



Sileo 18

Potenzial zur Revolution

Es gibt Fahrzeugkonzepte, die gelungene Antworten auf aktuelle Mobilitätsbedürfnisse darstellen – und solche, die darüber hinaus eine Zukunftsvision in sich tragen. Zu Letzteren zählt der Sileo 18. Er beweist zudem, dass die Zukunft schon begonnen hat, dass Elektromobilität im ÖPNV technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist.

Rein äußerlich kommt der Sileo 18 fast unauffällig daher. Das Design innen wie außen ist ansprechend, aber ansonsten unterscheidet er sich in diesem Punkt kaum von anderen Gelenkbussen. So sieht man ihm also auf

den ersten Blick nicht an, dass ihm das Potenzial zur Revolution innewohnt. Und das verbirgt sich vor allem auf dem Dach, geschickt verborgen hinter aerodynamischen Verkleidungen. Denn hier oben, außerhalb

der Fahrgastzelle und somit gefahrlos für die Passagiere, sitzt die Hochvolttechnik des Elektrobusses. Rund 3 t wiegen die 474 Zellen der 300-kWh-Lithium-Eisenphosphatbatterie. Ihr Herzstück aber ist die von BBC & C (siehe zur Sileo GmbH und BBC & C den Kasten auf S. 7) selbst

entwickelte, rund 100 kg wiegende Single-Cell-Loading-Einheit (SCL), ein intelligentes, selbstreguliertes Batteriemanagementsystem (BMS). Es sorgt für eine aktive Balancierung der Zellen.

Was heißt das im Einzelnen? Nun, normalerweise erhöht man die Nennspannung einer Batterie durch Reihen-

schaltung von Einzelzellen. Durch fertigungs- und alterungsbedingte Schwankungen unterscheiden sich jedoch die jeweiligen Kapazitäten der einzelnen Batteriezellen. Ohne aktive Balancierung kommt es zu unterschiedlicher Ladung und Entladung. Während eine Zelle beispielsweise erst zu 75 % geladen ist, hat die andere zum selben Zeitpunkt bereits das Maximum erreicht und erhitzt sich. Sie muss daher aufwendig gekühlt werden, was zu Energieverlust führt und an Bord mitgeführte, teure Kühltechnik erforderlich macht. Die schwächste Zelle bestimmt in einem solchen System die nutzbare Gesamtkapazität der Batterie. Außerdem mindert die Erwärmung von Zellen ihre Lebensdauer. Ganz anders

die elektrisch-chemischen Prozesse in der BMS-gesteuerten Batterie des Sileo 18. „Hier hat jede einzelne Zelle ihr eigenes Ladungssystem“, erklärt Stephan Rudolph, Sileo-Projektleiter und Vater der SCL-Einheit. Somit können dank Überwachung des Ladezustands gezielt noch nicht geladene Zellen ver-

Sileo verwendet Batteriezellen mit hoher Kapazität



▲ Das ist doch mal ein Anblick in einem Stadtgelenkbus! Ohne Motorturm wird der Heckbereich deutlich attraktiver für die Fahrgäste

◀ Der Sileo 18 bei der zweiten Testrunde an der Haltestelle in Bonn-Ramersdorf



▲ Im Herbst stand bei den SWB noch ein mobiles 64-kW-Ladegerät von Sileo, das aber künftig durch eine dynamische Ladematrix (DLM) in einem Container für bis zu zehn Busse ersetzt werden soll

sorgt werden – auch während der Fahrt, wenn die Bremsenergie durch Rekuperation in die Batterie zurückfließt. So entsteht ein aktives Ausbalancieren von Ladung zwischen den Zellen – schnell, schonend und verlustarm, unter Verzicht von Kühltechnik.

Die Sileo-Fachleute nutzen zudem Batteriezellen mit hoher Kapazität. Denn je geringer ihre Kapazität, umso höher ist ihr Innenwiderstand, wenn man elektrische Ladung auf sie einwirken lässt, und umso höher die Wärmeentwicklung. Das ist der Grund dafür, dass bei geringer dimensionierten Zellen in Batterien von Mitbewerbern gerade bei der von vielen Verkehrsunternehmen bevorzugten

Zwischenladung auf der Linie mit hoher Leistungsabgabe von bis zu 500 kW und einem Ladestrom von bis zu 1 000 A eine hohe Strombelastung (C) auftritt. „Das kann zu Werten von 5, 10 oder mehr C führen“, so der E-Bus-Projektleiter. „Beim Sileo liegen wir stets im Bereich von unter 1 C. Damit verhindern wir irreversible chemische Prozesse und eine schnelle Alterung der Batteriezellen.“ Sileo gewährt daher zehn Jahre Garantie auf seine Batterien. „Wir erwarten jedoch eine Lebensdauer von mindestens 15 Jahren“, ist Rudolph überzeugt. In diesem Zeitraum soll es laut seiner Einschätzung zu kei-

Maximal drei Zellen fallen im ersten Jahr aus, danach keine mehr



▲ Geräumig: der „Motorraum“. Dominierend mittig im Bild der Luftpresser mit Elektromotor und Scrollkompressor, links davon die Zusatzheizung Spheros S 300, rechts im Heck der Heizöltank, und darüber der Wabco-Lufttrockner

Hintergrund Die Sileo GmbH

Die Geschichte der Sileo GmbH hat ihren Ursprung im Entwicklungs- und Ingenieurbüro Bozankaya Business Consultant & Commerce (BBC & C). Es wurde 1989 von Murat Bozankaya in Wolfenbüttel ins Leben gerufen. 1997 erfolgte die Gründung der bozankaya Metall & Kunststoff GmbH in Wolfenbüttel, die 2000 nach Salzgitter umzog. 2003 entstand eine Tochterfirma im türkischen Ankara. Zunächst nur Entwicklungs- und Konstruktionsbüro, reifte Bozankaya später zum Systemlieferanten für Fahrzeugindustrie heran und wurde schließlich selber zum Straßenbahn- und Busproduzenten. 2010 erfolgte in der Türkei die Gründung von Turkish Commercial Vehicles (TCV), das im April 2012 mit dem TCV – in der Türkei als Karat bezeichnet – einen Stadtbus als erstes Produkt vorstellte. Auf dessen Konstruktion basieren auch die Elektrobusse von Sileo. Ebenfalls 2012 stellte BBC & C vier Techniker ein, um eine Fahrzeugbatterie zu entwickeln. Dieses Vorhaben wurde 2014 abgebrochen, als die Entwicklung eines Elektrobusses mit SCL-Batteriesystem mehr und mehr Formen annahm. In diesem Zuge wurde im selben Jahr die Sileo GmbH in Salzgitter gegründet, für die mittlerweile 35 handverlesene Ingenieure und Physiker von BBC & C tätig sind. Sie erhält die verglasten Rohkarossen von TCV aus Ankara und baut dann in Salzgitter Achsen, Antriebstechnik, Energiespeicher und alle sonstigen Komponenten und das Interieur ein. Dies macht mehr als 50 % der Wertschöpfung aus, so dass die Elektrobusse künftig eine deutsche Fahrzeug-Identnummer (Fahrgestellnummer) erhalten.

nen bemerkbaren Leistungs-einbußen kommen, auch wenn auch hier die Kapazität um rund 13 % sinkt. „Das merkt der Anwender aber nicht, da die Batterie deutlich überdimensioniert ist.“

Im Gegensatz zu herkömmlichen Batterien ohne SCL, deren Lebensdauer auf maximal fünf bis sechs Jahre taxiert wird, sei beim Sileo mit einem Ausfall von maximal drei Zellen – von wohl-gemerkt 474 – in den ersten zwölf Monaten zu rechnen, „danach keine einzige mehr“. Derzeit habe man 25 Elektrobusse verschiedener Längentypen im Einsatz, unter denen nur zwei Fahrzeuge seien, bei denen jeweils eine Zelle einen erhöhten Balancierbedarf habe und deren Austausch daher empfehlenswert sei.

Nun, solche Langzeitwerte können wir auf unserer Testrunde nicht kontrollieren. Dafür hatten wir Gelegenheit, als wohl erste europäische

Journalisten einen Elektro-gelenkbus auf Fahreigenschaften und Verbrauchswerte zu prüfen – und das gleich an zwei verschiedenen Tagen auf eigener Teststrecke, als das Fahrzeug jeweils zur Kundenerprobung bei den hiesigen Stadtwerken (SWB) war, die seit Jahresende bereits sechs 12-m-Solos von Sileo erhalten haben.

Zwei Dinge fallen zunächst auf. Zum einen der aufgeräumte „Motorraum“ des Sileo 18: Da der Antrieb in Form von vier radnahen Elektromotoren in den Achsen 2 und 3 sitzt, befinden sich im Heck nur wenige Aggregate wie die Zusatzheizung Spheros S 300 samt Tank, das elektrische Heizgerät Spheros Thermo AC, der Wabco-Lufttrockner oder der Luftpresser aus elektrischem Scrollkompressor,



Elektro- vs. Dieselbus Die Kapitalkosten*

Berücksichtigt sind nur die reinen Fahrzeugkosten, nicht jedoch solche Aufwendungen wie für Versicherung, Personal oder Reifen, die bei beiden Fahrzeugkonzepten prinzipiell gleich sind

	Diesलगelenkbus	Sileo 18
Systemdaten		
Anschaffung	330 000 €	690 000 € (geschätzt)
Durchschnittsverbrauch	0,52 l/km	1,7 kWh/km
Kraftstoffpreis	0,90 €/l Diesel	0,12 €/kWh
Wartungskosten	0,250 €/km	0,125 €/km
Kostenrechnung pro Jahr		
Anschaffung	27 500 €	57 500 €
Kapitalmehrkosten (Zinsen)	–	5 000 €
Kraftstoffkosten	28 080 €	12 240 €
Ladestation	–	5 700 €
Wartungskosten	15 000 €	7 500 €
Kosten pro Jahr	70 580 €	87 940 €
Kosten pro Fahrplan-km	1,18 €	1,47 €

*Basiswerte: Nutzung-/Abschreibungszeitraum = 12 Jahre, Kilometerleistung = 60 000 km/Jahr, Autor: Bünningel

Elektromotor und Ölpumpe. Letzterer ist wie so vieles im Sileo eine Eigenkreation, weil man mit dem am Markt verfügbaren Aggregaten nicht zufrieden war, in diesem Fall realisiert mit einem Partner. Er kann pro Minute 240 l Luft auf einen Druck von 10 bar bringen und braucht dafür eine Leistung von lediglich 180 W, höchstens ein Zehntel des sonst Üblichen. Mit einem Gewicht von 6 kg ist er zudem relativ leicht. Zum anderen präsentiert sich durch den fehlenden Heckmotor der Sitzbereich in den letzten Reihen wie aus einem Guss – ohne den störenden Motorturm wie in der Regel im Dieselbus. Weiterhin bemerkenswert: Der Sileo 18 war die 407,4 km vom Werk in Salzgitter nach Bonn nonstop mit einer verbliebenen Restladung von 2 % gefahren. Auch wenn dabei natürlich viele Autobahnkilometer im Maximaltempo von 75 km/h zu Buche standen, zeigt das Resultat dennoch das Reichweitenpotenzial des Elektrogelenkbusses. 280 bis 340 km sollte er auch auf Linie auf jeden

Fall mit einer Ladung absolvieren können. Das reicht für die meisten Anwendungen im Stadtlinienverkehr aus. Bei den SWB betragen die täglichen Umlauflängen bei 46 % der Linien maximal 200 km, in 23 % der Fälle bis zu 250 km, bei weiteren 15 % bis 300 km. Ähnlich bei der Hamburger Hochbahn: bis 150 km rund 72 %, bis 300 km weitere rund 26 % und darüber nur etwa 2 %. Was ist uns auf den beiden Testfahrten aufgefallen? Trotz des hohen Schwerpunkts ist das Handling des Sileo 18

völlig problemlos – er lässt sich kaum anders als ein Dieselbus steuern. Einziger wesentlicher Unterschied: Die Elektrobremse kann zusätzlich zum Fußpedal auch über einen Handhebel – ähnlich einem Retarderhebel – angesteuert werden. Man kann mit ihm einstellen, wie stark der Bus bremst und rekuperiert, wenn man den Fuß vom Gas nimmt. Für den Überlandverkehr empfiehlt sich die Stufe eins, im

Per Elektrobremse lässt sich einstellen, wie stark der Bus bremst und rekuperiert

Balancier- und Ladeverlusten rechnen wir realistisch mit rund

1,7 kWh/km im Alltags-einsatz“, ergänzt der Sileo-Mann. Natürlich muss man im Winter einen Heizölkonsum von rund 2 l/h bzw. rund 11-13 l/100 km hinzuaddieren, den die Zusatzheizung schluckt. Deshalb arbeitet man bei Sileo zusammen mit Partner Spheros an der Entwicklung einer Wärmepumpe, die ab Herbst zur Verfügung stehen soll. Damit kann dann gänzlich auf fossile Brennstoffe verzichtet werden, allerdings verteuert dieses aufwendige System die Gesamteinheit Sileo 18 weiter.

Zwar hält man sich bei den Niedersachsen bedeckt,

innerstädtischen Einsatz die Stufe zwei. Gewisse Schwächen zeigte der Sileo 18 am Berg. Doch bei der zweiten Testfahrt, als die Techniker nachgebessert hatten, bewältigten wir selbst Anstiege bis 11 % relativ problemlos. Das Ende der Fahnenstange ist damit aber längst noch nicht erreicht. „Wir sind erst bei 60 % der möglichen Leistungsabgabe“, merkt Stephan Rudolph diesbezüglich an.

Nach jeweils rund 46 km über den Stadtlinienparcours mit knapp 100 Stopps inklusive Türöffnung bei einem Durchschnittstempo von ca. 16 km/h stand eine Rekupe-rationsrate von knapp 60 % und ein Verbrauch von rund 0,90 kWh/km auf unserem

Tableau – wohl gemerkt mit einem Leerfahrzeug. Mit Beladung sind rund 0,3 bis 0,4 kWh/km zu addieren, so Rudolph. Folgerichtig erzielten die Stadtwerke mit zu Testzwecken beladenen Fahrzeugen Werte um 1,3 kWh/km.



▲ Rechts am Lenkrad, etwas verborgen, befindet sich der Hebel der Elektrobremse, da, wo normalerweise der Retarderhebel seinen Platz hat



▲ Bei Grün wird rekuperiert, hier gerade 11,1 kW. Laut Anzeige kämen wir auf eine Gesamtreichweite von 370 km

was den Kaufpreis für den Gelenkbus angeht. Nimmt man jedoch einen gegenwärtigen realistischen Wert von rund 690 000 € für solche E-Busse, dann wäre nach einer Vollkostenrechnung – inklusive Aufwendungen für die Ladestation und erhöhter Zinslast gegenüber einem Dieselfahr-

zeug – der Sileo 18 pro km noch deutlich teurer unterwegs (siehe Kasten S. 8). Doch das könnte sich schnell ändern. Ladetechnik wie Fahrzeug selber dürften bei Serienfertigung deutlich günstiger werden. Und wenn der Dieselpreis mittelfristig wieder 1,20 €/l oder mehr erreichen sollte, dann ist der E-Gelenkzug im Nu auf einem Kostenniveau mit dem Standardgelenkbus. Bei Sileo denkt man im Volumentransport bereits

Noch ist der Sileo 18 pro km deutlich teurer unterwegs als ein Dieselelenkbus

weiter. Gegenwärtig ist ein 24 m langer E-Doppelgelenkbus im Aufbau, der noch in diesem Jahr präsentiert werden soll.

CB ■

Sileo 18 Technische Daten

Motor und Kraftübertragung

Vier 120 kW-Asynchronmotoren mit Planetengetrieben in den Hinterachsen 1 und 2 vom Typ ZF AVE 130 (zusammen 480 kW Antriebsleistung)

Max. Drehmoment: 42 000 Nm

Nennleistung: 340 kW

Energiespeicherung

300 kWh Lithium-Eisenphosphatbatterie (474 Zellen) mit mindestens nutzbarer Kapazität von 330 kWh (+50 %/–0 %), Batteriespannung 450 bis 550 V

Ladezeit mit dynamischer Ladematrix DLM: 1,5 bis 5 Std.

(durch bedarfsgerechte dynamische Leistungsberechnung)

Ladezeit mit mobilem Ladegerät (64 kW): 5 Std. mit Wirkungsgrad von 94 %

Fahrwerk

Vorderachse: ZF RL 82 EC Rigid Portal, 2 Luftbälge, 1 Stabilisator

Hinterachse 1 und 2: ZF AVE 130 mit je 4/4

Luftbälgen/Stoßdämpfer

Bereifung: 275/70 R 22,5

Bremsanlage

Wabco EBS 3 und Rekuperationssystem

Lenkung

ZF 8098 Servocom

Maße und Gewichte

Länge/Breite/Höhe: 17 959/2 550/3 200 mm

Radstand (VA-HA1/HA1-HA2): 5 881/5 997 mm

Spurbreite (VA/HA): 2154/1 836 mm

Böschungswinkel (v/h): 7°/7°

Einstiegshöhe (ohne/mit Kneeling): 340/250 mm

Leergewicht: 20 000 kg

Zul. Gesamtgewicht: 28 000 kg

Achslasten: 7 245/11 500/11 500 kg

Fahrgastkapazität: 116 (53 Sitz-/63 Stehplätze)



RDA-WORKSHOP Seien Sie dabei!

FRIEDRICHSHAFEN

7. bis 8. April 2016

Messe Friedrichshafen, Hallen A7 + B5

Schon angemeldet?

- Fachbesucher treffen Leistungsträger
- Eine spannende Ausstellung erwartet Sie
- Im Einkauf liegt der Gewinn

KÖLN

5. bis 7. Juli 2016

Koelnmesse

Neu: in den Hallen 4 + 5



Information und Anmeldung:
www.rda-fn.de
www.rda-workshop.de

