte so spürbar reduziert werden.

Auch im Hinblick auf die geplante Elektrifizierung weiterer Buslinien war es für die VBZ folgerichtig, sich am Projekt SwissTrolley plus zu beteiligen, um die Weiterentwicklung und Flexibilisierung des Systems Trolleybus aktiv mitzugestalten.

1.2.2 Motivation aus Sicht des Herstellers

Der Trolleybus spielt bei der Elektrifizierung des öffentlichen Strassenverkehrs eine wichtige Rolle. Vor 100 Jahren wurde die Eisenbahn elektrisch, in den nächsten 5 bis 10 Jahren wird es der Busverkehr in den Städten. Gerade bei stark frequentierten Linien ist diese moderne Trolleybustechnologie allen anderen vorzuziehen, denn es können mit diesem System die grossen Gefässe wie Gelenk- und Doppelgelenkbus effizient und zuverlässig betrieben werden. Er kann somit die schnell realisierbare Lösung

¹ https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/CO2_Emissionsfaktoren_THG_Inventar.pdf.download.pdf/CO2_Emissionsfaktoren.pdf

² 0.0 g/kWh für ewznaturpower gemäss „1.2.1 Hintergrund Energieversorgung Stadt Zürich“ bis 0.169kg/kWh gemäss: https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/Umweltbilanz%20Strommix%20Schweiz%202014%20.pdf.download.pdf/589-Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2014-v3_0.pdf

sein für den Bedarf einer massiven Kapazitätserhöhung, bei einem Bruchteil der Kosten mit einer vergleichbaren Strassenbahn.

Mit leistungsfähigen Batterien ausgestattet, kann der Trolleybus bis zu 40% der Linie ohne Oberleitung befahren und die Batterien dann, unter dem Fahrdrabt fahrend, wieder aufladen. Somit lassen sich grössere Linienenerweiterungen mit nur einem kleinen Ausbau des bestehenden Oberleitungsnetzes planen und realisieren. Es können aber auch Dieselbuslinien durch Trolleybusse mit einem gezielten Ausbau der Oberleitung ersetzt werden.

1.3 Projektziele

Im Projektantrag sind folgende Ziele für das Projekt festgehalten. Der Fokus dieser Ziele lag vor allem in der Realisierung des Fahrzeugs und nicht im Gesamtkonzept SwissTrolley plus.

Ziele für Entwicklung im Fahrzeugbau

- Umsetzung des Konzeptfahrzeugs SwissTrolley plus

Ziele für Entwicklung des neues Traktionssystem

- Trolleybus mit Hochleistungsbatterie für Fahrten ohne Oberleitung
- Bis zu 15% reduzierter Energiebedarf durch regeneratives Bremsen
- Reduzierte Spitzenlasten im Oberleitungsnetz durch Peak-Shaving
- Traktionskomponenten und Steuerung hauptsächlich aus Schweizer Entwicklung

Ziele für den Betrieb und Vertrieb des neuen Fahrzeugkonzepts

- Feldversuch von zwei Jahren mit parallelem Start der Serienproduktion

1.3.1 Revidierte und kommunizierte Gesamtprojektziele

Während des zwei jährigen Feldversuches wurde dann in den Medien, auf einer eigenen Webseite und auch im Fahrzeug selbst folgende Projektziele kommuniziert. Ob und wie diese Ziele erreicht wurden wir im Kapitel 4 beschrieben.



Emissionsfreier Betrieb

Herkömmliche Trolleybusse sind für Notfälle mit einem Diesel-Generator-Paket ausgestattet. Beim Einsatz des Dieselmotors kommt es zu Schadstoff- und Lärmemissionen. Der SwissTrolley plus umgeht dieses Problem dank Traktionsbatterie und kann seine Fahrt auch ohne Fahrleitung leise und emissionsfrei fortsetzen.



Verbesserte Energieeffizienz

Die Traktionsbatterie des SwissTrolley plus erlaubt 100 Prozent regeneratives Bremsen. Das heisst, die Bremsenergie kann vollständig zurückgewonnen werden und in den Energiespeicher zurückfliessen. Dadurch fällt der Energiebedarf bis zu 15 Prozent geringer aus als derjenige eines herkömmlichen Trolleybusses.



Geringere Betriebskosten

Die Traktionsbatterie des SwissTrolley plus erlaubt rein elektrische Fahrten auch ausserhalb des Fahrleitungsnetzes. Da so auf einen Grossteil der sogenannten Fahrleitungsweichen und -kreuzungen verzichtet werden kann, reduzieren sich der Wartungsaufwand und somit auch die Betriebskosten deutlich.



Selbstlernendes Energiemanagement (Fokus im F&E Projekt)

Das Institut für dynamische Systeme und Regelungstechnik der ETH Zürich entwickelt ein selbstlernendes, energieoptimales Energiemanagement, das die Energieflüsse des Antriebssystems und der Klimatisierung des Fahrgastraums kombiniert betrachtet und somit höchste Energieeffizienz ermöglicht.



Batterielebensdauer (Fokus im F&E Projekt)

Um die Batterie nicht unnötig oft austauschen zu müssen, forscht das Energiespeicher Kompetenzzentrum der BFH-TI an entsprechenden Vorhersagemodellen und Methoden, wie die Batterielebensdauer abgeschätzt und maximiert werden kann.

2 Anlagenbeschreibung

Aus den Projektzielen des Projektantrags wurde dann ein neues Fahrzeug konzipiert, entwickelt und gebaut. Der Fokus lag dabei vor allem beim innovativen Traktions- und HLK-System, welches sich wesentlich vom bisherigen System unterscheidet. In der untenstehenden Tabelle werden die wichtigsten neuen Komponenten aufgeführt und mit der vorherigen Lösung verglichen.

Art des Fahrzeuges	Gelenktrolleybus
Marke und Typ	HESS BGT-N2D
1. Inverkehrsetzung	10.03.2017
Plätze	164 (total), davon 42 Sitzplätze, 2 Klappsitze, 1 Fahrersitz
Fahrzeugmasse	L 18.7m; B 2.55m; H 3.5m
Fahrzeuggewicht	leer 18'850kg; gesamt 30'000 kg

2.1 Innovatives Traktionssystem

Komponente	Funktionen / Technische Daten	
	SwissTrolley plus	SwissTrolley 4 (mit Batterie APU)
Stromabnehmer	- Stromabnehmer mit automatischer Abdraht-, Eindraht- und Mitten-zentrierfunktion	- Gleiche Funktion wie SwissTrolley plus, jedoch ältere und schwerere Ausführung
DC/DC Stromrichter	- Galvanisch getrennter Stromrichter: 200kW - Trennung der Architektur EN50502 (Trolley) und ECE-R100 (E-Bus)	- Kein galvanisch getrennter DC/DC Stromrichter
Traktionsbatterie	- Wassergekühlte LTO (Lithium-Titanate-Oxide) Hochleistungsbatte- rie - Kapazität: 58kWh - Dauerleistung: 4C, Spitzenleistung 6C - Gewicht: 1100kg	- Batteriesystem (LiFePO4 Zellen) - Kapazität: 51kWh - Spitzenleistung: 1.6C - Gewicht: 780kg
Hauptumrichter	- Traktionsumrichter: 2x 130kW - Wassergekühlt	- Traktionsumrichter 2x 130kW - Forcierte Luftkühlung
Traktionsmotoren	- 2x Permanent-Magnet-Motoren: mit jeweils 160kW - Wassergekühlt	- 2x fremdbelüftete Drehstrom- Asynchronmotoren mit jeweils 120kW

2.1.1 Vergleich zu konventionellem Trolleybus

Aus dem nachstehenden Bild ist ersichtlich, dass zwischen dem Stromabnehmer und den Traktionsumrichter ein galvanisch getrennter DC/DC-Wandler montiert ist. Damit wird erreicht, dass die übrigen Traktionskomponenten nicht nach Trolleybusnorm, sondern nach Elektrobussnorm evaluiert und verbaut werden können. Der Vorteil liegt dabei unter anderem in der leichteren Bauweise oder der Möglichkeit, die Komponenten mit Kühlwasser, anstatt mit Luft zu kühlen. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Traktionskomponenten für Elektrobusse auf einem grösseren und wettbewerbsintensiveren Markt verfügbar sind. Daraus entstehen für HESS neue Möglichkeiten in der Entwicklung der Fahrzeuge, da eine grössere Lieferantunabhängigkeit entsteht.

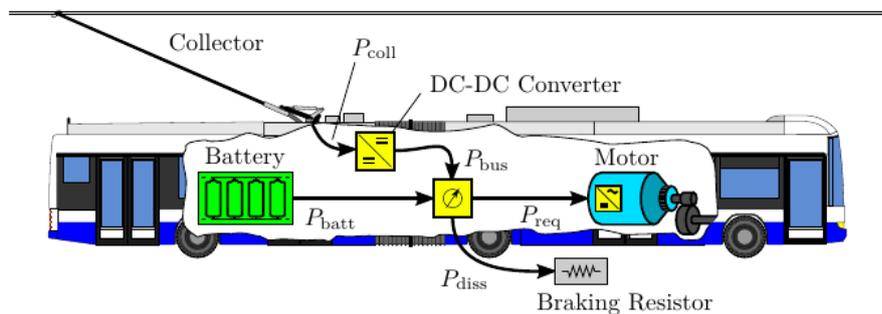


Abbildung 1 SwissTrolley plus - Power Management [2]

2.1.2 Zusammenfassung Traktionsbatterie

Aus Erfahrungen aus vorherigen Projekten konnten sowohl HESS wie auch die VBZ die Anforderungen an die neue Traktionsbatterie sehr gut spezifizieren. Eine wesentliche Anforderung an die Batterie war vor allem die Fähigkeit hohe Entlade- und Ladeleistungen zu liefern, ohne dass die Alterung dadurch stark beschleunigt wird. Diese hohe Leistungsfähigkeit hat den Vorteil, dass die Kapazität und die damit verbundene Baugrösse verhältnismässig klein ausfallen können.

Durch Unterstützung des BFH Instituts ESReC (EnergyStorageResearchCentre) wurde eine Lithiumtitanat Zelle evaluiert, welche die Anforderungen am besten erfüllen kann. In einer zweiten Phase wurden dann ein Hersteller von Batteriesystemen evaluiert, welcher die erwähnten Zellen in ihren Produkten verwendet.

Typ: Lithiumbatterie LTO (Lithium-Titanate-Oxide)
 Zellkonfiguration: 315S4P
 Verwendete Zelle: Toshiba 20Ah SCiB™

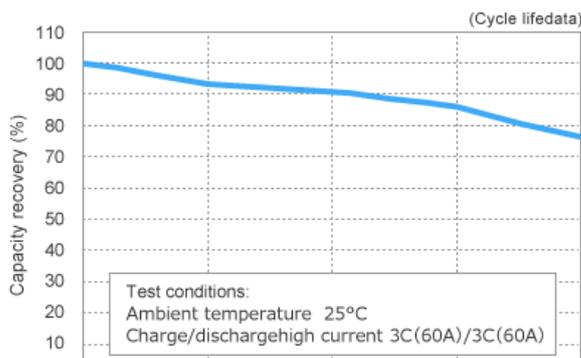


Abbildung 2 Zellkapazität vs. Anzahl möglicher Zyklen vom Zellenhersteller und Batteriepaket vom Batteriehersteller

2.1.3 Energiemanagement System

Die Hauptaufgabe des Energiemanagement Systems ist, eine Ladestrategie für die Batterie zu definieren. Die Kommunikation zwischen der Steuerung des Energiemanagements und der Traktionskomponenten erfolgt über diverse serielle Schnittstellen. Die Ziele dabei sind in absteigender Priorität:

- Bereitstellung einer ausreichenden Energiereserve für den Batteriebetrieb (insbesondere bei Strecken mit oberleitungsfreien Abschnitten)
- Minimierung des Traktionsenergiebedarfs des Busses
- Möglichst gute Entlastung der Batterie

In Zusammenarbeit mit der ETH wurde im Projekt das neue, selbstlernende Energiemanagement entwickelt. Das System beinhaltet einen separaten, im Fahrzeug montierten Computer, welcher Messdaten vom Traktionssystem sammelt und dann wiederum dem Traktionssystem Vorschläge durch einen Algorithmus zur Verfügung stellt. Der Algorithmus sammelt und verarbeitet eigenständig positionsbasierte Streckeninformationen, welche dann für die Energie Optimierung genutzt werden. Dazu zählen:

- Fahrzeugposition (geographisch und Buslinie)
- Geographische Daten der Strecke, d.h. Geschwindigkeits- und Höhenprofil.
- Verfügbarkeit der Oberleitung, sowie automatische Erkennung von Netztrennern und Schätzung des Netzwidestandes entlang der Strecke.
- Wetter- und Klimabedingungen ausserhalb und innerhalb des Fahrzeuges, d.h. Temperatur und Luftfeuchtigkeit
- Geschätzte Batterieparameter (Ladungszustand, Gesundheitszustand, Temperatur, etc.)

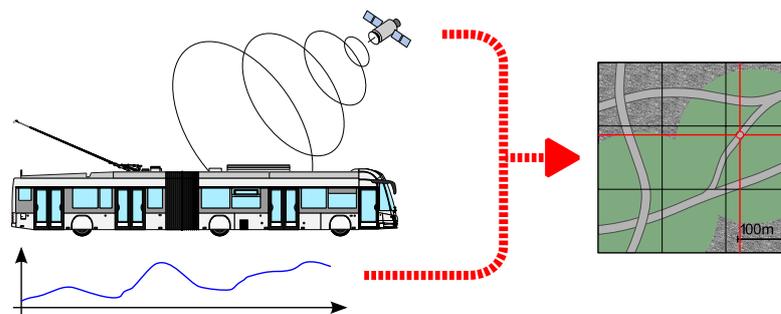
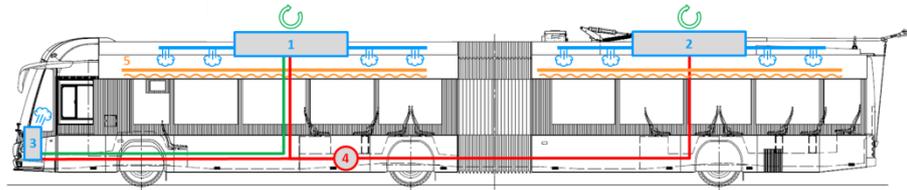


Abbildung 3 Die gemessenen, bzw. geschätzten Daten werden in einer Streckenkarte positionsbasiert abgespeichert. Bei einer erneuten Durchfahrt der Strecke stehen die gesammelten Informationen für die Energie-Optimierung, sowie für weitere Zwecke bereit.

2.2 Innovatives Thermomanagement

Die Klimatisierung des Fahrgastraums ist bei Fahrzeugen mit einem elektrischen Antriebsstrang eine grosse Herausforderung, vor allem bezüglich des Energieverbrauchs. Durch die höhere Effizienz entstehen am elektrischen Antriebsstrang weniger Verluste und somit auch weniger Wärme, welche zum Heizen genutzt werden kann. Man hat deshalb versucht, den höheren Energiebedarf zur Erzeugung von Heizwärme durch innovative Konzepte so tief wie möglich zu halten. Die Konzepte werden im untenstehenden Beschrieb genauer erklärt.



Luftkonditionierung, Wärmestrahlung, Heizwasser, Kältekreis

System	Funktionen / Technische Daten
Dachklimaanlage (1), (2)	<ul style="list-style-type: none"> - Klimatisierung des Passagierraums (Heizen/Lüften/Kühlen) in Frischluft-/Umluftbetrieb <ul style="list-style-type: none"> o Heizen mittels Wärmeübertragung Heizwasser-Luft o Heizen mittels Wärmeübertragung Kältekreis-Luft (Wärmepumpenbetrieb) o Kühlen mittels Wärmeübertragung Luft-Kältekreis (Kältebetrieb) - Bereitstellung des Kältemittels für die Fahrerklimateilung (1) - Kühlen des Kühlwassers der Traktionsbatterie mittels Wärmeübertragung Wasser-Kältekreis (2)
Technische Daten	<ul style="list-style-type: none"> - Kälteleistung max. ca. 2x 36kW - Heizleistung Wärmepumpe max. ca. 2x 15kW - Heizleistung Heizwasser max. ca. 2x 19kW - Energieversorgung: 400VAC, Heizwasser
Fahrerklimateilung (3)	<ul style="list-style-type: none"> - Klimatisierung des Fahrerplatzes (Heizen/Kühlen) sowie Befreiung der Frontscheibe von Beschlag in Frischluft-/Umluftbetrieb <ul style="list-style-type: none"> o Heizen mittels Wärmeübertragung Heizwasser-Luft o Kühlen mittels Wärmeübertragung Luft-Kältemittel
	<ul style="list-style-type: none"> - Heizleistung max. ca. 22kW (Warmwasser) - Kälteleistung max. ca. 8kW - Energieversorgung: 24VDC, Heizwasser, Kältemittel
Wasserheizgerät (4)	<ul style="list-style-type: none"> - Erwärmung des Heizwassers
	<ul style="list-style-type: none"> - Heizleistung max. 20-30kW (abhängig vom Ladestand der Antriebsbatterie) - Energieversorgung: 600...800VDC
Infrarotheizung (5)	<ul style="list-style-type: none"> - Beheizung des Fahrgastraums mittels Wärmestrahlung
	<ul style="list-style-type: none"> - Heizleistung: ca. 16 Platten mit jeweils ca. 170W, 24VDC - Betriebstemperatur max. ca. 70°C - Abmessungen je Platte ca. 1000x250mm

2.2.1 Bedienung / Zusammenspiel der Systeme

Die Klimatisierung am Fahrerplatz kann durch das Fahrpersonal individuell eingestellt werden (Temperatur, Gebläse, Frischluft/Umluft, Luftverteilung). Für den Passagierraum werden beim vorliegenden Fahrzeug Wärmepumpen-Klimaanlagen eingesetzt. Diese können Ihren Kältekreis so umschalten, dass sich die Funktion der beiden Elemente Verflüssiger und Verdampfer ändert:

	Kältebetrieb	Wärmepumpenbetrieb
Durch Aussenluft durchströmter Wärmeübertrager (klassisch Verflüssiger)	Kondensation (warm)	Verdampfung (kalt)
Durch Innenluft durchströmter Wärmeübertrager (klassisch Verdampfer)	Verdampfung (kalt)	Kondensation (warm)

Der Passagierraum wird automatisch und in Abhängigkeit der Aussentemperatur und einer hinterlegten Sollwertkurve geregelt. Die Sollwertkurve wurde im Verlauf des Projekts durch neue gewonnene Erkenntnisse soweit überarbeitet, dass tendenziell im Winter tiefere und im Sommer höhere Temperaturen im Innenraum akzeptiert werden. Dies soll wiederum helfen den Energieverbrauch zu senken.

Der Dachklimaanlage wird vorgegeben, auf welche Temperatur sie regeln und in welcher Betriebsart sie arbeiten soll (heizen, lüften, kühlen oder Automatik). Die Klimaanlage steuert entsprechend eigenständig den Anteil der eingetragenen Frischluft, den Durchfluss des Heizwassers, die Gebläseleistungen, den Betrieb des Kompressors (ein/aus) sowie die Ventile zur Umschaltung zwischen Kälte- und Wärmepumpenbetrieb. Zudem versorgt die vordere Dachklimaanlage die Fahrerklimatisierung mit Kältemittel und die hintere enthält ein Modul zur Kühlung des Kühlwassers für die Batterie.

Im Wärmepumpenbetrieb entziehen die Dachklimaanlagen der Umgebung und im Fall der hinteren Anlage zudem dem Kühlmittel des Antriebsystems Wärme und überträgt diese an den Innenraum. Der Wärmepumpenbetrieb wird bei Bedarf zur Erhöhung der Heizleistung durch Heizwasser unterstützt.

Das Wasserheizgerät und dessen Umwälzpumpe werden entsprechend dem Bedarf der obengenannten Funktionen automatisch aktiviert.

Zusätzlich wird die Heizung des Passagierraums durch in die Decke integrierte Infraroth Heizelemente ergänzt. Die damit erzeugte Wärmestrahlung soll direkt oder durch Erwärmung anderer Oberflächen des Fahrzeugs das Wärmeempfinden für die Fahrgäste erhöhen und so eine Absenkung der Lufttemperatur ermöglichen.

3 Vorgehen und Methode

3.1 Projektleitung und -durchführung bei HESS

Das Projekt wurde von HESS gemäss den gültigen Standardprozessen Entwicklung- und Auftragsprojekte aus dem zertifizierten Qualitäts- und Umweltmanagementsystem, ISO 9001/ISO14001 aufgebaut und organisiert. In einem ersten Schritt wurde das Projektteam definiert und der Projektplan mit den Meilensteinen detailliert. Die Grundlage der detaillierten Projektplanung bildete folgende Grobplanung aus dem Projektantrag:

3.1.1 Vorstudie

- Lastenheft Feinstrukturierung, Projektziele
- Aufgabenstellung mit allen Projektpartnern abgesprochen (Kick-off Meeting).

3.1.2 Planung und Entwicklung:

- Engineering Konzept
- Engineering Infrastruktur
- Engineering Fahrzeug mit Teilaspekten:
 - Wagenkasten, HLK, Gewichtsoptimierung, elektrischer Traktionsteil, etc.

3.1.3 Forschung (ausführliche Beschreibung in separatem Bericht):

- *BFH: Batterie und Batteriemangement*
 - *Definition Lastfall Batterie*
 - *Evaluation von verschiedenen Zellen*
 - *Validation Thermomanagement und Batteriemangement*
- *ETH: Energiemanagement*
 - *Entwicklung einer Simulationsumgebung*
 - *Untersuchung zu optimierten Nebenverbrauchern und Spitzenlasten im Oberleitungsnetz*
 - *Entwicklung optimales, selbstlernendes Energiemanagement*

3.1.4 Bau und Durchführung:

- Herstellung des SwissTrolley plus
- Inbetriebnahme des Fahrzeuges (Wagenkasten, E-Traktion, Batterie, Energiemanagement)
- Homologation des Fahrzeuges
- Inbetriebnahme im Liniennetz der VBZ

3.1.5 Messungen und Erfolgskontrolle

- Feldversuch ca. 2 Jahre
- Überprüfung der erreichten und nicht erreichten Ziele in periodischen Berichten

3.1.6 Technologietransfer:

- Dokumentation, Abschlussbericht

3.1.7 Kommunikation:

- Teilnahme an den nationalen und internationalen Leitmessen
- Teilnahme an den internationalen Kongressen und Fachgremien
- Präsentation des Systems und seiner Möglichkeiten vor Ort

Die Herausforderungen bestanden insbesondere in der Koordination aller interner und externer Projektpartner sowie der Durchsetzung der termingerechten Reviews und Einhaltung der Meilensteine. Die nötigen Prüfungen für die fahrzeugseitige, mechanische Homologation konnten ohne grosse Probleme mit dem DTC in Vauffelin (akkreditierte Prüfstelle ECE-/EG-Prüfungen) durchgeführt werden. Unter anderem wurden folgende Prüfungen durchgeführt:

- Bremsanlage nach ECE-R13
- Lenkkraftmessung nach ECE-R79
- Geräuschemessung nach ECE-R51

Alle weiteren Prüfungen konnten von vorherigen Projekten übernommen werden. Die komplexeren Anforderungen der Traktionsseite und deren Prüfungen konnte auch unter Beizug von externen Fachspezialisten zu einem erfolgreichen Abschluss gebracht werden.

3.2 Projektleitung und -durchführung bei den VBZ

Die VBZ verfügen im Unternehmensbereich Technik über eine Projektleitergruppe für die Beschaffung von Trams, Bussen und technischen Anlagen. Von der Initialisierung der Projektidee, über das Ausarbeiten eines Konzeptes, einschliesslich der notwendigen Submissionen, bis hin zur Realisierung und späteren Einführung eines Objektes mit abschliessender Übergabe an den Betreiber werden Projekte professionell und einheitlich nach HERMES geplant und durchgeführt. Für das Projekt SwissTrolley plus wurde daher ein Projektleiter aus dieser Gruppe beauftragt, welcher das Projekt im Rahmen eines normalen Projektes abwickeln konnte. Die bereits vorhandenen Erfahrungen und die innovativen Neuerungen verbunden mit Erkenntnissen aus dem Projekt SwissTrolley plus konnten somit unmittelbar in das Unternehmen VBZ einfließen.

4 Ergebnisse und Diskussion

4.1 Geringere Betriebskosten und bessere Flexibilität

4.1.1 Geringere Betriebskosten durch tiefere Leistungsspitzen

Zu den geringeren Betriebskosten lassen sich zum jetzigen Zeitpunkt vor allem Aussagen in Zusammenhang mit dem tieferen Energieverbrauch machen. Durch das neu entwickelte Antriebssystem werden jedoch Spitzenlasten im Stromnetz, auch durch das selbstlernende Energiemanagement System, immer besser geglättet. Dies hat zwar direkt keinen direkten Einfluss auf die Stromkosten (da e.g. bei VBZ nur kWh abgerechnet werden), aber die bestehenden Infrastrukturen werden weniger belastet respektive man kann zukünftig ohne Lasterhöhung einen Oberleitungsausbau realisieren. Lastspitzenreduktionen führen grundsätzlich auch im ganzen System u.a. durch tiefere Ströme und daraus entstehenden, tieferen Wärmeverlusten zu weniger Abnutzung bei Infrastruktur und Fahrzeug, was auch für die Betriebskosten von Vorteil ist.

4.1.2 Geringere Betriebskosten durch tieferes Fahrzeuggewicht

Eine weitere Entwicklung wurde auch im ganzheitlichen Fahrzeugbau umgesetzt. Verglichen mit dem Fahrzeug der letzten Generation (SwissTrolley4), konnte das Leergewicht des Fahrzeugs durch konsequenten Leichtbau deutlich gesenkt und die Gewichtsverteilung optimiert werden. Das tiefere Fahrzeuggewicht wirkt sich positiv auf den Energieverbrauch sowie den Verschleiss von Bremsen oder Radaufhängungsteilen aus. Auch zu erwähnen ist, dass trotz des tieferen Gesamtgewichts eine höhere Reichweite für Fahrten ohne Oberleitung möglich ist. Dies vor allem dank der höheren Batteriekapazität und andererseits durch den effizienteren Antriebsstrang.

	1. Achse	2. Achse	3. Achse	Total (leer)
SwissTrolley 4	5'720kg	5'770kg	8'110kg	19'600kg
SwissTrolley plus ³	5'520kg	6'690kg	6'590kg	18'800kg

4.1.3 Bessere Flexibilität

Im Frühjahr 2017 wurde der SwissTrolley plus auf dem Liniennetz der VBZ in Betrieb genommen. Als Abschluss der Inbetriebnahme wurden dann verschiedene neue Betriebskonzepte auf ihre Machbarkeit überprüft, da man nun mit dem SwissTrolley plus neue Möglichkeiten hat, das Oberleitungsnetz flexibel zu nutzen. Als Beispiel wird untenstehend die Linie83 abgebildet, welche aktuell noch mit thermisch angetriebenen Bussen betrieben wird. Mit den Testfahrten konnte nachgewiesen werden, dass zukünftig mit einer grösseren SwissTrolley plus Flotte die Linie83 problemlos auf SwissTrolley plus Technologie umgestellt werden kann. Dies wird dadurch erreicht, dass der Batterieladestand nie in einen kritischen Bereich kommt, wo ein Betrieb des Fahrzeugs auch unter schlechten Bedingungen nicht zuverlässig funktionieren würde. Massgebend ist dann auch die Möglichkeit die Batterie genügend nachzuladen, damit wieder genügend Energie für den nächsten oberleitungsfreien Abschnitt zur Verfügung steht. Das Ziel ist es, durch partielle Ergänzung der Oberleitung auch andere Linie zu elektrifizieren.

³ Beim SwissTrolley plus wurde die Gewichtsmessung ohne Innenanzeige und Leitsystem gemacht. Beim SwissTrolley4 wurde dies nicht explizit dokumentiert.

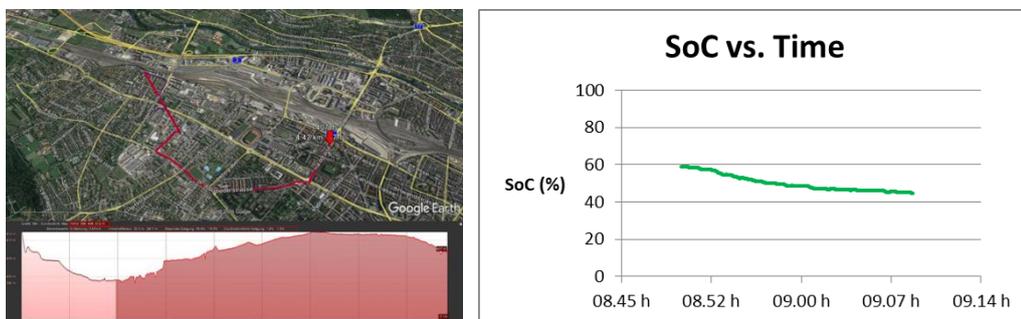


Abbildung 4 45%-Teilstrecke der Linie83 ohne Oberleitung und Verlauf des Batterieladestands

4.2 Verbesserte Energieeffizienz

4.2.1 Vergleichsmessung zwischen SwissTrolley4 und SwissTrolley plus

Im März 2019 wurde als abschliessender Vergleich eine Messkampagne während zwei Wochen durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf dem Vergleich der Energieverbräuche zwischen einem SwissTrolley4 (Baujahr 2013) und dem neu entwickelten SwissTrolley plus (Baujahr 2017). Nach Absprache zwischen HESS und VBZ wurde die Kursplanung für die beiden zu vergleichenden Fahrzeuge so angepasst, dass während den beiden Wochen beide Fahrzeuge auf der gleichen Linie eingesetzt werden. Die temporäre, eingekürzte Linie33 der VBZ führt in der Stadt Zürich von Triemli durch zwei oberleitungsfreie Abschnitte zwischen Albisriederplatz und Hardplatz (Abschnitt A), sowie zwischen Toblerplatz und Spyriplatz (Abschnitt B) via Endhaltestelle Kirche Fluntern.

VBZ Linie	33
Gesamtlänge	16.4 km
davon OL-frei	4.7 km
Triemli, Richtung Kirche Fluntern	8.1 km
Kirche Fluntern, Richtung Triemli	8.3 km
Länge OL- freiem Abschnitt A	640 m
Länge von OL- freiem Abschnitt B	1080 m



Abbildung 5 VBZ Linie33 mit geographischer Route und Höhenverlauf

Die untenstehende Tabelle gibt eine globale Erkenntnis zur Vergleichsmessung. Der spezifische Energieverbrauch (kWh/km) ist beim SwissTrolley plus rund 15% tiefer als beim konventionellen Trolleybus.

Fahrzeugtyp	Gefahrene Distanz	Energieaufnahme	Spez. Energieverbrauch	Reduktion Energieverbrauch
SwissTrolley4	2219 km	4924.5 kWh	2.22 kWh/km	(Referenz)
SwissTrolley plus	2143 km	4052 kWh	1.89 kWh/km	14.8%

4.2.2 Verbrauchsaufteilung während der Vergleichsmessung

Nebst dem Gesamtenergieverbrauch der beiden Fahrzeuge können auch die verschiedenen Verbraucher betrachtet werden. Dabei gibt es zwischen den beiden Fahrzeugen wesentliche, baubedingte Unterschiede, welche die untenstehende Darstellung besser verstehen lassen. Der SwissTrolley 4 kann während der Rekuperationsphase Energie zurück ins Oberleitungsnetz speisen, was aber bedingt, dass am Oberleitungsnetz zur richtigen Zeit ein Verbraucher die Energie aufnehmen muss.

Beim SwissTrolley plus ist diese Rückspeisung nicht vorgesehen, dies vor allem durch den Vorteil, dass die Batteriekapazität auf dem Fahrzeug während den Rekuperationsphasen immer genug gross ist. Diesen Vorteil kann der SwissTrolley plus vor allem dann ausspielen, wenn sich das Fahrzeug auf einem oberleitungsfreien Abschnitt befindet.

Die älteren SwissTrolley4 Fahrzeuge können dann nur wenig oder gar keine Energie in die kleinere Notfahrbatterie zurückspeisen oder bei kalten Temperaturen in die Heizwiderstände der Passagierraumheizung. Die restliche anfallende Rekuperationsenergie muss im Bremswiderstand vernichtet werden. Während den Vergleichsmessungen wurde festgestellt, dass durchschnittlich über 5% des Energiebedarfs über den Bremswiderstand vernichtet werden.

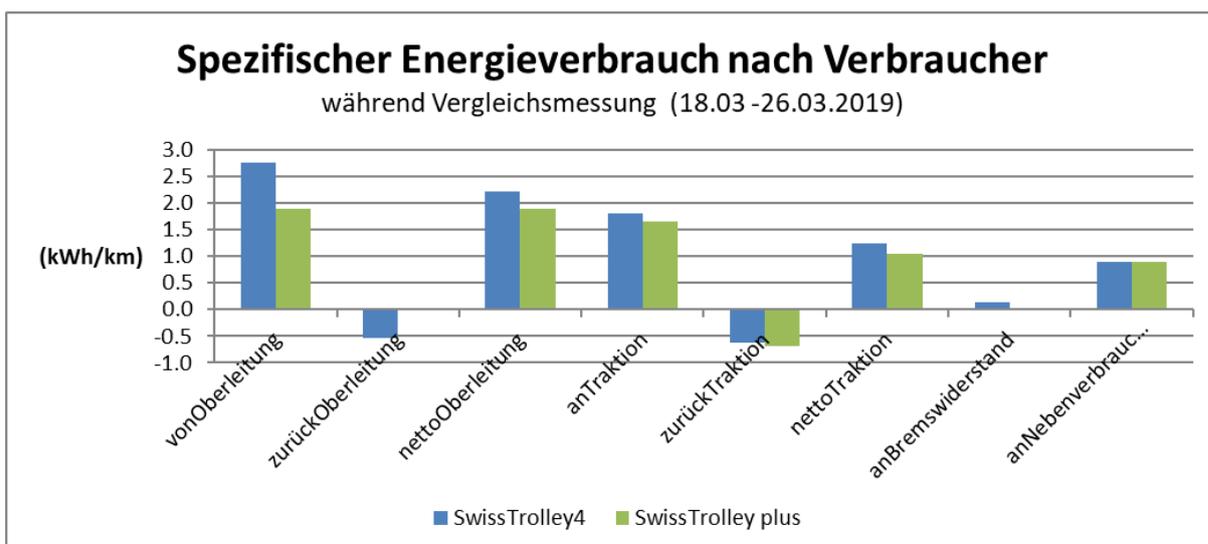


Abbildung 6 Verbrauchsaufteilung zwischen ST4 und ST+

4.2.3 Reduzierung von Spitzenlasten

Ein weiteres grosses Ziel des Projekts war die Minimierung von Spitzenlasten. Exemplarisch wird diese Reduzierung auf dem Bild unterhalb gezeigt, welches aus einer Auswertung des ETH Forschungsberichts während der Vergleichsmessung stammt. Im Gegensatz zu konventionellen Trolleybussen können viel tiefere Leistungen aus dem Oberleitungsnetz gezogen werden, da die Leistungsspitzen beim Anfahren und Rekuperieren zu einem grossen Teil von der Traktionsbatterie abgedeckt werden können. Die eingespeiste Leistung dient dann vor allem zum Nachladen der Batterie (meistens zwischen 30-120kW, bzw. 0.5-2C). Beim konventionellen Trolleybus muss die gesamte Traktionsleistung vom

Oberleitungsnetz bezogen werden. Das heisst, dass oft 180-240kW Oberleitungsleistung bezogen wird und somit grosse Kapazitäten im Oberleitungsnetz vorhanden sein müssen.

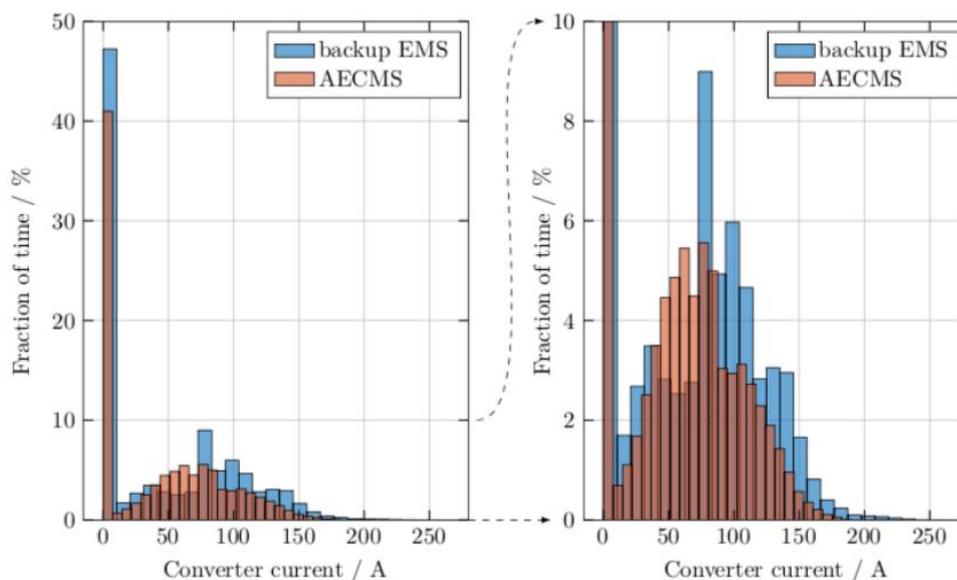


Abbildung 7 Eingangsleistung am DC/DC Umrichter, verteilt über prozentuale Zeitanteile [1]

4.2.4 Vergleich über ein gesamtes Jahr

Die Serienproduktion der SwissTrolley5 Fahrzeuge (SwissTrolley plus Antriebstechnologie, jedoch ohne innovatives HLK-System und ohne selbstlernendes Energiemanagement) begann fast nahtlos nach der Inbetriebnahme vom SwissTrolley plus. Dies hatte auch Vorteile für Energieverbrauchs-auswertungen, da der SwissTrolley plus während den ersten zwei Jahren nur sehr unregelmässig unterwegs war und somit Auswertungen über längere Zeit schwierig waren. Die Fahrzeuge aus der Serienproduktion waren viel schneller im operativen Umfeld und es konnte nach einem Jahr Betrieb festgestellt werden, dass auch diese Fahrzeuge ähnlich effizient sind, auch über das ganze Jahr gesehen. Jedoch kamen bei diesen Fahrzeugen keine Wärmepumpen zum Einsatz, was sich wahrscheinlich auch negativ auf den Energieverbrauch bemerkbar macht.

Antriebssystem	Spez. Durchschnittsverbrauch	Fahrleistung pro Jahr (Annahme)	Kraftstoff- bzw. Energieverbrauch pro Jahr	Energieverbrauchseinsparungen (%)
SwissTrolley 4 (ab 2013)	2.5 kWh/km	65'000km	162'500kWh	(Referenz)
SwissTrolley 5 1. Betriebsjahr	2.25 kWh/km		146'250kWh	11.1%

4.3 Erkenntnisse selbstlernendes Energiemanagement ETH [1]

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse bezüglich des selbstlernenden Energiemanagements der ETH zusammengefasst. Vollständige Erkenntnisse sind dem separaten F&E Schlussbericht zu entnehmen.

Eine Online-EMS-Strategie, die auf der Theorie der optimalen Steuerung basiert (ECMS), wurde implementiert. Die Strategie verteilt den momentanen Energiebedarf zwischen Batterie und Oberleitungsnetz

anhand weniger Parameter. Das ECMS bietet grundlegend die Minimierung von Systemverlusten im Betrieb aufgrund von Ziel-SoC und SoC-Trajektorie.

- Die Resultate zeigen, dass der totale Energieverbrauch im Vergleich zum Backup EMS nicht relevant reduziert wird.
- Messungen zeigen aber, dass das ECMS die Energie vom Netz gleichmässiger über die Zeit verteilt bezieht und dadurch Spitzenlasten reduziert.
- Das ECMS verarbeitet jedoch keine historischen Informationen in Bezug auf die Position.
- Es besteht ein stabiler Algorithmus, der einen directed graph anhand von Positionsdaten populiert (SLRM). Die Schnittstellen zum Graph sind gegeben und die ETH hat einige Post-Processing Methoden entwickelt und angewendet, um das Resultat über mehrere Durchläufe zu verbessern.
- Die Verwendbarkeit und Qualität der gelernten Karte in Echtzeit konnte anhand des Streckentrenneralgorithmus nachgewiesen werden (Proof of concept). Die Zuverlässigkeit des Streckentrenneralgorithmus wurde bisweilen nur qualitativ nachgewiesen. Eine empirische Qualitätsanalyse in Abhängigkeit von Anzahl Durchläufen müsste noch erfasst werden.
- Numerische Untersuchungen mit einem MPC controller angewendet auf reale Messdaten zeigt auf, dass die Verbindung von energieminimierenden Algorithmen mit gelernten Daten der Road Map (SLRM) vielversprechende Resultate liefert. Untersuchungen haben gezeigt, dass mit dem MPC entgegen den bereits eingesetzten Regelstrategien (ECMS und Backup EMS) die Verluste bei halbiertes Batteriekapazität konstant tief gehalten werden können. Diese Resultate sind vor allem auch aus ökologischer und ökonomischer Sicht sehr vielversprechend. Kann man diesen Algorithmus künftig stabil anwenden, kann HESS mit gutem Gewissen einen Linienbetrieb mit viel kleinerer Batteriekapazität gewährleisten als bisher.

4.4 Erkenntnisse zur Alterung der Traktionsbatterie [1]

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den experimentellen Untersuchungen der BFH mit der verwendeten Batteriezelle zusammengefasst. Vollständige Erkenntnisse sind dem separaten F&E Schlussbericht zu entnehmen.

Mit den experimentellen Ergebnissen können die folgenden Aussagen gemacht werden:

- Das Zyklieren bei niedrigen Temperaturen (z.B. - 5°C) ist für die Lebensdauermaximierung von Vorteil.
- Bei gleicher Umgebungstemperatur altern die Zellen durch höhere C-Werte schneller.
- Im Vergleich zu anderen Zellchemikalien (NMC/Graphit) ist der Lade- und Entladekapazitätsabbau für NMC/LTO-Zellen sehr niedrig (siehe Abbildung 8).
- Die Entladung ist für die Lebensdauer der Batterie schädlicher als das Laden. Dies steht im Widerspruch zu dem Verhalten konventioneller, graphithaltiger Zellen.
- Das Altern ist ein zweistufiger Prozess, bei dem der Kapazitätsabbau in der ersten und zweiten Stufe begrenzt ist durch Alterung durch die LTO- bzw. NMC-Elektrode.
- Es wurde kein eindeutiger Kapazitätsabbau für Zellen festgestellt, die bei DoD = 20% und DoD = 10% zyklert wurden. Die Hochrechnung von Daten für die Alterungsquantifizierung war eine Herausforderung und es wurden viele Annahmen getroffen.

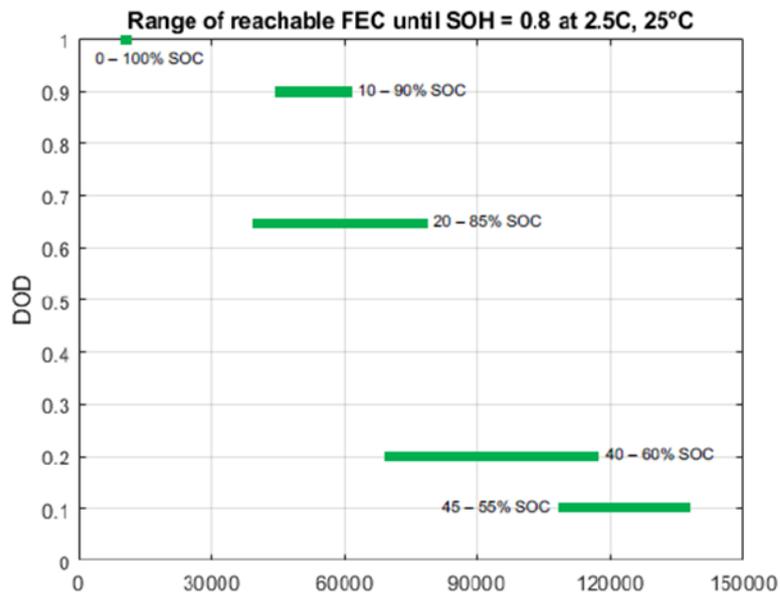


Abbildung 8 Erreichbare Zyklen mit verschiedenen Entladetiefen (DoD) bei 25°C und 2.5C

4.4.1 Ermittlung des SoH durch Referenzmessung

Um den aktuellen Gesundheitszustand (SoH) der Batterie zu ermitteln, gibt es die Möglichkeit mit einer Referenzmessung herauszufinden, wie viel Energie die Batterie noch aufnehmen bzw. abgeben kann (Siehe Abbildung 9 unterhalb). Dieser Wert wird dann mit der initialen Batteriekapazität verglichen und der daraus resultierende Prozentwert kann als SoH-Wert ausgewiesen werden.

Für den SwissTrolley plus hat jedoch nie eine initiale SoH-Messung stattgefunden und es wurde deshalb zum Vergleich die Nennkapazität des Batterieherstellers verwendet.

Kalendarisches Alter der Batterie bei Messung:	2 Jahre
Fahrleistung des Busses bei Messung:	ca. 70'000km
Nominelle Gesamtkapazität Batterie:	58.2kWh
Lade bzw. Entladestrom bei Referenzmessung:	40A (0.5C)
Minimal erreichbarer Ladestand bei Messung:	3.2%
Maximal erreichbarer Ladestand bei Messung:	98.5% (entladen) bzw. 99.8% (laden)
→ Messbarer Bereich des SoC beim Entladen	95.3%
→ Messbarer Bereich des SoC	96.6%
Entladene Energie in kWh (5.26 + 48.85):	54.11kWh
Entspricht bei 100% Bereich Messung:	56.78kWh → 97.9% SoH
Geladene Energie in kWh (6.44 + 48.85):	55.29kWh
Entspricht bei 100% Bereich Messung:	57.24kWh → 98.7% SoH

Aus diesen Resultaten kann nun eine Abschätzung gemacht werden, wie lange die Batterie unter diesen Bedingungen eingesetzt werden kann. Wenn man eine Abnahme des SoH von 1.6% pro Jahr annimmt (was dem Mittelwert der beiden Messungen oberhalb entspricht), könnte man 12.5 Jahre die gleiche Batterie verwenden, bis der EoL (End of Life) Status von 80% erreicht ist. Es spricht jedoch nicht viel dagegen, die Batterie über den EoL Status hinaus zu betreiben, sofern die operativen Anforderungen erfüllt werden.

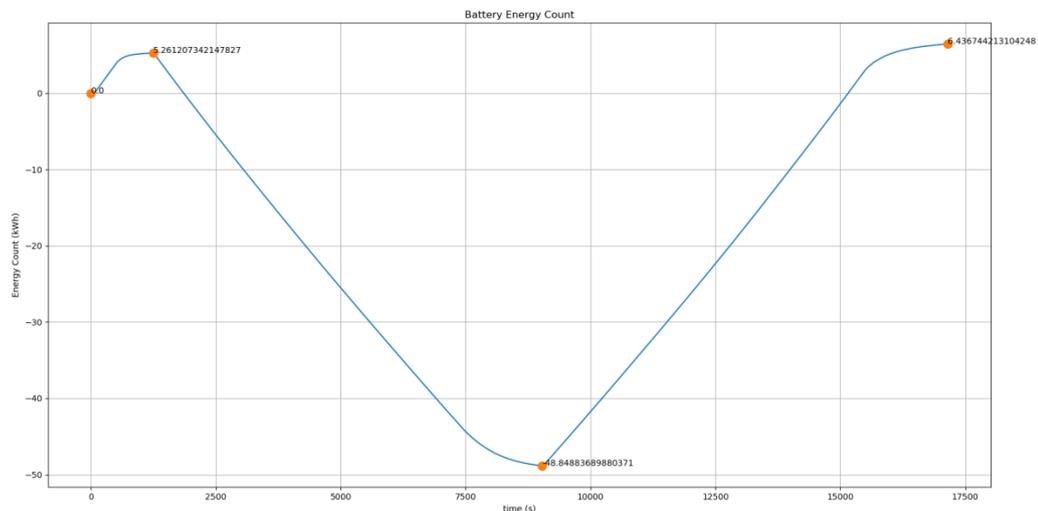


Abbildung 9 Energieverlauf während SoH Referenzmessung

4.4.2 Ermittlung des SoH durch online Messmethoden in BMS oder VCU

Unter anderem durch Erkenntnisse, welche man durch die Zusammenarbeit mit der BFH gemacht hat, konnten bestehende Methoden zur Abschätzung der Batteriealterung optimiert werden.

Diese Methoden sind vielfach vereinfacht in den eingesetzten Batteriesystemen schon integriert und es wird e.g. die Anzahl ganzer Lade- und Entladezyklen oder der gesamte Energiedurchsatz über Diagnoseschnittstellen ausgewiesen.

Komplexere Methoden, welche die Alterung der Batterie noch genauer abschätzen können, sind aktuell noch in Entwicklung. Dort geht es vor allem darum den weniger starken Alterungseinfluss von kleineren Subzyklen zu bewerten und möglichst adäquat als FEC zusammen zu zählen. Es ist dann das Ziel diese genauere Abschätzung regelmässigen Referenzmessungen (wie im Kapitel 4.4.1 beschrieben) gegenüberzustellen und die Parameter zur Abschätzung der Batteriealterung laufend zu verbessern.

4.5 Erkenntnisse aus dem Betrieb

Im Rahmen der ersten Linieneinsätze des SwissTrolley plus wurde von den VBZ eine Befragung der Fahrgäste zum Testfahrzeug durchgeführt. Positiv wurden dabei vor allem die im Vergleich zu herkömmlichen Trolleybussen sehr leise Fahrweise sowie die veränderte Aufteilung des Innenraums angeführt. Einzelne Kritikpunkte bezogen sich auf Ausstattungsmerkmale, welche jedoch nicht spezifisch mit dem Fahrzeugkonzept in Zusammenhang stehen (z.B. Sitzpolsterung).

4.5.1 Gesamtkostenbetrachtung (TCO)

Im Vergleich zu den Diesel Gelenkbussen und den Standard Gelenktrolleybussen stellt sich der SwissTrolley plus wie folgt dar.

Die TCO Kosten für den SwissTrolley plus liegen noch nicht ausreichend und genügend aussagekräftig vor. Grundsätzlich und mit dem heutigen Wissen ist aber zu erwarten, dass sich die Fahrleistung, Investitionen und die Instandhaltungskosten im ähnlichen Rahmen wie bei den Standard-Gelenktrolleybussen verhalten. Bei den Kosten für den Energieverbrauch wird durch die Energieverbrauchseinsparung um ca. 15% eine entsprechende Optimierung erzielt (siehe Kapitel verbesserte Energieeffizienz). Somit zeigt die heutige TCO Betrachtung vom SwissTrolley plus gegenüber dem Standard Trolleybus nur beim Energieverbrauch verbesserte Werte.

Die Trolleybusse allgemein zeigen in der TCO Betrachtung gegenüber den Diesel-Gelenkbussen einen um ca. 20% schlechteren Wert. Dies ist auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Die Kosten der Verkehrsbetriebe für Dieseltreibstoff sind dank der teilweisen Rückerstattung der Mineralölsteuer verhältnismässig günstig. (Rückerstattung: 59 Rappen pro Liter).
- Obwohl Trolleybusse länger im Einsatz sind als Dieselbusse, sind diese in der Anschaffung teurer, was sich in den Abschreibungskosten der TCO niederschlägt.
- Die doppelte Isolation und die Verwendung von teuren Bahnkomponenten schlagen sich in den Abschreibungskosten nieder.

Folgende Trends und Erwartungen an die Busersteller zeichnen sich aber für die VBZ bei zukünftigen Batterie-Gelenktrolleybussen ab.

- Die Investitionskosten sollten sich gegenüber dem Standard-Gelenktrolleybus um ca. 20% reduzieren. Dies in Erwartung von zukünftig günstigeren Traktionsbatteriepreisen aber auch durch den Einsatz der galvanischen Trennung und dem damit verbundenen teilweisen Weglassen der teuren doppelten Isolation und den Bahnkomponenten.
- Traktionsbatterien (siehe auch Kapitel Alterung Traktionsbatterie) können zukünftig für die ganze Lebensdauer eines Fahrzeuges eingesetzt werden. Wird dies nicht der Fall sein, würde sich eine Verschlechterung der TCO bemerkbar machen.
- Weitere Effizienzsteigerungen im Bereich HLK sind unbedingt wünschenswert.
- Optimierungen zur weiteren Verringerung des Oberleitungsanteiles wird hohe Beachtung geschenkt. Dabei sind höhere Ladeleistungen an der Oberleitung und grössere Batteriekapazitäten zu berücksichtigen.

5 Schlussfolgerungen und Fazit

5.1 Aus Sicht des Betreibers

Der SwissTrolley plus kann seine Vorteile nicht nur auf herkömmlichen Trolleybuslinien ausspielen, sondern bietet zudem die Möglichkeit

- bestehende Trolleybuslinien ohne zusätzliche Fahrleitungsinfrastrukturen zu verlängern,
- Dieselbuslinien, die auf Teilstrecken unter bestehenden Fahrleitungen verkehren, ohne resp. mit wenig zusätzlicher Infrastruktur auf Trolleybusbetrieb umzustellen und

Die VBZ werden auf 2020 ihre Dieselbuslinie 83, welche auf Teilstrecken unter bestehenden Fahrleitungen verkehren, auf Trolleybusbetrieb umstellen. Zusätzliche Infrastrukturen sind hierfür nicht erforderlich. Es wurden bei der Firma HESS acht Gelenkfahrzeuge auf Basis des SwissTrolley plus bestellt. Die Planung für die Elektrifizierung der Linie 69 und 80 wurde dahingehend angepasst, dass diese zukünftig ebenfalls mit Batterie-Trolleybussen betrieben werden können. Konkret wird auf verschiedenen Teilstrecken auf neue Fahrleitungsinfrastrukturen verzichtet.

5.2 Aus Sicht des Herstellers

Die gesteckten Ziele seitens HESS konnten grösstenteils erreicht werden. Vor allem die Ziele für die Umsetzung des Fahrzeugs konnten alle während des Projekts erreicht werden. Eine grosse Herausforderung für HESS wird sein, dass die Gesamtprojektziele für die bessere Abschätzung der Batteriealterung und das selbstlernende Energiemanagement auch in den serientauglichen Fahrzeugen gut umgesetzt wird und funktioniert. Das Erreichen von tieferen Betriebskosten ist momentan nur durch tiefere Energiekosten erreicht. Solange es für Verkehrsbetriebe noch politische Anreize gibt Dieselfahrzeuge günstig zu betreiben, ist eine Kostenparität nur schwer zu erreichen.

Es konnten aber auch Potentiale für weitere Verbesserungen, insbesondere im Thermomanagement festgestellt werden. Die kontinuierliche Verbesserung unserer Busse aus den gewonnenen Erkenntnissen ist die weitere, logische Zielsetzung der wir uns stellen werden.

Es hat sich bereits in der Projektphase gezeigt, dass das Fahrzeugkonzept SwissTrolley plus eine grosse Akzeptanz bzw. die zukünftigen Anforderungen unserer Kunden erfüllt. Dies kann man unter anderem den positiven Medienberichten oder den bereits gewonnen Ausschreibungen während der Projektphase des SwissTrolley plus entnehmen.

6 Ausblick und zukünftige Umsetzung

6.1 Aus Sicht des Betreibers

Auf Basis des Versuchsträgers SwissTrolley plus ist nun ein serienreifes Fahrzeug verfügbar, welche es erlaubt die Trolleybuslinien auf Teilstrecken fahrleitungslos zu betreiben. Bereits haben die VBZ ihre Planungen dahingehend überarbeitet, dass bei der Umstellung weiterer Buslinien auf Trolleybusbetrieb auf einen Teil der Fahrleitungsinfrastruktur verzichtet werden kann.

Mit der Umstellung der Linie 83 im Frühling 2020 realisieren die VBZ eine weitere Linie mit planmässigen Batteriebetrieb. So verläuft ein Teil der Linienführung unter bestehenden Oberleitungen so dass die Umstellung ohne weitere Infrastrukturausbauten erfolgen kann.

Ein weiterer Ausbau des Trolleybusnetzes ist geplant, Bestandteil des Agglomerationsprogramms Siedlung und Verkehr ist die Elektrifizierung der wichtigen Buslinien 69 und 80 zur Erschliessung des ETH-Standortes auf dem Höggerberg.

Mit dem in einigen Jahren anstehenden Ansatz der vorhandenen Trolleybusse wird es zudem möglich, bestehende Trolleybuslinien ohne zusätzliche Infrastrukturen zu verlängern. Die VBZ sind überzeugt, mit dem Batterie-Trolleybus ein wirtschaftliches, zukunftsfähiges Transportmittel einsetzen zu können.

6.2 Aus Sicht des Herstellers

Seitens HESS konnte durch das Projekt SwissTrolley plus einen Grundstein für die Herstellung von serientauglichen, elektrisch angetriebenen Stadtbussen mit eigener Entwicklung für die Integration des Traktionssystems gelegt werden.

Nebst dem Trolleybus können nun auch Elektrobusse mit anderen Ladesystemen gebaut werden und Synergien vom bereits integrierten Energiespeicher und Traktionssystem genutzt werden. Konkret wurde durch verschiedene Projekte das Produktportfolio HESS lighTram® erweitert.

HESS lighTram®	19m	25m
DC (DynamicCharging)	- SwissTrolley plus - 25 in Betrieb - 33 in Auftrag	- 17 in Betrieb - 17 in Auftrag
OPP (Opportunity Charging)	- 5 in Betrieb - 2 in Auftrag	
TOSA	- 12 in Betrieb	- 22 in Auftrag

Tabelle 2 Ausgelieferte und geplante Fahrzeuge, welche auf Traktionsarchitektur vom SwissTrolley plus basieren (Stand Sept. 2019)

Es bleiben mittelfristig noch grosse Herausforderungen für HESS, um weiterhin wettbewerbsfähige Fahrzeuge anbieten zu können. Folgende Schwerpunkte werden dafür unter anderem berücksichtigt:

- Reduktion von Herstellungskosten durch höhere Stückzahlen und günstigeren Preisen für Traktionskomponenten durch den Trend Elektromobilität
- Forschung und Entwicklung für effizientere HLK-Systeme als Bestandteil des Energie Management Systems
- Höhere Ladeleistungen über Stromabnehmer (DynamicCharging) um Linien mit grösseren oberleitungsfreien Abschnitten betreiben zu können

7 Nationale und internationale Zusammenarbeit

7.1 Weitere, abgeschlossene Projekte mit SwissTrolley plus

7.1.1 In Zusammenarbeit mit HESS

- Innosuisse (früher KTI), SCCER Mobility, Projekt mit BFH – e-MIP⁴
- BAV EsöV2050 Projekt mit HSLU⁵ und SBB

⁴ <https://www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=39685>

⁵ <https://www.bav.admin.ch/bav/de/home/themen-a-z/umwelt/Energie2050/laufende-abgeschlossene-projekte.html>

8 Kommunikation

8.1 Einsatz im Rahmenprogramm eDays (Formel-E-Rennen)

Zusammenfassung von Oliver Obergfell VBZ über den Einsatz des SwissTrolley plus an den eDays, 1. Formel E Rennen in Zürich, vom Juni 2018.

Als Kommunikations-Verantwortlicher der Strategie «eBus VBZ» darf ich Ihnen/euch eine kurze Rückschau auf unseren gelungenen Auftritt mit dem «SwissTrolley plus» an den eDays geben:

- Am Sonntag des Formel-E-Rennens waren die VBZ wie folgt vertreten:
 - Halbstündliche, kommentierte Rundfahrten Bellevue – Tiefenbrunnen und zurück (aus rechtlichen Gründen – Sitzgurtenpflicht – ganz offiziell als Linie 912). Gute Auslastung und sehr hohes Interesse der Fahrgäste und Passanten.
 - Betreuter Messestand im ETH-Pavillon mit Infotafel, Bildschirm und Flyern (inkl. Personalwerbung).
 - Kleine, betreute Infoausstellung an der Haltestelle Bellevue zum ST+ und zur eBus-Strategie.
 - Rund 15 motivierte KollegInnen, die sich bei sommerlichen Temperaturen den unzähligen Fragen und Diskussionen der Passantinnen stellten.
- Das Forschungsprojekt «SwissTrolley plus» wurde bereits am ETH-Symposium vom 8.6. durch Prof. Ch. Onder in Anwesenheit von Stadtrat M. Baumer und ETH-Präsident L. Guzzella dem interessierten Fachpublikum vorgestellt. M. Baumer ging in seiner Eröffnungsrede des Symposiums neben dem ST+ auch auf die laufenden Probefahrten mit unseren beiden eBussen ein.

Fazit: Dank der Zusammenarbeit mit der ETH ist es gelungen, unsere Elektrifizierungsstrategie und das Leuchtturmprojekt ST+ mit einem verhältnismässig geringen Mitteleinsatz (keine Standgebühr) einem grossen und interessierten Publikum mitten im E-Village näher zu bringen. Insbesondere die Rundfahrten kamen gut an, zahlreiche Fahrgäste konnten wir an unserem Stand und über Social Media (Facebook und Twitter) direkt am Eventtag dazu bewegen, an einer Rundfahrt teilzunehmen. Allein der Facebook-Post zu den Rundfahrten wurde über 1'300 mal aufgerufen.

Schliesslich darf erwähnt werden, dass wir im Vorfeld auch intensiv mit ABB in Kontakt waren und diesen Hauptsponsor des Rennens davon überzeugen konnten, nicht wie ursprünglich geplant den TOSA nach Zürich zu bringen. Stattdessen einigten wir uns als «Kompromiss» darauf, unbürokratisch ein temporäres ABB-Branding für diesen Anlass auf den «SwissTrolley plus» aufzubringen (siehe folgendes Bild).



Hier ein Überblick über unsere Begleitkommunikation:

Vor dem Anlass

- [Auftaktartikel vbzonline:](#)
 - Verlinkung auf Intranet (Hot News) und Website
 - Verlinkung auf [Facebook](#) und [Twitter](#)

Während dem Anlass

- Facebook: [Post 1](#) (Auftritt im E-Village), [Post 2](#) (Rundfahrten), [Post 3](#) (Interaktion mit Fahrgästen)
- Twitter: [Post 1](#) (Auftritt im E-Village), [Post 2](#) (Rundfahrten)
- Verschiedene Posts auf Instagram

Nach dem Anlass

- [Stimmungsbericht vbzonline:](#)
 - Verlinkung auf Intranet (Hot News) und Website
 - Verlinkung auf [Facebook](#) und [Twitter](#)

Die **Medienresonanz** war trotz grosser thematischer Konkurrenz (Rennautos) sehr gut. Insbesondere konnten wir uns in der gross aufgelegten [Gratisbeilage vom Blick und Schweizer Illustrierten](#) auf Seite 19/20 prominent platzieren.



[Spektakuläre Formel-E-Premiere im Zürich Hafenviertel](#)

Neue Zürcher Zeitung-10.06.2018

Diese Fahrzeuge locken, ebenso wie der «**Swiss Trolley Plus**»-Bus der VBZ, an dem die ETH entscheidend mitarbeitet, oder der ultraschnelle ...



[Was Rennauto und Trolleybus vereint](#)

ETH News-04.06.2018

Zudem erläutern Experten das von der ETH entwickelte intelligente Energiemanagement auf kurzen Rundfahrten mit dem «**SwissTrolley plus**».

[Wie Schweizer Trolleybusse bald ohne Oberleitung auskommen sollen](#)

Aktuell-05.06.2018



[«Ein wichtiger Schritt in Richtung umweltfreundliche Energie»](#)

Schweizer Radio und Fernsehen (SRF)-10.06.2018

Für den «**Swiss Trolley plus**»-Bus müssen wir ein Energiemanagement erstellen, das auf ...

8.2 Roadshow bei verschiedenen Verkehrsbetrieben

Im Februar testeten die Verkehrsbetriebe St.Gallen (VBSG) den SwissTrolley plus. Die Testfahrten fanden hauptsächlich auf den Strecken St.Georgen, Wittenbach und Abtwil statt.

<https://www.youtube.com/watch?v=YoegP3oW5fU>

<https://www.youtube.com/watch?v=COhuvVGQd9o>

TAGBLATT

7. Februar 2018, 12:02 Uhr

Im Video: Stadt St.Gallen testet Trolleybus der Zukunft



Der neuartige Hybrid-Trolleybus bezieht den Fahrstrom entweder über die Oberleitung oder über eingebaute Batterien. Eines dieser Fahrzeuge ist derzeit auf Testfahrt in St.Gallen - im Bild auf der Verzweigung Oberer Graben/Poststrasse. (Bild: Hanspeter Schiess)

Diese Woche testen die Verkehrsbetriebe der Stadt St.Gallen einen Trolleybus mit Hybridantrieb. Das neuartige Gefährt ist vor allem nach St.Georgen, Wittenbach und Abtwil unterwegs.

Auch die Verkehrsbetriebe St.Gallen (VBSG) sind davon überzeugt: Die Zukunft im öffentlichen Nahverkehr innerhalb der Städte gehört den Batterie-Trolleybussen. Mit dem Konzept «Swiss Trolley plus» wollten die VBSG ihre bestehenden Fahrleitungen weiterhin zweckmässig nutzen, hiess es am Mittwoch an einer Medienorientierung. Damit ist keine zusätzlichen Infrastruktur mit Ladestationen nötig. Aufwendige Standzeiten der Fahrzeuge an diesen Stationen werden ebenfalls vermieden.

Fahrleitung und Batterie werden kombiniert

Das Konzept «Swiss Trolley plus» kombiniert bewährte Oberleitungstechnik mit neuester Batterietechnologie. Der neuartige Trolleybus hat leistungsfähige Energiespeicher an Bord, die während der Fahrt ständig über die Oberleitungen aufgeladen werden. Das ermöglicht einen elektrischen Betrieb auch auf Linien, die nur teilweise über Trolleybus-Fahrleitungen verfügen. Im reinen Batteriebetrieb soll der neue Trolleybus 20 bis 30 Kilometer zurücklegen können.

Im März wurde der SwissTrolley plus auch durch die Verkehrsbetriebe Luzern (VBL) auf verschiedenen Linien ausprobiert.



Medienmitteilung

Verfasser/in Christian Bertschi, Kommunikationsbeauftragter
041 369 65 77, christian.bertschi@vbl.ch

Datum 16. März 2018

vbl testet den „SwissTrolley plus“

Ab morgen Samstag, 17. März 2018, ist ein neuer Bus auf den Luzerner Strassen unterwegs. Der „SwissTrolley plus“ wird von vbl während einer Woche auf mehreren Linien getestet. Dieses Prototypenfahrzeug ist energieoptimiert und verfügt über eine Hochleistungs-batterie für eine abschnittsweise Fahrt ohne Fahrleitung.



Der „SwissTrolley plus“ an der Haltestelle Hirtenhof in Luzern.

Der „SwissTrolley plus“ kombiniert bewährte Fahrleitungstechnik mit modernster Batterietechnologie. Das Fahrzeug wird im Rahmen eines Leuchtturmpromotes vom Bundesamt für Energie (BFE) unterstützt und in den Montagehallen der Firma HESS in Bellach gebaut. Weitere Projektpartner sind die ETH Zürich, die Berner Fachhochschule sowie die Verkehrsbetriebe Zürich.

Ab Anfang 2017 war das Fahrzeug schon im Testbetrieb auf unterschiedlichen Linien im Netz der Verkehrsbetriebe Zürich unterwegs. In verschiedenen Schweizer Städten ist dieses Fahrzeug nun für Testfahrten anzutreffen. Von morgen Samstag, 17. März 2018, bis am Freitag, 23. März 2018, wird vbl den „SwissTrolley plus“ in Luzern einsetzen können. Vorgesehen ist, dass das Fahrzeug jeden Tag auf einer anderen Trolleybuslinie eingesetzt wird. Ausserdem sind auch Testfahrten auf Strecken vorgesehen, die heute noch nicht mit Fahrleitungen ausgerüstet sind. Auf

Verkehrsbetriebe Luzern AG, Tribtschenstrasse 65, Postfach, 6002 Luzern
Telefon +41 41 369 65 65, Fax +41 41 369 65 00, E-Mail mail@vbl.ch, www.vbl.ch
Zertifiziertes Qualitäts-, Umwelt- und Arbeitssicherheits-Managementsystem nach den Normen SN EN ISO 9001, SN EN ISO 14001 und OHSAS 18001

diese Weise soll auch der Batteriebetrieb des „SwissTrolley plus“ getestet werden.

Fahrleitungslos bei Baustellen

Beim Fahrzeug handelt es sich um einen Gelenktrolleybus, der rund 160 Fahrgäste befördern kann. Dieser Bustyp verfügt nicht über jene Kapazitäten, die beispielsweise für den künftigen Einsatz auf der verlängerten Linie 1 nach Ebikon mit Doppelgelenktrolleybussen notwendig sind. Für vbl sind die Tests im Hinblick auf mögliche Elektrifizierungen von Dieselbuslinien oder kurze Verlängerungen von bestehenden Trolleybuslinien wertvoll. Ausserdem könnte ein fahrleitungsloser Betrieb von Trolleybuslinien auf gewissen Streckenabschnitten in Betracht kommen, auf denen grössere Strassenbauvorhaben anstehen und auf denen während der Bauphase die Oberleitung nicht benutzt werden kann.

Die Fahrgäste, die in den Genuss kommen, mit dem Testfahrzeug zu reisen, werden an einzelnen Tagen über ihre Eindrücke befragt. Diese Rückmeldungen sowie die Testergebnisse werden vbl wertvolle Rückmeldungen im Hinblick auf die künftige Flottenstrategie liefern und sind auch für das BFE-Leuchtturmprojekt von Interesse.

Der Einsatz des „SwissTrolley plus“ ist auf folgenden Linien vorgesehen:

- Samstag, 17. März 2018 – Linie 8
- Sonntag, 18. März 2018 – Linie 4
- Montag, 19. März 2018 – Linie 7
- Dienstag, 20. März 2018 – Linie 5
- Mittwoch, 21. März 2018 – Linie 6
- Donnerstag, 22. März 2018 – div. Strecken (ohne Fahrgäste)
- Freitag, 23. März 2018 – Linie 6 (nur Frühkurs)

Das Projekt „SwissTrolley plus“

Der SwissTrolley plus ist ein „Leuchtturmprojekt“ des Bundesamts für Energie und stellt ein Fahrzeugkonzept für die Realisierung eines reinen Elektromobilitätsfahrzeugs aus Schweizer Produktion mit nachhaltigen, aber günstigen Komponenten und Steuerungen dar. Das Fahrzeugkonzept ist so ausgelegt, als dass das Fahrzeug klassisch an der Oberleitung als Trolleybus fahren kann, aber auch in den Innen- und Aussenstadtzonen im Range-Extender-Modus mit einer Hochleistungs-Hochkapazitätsbatterie ausserhalb des heutigen Trolleybus-Netztes als „Batteriebus“ betrieben werden kann.

Die dafür notwendige Hochleistungsbatterie wird so konzipiert, dass im Oberleitungsbetrieb die Stromspitzen reduziert werden können. Somit wird das Stromnetz für den Buslinien-Betreiber und den Stromlieferanten wesentlich entlastet. Zusätzlich kann Energie durch ein GPS-basiertes und selbstlernendes Energiemanagement eingespart werden.

Der SwissTrolley plus stellt das „Flagship-Projekt“ der Carrosserie HESS AG, Bellach, dar, in welchem neue Technologien und Produktoptimierungen in wesentlichen Teilen von Chassis, Karosserie, Mechanik sowie Hochvolt-Traktionskomponenten eingesetzt werden sollen. Weitere Infos: www.swisstrolleyplus.ch

Ein weiterer Testbetrieb konnte im April in Winterthur durchgeführt werden.

Medienmitteilung

Departement Technische Betriebe

19. April 2018

Trolleybus mit Batteriepaket; erfolgreicher Testbetrieb

Das eingesetzte Fahrzeug «Swiss Trolley plus» ist das Produkt einer Kooperation zwischen der Herstellerfirma Hess, Bellach, mit dem Bundesamt für Energie. Es verfügt anstelle eines mit Diesel betriebenen Notstromaggregats über ein leistungsfähiges Batteriepaket wurde vom 10. – 19. April 2018 von Stadtbus Winterthur im Rahmen eines Testbetriebs eingesetzt. Das Fazit ist zukunftsweisen.

Die Testfahrten haben gezeigt, dass dank einem intelligenten, GPS-gestützten Energiemanagement und einer optimierten Klimaanlage rund die Hälfte einer Busstrecke mit «Swiss Trolley plus» ohne Oberleitung gefahren werden kann. Und dies ohne Leistungseinbusse und mit konstant maximalem Ladezustand der Batterien.

Damit wären die technischen Voraussetzungen beispielsweise für einen Trolleybusbetrieb auf der künftigen Durchmesserlinie (7/14) gegeben. Diese verläuft im städtischen Kernbereich entlang einer bereits elektrifizierten Strecke. Damit wäre bereits ein grösserer Anteil des Gesamtbedarfs an Streckenabschnitten mit Oberleitung abgedeckt. Entsprechend würden die Kosten für den zusätzlich nötigen Oberleitungsbau gegenüber einer vollumfänglichen Elektrifizierung des gesamten Linienverlaufs massiv tiefer ausfallen und die Eingriffe in das Ortsbild könnten minimiert werden.

Gemäss Planung wird Stadtbus in 2 – 3 Jahren neue Trolleybusse beschaffen. Aus heutiger Sicht soll dannzumal bei der Ausschreibung auf die eben zu voller Zufriedenheit getestete, zukunftsorientierte Technologie gesetzt werden.

Fazit:

In allen drei Städten wurde der Einsatz des SwissTrolley plus durchwegs positiv bewertet. Insbesondere der Wechsel vom Oberleitungs- in den Batteriebetrieb der nicht mehr merkbar ist und auch keine Einbussen bei den Komfortmerkmalen wie Klima, Heizung zur Folge hat, wurde gewürdigt. Ebenso wurde der reduzierte Energieverbrauch gegenüber herkömmlichen Trolleybussen als sehr positiv bewertet.

Weitere, im Vorfeld geplante Testbetriebe, konnten nicht durchgeführt werden, da sich verschiedene Verkehrsbetriebe im Beschaffungsprozess für neue Trolleybusse befanden und dies aus Wettbewerbsgründen nicht zulässig war.

8.3 eBus-Tage 2019

Seit 80 Jahren innovativ: Der Trolleybus in Zürich

Das Forschungsfahrzeug «SwissTrolley plus» wurde als Exponat im Rahmen der eBus-Tage 2019 zu Ehren des 80. Geburtstags des Trolleybusses in der Stadt Zürich am 7. und 11. Mai 2019 auf dem Vorplatz des Tram-Museums prominent platziert. Medienschaffende sowie rund 1'000 Besuchende informierten sich anhand von Plakaten und Flyern über das Leuchtturmprojekt. Experten von den VBZ und HESS erteilten zudem Auskünfte aus erster Hand.

Mit der Präsenz des «SwissTrolley plus» hoben die VBZ die Innovation am System Trolleybus hervor und zeigten einem breiten Publikum auf, wohin die Reise mit dem Einsatz von Batterietrolleybuses in der Stadt Zürich geht. Weitere Informationen unter: www.vbz.ch/ebustage2019



9 Publikationen

9.1 Bericht für das BFE von Dr. Vogel aus Berlin

Im Rahmen des BFE-Mandats „Informationen zu Energieforschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekten“ hat Dr. Vogel den SwissTrolley plus bei VBZ besichtigt und folgenden Artikel über das Leuchtturmprojekt Swiss Trolley plus veröffentlicht.



Ein Trolleybus fast ohne Oberleitung

Trolleybusse erfreuen sich in Schweizer Städten noch immer grosser Beliebtheit. Der Ausbau der Oberleitungen stösst aber mitunter auf Widerstand. Der neu entwickelte «Swiss Trolley plus» kann Abhilfe schaffen: Dank einer leistungsfähigen Batterie kann er auch auf Linien eingesetzt werden, die nur teilweise mit Oberleitungen ausgerüstet sind. Von Benedikt Vogel *

Der Swiss Trolley plus kann dank einer neuartigen Batterie Strecken von bis zu zehn Kilometern ohne Oberleitungen zurücklegen. In der Stadt Zürich ist die Technologie seit Mai 2017 erfolgreich im Einsatz.

Bilder: VBZ

Wer als Passagier auf der Buslinie 33 quer 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 Fahr-

gäste etwas mitbekommen. Buschauffeur Fatmir Alijaj führt dem Journalisten an der Haltestelle Albisriederplatz vor, wie es geht: Während die Fahrgäste an der Haltestelle ein- und aussteigen, betätigt der Buschauffeur in der Fahrerkabine einen Knopf, und schon werden die Stromabnehmer eingezogen – «abdrähten» heisst das 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 Eindrehen zuverlässig in die Leitungen einfüdeln. «Das ist ein Routinevorgang, die Trefferquote liegt bei über 99 Prozent», sagt Chauffeur Alijaj.

Bald weitere Linien elektrisch

Ob der Bus im Oberleitungs- oder Batteriebetrieb fährt, hat auf die Moto-

renleistung 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.

Doch der entscheidende Vorzug des neuen Busses ist, dass er auch auf Linien eingesetzt werden kann, 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 – Bahnhof 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 Höggerberg), 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 neue Trolleybus unsere Erwartungen voll erfüllt. 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.

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



Die Batterie des Swiss Trolley plus wird während des Fahrens geladen, wenn eine Oberleitung zur Verfügung steht.

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 Kilogramm schwerer ist als die Notbatterie, die ein herkömmlicher Trolleybus

mit sich führt. Die Gewichtsreduktion gelang dank Leichtbauweise (wie etwa 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 heizen beziehungs-

Ein Bus lernt selbstständig Strom zu sparen

Im Rahmen eines Forschungsprojekts zum Swiss Trolley plus haben Wissenschaftler der ETH Zürich um Christopher Onder (Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik) ein Energiemanagementsystem entwickelt. Dieses steuert das Laden und Entladen der Batterie, 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 Prozent) 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 wie Haltestellen, Topografie, Durchschnittsgeschwindigkeit oder Passagierzahl der jeweiligen Streckenabschnitten auf. Nach weni-

gen 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 Energiespeicherung der Berner Fachhochschule im Zuge des Projekts entwickelt hat. Das Modell enthält detaillierte Steuerungsvorgaben, die auf eine längstmögliche Lebensdauer der Batterie abzielen.

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

(Benedikt Vogel)



Für Busfahrer (im Bild links: 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. Um die Batterie zu schonen, wird ein Ladestand zwischen 50 und 85 Prozent angestrebt (rechts).

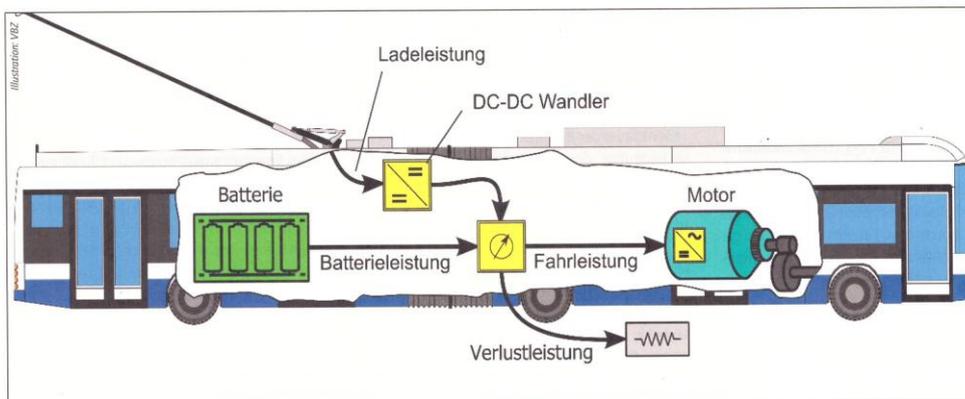
weise kühlen, zugleich aber auch für die Kühlung der Batterie sorgt. Die notwendige Mindesttemperatur im Bus kann um zwei Grad Celsius gesenkt werden, weil der Innenraum zusätzlich von der Decke mit einer Infrarotheizung bestrahlt wird.

Galvanische Trennung

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 acht Prozent effizienter, sie erlauben eine kompaktere 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



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

Antriebsstranges vom Fahrleitungsnetz ist auch der Grund für den effizienteren Betrieb: Während konventionelle 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 reuperierter Bremsenergie laden.

«Der Bus dürfte gegenüber herkömmlichen Trolleybussen mit 15 Prozent 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 acht bis zehn Prozent Energieersparnis streben wir mit dem Energiemanagementsystem an.» Das Energiemanagementsystem wurde durch die ETH Zürich entwickelt und wird im Bus schrittweise implementiert (siehe Box «Ein Bus lernt selbstständig Strom zu sparen», Seite 63).

Glättung von Leistungsspitzen

Dank der leistungsfähigen Batterie kann der Swiss Trolley plus im Praxiseinsatz zuverlässig zehn Kilometer ohne Oberleitung zurücklegen. Unter bestimmten Testbedingungen betrug die Reichweite sogar 20 bis 30 Kilometer. 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 Kilowattstunden (kWh) und eine Lade-/Entladeleistung von 360 Kilowatt (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 beugt. 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 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 warb 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 umzusetzen. ■

Blick auf das Dach des Swiss Trolley plus in der VBZ-Busgarage Hardau: Die in der weissen Metallbox untergebrachte Batterie ist 1,2 Tonnen schwer und hat eine Speicherkapazität von 60 kWh.

Bild: Benedikt Vogel

* Benedikt Vogel betreibt eine Agentur für Forschungskommunikation in Berlin. Der Text ist im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) entstanden.

BFE unterstützt Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturm-Projekte

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 Prozent der anrechenbaren Kosten. Gesuche können jederzeit eingereicht werden.

Weitere Informationen:
www.bfe.admin.ch/leuchtturmprogramm

18. Jun 2018



Für Busfahrer (im Bild: VBZ-Chauffeur Fatmir Alija) bringt der Swiss Trolley plus nur geringe Umstellungen mit sich. Foto: B. Vogel



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. Foto: VBZ



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



Trolleybusse der VBZ haben eine Jahresleistung von rund 80'000 km. Die Batterie des Swiss Trolley plus (Bild) wird während des Fahrens geladen (dynamic charging/DC

Swiss Trolley plus: Ein Schweizer Entwicklung, die auch ohne Oberleitung fährt

(BV) Wer auf dem 33er Bus durch Zürich unterwegs ist, fühlt sich wie in jedem anderen Trolleybus. Dabei kommt auf dieser Strecke seit 2017 ein neuartiges Fahrzeug zum Einsatz: Ein mit einer Batterie ausgerüstet Bus, der auch auf längeren Strecken rein batteriebetrieben fahren kann. Der Wechsel zwischen beiden Betriebsarten erfolgt per Knopfdruck. Der Vergleich mit konventionellen Modellen leichtere, effizientere und leisere 'Swiss Trolley plus' ist übrigens eine Schweizer Entwicklung!

(Texte en français =>) Der Buschauffeur Fatmir Alija führt dem Journalisten an der Haltestelle Albsriederplatz 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 Alija.



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 Dieselmotoren 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 erschlossen unter anderem die ETH Höggerberg), die bisher mit Dieselmotoren bedient werden. Für die Umstellung der Linien auf Trolleybusbetrieb müssen so nur ausgewählte Teilstrecken mit Oberleitungen versehen werden.

Partner



Dachorganisation der Wirtschaft für erneuerbare Energien und Energieeffizienz

Job-Plattform

Suchen Sie einen Mitarbeitenden oder eine Stelle? Bei uns sind Sie richtig!

[Hier geht's weiter >>](#)

Aktuelle Jobs

Progettista Fotovoltaico - grado di...

Projektentwickler/-in PV mit...

Progettista Fotovoltaico - grado di occupazione 100%

Progettazione e realizzazione insieme al proprio team di impianti fotovoltaici e sistemi di accumulazione a batteria. Presentazione di tutte le domande per conto dei nostri client...

Firmenverzeichnis

Ist Ihr Unternehmen im Bereich erneuerbare Energien oder Energieeffizienz tätig? Dann senden sie ein e-Mail an info@ee-news.ch mit Name, Adresse, Tätigkeitsfeld und Mail, dann nehmen wir Sie gerne ins Firmenverzeichnis auf.

News

[Innogy und Tennet: Untersuchen länderübergreifendes Windenergieverteilkreuz in der Nordsee](#)

[EU: Einigung bei Zielvorgabe für Anteil erneuerbarer Energien auf 32%](#)

[Exportinitiative: Katar schreibt Photovoltaik-Anlage über 500 MW aus](#)

[Solar Fabrik: PV-Module erhalten Zulassung für den chilenischen Markt](#)

[Tevolt und Wemag: Kooperieren bei Gewerbespeichern](#)

Job-Plattform

Stellenangebote

[ee-newsjobs.ch abonnieren](#)

Service

[Agenda](#)

[Archiv](#)

[Links](#)

[Werbung](#)

Firmenverzeichnis

Dossier

Articles en français

[Intersolar Europe - electrical energy storage - Power2Drive](#)

[Einspeisevergütung KEV](#)

[Energiestrategie 2050](#)

[Bauen](#)

[Bücher](#)

[AKW-Debatte](#)

[Mobilität](#)

[Peak Oil](#)

Newsletter abonnieren

Name
 Email [auswickeln](#)

Follow us



Dieser Artikel ist im Kommunalmagazin.ch, in der Ausgabe Nr.4 August/September 2018, und auf der Webplattform ee-news.ch in deutscher und französischer Sprache erschienen. Der Artikel ist auch direkt abrufbar unter <https://www.ee-news.ch/de/article/38704/swiss-trolley-plus-ein-schweizer-entwicklung-die-auch-ohne-oberleitung-fahrt> bzw. https://www.ee-news.ch/de/article/38705/swiss-trolley-plus-un-trolleybus-qui-circule-sans-ligne-aerienne-de-contact&page=#article_38705.

10 Literaturverzeichnis

- [1] A. Ritter, F. Widmer, C. Onder, A. Santis, T. Schneider, L. Lauber, A. Vezzini und M. Widmer, «SwissTrolley plus, A battery-assisted trolley bus,» BFH ESReC, ETH IDSC, Nidau, Zürich, 2019.
- [2] 28 05 2019. [Online]. Available: https://de.wikipedia.org/wiki/Kraftstoffverbrauch#Berechnung_der_CO2-Emission_auf_Basis_des_Kraftstoffverbrauchs.
- [3] 28 05 2019. [Online]. Available: https://gazenergie.ch/fileadmin/user_upload/e-paper/SVGW/G10001_Erdgas_Eigenschaften_2019_d.pdf.
- [4] A. Ritter, F. Widmer, J. W. Niam, B. Sutter, N. Stucki, P. Elbert und C. H. Onder, «Supervisory control of swisstrolley plus: Concept, implementation, and results of the energy management system,» ETH Zurich, Institute for Dynamic Systems and Control, Zurich, Switzerland, 2019.