



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 30.11.2015

Projekt Switchbus

Elektrifizierung eines Midi-Busses mit Ziel Serienfertigung

Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das
Bundesamt für Energie BFE
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

Switchbus GmbH
Industriestrasse 6
6005 Luzern
www.switzerland-explorer.ch

Autoren:

Louis Palmer, Switchbus GmbH, info@switzerland-explorer.ch

BFE-Programmleitung: Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch

BFE-Projektbegleitung: Martin Pulfer, martin.pulfer@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/500993-01

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

Zusammenfassung

Das Projekt „Switchbus“ hatte zum Ziel, einen Midi-Bus der Marke Iveco Daily (17 Sitzplätze, 5,6 Tonnen Gewicht) als Prototyp auf Elektroantrieb umzurüsten. Dieser elektrische Midi-Bus im Massstab 1:1 eignet sich für diverse spätere Einsatzgebiete, sei es für Freizeitfahrten-, als Schulbus oder im öffentlichen Verkehr. Das Projekt ermöglichte eine detaillierte technische und wirtschaftliche Beurteilung im Hinblick auf die geplante kommerzielle Einführung in einer Kleinserie. Der Einsatz als Tourbus für „Switchbus Tours“ sowie die probemässigen Einsätze als Schulbus und im öffentlichen Verkehr geben Antworten auf Fragen von Wartungs- und Unterhaltsaufwand. Es folgten Präsentationen vor den Medien und bei den Gemeinden und bei Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs, um potentielle Anwender auf die neue Technologie und das neue Produkt aufmerksam zu machen. Dort stiess das Konzept auf grosses Interesse. Der Bus hat bis zum Ende der Testphase über 25'000 km rein elektrisch zurückgelegt und bewiesen, dass die Technik zuverlässig funktioniert. Die Umsetzung einer Produktion in Kleinserie muss aber leider aufgrund der zu hohen Kosten und vorläufig zurückgestellt werden.

Résumé

Le but du projet "Switchbus" a été de convertir un minibus la marque Iveco Daily (17 sièges, poids de 5,6 t) à un prototype de propulsion électrique. Ce midi bus électrique a été adapté pour diverses applications comme usage d'activité de loisirs, d'autobus scolaire ou les transports publics. En vue d'une petite production en série commerciale prévue, ce projet a permis d'une évaluation technique et économique détaillée. Switchbus a été utilisé comme un bus de tourisme, ainsi que d'un véhicule de l'échantillon afin de démontrer la technologie aux différentes parties intéressées. En particulier, le Switchbus a été présenté comment il pourrait être utilisé et entretenu afin d'une utilisation de transports en commune, y compris comme autobus scolaire. Le véhicule a été présenté à diverses organisations impliquées dans le service de transport public incluant quelques communes, et il y avait un très grand intérêt pour le concept. Jusqu'à la fin de phase de test du projet, Switchbus a conduit entièrement électrique d'une distance de plus de 25'000 km. La mise en œuvre éventuelle d'une production en petite série dans cet étude n'est pas possible étant donné les coûts excessifs de composants de la véhicule.

Abstract

The "Switchbus" project was aimed to convert a minibus Iveco Daily (17 seats, 5.6 t weight) to electric drive. This electric midi-bus scale is suitable for various subsequent applications, be it for recreation use, school bus or as public transport. In view of a planned small, commercial serial production, this project enabled for a detailed technical and economic assessment of such an initiative. Switchbus was used as a tour bus, as well as a sample vehicle to showcase the technology to various parties. In particular, Switchbus was showcased how it could be used and maintained for public transport use, including as school bus. The vehicle was presented to various organisations involved with public transport provision including local government authorities, where it received great interest. Until the end of the project's test phase, Switchbus drove completely electric, totalling a distance over 25,000 km. At this time, however, a potential implementation of a small series production is not possible. This requires further considerations given the actual excessive costs of vehicle components and excessive amount of labour required.

Inhaltsverzeichnis

1. Inhaltsverzeichnis
2. Zusammenfassung (Abstract)
3. Ausgangslage
4. Ziel der Arbeit
5. Grundlagen – Randbedingungen
6. Vorgehen / Methode
7. Ergebnisse / Erkenntnisse
8. Diskussion / Würdigung der Ergebnisse / Erkenntnisse
9. Schlussfolgerungen
10. Ausblick, nächste Schritte nach Projektabschluss

2. Zusammenfassung (Abstract)

Das Projekt „Switchbus“ hatte zum Ziel, einen Midi-Bus der Marke Iveco Daily (17 Sitzplätze, 5,6 Tonnen Gewicht) als Prototyp auf Elektroantrieb umzurüsten, um mit dem erworbenen Wissen und Engineering dann eine Kleinserie herstellen zu können. Das Ziel war es, vor allem Schulbusbetreibern in der Schweiz einen Elektrobuss anbieten zu können, da der Einsatz als Schulbus – wegen den geringen Reichweiten und den genau planbaren Fahrten – den idealen Einsatzzweck eines Elektrobusses darstellt. Im Herbst 2013 wurde der Bus als Gebrauchtwagen (4 Jahre alt) mit Dieselmotor in Hildesheim (DE) von der Deutschen Bundeswehr erworben und danach in Kooperation mit den Firmen Bushandel (Dagmersellen, zuständig für die Automobiltechnik) und Design-Werk GmbH (Fehraltorf, zuständig für die Elektrotechnik) in einem halben Jahr umgebaut.

Dieser elektrische Midi-Bus im Massstab 1:1 eignet sich für diverse spätere Einsatzgebiete, sei es für Freizeitfahrten-, als Schulbus oder im öffentlichen Verkehr. Das Projekt ermöglichte eine detaillierte technische und wirtschaftliche Beurteilung im Hinblick auf die geplante kommerzielle Einführung in einer Kleinserie. Der Einsatz als Tourbus für „Switchbus Tours“ sowie die problematischen Einsätze als Schulbus und im öffentlichen Verkehr geben Antworten auf Fragen von Wartungs- und Unterhaltsaufwand. Es folgten Präsentationen vor den Medien und bei den Gemeinden und bei Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs, um potentielle Anwender auf die neue Technologie und das neue Produkt aufmerksam zu machen.

Der Bus hat bis zum Ende der Testphase über 25'000 km und gegen 200 Höhenkilometer rein elektrisch zurückgelegt und – trotz einigen Kinderkrankheiten – bewiesen, dass die Technik zuverlässig funktioniert. Technisch wurden alle Vorgaben und Erwartungen erfüllt, die Reichweite betrug bei Testfahrten mehr als 300 km, die Rekuperation bringt fast die Hälfte der Energie zurück, und Fahrten auf der Autobahn wie auch Passfahrten wurden mit Bravour gemeistert. Auch längere Fahrten mit schwerem Anhänger und voller Besetzung waren möglich. Schliesslich haben die Besuche bei Gemeinden, die Schulbusse im Einsatz haben, gezeigt, dass das Thema „Elektrobus“ bei den Busbetreibern auf sehr viel Neugier und Akzeptanz stösst. Der Markt für elektrische Schulbusse ist da und die Zeit ist reif für den Elektrobus.

Als Herausforderung erwiesen hat sich, dass für den Umbau mehr Arbeitsstunden notwendig sind als geplant, das Angebot an Komponenten kaum gewachsen ist und die ausgesuchten elektrischen Komponenten entgegen den Erwartungen nicht günstiger geworden sind. Somit resultieren höhere Kosten, die sich auf den Verkaufspreis niederschlagen. Auch die einzelnen Batteriezellen zeigten einige Ausfälle, was für den Testbetrieb zwar noch keine inakzeptable Störungen verursachte, im Alltagseinsatz im öV oder als Schulbus aber nicht akzeptierbare Konsequenzen hätten. Somit müsste bei einer Serienfertigung sicher mit anderen Batterien gearbeitet werden, die aber momentan – Stand Ende 2015 – noch nicht günstig genug sind, um den Durchbruch der Elektrobusse zu sichern. Voraussichtlich könnten Elektrobusse aber in etwa ein bis zwei Jahren zu wettbewerbsfähigen Preisen hergestellt und angeboten werden, sofern die Batteriepreise sowie die Kosten der Komponenten wie vorausgesagt weiter sinken.

3. Ausgangslage

Am Projekt beteiligt war ein interdisziplinäres Team aus mehreren Schweizer KMU und Fachhochschulen. Alle Beteiligten hatten ein grosses Interesse daran, einen Elektrobus in der Schweiz herzustellen, auf die Strasse zu bringen und am Schluss vermarkten zu können. Die Partner brachten auch das dafür notwendige Know-how mit.

Geschichte

Initiiert wurde die Idee von Louis Palmer, der als erster Mensch mit einem solar betriebenen Fahrzeug um die Erde gefahren ist und im Bereich E-Mobilität sehr gut vernetzt ist, und seiner Frau Dr. Julianna Priskin, Dozentin an der HSLU (Abteilung Tourismuswirtschaft an der Hochschule Luzern). Beide hatten zum Ziel, ein umweltfreundliches Busunternehmen zu gründen, um ausländischen Touristen abseits der öV-Routen die Schweiz auf eine umweltfreundliche Art näher zu bringen. Dazu benötigten sie einen Elektrobus, wobei solch ein Produkt (Stand 2013) auf dem Markt noch nicht existierte. Also überlegten sie sich, einen Bus umzubauen und kontaktierten dazu Herrn Anton Kaufmann, Geschäftsführer der Firma Bushandel AG in Dagmersellen. Herr Kaufmann war an einer späteren Vermarktung des Busses sehr interessiert. Für den elektrotechnischen Umbau entschieden sie sich für die Firma Design-Werk GmbH im zürcherischen Fehraltorf, die mit dem Umbau eines LKW zu Elektroantrieb kurz vorher für viel Aufsehen gesorgt hatten und über das notwendige Know-How verfügten. Ebenso über das notwendige Know-How verfügte Prof. Vinzenz Härri von der HSLU (Abteilung Elektrotechnik der Hochschule Luzern), der als externer Berater und technischer Begleiter fungierte und für die technischen Messungen zuständig zeichnete. Schliesslich wurden die Studien zur Marktforschung und –akzeptanz von Herrn Roger Sonderegger von der HSLU (CC Mobilität) geleitet.

Stand der Technik und Konkurrenzanalyse

Im Bereich der vierrädrigen Elektrofahrzeuge existierten bisher (stand 2013) vor allem Kleinfahrzeuge und PKW. Diverse grosse Hersteller von Personenwagen führten Modelle in Grossserien, darunter Renault, Nissan, Opel, Smart und Mitsubishi. Im Bereich der Lastwagen befand sich aktuell bei der Firma Design-Werk in Fehraltorf ein Prototyp in Entwicklung/Tests.

Bekannte Hersteller wie Iveco boten zwar elektrische Lieferwagen an, doch konnten diese wegen fehlenden Sitzverankerungen nicht für den Personentransport umgebaut werden. Auch war die Reichweite auf ca. 120 km und die Höchstgeschwindigkeit auf 70 km/h beschränkt. Die Preise begannen bei Fr. 125'000.-, was keinen allzu grossen Markt ansprechen konnte. Grössere Busse für den Personentransport wurden bereits in Tschechien hergestellt, doch waren diese über 7 t schwer und fielen somit gewichts- und preismässig in eine andere Kategorie. Ausserdem fehlten diesen Bussen der Vertrieb sowie eine Stelle für Unterhalt und Service in der Schweiz. Der Vorteil vom Switchbus und seinen Partnern ist, dass er schnell auf den Markt kommt, alle Komponentenhersteller (mit Ausnahme der Batterie) in der Schweiz oder im nahen Ausland sind und er für einen wettbewerbsfähigen Preis angeboten werden kann.

Technisch gesehen war neben dem elektrischen Antrieb (inkl. Steuerung) insbesondere der Einsatz von Batterien in dieser Grössenordnung neu. Erfahrungen mit solchen Projekten fehlten bisher weitgehend. Das Testen von Leistung, Lebensdauer und Ladeverhalten unter realen Bedingungen war deshalb ein wichtiger Bestandteil des Projektes.

Wirkung von Switchbus auf Wirtschaft und Gesellschaft

Dank kompetenten Partnern und einem bewährten Netzwerk von Lieferanten sollte der Switchbus preiswert und mit Schweizer Qualität hergestellt werden können. Hinter dem Switchbus steht ein professionelles Team aus Technikern, Vertriebs-, Marketing- und Tourismusexperten, die alle in ihrem Bereich erfahren und erfolgreich sind und von der Entwicklung und insbesondere der erhöhten Sichtbarkeit des Switchbus in den Medien profitieren konnten. Insbesondere ermöglichte das Projekt die Erprobung einer technischen Komponente in einem echten und neuen Anwendungsfeld und bereitet damit den zukünftigen Markteintritt der Zulieferer (Design-Werk, Brusa, Heynau, Bushandel.ch) im Projektteam vor.

Der erste Switchbus wurde für Touren zwischen Luzern und dem Biosphärenreservat Entlebuch eingesetzt, um den Bus ergiebig zu testen und zu promoten. Vom Bus profitierten indirekt so auch die Produzenten von nachhaltigen Produkten (z. B. Landwirte) im Entlebuch, die auf den Touren besucht wurden und bei denen die Fahrgäste eingekauft haben. Am meisten sollen aber die konzessionierten Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs und die Gemeinden, die Schulbusse im Betrieb haben, vom Switchbus profitieren. Dies gilt sowohl für den finanziellen als auch für den ökologischen Bereich. Zudem trägt ein Elektro-Bus, der Touristen transportiert sowie im öV und als Schulbus im Einsatz steht, zur Sensibilisierung der Öffentlichkeit für die Elektromobilität bei.

Marktpotenzial von Switchbus in Kleinserie

Die Investition in Entwicklung eines Prototyps und die Vorbereitung einer Kleinserie des Switchbus lohnt sich insbesondere aufgrund des grossen Marktpotentials, das sich in der Schweiz und darüber hinaus im Ausland erwarten lässt. In der Schweiz sind ungefähr 4000 Schulbusse im Einsatz. Darüber hinaus fahren über 300 Midi-Busse alleine für die Postauto AG. Viele dieser Busse fahren nur wenige Kilometer pro Tag und könnten problemlos auf Elektroantrieb umgestellt werden. Das Interesse bei öffentlichen Verkehrsunternehmen sowie den Gemeinden (speziell bei den Energiestädten) für elektrische Busse der Midi-Klasse ist gross, doch gibt es noch keinen einzigen Anbieter von elektrischen Midi-Bussen. Der Switchbus will diese Marktlücke füllen.

Die wichtigsten Vorteile von Switchbus sind:

- Hohe Sparpotentiale beim CO₂ im Vergleich zu konventionellem Dieselantrieb
- Bedeutend tiefere Betriebs und Lifecyclekosten als konventionelle Antriebe (s. unten)
- Wirtschaftlich lukrativer Betrieb
- Null lokale Emissionen
- Fast lärmfreier Betrieb
- Beitrag zur Erreichung des Labels Energiestadt
- Sensibilisierung der Bevölkerung (insbesondere Fahrgäste) für saubere Mobilität

4. Ziel der Arbeit

4.1. Feldtests

- 1) Pretests auf Schweizer Strassen (siehe Kapitel 9)
- 2) Bei Switchbus Tours (durchgeführt durch Dr. Julianna Priskin und technisch begleitet durch das CC IIEE):
In den Sommermonaten wird der Prototyp ca. zwei Mal wöchentlich auch für die „Switchbus Tours“ eingesetzt. Während diesen Touren werden auch die Technik und die Akzeptanz bei den Passagieren erforscht. Ziel von „Switchbus Tours“ ist es, mit dem „Switchbus“ im Biosphärenreservats Entlebuch nachhaltige Touren anzubieten. Diese Touren werden wir selbsttragend durchführen, so dass wir dafür keine Unterstützungsgelder beantragen. Unsere Partner *Biosphärenreservat Entlebuch* sowie *Luzern Tourismus* unterstützen das Projekt „Switchbus Tours“ mit Marketing, PR und touristischem Know-How, nicht aber finanziell. Die technische Performance wird überprüft und Schwachstellen hinsichtlich Serieentwicklung werden aufgenommen.
- 3) Als Schulbus (bei Taxi Hess, Littau und diversen weiteren Unternehmen)
Der Einsatz als Schulbus und bei Switchbus Tours ermöglicht neben technischen Beobachtungen auch die Überprüfung der Akzeptanz durch die Chauffeure und die Benutzer. Mit persönlichen Gesprächen und in Befragungen werden die entsprechenden Rückmeldungen eingeholt.
- 4) Im öffentlichen Verkehr (bei Postauto Schweiz, durchgeführt durch die Mobility Solutions AG)

4.2. Exposition

Die Entwicklung eines Prototyps und die umfangreichen Testfahrten sollen dazu genutzt werden, das Produkt „Switchbus“ einer breiten Öffentlichkeit bekannt zu machen und gleichzeitig die Bedürfnisse der zukünftigen Kunden besser kennen zu lernen, um daraus wichtige Schlüsse für die weitere Produktentwicklung zu ziehen.

Medienarbeit und Messen / Ausstellungen:

Das Erreichen einer starken Exposition und einer hohen Sichtbarkeit des Produktes ist ein zentrales Anliegen auf den geplanten Stufen der Entwicklung von Switchbus. Dadurch werden zukünftige Kunden und eine breite Öffentlichkeit für das Thema sensibilisiert, und eventuell können neue Partnerschaften oder Lieferantenbeziehungen entstehen. Der Bus wurde zusammen mit Luzern Tourismus und dem Biosphärenreservat Entlebuch den Medien und der Öffentlichkeit präsentiert. Eine Pressemitteilung wurde versendet und spezialisierte Medien (z. Bsp. Auto-Zeitschriften und TV-Kanäle) wurden zum Testen und Berichten eingeladen. Die Resultate wurden auch am Forum Elektromobilität im Januar 2014 im Verkehrshaus präsentiert. Der Switchbus hat an diesem Forum beim Swiss Electric Mobility Award im Januar 2013 den 2. Platz belegt und wurde im Rahmen der Preisverleihung des Swiss Mobility Award 2014 präsentiert.

Gemeinden (Schulbusse) und Transportunternehmen:

Darüber hinaus wurde der Switchbus bei Gemeinden und Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs präsentiert. Dies funktionierte durch eine direkte Kontaktaufnahme mit den zuständigen Personen, Einladungen und Vorführungen bei möglichen Anwendern wie öV (z. Bsp. VBL, Aarbus) und Schulbusbetreibern (z. Bsp. Gemeinden Köniz, Schüpfheim usw.). Den potenziellen Kunden wurden die Resultate der Testfahrten bzw. der Messungen ebenfalls zugänglich gemacht. Viele Energiestadtgemeinden wurden im Verlauf des Projektes angesprochen. Die Erfahrungen der Gemeinden wurden systematisch ausgewertet.

Bei den möglichen Kunden wird die Akzeptanz des Switchbus evaluiert, sowie ihre Bedürfnisse. Vorgesehen ist auch, dass der Switchbus von den möglichen Kunden ausgeliehen und im Alltagseinsatz getestet werden kann. Aus diesen Resultaten werden die Änderungen für das Serienmodell abgeleitet.

4.3. Lastenheft Kleinserie

Geplant war, dass aus den Planungs- und Ingenieurarbeiten, der Bauphase und der Immatrikulation des Fahrzeugs alle technischen Fragen rund um den Bau eines ersten Prototyps für den Switchbus bearbeitet und in einem Lastenheft zusammengefasst werden, um damit das Know How zu sichern und in die Kleinserienproduktion transferieren zu können. Da wir festgestellt haben, dass mit den bestehenden Komponenten und dem vorhandenen Chassis der Markt nicht bedient werden kann und somit keine Kleinserie möglich ist, wurde auf die Erstellung des Lastenhefts verzichtet.

5. Grundlagen – Randbedingungen

Bei diesem hoch komplexen Projekt wie dem Umbau eines bestehenden Dieselmotors zum Elektrobus, der marktfähig sein muss, gehörten vor allem diese drei Randbedingungen und Voraussetzungen:

5.1. Kosteneinsparungen müssen realisierbar sein

Bei einer angenommenen Fahrleistung von 500'000 km pro Bus belaufen sich die Treibstoffkosten auf CHF 110'500.- (Annahme Verbrauch 13 l/100 km, Fr. 1.70 pro Liter Diesel inkl. zukünftige Teuerung). Für die gleiche Fahrleistung müsste für Naturstrom Fr. 23100.- ausgegeben werden (Naturstrom aus erneuerbarer Energie, Durchschnittstarif 14 Rp./kWh). Somit spart in diesem Beispiel ein Elektrobus während der gesamten Lebensdauer Fr. 87'400.- an Energiekosten ein. Hinzu kommen noch weitere Einsparungen, da bei Elektrofahrzeugen dank der Rekuperation kaum Bremsen gewechselt werden müssen, und auch der Ölwechsel, Zahnriemensersatz sowie der Verschleiss der Kupplung fallen weg. Zusätzliche Aufwendungen sind hingegen möglich, falls einzelne Batteriezellen ausfallen. Diese Preiskalkulation rechtfertigt den höheren Anschaffungspreis eines Elektrobusses. Ein Elektrobus muss also in Serie für maximal Fr. 60'000 - 80'000.- Mehrkosten herstellbar sein, je nach Batteriepaket. So wäre für einen Busbetreiber der Betrieb eines elektrischen Midi-Busses – im Vergleich zu einem mit Benzin betriebenen Bus – wirtschaftlich lukrativ. Es herrscht also ein gewisser Preisdruck bei der Auswahl der Komponenten, und es muss eine Möglichkeit gefunden werden, wie mit minimalem Stundenaufwand ein Umbau möglich ist.

5.2. Zulassungskriterien/Strassenverkehrsgesetz

Um eine Zulassung für den Strassenverkehr zu erhalten, darf am Fahrzeug nur möglichst wenig verändert werden. Somit durften Änderungen nur am Antrieb vorgenommen werden, damit nur der Antrieb erneut getestet werden musste. Änderungen am Chassis wären zwar an einigen Stellen auch von Vorteil gewesen, doch hätte dies weitere, sehr teure Nachprüfungen nach sich gezogen. Auch war zu bedenken, dass mit einer schweren Batterie die Achslasten nicht überschritten werden durften. Die Herausforderung bestand darin abzuschätzen, wie viel Gewicht aus dem Bus ausgebaut werden und wie viel mit dem neuen E-Antrieb wieder eingebaut werden durfte. Zuverlässige Angaben zu einzelnen Gewichten der Antriebskomponenten des Dieselfahrzeugs lagen keine vor. Schliesslich musste das Fahrzeug nach dem Umbau gleich gut funktionieren wie vorher. Das bedeutete, dass auch z.B. das ABS-Bremssystem einwandfrei funktionieren muss, was komplizierte Eingriffe in die Fahrzeugelektronik und -software nach sich zog.

5.3. Fahrleistungen/Alltagstauglichkeit

Eine weitere Bedingung war, dass das Fahrzeug gegenüber dem Dieselfahrzeug keinerlei Nachteile in Sachen Fahrleistungen haben durfte und für einen Einsatz als öV-, Schul- oder Tourbus genügend Reichweite haben musste. Dank einem kräftigen BRUSA-Motor kam der Switchbus dann aber zu besseren Fahrleistungen als in der Dieselsonversion (rund 20 % mehr Leistung), und die Reichweite musste zwingend bei mindestens 300 km liegen. Somit wurden für den Testbetrieb umfangreiche Messungen aufgelegt.

6. Vorgehen / Methode

6.1. Bereitstellung Fahrzeug

Basisfahrzeug

Als Basisfahrzeug wurde ein IVECO Daily ausgesucht, der ab Werk mit 1+16 Sitzplätzen und einem Dieselmotor ausgerüstet ist. Diese Fahrzeugkategorie kann noch mit dem Führerschein D1 gefahren werden und braucht somit keinen Bus-Führerschein. Der IVECO Daily ist ein technisch solides und in der Schweiz stark verbreitetes Modell. Er eignet sich bestens für den Umbau zum Elektrobus, da es im Unterboden viel Platz hat für den Einbau von Batterien und sogar eines Motors. Das Fahrzeug kann auch als Schulbus mit bis zu 2 Erwachsenen- und 19 Kinder-Sitzplätzen umgerüstet werden und ist in vielen Gemeinden beliebt, beispielsweise um Schulklassen in den Schwimmunterricht zu fahren. Auch viele Transportunternehmen des öffentlichen Verkehrs setzen auf diese Fahrzeugkategorie.

Umbau

Für den Umbau wurden der Motor, das Getriebe sowie die Kardanwelle ausgebaut, um im Unterboden genug Platz für die Batterien zu schaffen und um unnötiges Gewicht zu entfernen. Das Getriebe wurde auf den Motor geflanscht, und danach wird die Antriebseinheit unter dem Fahrzeugboden direkt am Chassis befestigt. Eine Kardanwelle leitet die Kraft auf das Differentialgetriebe. Es bleibt genug Platz unter dem Fahrzeugboden für die Batterien, und gleichzeitig bleibt der Motorraum leer für zusätzlichen Kofferraum.

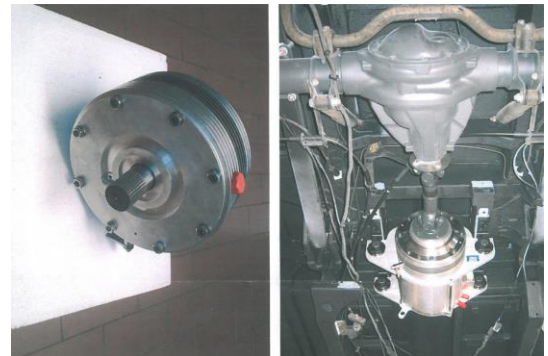


Motor

Der Motor wurde von der Firma BRUSA in Sennwald SG hergestellt. BRUSA gehört zu den weltweit führenden Herstellern von Elektromotoren und Motorensteuerungen, und das BRUSA Team war sehr hilfsbereit und unterstützte mit Rat und Tat. Beim Motor handelt es sich um einen in Serie hergestellten Synchronmotor, der mit seinem leichten Gewicht von nur 51 kg und einem Wirkungsgrad von 95 % eines der ausgereiftesten Produkte auf dem Markt darstellt. Die maximale Leistung liegt bei 150 kW, was gut 20 % über der Leistung des ursprünglichen Dieselmotors liegt. Der Bus fährt genauso schnell wie die Diesel-Variante. Die Fahrzeugzulassung ist auf eine Höchstgeschwindigkeit von 100 km/h begrenzt. Dank seiner hohen Umdrehungszahl (12'000 U/Min) braucht es kein Getriebe, um auch an steilen Stellen anfahren zu können. Die Motorensteuerung wurde ebenfalls von BRUSA Elektronik AG geliefert.

Getriebe

Um das richtige Anfahrvermögen zu erhalten, sowie um die Höchstgeschwindigkeit erreichen zu können, braucht das Getriebe eine Übersetzung von 1:4,4. So kann auf ein Schaltgetriebe verzichtet werden. Berechnungen haben ergeben, dass der Bus mit dieser Übersetzung bei voller Beladung (5.6 t) selbst bei einer Steigung von 22 % anfahren kann, was z. B. für den Einsatz als Postauto oder als Schulbus entscheidend ist (laut StVG sind „nur“ 12 % Anfahrvermögen vorgeschrieben). Ein dafür geeignetes Planetengetriebe bietet einzig die bayrische Firma Heynau an, die 2012 auch einen elektrischen Versuchsbus der Technischen Hochschule Aachen mit diesem Getriebe ausgestattet hat. Da auch jener Versuchsbus den gleichen BRUSA-Motor verwendete, ist das Getriebe auf die notwendigen 12'000 U/Min ausgelegt, und eine Parksperre ist vorhanden. Die Pläne und Formen für den Nachbau dieses Getriebes sind noch vorhanden, das Getriebe ist getestet und die Lieferzeit ist entsprechend kurz.



Batterie

Die Batterien stammten aus China und wurden von der Firma Lithium-Storage GmbH in Fehrlortorf organisiert. Diese Batterien der Firma Calb wurden von Lithium-Storage unter Extrembedingungen in elektrischen Go-Karts getestet (schnelles Auf- und Entladen, hohe Zyklenzahl) und haben sich dort – sowie in vielen anderen Elektroauto-Umbauten und bei den E-Motorrädern der Schweizerischen Post – sehr bewährt. Von 2000 Zyklen kann ausgegangen werden, was theoretisch einer Fahrstrecke von 400'000 – 600'000 km entspricht, also der Lebensdauer des Fahrzeugs. Diese Lithium-Eisen-Phosphat-Batterien sind nicht feuergefährdet und können auch nicht explodieren. Sie werden in einem isolierten Batteriekasten untergebracht, wo sie vor Regen, Schmutz und auch extremen Temperaturen geschützt sind. Im Winter ist zu beachten, dass die Batterien nach der Entladung noch warm sind und dann sogleich geladen werden müssen. Das Laden von abgekühlten Batterien (unter 0°) ist zu vermeiden. Diese spezielle Sorgfalt sollte im Einsatz als Postauto oder als Schulbus möglich sein, ansonsten könnte auch eine Batterieheizung eingebaut werden. Die im Projekt beigezogene Hochschule Luzern Technik und Architektur (CC IIEE) brachte Erfahrungen aus verschiedenen Projekten genau mit dieser Zelle mit.

Batterieladegerät

Mit dem Batterieladegerät der Firma BRUSA kann die Batterie an praktisch jeder Stromquelle geladen werden. Am normalen Hausanschluss dauert der Ladevorgang ca. 33 Stunden, und an einer 32 Ampère-Drehstromsteckdose dauert das Laden noch genau 4,2 Stunden. Für den üblichen Ladevorgang über Nacht reicht eine Drehstromsteckdose mit 16 A, und die Ladezeit beträgt dann 10 Stunden.

Bordinstrumente / Visualisierung

Damit der Bus eine breite Akzeptanz erfährt, braucht es im Cockpit eine ansprechende Visualisierung der Fahrzeugdaten. Ein kleiner Digital-Bildschirm wurde eingebaut, der folgende Angaben zeigt:

- Geschwindigkeit
- Motorleistung und -temperatur
- Batteriestand und -temperatur
- Getriebetemperatur
- Temperatur des Ladegeräts und des Steuergeräts
- Batteriespannung jeder einzelnen Zelle sowie Spannungsdifferenz zwischen der Zelle mit der höchsten und derjenigen mit der tiefsten Spannung

In einer späteren Phase wäre es möglich, ergänzend ein Tablet einzubauen, das alle Zahlen zeitgleich und grafisch ansprechend anzeigt.

6.2. Bereitstellung Messsystem

Das Mess-System der Hochschule Luzern erstellte eine redundante Vergleichsmessung mit dem entsprechenden Zusatzequipment, welche mit den CAN-Bus Daten verglichen wurde. Die realisierte Fernabfrage erlaubte es der Hochschule Luzern nicht nur die Testfahrten zu erfassen, sondern auch längere statistische Auswertungen vorzunehmen. Diese Erkenntnisse können anschliessend bei der Serienspezifikation mit einbezogen werden.

Das von der HSLU eingebaute Mess-System erfasst die Ströme und Spannungen des Energiespeichers, des Antriebsstrangs so wie die Hilfsbetriebe (Hydraulikpumpe, Servobremse, ABS etc.). Ebenfalls werden die systeminternen CAN-Daten eingelesen. Das Mess-System verarbeitet und speichert die Daten mit einer Beckhoff-SPS. Mittels UMTS/GSM-Router kann jederzeit einen Echtzeit-Zugriff auf die laufenden und gespeicherten Messungen realisiert werden. Damit die gefahrenen Strecken und deren Topologien ebenfalls in die Messungen mit einbezogen werden können, werden diese mittels GPS-Tracker aufgezeichnet. Damit alle Mess-Systeme mit der gleichen Systemzeit betrieben werden, wird die Zeit mit Hilfe eines NTP-Servers synchronisiert. Dies ist für eine anschliessende Auswertung und eine qualitativ aussagekräftige Interpretation der Messresultate ausserordentlich wichtig.

Für die Erfassung der einzelnen Ströme und Spannungen werden Präzisions-Messwandler der Firma LEM mit einer Messtoleranz von 1 % verwendet. Die Datenerfassung erfolgt in einem Zeitintervall von 100 Millisekunden. Die in der SPS integrierte Micro-SD-Speicherkarte mit 4 GB Speicher erlaubt die Datenerfassung von 40 Tagen (pro Stunde werden 4 MB Datenspeicher benötigt).

6.3. IBN Messsystem

Nachdem die einzelnen Komponenten evaluiert und bestellt wurden, wurde das Mess-System aufgebaut. Nach der Inbetriebnahme und den ersten Tests wurde das Mess-System im Switchbus mit den entsprechenden Messwandlern eingebaut und verkabelt. Anschliessend wurden die ersten „Live“-Tests mit dem System durchgeführt und das System kalibriert. Anhand der ebenfalls aufgezeichneten CAN-Daten konnte die qualitative Richtigkeit der erhobenen Messdaten verifiziert und verglichen werden.

6.4. Evaluation Messfahrten

Allgemein

Gemäss Artikel 5.2 im Subventionsvertrag vom 13. November 2013 musste eine Dokumentation über die wissenschaftlichen Aspekte des Projektes erstellt werden. Das Konzept des Mess-Systems wurde ab Ende Juni 2014 bis Ende Juli 2014 erstellt. Im Konzept wurden die folgenden Themen berücksichtigt:

- Mögliche Einsätze (E-Auto, Trolleybus und E-Bike)
- Datensynchronisation zwischen verschiedene Systeme (NTP-Server)
- Datenerfassung (Zeitauflösung, Anzahl von Kanälen, Mögliche Eingänge,...)
- Datenspeicher (Menge von Daten, Zurücklesen von Daten, Typ von Speicher)
- Einspeisung von Mess-System (Redundanz, Pufferbatterie, USV,...)
- Messwandler (Strom, Spannung, Temperatur, CAN-Daten,...)
- Zurücklesen von Daten im Fahrzeug ab Arbeitsplatz (Wi-Fi, GSM,...)

Danach wurde das Mess-System hergestellt (ab Ende Juli bis Ende August 2014) und in Betrieb genommen (Erste Fahrt am 26. August 2014). Um diese Ziele zu erreichen, wurden folgende Tätigkeiten ausgeführt:

- Entscheid Konzepte und Konzept umsetzen
- Schema zeichnen und überprüfen
- Steuerkasten herstellen und prüfen
- Software entwickeln und prüfen
- Messkreise eichen und Steuerkasten im Fahrzeug einbauen
- Mess-System in Betrieb zu nehmen und erste Daten überprüfen

Detailliertere Angaben s. Anhänge 6.1 und 6.2.

Erfassete Daten

Daten ab GPS:

Ab dem GPS Data-Logger kommen die Daten im NMEA-Format. Diese Daten können als CSV-Daten exportiert werden, was eine Weiterbearbeitung mit Excel erlaubt. Folgende Daten werden erhoben: Datum und Zeit UTC, Lokale Datum und Zeit, Zeit in ms, Breitengrad, Längengrad, Höhe, Geschwindigkeit, Abstand zwischen 2 Punkten. Die zeitliche Auflösung beträgt eine Sekunde.

Daten ab SPS:

Siehe auch Anhang 6.3

Um die elektrischen Daten zu speichern wurde ein SPS der Firma Beckhoff benutzt. Mit Stromwandler und Spannungswandler können die verschiedenen Grössen erfasst und gespeichert werden.

- Traktionsbatterie: Spannung und Strom
- Umrichter: Strom
- Gleichrichter: Strom
- Hilfsbetriebe: Spannung und Strom

Basierend auf diesen Daten wurden weitere Grössen berechnet.

- Traktionsbatterie: Leistung, Energie und Kapazität
- Umrichter: Leistung und Energie
- Gleichrichter: Leistung und Energie
- Hilfsbetriebe: Leistung und Energie

Zusätzlich können auch die Messungen geprüft werden; so gilt zum Beispiel:

- Die Stromsumme muss null sein (Gesetz von Kirchhoff)
- Die Leistungssumme muss auch null sein (Energieerhaltung)

Im Anhang 3 finden sich die entsprechenden Daten.

Die zeitliche Auflösung beträgt hundert Millisekunden.

7. Ergebnisse / Erkenntnisse

7.1. Erfahrungen aus dem Umbau, Schwachstellen

Der Roll-Out des Fahrzeugs fand im November 2013 statt. Seither hat der Bus mehr als 25'000 km und mehr als 200'000 Höhenmeter absolviert. Bei den Testfahrten wurden vier Schwachstellen eruiert:

1. Getriebedichtung

Beim Ausgang zur Kardanwelle lief wiederholt Öl aus; einmal lief sogar sämtliches Öl aus dem Getriebe. Die Ursache lag an einem Herstellungsfehler auf Seite der Firma Heynau. Auf ihren Ratschlag hin wurde die Dichtung mit Fensterkitt zusätzlich verstärkt, und seither ist das Problem behoben.

2. Getriebetemperatur

Seit dem ersten Betriebstag stellt der Bus automatisch ab, sobald die Temperatur des Getriebes zu hoch ist. Anfänglich war ein normales Fahren mit über 50 km/h gar nicht möglich, da die Software so eingestellt war, dass ab einer Temperatur von 65 C° alles abstellt. Dieser Wert wurde nach Rücksprache mit dem Hersteller relativ schnell auf 100 C° korrigiert. Im Winter kann nun konstant mit ca. 90 km/h gefahren werden, im Sommer aber nur mit 60 - 70 km/h. Daraufhin wurden stärkere Öl-Pumpen und ein Gebläse auf dem Kühler installiert sowie ein neues Getriebe bestellt. Die erwünschten Verbesserungen konnten damit jedoch nicht erreicht werden. Nach Rücksprache mit dem Hersteller wurde schliesslich eine Lösung gefunden: Es mussten andere Pumpen eingebaut werden (eine die presst und eine die saugt).

3. Zellausfall der Batterie

Von Anfang an haben wir gemerkt, dass zwei Zellen „Montagszellen“ waren, also nicht funktionierten. Dies führte dazu, dass der Bus – sobald die Batterie-Anzeige 51 % anzeigte, stehen blieb, weil die Zellen in Serie geschaltet sind und somit die ganze Batterie keinen Strom mehr liefert. Testfahrten mit dem Design-Werk haben gezeigt, welche zwei Zellen betroffen waren, und das Design-Werk hat diese zwei Zellen ausgetauscht. Dabei hat sich gezeigt, dass eine solche Reparatur sehr aufwändig ist – es dauerte eine Woche und kostete gut CHF 5000.-. Wären die zwei Zellen in der oberen Reihe auszutauschen gewesen, wäre es an einem Tag machbar gewesen. Als Konsequenz werden für die Serienproduktion die Zellen auf verschiedene Blöcke verteilt, so dass nicht jeweils der ganze Batterieblock auseinander genommen werden muss.

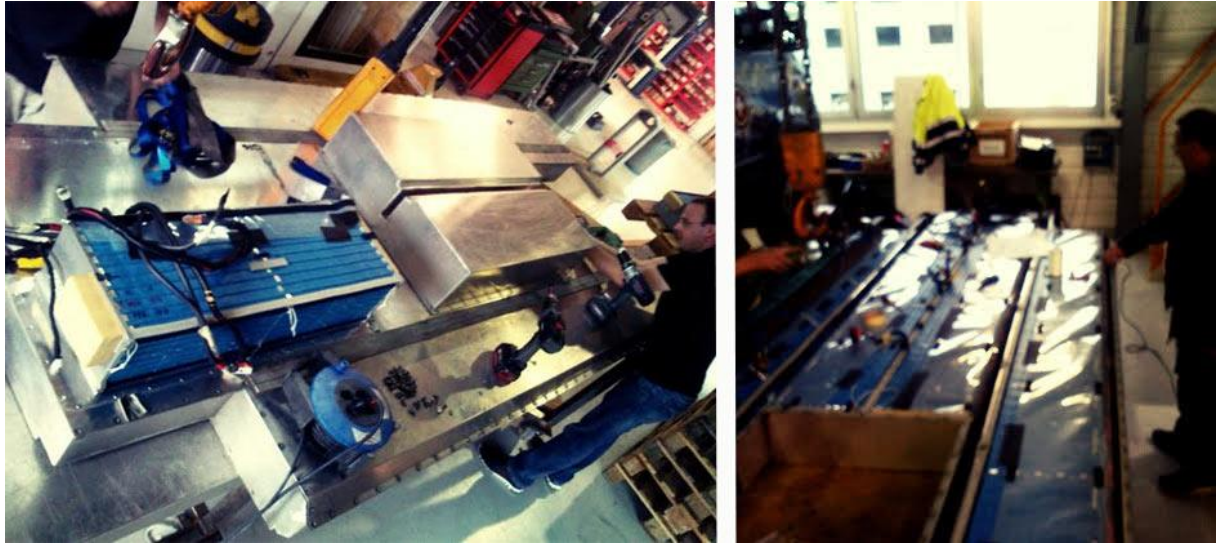
Auf den weiteren Testfahrten wurde darauf verzichtet, die Batterie ganz leer zu fahren. Dies sollte nur kontrolliert geschehen, wenn ein Mitarbeiter vom Design-Werk mit Laptop und Überwachung jeder einzelnen Zelle dabei ist und die Strassenzulassung bereits vorliegt.

Auf der WAVE im Juni 2014 wurde dann festgestellt, dass weitere Zellen nicht gut funktionieren, denn der Bus blieb einmal bei einem Ladestand von 17 % stehen, und die niedrigste Zelle war bereits komplett leer. Dies könnte laut Design-Werk am noch nicht fertig erfolgten Balancing der Batterien liegen. Eine Woche später (am 2. Juni) blieb der Bus allerdings schon bei einem Stand von 39 % stehen.

Daraufhin entschied das Projektteam, die Zellen erst dann auszutauschen, wenn die Hochschule Luzern das Mess-System eingebaut hatte und die erste Reichweiten-Testfahrt unternommen werden konnte (vgl. Kapitel 2). Auf der ersten Reichweiten-Testfahrt Ende August 2014 blieb der Bus nach 270 km stehen, obwohl die Messinstrumente anzeigten, dass erst 72 kWh (von insgesamt 99) verbraucht waren. 6 schwache Zellen wurden identifiziert. Der Austausch dieser Zellen konnte beim Design-Werk erst Ende September 2014 stattfinden, da der Bus im September bei Baumeler und für die Testfahrt der Grand Tour of Switzerland fix gebucht war. Beim Design-Werk wurden diese einzelnen Zellen nochmals auf dem Prüfstand getestet, und die Resultate ergaben, dass nur 2 der 6 Zellen ausgetauscht werden mussten. Dieser Ausbau, Test und Einbau von zwei neuen Zellen kostete erneut über CHF 8000.- und zeigte nochmals deutlich, dass – in einer späteren Serienproduktion – die Batterien

auf kleinere, einfach auszubauende Einheiten verteilt werden müssen.

Der definitive Reichweiten-Test hat nun ergeben, dass der Bus mit funktionierenden Zellen bis zu 320 km weit fahren kann. Das Problem ist also gelöst, nun sind alle Zellen voll funktionstüchtig.



Das offene Batteriepaket während der Reparatur im Design-Werk

4. Achslast auf Vorderachse

Bei der Abnahme durch das Strassenverkehrsamt Luzern zeigte sich, dass die Vorderachse bei Vollast mit 2100 kg statt den erlaubten 1900 kg belastet wird. Das zulässige Gesamtgewicht kommt wie berechnet auf genau 5600 kg, wenn 17 Passagiere und 50 kg Gepäck transportiert werden. Dass zu viel Gewicht auf der Vorderachse liegt, kommt daher, dass die Gewichtsverteilung der Batterie und der ganzen Elektronik falsch berechnet worden war bzw. keine zuverlässigen Angaben zu den Gewichten des Diesel-Motors sowie des Getriebes vorlagen und die entsprechenden Gewichte geschätzt werden mussten.

Die Suche nach einem Gutachten erwies sich dann als schwierig. Das DTC in Vauffelin veranschlagte dafür zuerst CHF 20'000.-. Eine andere Firma in der Ostschweiz verlangte 14'000.-. Beide Firmen wollten den Bus auch mehrere Wochen bei sich haben, um die Vermessungen zu machen, was aus Sicht des Projektteams vermieden werden musste. In der Folge wurden auf der Suche nach einer aufgelasteten Vorderachse für diesen Typ IVECO fast alle Busgaragen der Schweiz kontaktiert. Schliesslich landete das Projektteam bei der Firma Goldschmitt in Langenthal, die solche Auflastungen mit zusätzlicher Luftfederung durchführt. Diese konnte die Arbeiten für CHF 6000.- ausführen (zusammen mit der immer noch notwendigen Arbeit des DTC lagen die Gesamtkosten damit bei 11'000.-). Allerdings wurde keine zusätzliche Luftfederung sondern nur das Gutachten benötigt, und so besuchten das Projektteam die Firma Goldschmitt und präsentierte den Bus, so dass der Besitzer einwilligte dem Projekt Switchbus nur das Gutachten zu überlassen, ohne die Luftfederung einzubauen. Danach ging es sehr schnell, das DTC hatte die Erlaubnis dieses Gutachten von Goldschmitt zu gebrauchen und das Strassenverkehrsamt Luzern gab innerhalb eines Tages das grüne Licht bzw. die Zulassung.

7.2. Erfahrungen aus der Testphase / Alltagsbetrieb

Der Bus hat (Stand 25. Nov. 2015) seit dem Umbau 25043 km zurückgelegt. Mehr als 350 Passagiere wurden transportiert und 94 wurden schriftlich befragt. Der Tourismus-Einsatz im Sommer 2014 wurde erfolgreich abgeschlossen, während der Tourismus-Einsatz im Sommer 2015 zum grossen Teil ausgefallen ist; dies wegen einem Ausfall des DC-DC-Converters am 10. Juni 2015. Während dem Einsatz seit der Strassenverkehrszulassung sind zwei Pannen aufgetreten.

a) Ausfall des DC-DC-Converters

Am 10. Juni 2015 wollten wir mit dem Bus losfahren, da gab's einen lauten Knall und nichts ging mehr. Das Design-Werk war schnell zur Stelle um herauszufinden, dass der DC-DC-Converter ausgefallen war, mitsamt dem Steuergerät. Es dauerte gut zwei Monate, bis der genaue Fehler eruiert und das Gerät (während den Betriebsferien von BRUSA) wieder geflickt werden konnte. Ein Kondensator im DC-DC-Wandler war kaputt, und die Überspannung war auch auf das Steuergerät übergetreten. Für den Hersteller BRUSA war es ein Rätsel, wie sowas passieren konnte. Eine Überprüfung des Stromnetzes durch die EWL ergab, dass vom Stromnetz her durchs Ladekabel keine Überspannung erfolgt war, (z.B. aufgrund eines Blitzschlags, was zu einem Defekt im Ladegerät geführt hätte). Somit kam nur ein ungewöhnlicher technischer Defekt in Frage.

b) Fehlercode 4 – Fehlermeldung aus dem Batteriemanagementsystem

Samstag 6. September 2014

An diesem Tag stand der Bus um 14 Uhr in Zürich vor dem Rotlicht und fuhr nicht mehr los, der Batterieanzeiger fiel auf 0, die blaue Kontrolllampe leuchtete, und auf dem Display erschien „Fehlercode 4“. Trotz mehrmaligem Ein- und Ausschalten passierte nichts. 10 Minuten später fuhr der Bus schliesslich nach einem erneuten Versuch wieder. Der Batteriestand (SOC) zeigte 50 % statt wie bisher 70 %. Problemlose Fahrt 30 km weiter bis Freienstein ZH, dort wird die Batterie von 35 % auf 63 % geladen und problemlose Fahrt am Abend nach Hause (Luzern, Ankunft mit 24 %). Laden über Nacht.

Sonntag 7. September

Am Sonntagmorgen, in Luzern, zeigt der Batteriestand genau 50 % und im Display steht erneut „Fehlercode 4“. Nichts geht, es reagiert nicht. 10 Minuten später erneuter Start-Versuch, da springt er wieder an, und SOC steigt langsam wieder auf 100 %. Lade wieder, er lädt mit 4 kW weiter (obwohl laut SOC die Batterie zu 100 % voll ist). In Weggis werden 12 % geladen und SOC steigt erneut bis auf 100 %, danach problemlose Fahrt bis Zürich. Gegen 15 Uhr, während der Fahrt schaltet, die Batterie bei ca. 50 % SOC plötzlich ab. Erst 5 Minuten später kann der Bus wieder gestartet werden, fahre problemlos 5 km weiter bis Ladepunkt, lade dort bis 88 %, fahre danach noch problemlos 90 km bis Steckborn. In den nächsten 7 Tagen fährt der Bus problemlos gut 1400 km weit, der Fehlercode erscheint nicht mehr.

Sonntag, 14. September 13:20 h, Luzern

Während einem Stillstand von 2 Minuten, Bus eingeschaltet, zeigt Display erneut „Fehlercode 4“ und fährt nicht los. Nach ca. einer Minute nach mehrmaligem aus- und einschalten geht er wieder.

Evaluation/Fehlersuche: Jedes Mal, wenn der Fehlercode auftauchte, verschwand der Fehler spätestens nach 10 Minuten wieder von alleine. Design-Werk meinte, dass es wohl ein Wackelkontakt in der Batterie sei, der Fehler käme vom BMS.

29. Sept. – 3. Oktober Design-Werk nimmt die Batterie auseinander und jede einzelne Verkabelung wird geprüft, ohne etwas zu finden. Am 4. Oktober führt Firma Bushandel einen Gruppenausflug ins Entlebuch durch und der Bus scheint mit den neuen Zellen einwandfrei zu funktionieren.

Mittwoch, 7. September 23:50 h, Dagmersellen

Um Mitternacht sollte der Bus nach Luzern gebracht werden, doch wieder erscheint „Fehlercode 4“. Trotz mehrmaligem Ein- und Ausschalten springt er nicht an, auch am nächsten Morgen nicht.

Freitag, 9. September 09:00 h, Dagmersellen

Firma Design-Werk sendet den Mechaniker nach Dagmersellen, doch der Bus läuft von alleine wieder! Die Software gibt an, dass es sich um ein „Open Wiring“ handelt, also einen Stromunterbruch zu einer bestimmten Zelle (Nr. 56). Hiermit scheint der Fehler gefunden zu sein.

- a) **Fehlerbehebung:** Statt die Batteriekiste zu öffnen (was einen grossen Aufwand bedeuten würde), entscheiden wir uns, die BSM-Software zu ändern. Sollte wieder ein „Open Wiring“-Problem auftauchen, kann mit einem Notfall-Programm weitergefahren werden. Dazu muss der blaue Knopf 5 Sekunden gedrückt werden und danach kurz zwei Mal hintereinander nochmals. Die Batterie darf dann aber nicht unter 10 % entladen werden, und im Notfall-Modus kann die Batterie nicht geladen werden. Aber immerhin kann der Bus dann weiterfahren.

Seitdem die Software angepasst wurde, ist das Problem 5 mal wieder aufgetaucht. Jedes Mal konnte im Notfall-Modus weitergefahren werden und das Problem verschwand innerhalb weniger Stunden dann wieder von allein.

Trotz diesen zwei Pannen wurden die Erwartungen an die Alltagstauglichkeit des Busses erfüllt. Der Bus war zum Beispiel 9 Mal mit Gruppen unterwegs über die Bergpässe Furka und Grimsel sowie über 20 Mal im Entlebuch. Zudem wurde mit dem Bus zwei Mal mit internationalen Touristen die Grand Tour of Switzerland abgefahren, eine gut 1600 km lange Route rund um die Schweiz in 7 Tagen, mit über 15050 Höhenmetern. Ausserdem legte der Bus auch gut 2000 km auf der WAVE 2014 von Stuttgart via Sion nach Luzern zurück. Dabei traten keine grösseren Pannen auf ausser den genannten. Die technischen Schwachstellen wurden eruiert und behoben, so dass die „Kinderkrankheiten“ nun fast gänzlich eliminiert sind. Auch hat die Schweiz mittlerweile ein relativ dichtes Netz von Stromtankstellen (vor allem bei Autohändlern), so dass ein Einsatz im Tourismus mit kurzen Stopps an Ladesäulen in der Nähe der Sehenswürdigkeiten heute keine Utopie mehr ist.



Abbildung 2: Switchbus im August 2014 auf dem Furkapass

7.3. Nachweis der Reichweite

Eine erste Testfahrt zur Ermittlung der Reichweite hat am 23. August 2014 stattgefunden. Nach 270 km war die Fahrt zu Ende. Zu diesem Zeitpunkt war bekannt, dass gewisse Zellen schwach waren und die gewünschte Reichweite von 300 Kilometern nicht erreicht werden konnte. Die Messgeräte gaben am Ende der Testfahrt an, dass nur 81 (von den total 99 kWh) verbraucht waren. Am Laptop konnte auch klar herausgelesen werden, dass vor allem 2 Zellen schwach waren und weitere 4 Zellen Verhaltensauffälligkeiten aufwiesen. Diese 6 Zellen wurden Ende September 2014 im Design-Werk ausgebaut und getestet, und zwei davon wurden ersetzt. Am Samstag 18. Oktober konnte der Reichweitentest unter realen Bedingungen dann durchgeführt werden, und es wurden genau 320.1 km erreicht. Der Bus fuhr mit halber Nutzlast, d.h. mit Fahrer Louis Palmer und Beifahrer Olivier Duvanel von der HSLU (total 175 kg). Als Ballast dienten 19 Sandsäcke zu je 25kg (= 475 kg). Zeitweise war auch Prof. Vinzenz Härri mit dabei. Diese Testfahrt bewies auch, dass der Bus selbst nach mehr als einem Jahr genug Reichweite hat und – trotz bereits über 10'000 gefahrenen Kilometern – keine signifikante Abnahme der Reichweite feststellbar war.

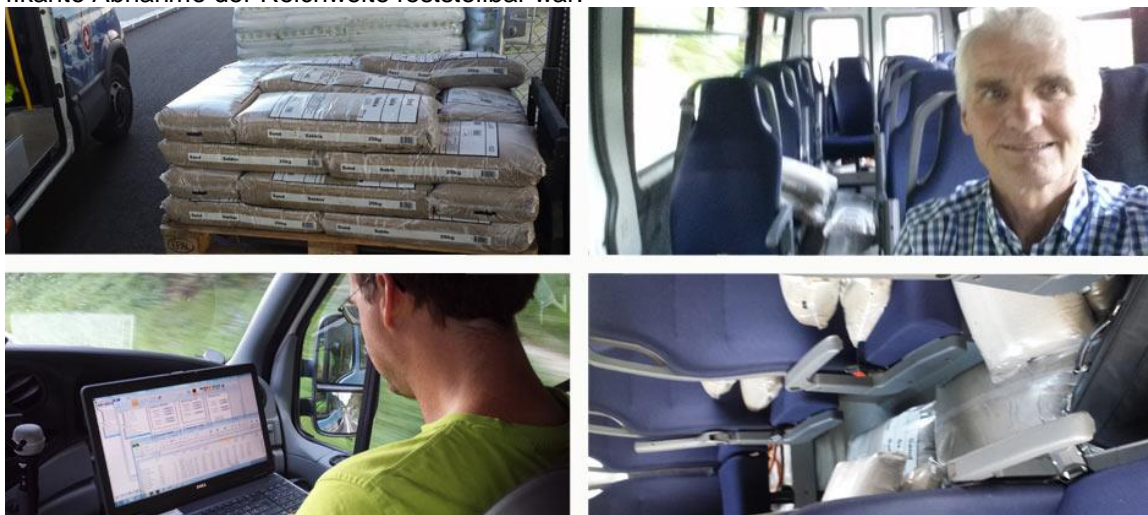


Abbildung 3: Nachweis der Reichweite 23.8.2014

7.4. Detailergebnisse aus der zusätzlichen Messfahrt zur Erfassung des Rekuperationspotential

Um das Potenzial der Energieeffizienz aufgrund der Rekuperation für den Switchbus nachzuweisen, wurde am Nachmittag des 17. November 2015 eine zusätzliche Messfahrt durchgeführt, die auf den nachfolgenden Seiten dokumentiert ist.

Horw (HSLU) - Hergiswil (Kreisel bei Autobahnausfahrt) - Hotel Brunni (Luftseilbahn Alp Geschwänd) - (Kreisel bei Autobahnausfahrt) – Horw – Luzern (Allmend) – Horw (Dorf) – Horw (HSLU).

Die gesamte Fahrt hatte die folgenden Eigenschaften:

Gewicht vom Fahrzeug 4600 [kg] (Bus leer mit Fahrer + Begleiter)
Weg: 17.7 [km]
Zeit: 00h42' mit Fahrpause

Gemäss den Messungen in den folgenden verbrauchte man:

Energie (Traktion) 6.6 [kWh]
Energie (Hilfsbetriebe) 0.61 [kWh]
Das entspricht: 37.3 [kWh/ 100 km] für die Traktion (ca: 92.0% von Energie)
3.4 [kWh/ 100 km] für die Hilfsbetriebe (ca: 8.0% von Energie)
Spezifischer Fahrwert: 89Wh/t*km, guter bis sehr guter Wert (N.B. Traktion & Auxiliaries)

Für diese anspruchsvolle Fahrt lässt sich die maximale theoretische Reichweite mit vollgeladener Batterien (99kWh) mit 243km angeben.

Bei der Messfahrt ist vor allem der Teil Hergiswil- Alp Geschwänd- Hergiswil von Interesse:

Aufstieg

Ort	Zeit	Höhe	Zähler Energie Umrichter ¹
[-]	[HH.MM.SS]	[m.ü.M.]	[kWh]
Kreisel Hergiswil	15:26:44	443	-1.257
Hotel Brunni	15:37:27	829	-7.502

Abstieg

Ort	Zeit	Höhe	Zähler Energie Umrichter ¹
[-]	[HH.MM.SS]	[m.ü.M.]	[kWh]
Hotel Brunni	15:39:29	829	-7.504
Kreisel Hergiswil	15:51:30	443	-4.642

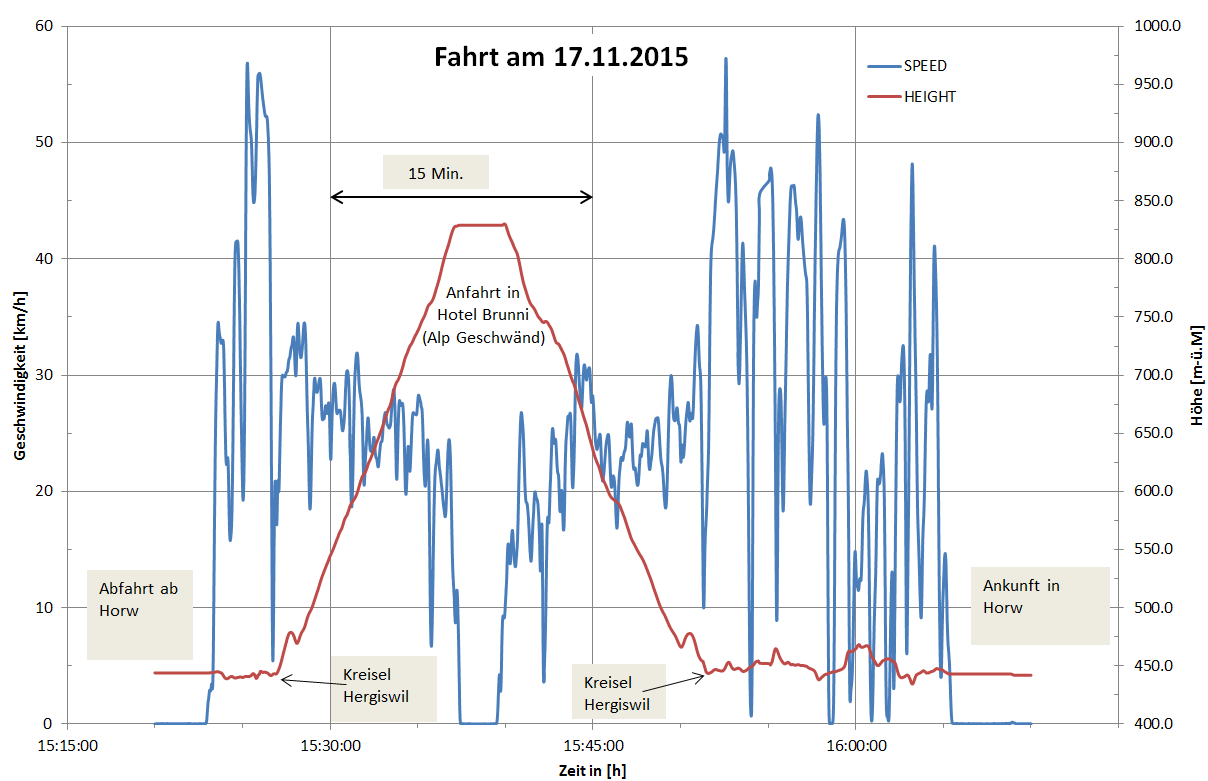
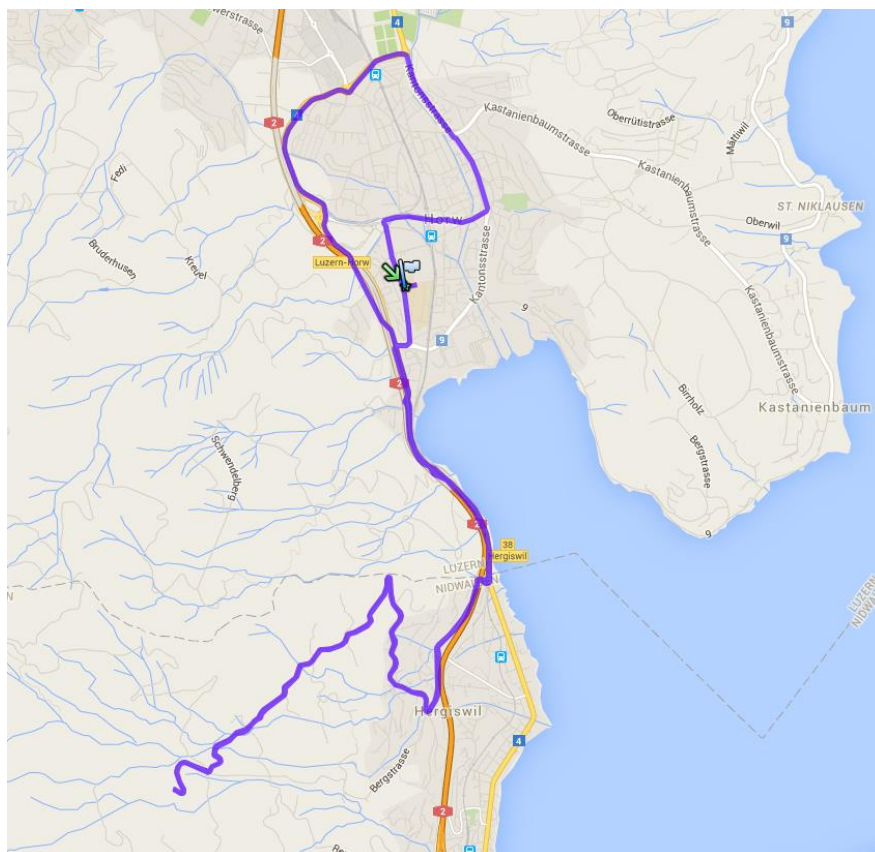
¹:Bei diesem Zähler ist die Energie am Motorumrichter für motorischen (nicht generatorischen) Betrieb negativ

Energie und Wirkungsgrad

Fall	Potentialenergie	Energie vor / nach Umrichter
[-]	[kWh]	[kWh]
Aufstieg	4.83	6.25
Abstieg	-4.83	-2.86

Ab dieser Tabelle lässt sich die Effizienz der Rekuperation bestimmen. Als Effizienz der Rekuperation definieren wir den absoluten Wert von (Energie gewonnen während Abstieg / Energie verbraucht während Aufstieg). Dieser Wert liegt bei dieser Fahrt bei: **45.8 %!**

Das heisst, fast die Hälfte der Potentialenergie kann zurückgewonnen werden.



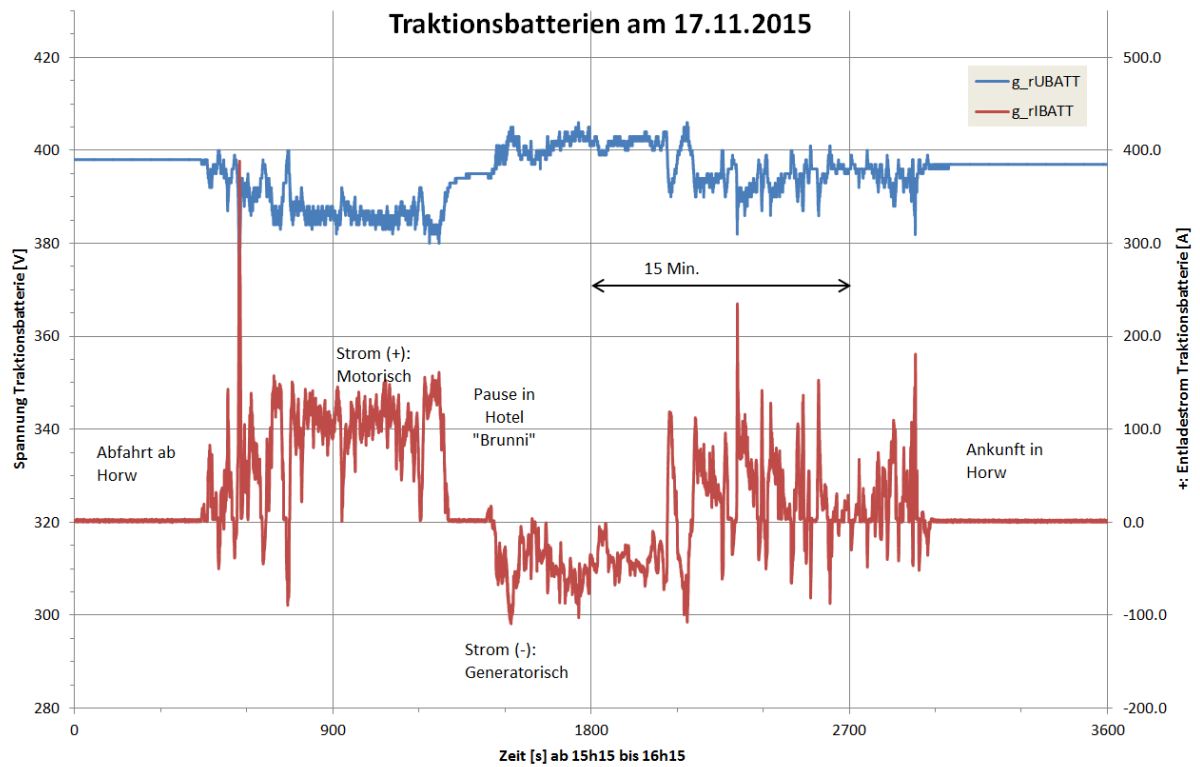


Abbildung: 13.1.2. Messungen an der Traktionsbatterie

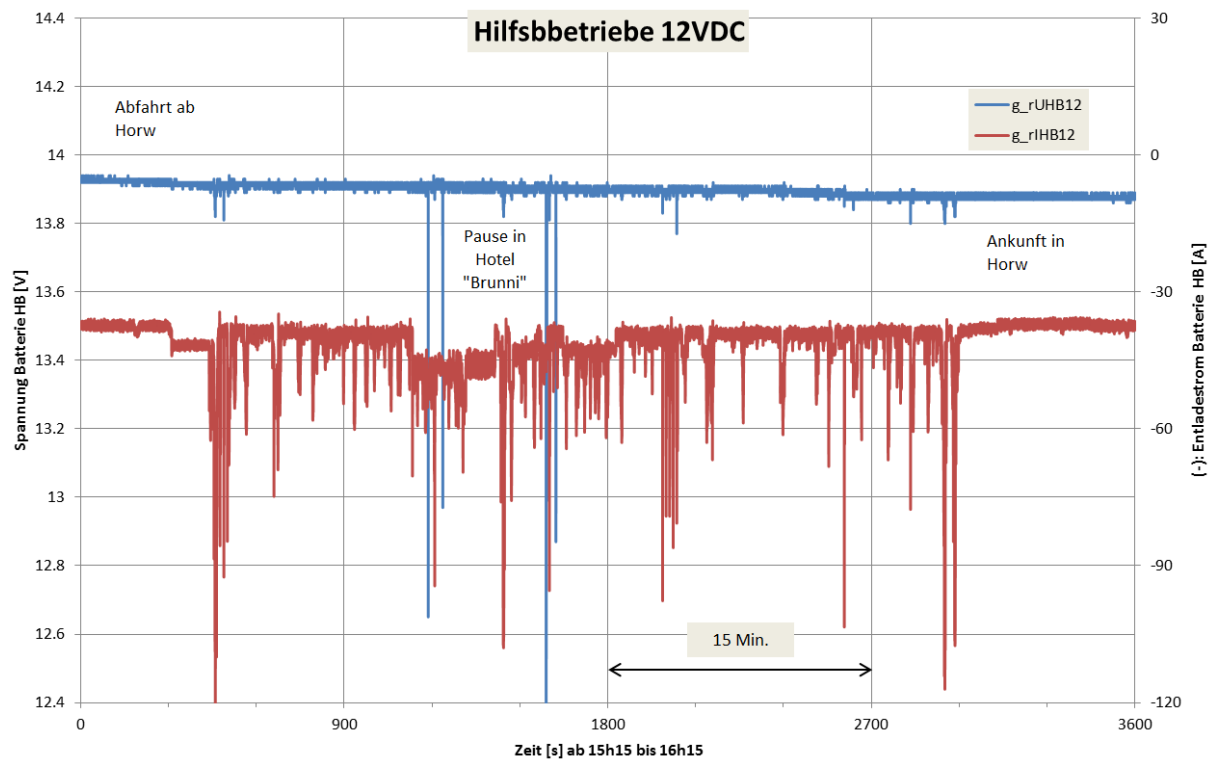


Abbildung: Messung der Hilfsbetriebe

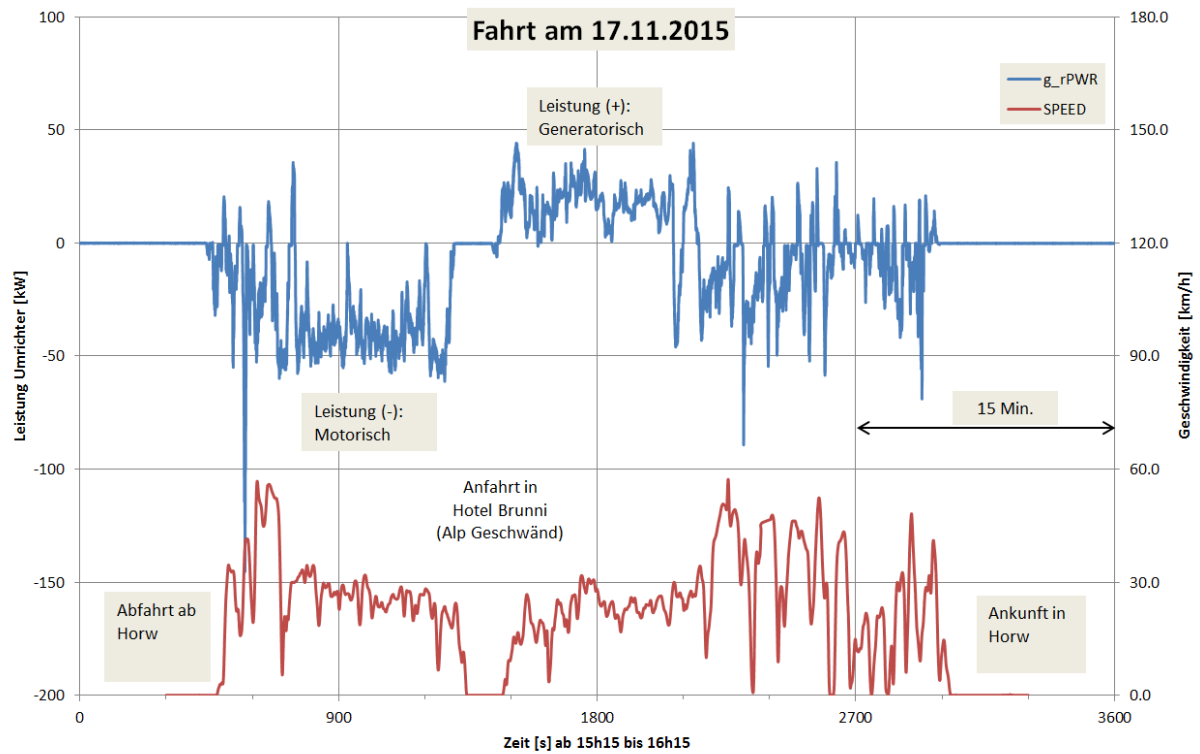


Abbildung: Leistung und Geschwindigkeit

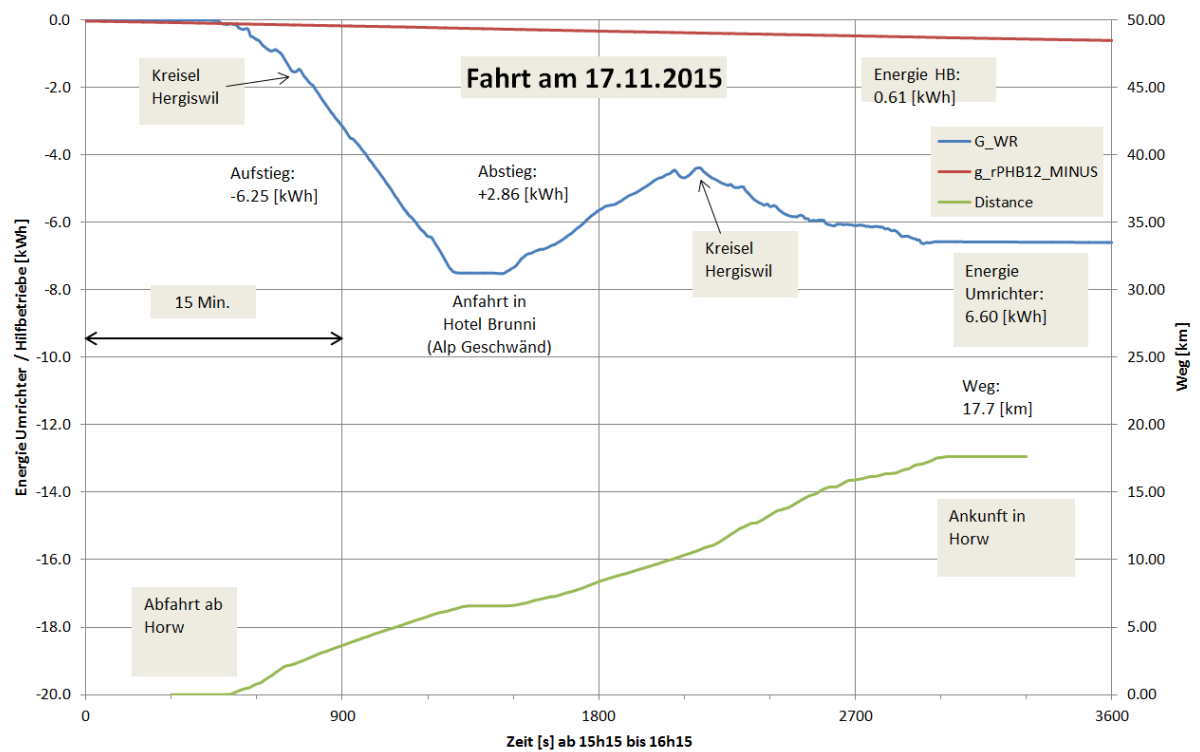


Abbildung: Energie und Weg

7.5. Testfahrt mit Anhänger und im Ausland

Als Highlight stand der Switchbus im September 2014 mit einem fast 2 Tonnen schweren Anhänger für die Firma Baumeler Velo-Reisen im Einsatz. Neben Fahrer Louis Palmer und Reiseleiter Karl Heuberger war Ersatz-Chauffeur René Bucher im Einsatz. Eines der Ziele der Tour war es, René Bucher auf dem Switchbus zu schulen, damit er die nächste Baumeler-Tour durchs Elsass dann selbstständig durchführen konnte. Die Tour war bis auf den letzten Platz ausgebucht. Unter den Passagieren war auch Ruedi Burkhardt, der für die Sonntagszeitung im Einsatz war, um einen Bericht über diese einwöchige Tour im Elektrobus zu verfassen.

Die Tour war in vielerlei Hinsicht eine Herausforderung. Einerseits konnten die zwei schwachen Batteriezellen vor Beginn der Tour nicht mehr ausgetauscht werden, so dass die Reichweite des Busses um etwa 30 % reduziert war. Auch war das Problem mit der Getriebeöl-Temperatur noch nicht gelöst, so dass bei den sommerlichen Temperaturen längere Fahrten mit über 65 km/h nicht möglich waren. Dazu kam, dass die Firma Baumeler immer von 17 Fahrrädern gesprochen hatte, zwei Tage vor der Abfahrt aber plötzlich die Rede von „Flyern“ war. Statt einen leichten Anhänger für den Transport von 17 Fahrrädern (mit einem Gewicht von $17 \times 15 \text{ kg} = 255 \text{ kg}$) wurde von Baumeler ein 800 kg schwerer Anhänger für den Transport von 17 Flyern sowie 4 normalen Fahrrädern sowie Ersatz-Akkus, Ladegeräten etc. vorbereitet. Hinzu kamen 17 Fahrgäste und ihr Gepäck, was eine totale Zuladung auf 3.3 Tonnen bedeutete.

Für die Evaluation wurden die gefahrenen Kilometer, die durchschnittliche Zuladung sowie der ungefähre Stromverbrauch auf der ganzen Tour ermittelt. Da noch faule Batteriezellen vorhanden waren, war die Anzeige des Stromverbrauchs nicht ganz zuverlässig. Eine Einschätzung war jedoch gleichwohl möglich. Auf den 843 Kilometern verbrauchte der Bus gut 465 kWh. Bei einer durchschnittlichen Nutzlast von 2050 kg führte dies zu einem Verbrauch von 0.55 kWh/km. Die Reichweite mit Anhänger wäre damit theoretisch bei 180 km gelegen. Dieser Wert ist aber nicht allzu aussagekräftig, da zum Teil starker Wind herrschte (teilweise als Gegenwind, teilweise als Rückenwind), und die Gegend meist recht hügelig war.

Als grösste Herausforderung stellte sich aber das Stromnetz in Frankreich heraus. Im Vorfeld war alle ca. 100 km eine Steckdose organisiert worden, die 32 A und 400 Volt liefern konnte (CEE 32 rot). Dort hätten pro Stunde 20 kWh geladen werden können. Schon beim ersten Stopp in Eguisheim bei einem Winzer fiel allerdings die Sicherung heraus. Das Ziel in Saint-Hyppolite konnte trotzdem knapp erreicht werden. In Saint Hyppolite, wo die Gruppe untergebracht war, konnte im Vorfeld keine Steckdose gefunden werden. Obwohl einige solche Steckdosen vorhanden gewesen wären, waren jedoch aufgrund der Traubenernte ausnahmslos alle mit Traubenpressen belegt, die rund um die Uhr laufen mussten. Schliesslich wurde bei einer kleinen Elektroauto-Firma in Selestat, gut 10 km vom Hotel entfernt, eine 32-Ampere-Steckdose gefunden. Das war allerdings nur eine Übergangslösung, denn für die Fahrten zwischen Hotel und Selestat musste immer ein Flyer eingesetzt werden, und der Ladefortschritt an der Säule konnten auch nicht zwischendurch überprüft werden.

Auch an weiteren Schnelladestationen tauchten Probleme auf. In Itterswiler wie auch auf dem Grand Ballon flog entweder die Sicherung immer wieder raus oder das Ladegerät stellte automatisch ab, da die Spannung im Netz absackte. Glücklicherweise reichte die Batterie immer, um bis zur nächsten Station (z. Bsp. eine E-Mobil-Garage in Colmar) weiterzufahren. Und am dritten Tag durfte eine private Ladestation gegen eine Gebühr von 20 Euro pro Nacht gebraucht werden.

Fazit: Wo in Frankreich 32 A auf der Steckdose steht, kann noch lange nicht 32 Ampere bezogen werden! Das nächste Mal wird mehr Batteriekapazität zur Verfügung stehen. So können die Strecken auch etwas entspannter angegangen werden und an den wichtigsten Ladepunkten ist nun bekannt, wo es funktioniert und wo nicht.



Foto 1: Switchbus im September 2014 eine Woche unterwegs als Support-Bus für Baumeler Veloreisen im Elsass

7.6. Evaluation der Fahrgast-Zufriedenheit

Für die Evaluation von Switchbus wurden unter anderem die Fahrgäste befragt, die mit Switzerland Explorer im Sommerhalbjahr 2014 einen Tagesausflug ins Entlebuch oder über den Furka- und Grimselpass unternommen haben. Die Fahrgäste wurden kurz vor Schluss der Fahrt gebeten, einen Papierfragebogen auszufüllen. Dieser wurde anschliessend von Hand eingegeben und mit SPSS analysiert. Insgesamt wurden 94 Fragebogen ausgewertet. Eine systematische Erhebung der Verweigerer wurde nicht durchgeführt; die Befrager schätzen den Anteil auf höchstens 10%. Rund drei Viertel der Befragten sind Schweizer, die Geschlechter sind gleichmässig vertreten und die Altersgruppen ebenfalls.

Insgesamt hohe Zufriedenheit bei den Fahrgästen

Die Fahrgäste sind grösstenteils zufrieden mit dem Switchbus. Von den 94 befragten Fahrgästen sind auf einer Skala zwischen 1 bis 4 über die Hälfte mit der Fahrt im Switchbus sehr gut zufrieden, deren 34% stufen ihre Zufriedenheit als „gut“ ein. Nur gerade 6% aller befragten Fahrgäste sind nur mittelmässig mit dem Switchbus zufrieden und keiner der befragten Fahrgäste gab an, dass er mit der Fahrt im Switchbus unzufrieden ist. Mit dem Switchbus werden die Werte *umweltschonend* und *fortschrittlich* verbunden. Der Fahr- und Sitzkomfort, die Sicht nach draussen und das Ein- und Aussteigen wird von der Mehrheit als gut eingeschätzt. Schwächen sind bei den klemmenden Anschnallgurten, bei der Lautstärke des Elektromotors und der knappen Beinfreiheit auszumachen.

Beurteilung Elemente des Switchbus

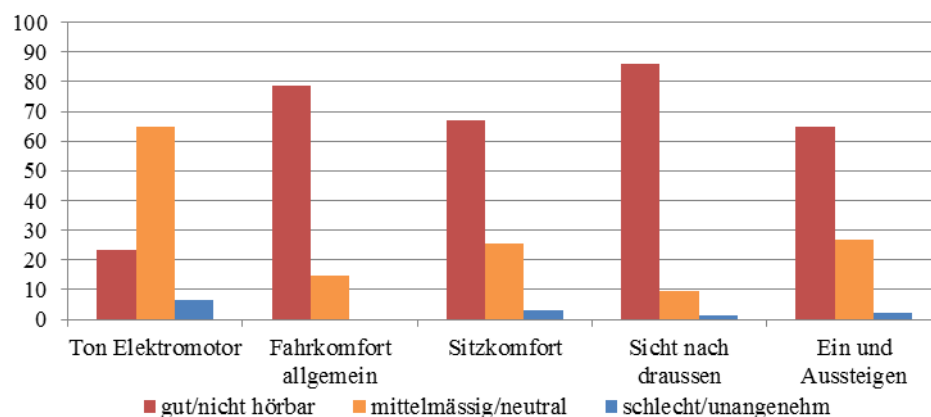


Abbildung 1: Elemente des Switchbus, n = 94

36 der 94 befragten Fahrgäste haben auf die Frage „Ist Ihnen am Switchbus etwas aufgefallen, das Sie verändern würden“ eine Rückmeldung abgegeben. Aus Fahrgastsicht sind die klemmenden Anschallgurte (6 Nennungen) die grösste Schwäche des Switchbus, gefolgt von der Lautstärke des Elektromotors (4) und der eher knappen Beinfreiheit (3). Weitere Themen waren das Fehlen von Heizung, Abfalleimern und Sonnenschutz. Zur Lautstärke des Elektromotors muss hinzugefügt werden, dass im Sommer eine gut hörbare Getriebeöl-Pumpe eingesetzt wurde, so dass anzunehmen ist, dass viele Fahrgäste irrtümlicherweise dieses Geräusch für das Motorengeräusch hielten.

Elektrischer Antrieb als USP auf touristischen Reisen

Für 28% der befragten Fahrgäste war die Elektromobilität ein sehr wichtiger Faktor für die Wahl der Reise, für über 40% ein wichtiger Faktor. Dies bedeutet, dass für fast 70% der befragten Fahrgäste der Switchbus ein entscheidendes Kriterium (USP) für den Reiseentscheid war.

Wichtigkeit Elektromobilität für Reiseentscheid

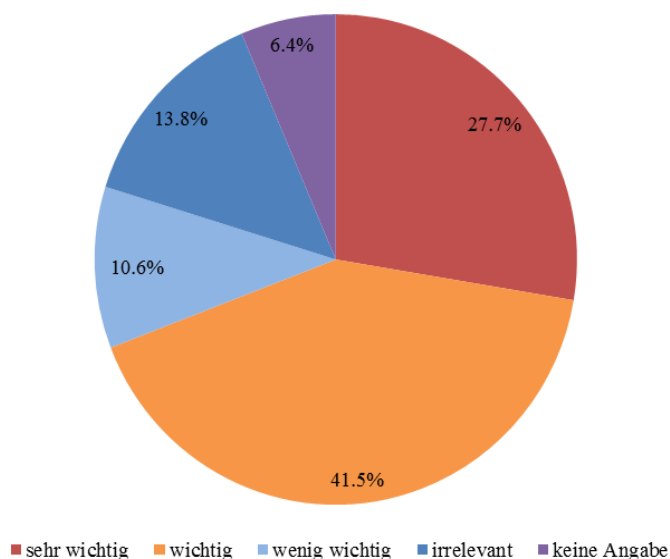


Abbildung 2: Wichtigkeit Elektromobilität bei Wahl der heutigen Reise, n = 94

Dies widerspiegelt sich auch bei den Gründen für die Wichtigkeit des Themas Elektromobilität: *Umwelt/Luft* und *CO₂/Klima* wurden hier am häufigsten genannt, gefolgt von *Technik*.

Hohe Zahlungsbereitschaft

Darum überrascht es auch nicht, dass über 80% der befragten Fahrgäste bereit wären, einen Aufpreis für eine Tagestour mit elektrischem Antrieb auszugeben. Diese Zahlungsbereitschaft liegt erstaunlich hoch, wie die unten stehende Grafik aufzeigt. Fast drei Viertel der Fahrgäste wären bereit, nur aufgrund des Elektromotors einen Aufpreis von mindestens fünf Franken zu bezahlen; rund die Hälfte der Fahrgäste würde sogar mindestens zehn Franken mehr bezahlen. Nur gerade 10% aller Passagiere sprechen sich gegen einen Aufpreis aus.

Bereitschaft für Aufpreis Tagestour aufgrund Elektroantrieb

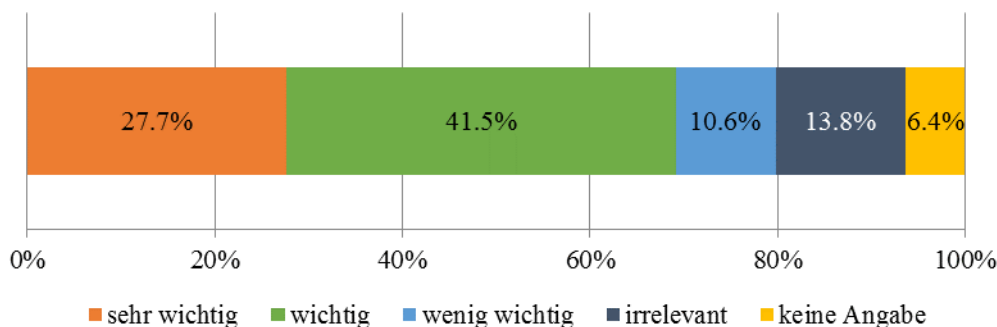


Abbildung 3: Bereitschaft Aufpreis, n = 94

Das gute Abschneiden des Switchbus bei den Fahrgästen zeigt sich auch in der Weiterempfehlungsquote: 70% der befragten Fahrgäste werden den Switchbus im Freundes- und Bekanntenkreis sicher weiterempfehlen, weitere fast 20% wahrscheinlich.

Weitere Einsatzmöglichkeiten für den Switchbus

53 der 94 befragten Fahrgäste haben auf die offene Frage „Wofür könnte/sollte Ihrer Meinung nach der Switchbus in Zukunft auch noch eingesetzt werden?“ eine Rückmeldung abgegeben. Dabei haben sich folgende möglichen Einsatzfelder für den Switchbus herauskristallisiert:

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten Switchbus aus Fahrgastsicht konsolidiert, n = 53

Schulbus	21 Nennungen
Firmenausflüge	9 Nennungen
Citybus	5 Nennungen
Vereinsbus	4 Nennungen
Taxi	4 Nennungen
Rundreisen	2 Nennungen
Städte-Sightseeing	2 Nennungen
Behindertentransporte	1 Nennung

Aus Fahrgastsicht eignet sich der Switchbus besonders gut als Schulbus oder für Firmenausflüge. Weiter nennen die Fahrgäste auch Citybus, Vereinsbus oder Taxi als mögliche Einsatzfelder. Um Aussagen bezüglich signifikanten Unterschieden zwischen Geschlecht und Alter zu machen, sind die Fallzahlen der Erhebung zu gering. Hierfür müssten die Daten einer zweiten und vielleicht dritten Erhebungsperiode hinzugezogen werden.

7.7. Evaluation der Marktfähigkeit

a) Technische Anforderungen

Im Verlauf des Projekts wurden 20 Betreiber von Schulbussen besucht. Ziel war es herauszufinden, welchen Anforderungen ein Elektrobuss genügen müsste und ob überhaupt eine Offenheit fürs Thema bei den Betreibern besteht. Schon bei den ersten Telefonaten haben wir eine grosse Offenheit und Neugier gespürt, und tatsächlich haben alle Schulbusbetreiber erklärt, bei der nächsten Anschaffung auch einen Elektroantrieb genauer zu studieren zu wollen.

Die 20 Betreiber führen eine Flotte von insgesamt 32 Fahrzeugen. Kein einziger Betreiber führte zu unserer Überraschung ein Fahrzeug mit über 3.5 Tonnen, denn die Bestimmungen (Führerschein D1, Fahrtenstreiber, grösserer Anschaffungspreis) würden im Betrieb grössere Schwierigkeiten bedeuten. Die Busunternehmer setzen lieber einen kleineren Bus ein und fahren damit bei Bedarf mehrmals. Somit wurde klar, dass auch wir keinen 5.6-Tönnner entwickeln müssen, sondern einen 3.5-Tönnner.

Die untersuchten Busse haben alle zwischen 20 und 24 Sitzplätzen (Kindersitze), einer führte sogar 26 Sitze. Dies zeigt, dass die Schulbusse mit ihren 3.5 Tonnen Gesamtgewicht sehr stark gefüllt werden und möglicherweise sehr nahe am Gewichtslimit (oder gar etwas darüber) unterwegs sind. Übertragen auf die Frage der Batterie bedeutet dies, dass der Umbau auf Elektroantrieb nicht in einem höheren Gesamtgewicht resultieren darf. Somit stellt sich die Frage, was für Reichweiten nötig sind bzw. wie viele Batterien überhaupt verwendet werden können.

Die untersuchten 32 Schulbusse fahren eine Strecke zwischen 40 und 140 km am Tag, der Schnitt lag bei 62 km am Tag. Alle Schulbusse hatten mindestens zwei Mal je eine Stunde Pause am Tag, so dass mit einem Schnelllader die Busse auch tagsüber geladen werden könnten.

Die nächste Frage war, wie lang die Strecke ist, die ein Schulbus ohne nachzuladen fahren können muss. Dabei zeigte sich, dass das Maximum bei 80 km lag, allerdings bei einer Steigung von 2000 Metern! Der Durchschnitt lag bei 50 km Fahrstrecke am Stück, und die durchschnittliche Steigung bei einer Fahrt lag bei erstaunlichen 1000 Metern.

Das Fazit aus der Befragung lautet deshalb aus technischer Sicht wie folgt: 90 % aller Schulbusse könnten mit einem Akku von 20 kWh oder gar noch weniger auskommen. 20 kWh Akkus wiegen um die 200 kg, was es erlauben würde, noch etwa 100 kg für Motor und Elektrotechnik einzubauen. Somit wäre der Umbau eines 3.5-Tönners technisch machbar, ohne das zulässige Gesamtgewicht zu überschreiten und dabei die Anforderungen der Schulbusbetreiber zu erfüllen.

b) Finanzielle Anforderungen

Alle Busbetreiber wurden auch befragt, welchen Aufpreis sie bereit wären für einen Elektroantrieb zu bezahlen. Dabei wurde festgestellt, dass die Betreiber mit der neuen Technik keine Berührungsängste haben und gerne sauber und geräuschlos fahren würden. Die Akzeptanz der Technologie ist gross, und jeder Betreiber wusste auch schon, wo er eine Steckdose hätte, um den Bus einphasig oder dreiphasig zu laden. Konkret auf die Kosten angesprochen zeigte sich, dass der Betrieb eines Elektrobusse unbedingt mit dem konventionellen Antrieb mithalten muss. Zwar äusserten sich einige Betreiber bereit mehr für einen Elektrobus zu investieren im Wissen, dass sie mit der Zeit über die geringeren Stromkosten das zusätzliche Investment wieder einspielen können. Kein Betreiber wäre allerdings bereit, für einen Elektroantrieb deutlich mehr zu bezahlen. Am besten wird die Situation bei den Energiestadtgemeinden eingeschätzt, wo eine Bereitschaft besteht etwas höhere Kosten zu tragen, allerdings eher im vierstelligen oder im untersten fünfstelligen Bereich.

Fazit aus finanzieller Sicht: Da ein Schulbus in der Schweiz in 10 Jahren im Schnitt 120'000 – 150'000 km zurücklegt, kann er über Treibstoffkosten wohl nur um die 30'000 Franken einsparen. Somit müssten neue Komponenten gefunden werden, die viel kostengünstiger sind als die heute verwendeten, und ein Bus müsste mit sehr wenig Aufwand (Arbeitsstunden) hergestellt werden können. Dies sollte machbar sein, doch müsste der Switchbus von Grund auf neu konzipiert werden. Höhere Chancen hat der Switchbus bei öffentlichen Verkehrsmitteln, wo die Busse viel mehr Kilometer zurücklegen, doch auch dort liegen wir mit den Kosten noch über dem, was mit der Zeit eingespart werden kann und somit über dem, was der Markt bereit ist zu bezahlen.

8. Würdigung der Ergebnisse / Erkenntnisse

Zeitplan

Nach ersten Verzögerungen mit der Abnahme im Frühjahr 2014 ist dann die erste Sommer-Saison erfolgreich zu Ende gegangen und alle Touren konnten planmässig durchgeführt werden. Obwohl die Reichweite bis zum zweiten Zellentausch Ende September nicht optimal war und auch die Getriebe-temperatur noch keine hohen Geschwindigkeiten zulies, haben wir für alle diese Schwachstellen eine Lösung gefunden. Diese Beeinträchtigungen haben zu einer weiteren zeitlichen Verzögerung beim Besuch der Energiestädte und der Transportunternehmen geführt, doch wurden bis Ende Jahr diese Verzögerung wieder eingeholt.

Technisches Konzept

Der Ausfall einzelner Batterien hat gezeigt, dass diese im Switchbus anfälliger sind als im Einsatz bei der Post. Auch wenn wir den Grund nicht evaluieren konnten, so steht fest, dass bei einer Serienproduktion ein anderer Hersteller zum Zuge kommen muss. Technologisch hochwertige Zellen sind aber (Stand November 2015) immer noch teurer als die von uns verwendeten und vor zwei Jahren gekauften Zellen. Auch müssten die einzelnen Zellen auf mehrere Batteriekasten aufgeteilt werden, so dass im Falle eines Zelldefekts nur ein Kasten geöffnet werden muss und nicht der ganze Kasten. Alle anderen Teile wie Motor, Lade- und Steuergerät usw. könnten – technisch gesehen - problemlos in einer Serienproduktion verwendet werden.

Fahrleistungen

Nach gut 25000 km gefahrenen Kilometern und den gewonnenen Erfahrungen lässt sich sagen, dass der Bus technisch einwandfrei funktioniert und einer Kleinserie – aus technischer Sicht – nichts im Wege steht. Die Höchstgeschwindigkeit, die Anfahrleistung in Steigungen, die Betriebssicherheit, die Benutzerfreundlichkeit sowie die Reichweite erfüllen alle unsere hoch gesteckten Erwartungen.

Das Interesse am Thema Elektrobuss ist gross

Wir freuen uns, dass das Thema Elektrobuss in den Medien guten Anklang fand. Generell findet das Thema grossen Anklang, und das merken wir auch bei der Zusammenarbeit mit Tourismus-Organisationen, Busunternehmen oder bei unseren Fahrgästen. Es gibt in der Bevölkerung generell eine grosse Offenheit gegenüber dem Elektroantrieb und speziell diesem Bus gegenüber.

Marktfähigkeit

Leider ist die kostengünstige Herstellung dieses Elektrobusses nicht wie geplant möglich. Einerseits sind die Batteriepreise sowie die Preise für Motor und Elektronik (noch) nicht wie prognostiziert gesunken, und andererseits hat sich gezeigt, dass der Umbau – auch bei einer Kleinserie - viel mehr Zeit in Anspruch nimmt als gedacht, was sich auf den Verkaufspreis negativ auswirkt. Nach reichlich Evaluation stehen alternative Antriebslösungen/Hersteller/Produkte für diese spezifische Anforderung nicht zur Verfügung. Somit können wir mit dem Switchbus die vom Markt tolerierten Preise nicht erreichen. Unsere Besuche bei potentiellen Kunden haben ergeben, dass ein Aufpreis von bis zu etwa 60'000 – 80'000 CHF – wie ursprünglich geplant – bei öffentlichen Verkehrsmitteln realistisch ist, wir diese Kostendecke aber (momentan) noch nicht einhalten können. Bei Schulbusbetreibern ist die Kostendecke noch niedriger, während in diesem Segment gleichzeitig aber praktisch nur 3.5-Töner gefragt sind, die günstiger und einfacher umzubauen wären. Dazu müsste das Projekt aber neu aufgelegt werden.

9. Schlussfolgerungen

Es gibt einen sehr grossen Markt für elektrische Schulbusse in der Schweiz, und mittel- bis langfristig werden sich die Elektroantriebe in diesem Segment etablieren, denn die Akzeptanz und Bereitschaft dazu ist gross. Obwohl in der Bevölkerung sowie bei Busbetreibern das Thema Elektromobilität sehr positiv besetzt ist und die Nachfrage prinzipiell sehr gross wäre, kann eine Kleinserie unter den gegebenen Umständen nicht aufgelegt werden. Die Herstellungskosten sind (noch) zu hoch und einfache Lösungen/Alternativen gibt es momentan nicht. Der grösste Markt ist zweifellos bei den Schulbussen, denn nur wenige öffentliche Verkehrsbetriebe setzen Busse im Segment bis 5.6 t ein. Allerdings fahren fast alle Schulbusbetreiber mit 3.5-Tönnern, wo die Kosten für den Bus generell und somit auch für den Umbau sehr niedrig sein müssen.

Sollten wir neue Ansätze finden, wie der Umbau des Fahrzeugs mit weniger Stundenaufwand möglich ist, und sobald Batterien und andere Komponenten günstiger zu haben sind, wird sich eine Kleinserie lohnen können.

10. Ausblick, nächste Schritte nach Projektabschluss

Der Switchbus wird für die Switchbus GmbH weiterhin in Einsatz stehen und die Akzeptanz der E-Mobilität bei Touristen wie auch bei Einheimischen steigern. Geplant ist folgender Einsatzzweck:

- Ausflüge für Touristen in die Umgebung von Luzern, Cheese & Chocolate-Tour von Hotel Schweizerhof nach Meggen und zurück, in der Hochsaison jeden Abend 1.5 h
- Gruppenausflüge in die Biosphäre Entlebuch
- Rundreisen auf der „Grand Tour of Switzerland“ mit internationalen Touristen
- Eventuell ein fahrendes Abend-Theater in der Umgebung von Luzern