



E-Bus-Test

„STROMERNDE“ RIESEN IM VERGLEICH

Es hat eine Weile gedauert, bis die ersten Elektro-Gelenkbusse lieferbar waren und noch immer können nur wenige Hersteller liefern. Die zweite Auflage unseres E-Bus-Tests (vgl. **BUSMAGAZIN 12/2016-1/2017**) nimmt in einem ersten Bericht die Modelle von VDL, Solaris und Sileo unter die Lupe.

Elektrobusse sind zum Glück heute keine ganz große Seltenheit mehr. Einige Städte haben schon ordentlich Strom gegeben, man denke an Eindhoven, Amsterdam oder Krakau. In Deutschland sieht es da schon enger aus: Köln, Aachen und Hamburg sind hier bisher eher die Ausnahme. Das kann man auch beim Thema elektrische Gelenkbusse sagen, die bisher nicht flächendeckend im Angebot sind – die beiden deutschen Hersteller kommen gar erst 2020 mit den langen Gefäßen auf die Straße. Auch Volvo testet seinen Gelenkbus erst noch in Göteborg im täglichen Einsatz, bevor er in den Verkauf geht. Viele Städte werden daher auf die bisher verfügbaren Gelenkbus-Modelle zurückgreifen, die es bereits serienmäßig zu kaufen gibt: VDL Citea SLFA, Solaris Urbino 18 und der brandneue Sileo S18. VDL und Solaris sind derzeit in Europa Marktführer mit 500 bzw. 340 verkauften Fahrzeugen.

Also treten die drei bekannten Volumenmodelle beim zweiten Elektrobustest in Bonn an. Die örtliche SWB hat bereits einiges an Erfahrung mit Solobussen von Sileo gesammelt und unterstützt nach Worten der Geschäfts-



führerin SWB Bus und Bahn, **Anja Wenmakers**, in Zukunft auch andere Verkehrsbetriebe, die noch über keine Erfahrungen verfügen, wie zum Beispiel Wiesbaden – keine schlechte Idee.

Die eigenen Erfahrungen waren nicht immer positiv, die Verfügbarkeiten seien selten auch nur in die Nähe der von Dieselnissen geraten – für einen funktionierenden Fahrplan nicht eben vorteilhaft. Trotzdem, oder gerade deswegen, engagiert sich die SWB auch in der weiteren Orientierung und dem Test von Bussen, wie zum Beispiel mit dem neuerlichen Konzeptvergleich, bei dem deutsche und europäische Fachjournalisten teilnahmen und die drei Busse konzeptionell, fahrerisch als auch in der Werkstatt genau unter die Lupe nahmen. Ein voller, vergleichender Test mit Verbrauchswerten ist derzeit noch schwierig. Zu komplex sind die Ladethematik und der Einfluss von Heizung und Klimatisierung auf

den Verbrauch, der den reinen Traktionsverbrauch der E-Motoren glatt einmal verdoppeln kann. Die systembedingten Ladeverluste bei der Geräte-Peripherie betragen immerhin bis zu 25 % und keiner der kontinentaleuropäischen Hersteller verbaut einen Lader an Bord, wie Optare zum Beispiel! Die drei Busse genehmigten sich weitgehend unbeladen an der CCS-Steckdose der SWB zwischen 1,65 und 1,84 kWh Strom auf den Kilometer, im Vergleich zu unter einem kWh für einen Solobus. Sileo gibt zum Beispiel offiziell einen Verbrauch von 1,2 bis 1,5 kWh für den S18 an, was

relativ unrealistisch anmutet. Die Konzepte der drei Hersteller sind generell sehr unterschiedlich –

SWB hat bereits einiges an Erfahrung mit Sileo-Bussen gesammelt

wenn auch stark vom Kundenwunsch beeinflusst, der bei Elektrobussen eine noch größere Rolle spielt als beim Diesel, bei dem wenigstens der Antriebsstrang standardisiert war – bis auf die Auswahl von Getriebe und Achsübersetzung. Die schöne, neue Elektrowelt macht es dem Kunden nicht einfach: Eine breite Palette von Antriebs-, Speicher- und Ladetechnologie steht zur

↪ **Die drei Testkandidaten: VDL Citea SLFA-181 Electric, Sileo S18 & Solaris Urbino 18 electric (v. l.)** Foto: Jürgen Görgler

Auswahl und will effizient kombiniert und auf die eigenen Bedürfnisse angepasst werden. Bis auf Sileo zeigen sich die vertretenen Hersteller denn auch maximal offen, was die Kundenwünsche betrifft, die sodann gerne auch schlüsselfertig und im ganzheitlichen Systemansatz umgesetzt werden. Auch rein optisch könnten die drei Wettbewerber kaum unterschiedlicher zum Vergleich „vorstromern“: Der Solaris steckt in einer konventionellen, wenn auch knackig gezeichneten Bushülle mit massivem Motorturm hinten, in dem auch Batterien und Technik untergebracht sind – trotzdem

bietet er die meisten Sitze im Trio. Das Exterieur wurde gerade nochmals leicht überarbeitet und hat neue Scheinwerfer, Dachverkleidung sowie Frontlinie verpasst bekommen. VDL und Sileo trumphen dagegen im bei Betreibern gerne gesehenen BRT- oder Metrodesign auf. Im Falle von VDL wurde es sogar 2017 mit dem renommierten „red-dot-Design-Award“ ausgezeichnet. Dafür schafft es Sileo mit einem sehr emotional gezeichneten und luftigen Buskörper trotzdem, vorne eine Doppeltüre im langen Überhang unterzubringen. Im Heck gefällt eine lichtdurchflutete Rundsitzecke, die ihresgleichen sucht. VDL bietet nur eine vordere Tür und dafür sehr große, abgerundete Scheiben zwischen A- und B-Säulen.

Komplex wird es spätestens dann, wenn es an die Elektrobauteile geht: VDL rückt zum Beispiel vom hier gezeigten Konzept der kleinen Hochleistungsbatterie (High Power) mit Zwischenladung auf der Strecke ein Stück weit ab und bietet nun auch solche mit

größerer Kapazität (High Capacity mit 216 bzw. 288 kWh) an, die auch mit einer Ladung eine ansehnliche Reichweite bieten können. Auch Solaris bietet seine NMC-Batterien, also die derzeit gängigste und auch schnellladefähige Zellchemie, in neuen Leistungsstufen an. Was in den VDL Batterien steckt, will der Hersteller lieber nicht offen sagen, aber neben NMC-Batterien des hessischen Daimler-Lieferanten Akasol verbauen die Holländer gerne amerikanische Microvast-Akkus, die über die eher teuren, aber robusten Lithium-Titanat-Oxid (LpTO) Module verfügen.

Im Testwagen für die schwedische Kommune Karlstad sind die bisherigen „kleinen“ Batterien mit 169 kWh auf dem Dach sowie dem erstmals invertiertem Pantografen, dessen Gewicht nicht den Bus erschwert, montiert. Nachteil dieses Systems: ist ein Pantograf fehlerhaft, stehen alle Busse, die auf seinen Saft angewiesen sind, still. Auch im Sileo sitzen zwei schmale Reihen Batterien in Reihe geschaltet auf beiden Seiten des kompletten Dachs, sie benötigen keine Wasserkühlung. Der türkisch-niedersächsische Hersteller, der sich

Komplex wird es, wenn es an die Elektrobauteile geht



↪ **Aus polnischer Fertigung stammt der Solaris Urbino 18** Foto: Olaf Forster



Foto: Olaf Forster

↪ **Auch das Interieur beurteilten die Teilnehmer kritisch**

gerade vom Brand seiner Salzgitteraner Produktionshalle erholt, setzt auf die robusten, oft in China verwendeten Lithium-Eisenphosphat (LPO) Batterien, die auf Einzelzellbasis gesteuert, ausbalanciert und auch getauscht werden können. Letzteres kam bisher aber eher selten vor, wie man bei Sileo erfuhr. Fällt eine komplette Bank der Batterien aus, ist das Fahrzeug trotzdem noch fahrfähig, weil der Antrieb quasi redundant aufgebaut ist. Sileo garantiert mit dem im Vergleich stärksten Paket mit 346 kWh bis zu 300 km Reichweite unter realistischen Einsatzbedingungen. Eine Schnellademöglichkeit gibt es nicht. Dafür haben die Startup-Pioniere, die als MAN Zulieferer in Salzgitter und Ankara begonnen haben,

eine dynamische Ladematrix für bis zu 10 Busse im Angebot, die mit 400 kW Ladeleistung die Busse bedarfsgerecht und schonend über Nacht laden kann. Diese kam aber aufgrund der geringen Stückzahlen bisher kaum zum Einsatz.

Der Solaris U18 wiederum schafft seine mittlere Reichweite von rund 150 km mit seinen schnellladefähigen High-Energy-NMC-Batterien (Dach und Heck) mit maximal 300 kWh, von denen 240 effektiv nutzbar sind. Ab 2020 sollen dann mit neuer Batteriegeneration schon 200 km möglich sein. Das liegt darin begründet, dass die Batterien jeweils am besten in einem Fenster von 20 bis 80 % der theoretischen Ladefähigkeit arbeiten müssen, um die gewünschte Lebensdauer zu gewährleisten. Wenn also der Fahrer schon eine schockierende Null im Display sieht, haben die Akkus in aller Regel noch genug Power, um ins Depot zu kommen.

Auch beim Antrieb scheiden sich die Geister bei den drei Kandidaten recht schnell. Bei Solaris wie bei Sileo kommt die von ZF nun in „AxTrax AVE“ umbenannte Elektroachse zum Einsatz, die eigentlich den konventionellen Motorturm obsolet

macht. Wie Mercedes beim eCitaro hat Solaris diesen jedoch beibehalten, um hier drei Batteriemodule und weitere Technik unterzubringen. Die Leistung der beiden maximal 250 kW starken radnahen Asynchronmotoren ist durchaus ansehnlich. 11 000 Newtonmeter maximales Drehmoment an jedem Zwillingsreifen sind ein fettes Wort. Nachteile dieses High-tech-Paketes ist das doch

deutlich vernehmbare Fahrgeräusch vor allem bei höheren Geschwindigkeiten, was wohl auch der einfachen Übersetzung in der Portalachse anzulasten sein dürfte. Zudem muss ein langjähriger Einsatz erst noch beweisen, dass die wassergekühlten Motoren, die den ständigen Erschütterungen der ungefederten

Beim Antrieb scheiden sich die Geister schnell

Achsmasse ausgesetzt sind, genauso langlebig sind wie ein fahrzeugfester Zentralmotor. Seit dem ersten Einsatz im Mercedes Citaro Hybrid Gelenkbus hat ZF allerdings schon deutliche Veränderungen in das Aggregat einfließen lassen. Wie dieser früh verblichene Elektromobilitätsvorreiter

aus Mannheim bietet der Sileo S18 ebenfalls zwei dieser Power-Packs vom Bodensee, was in Summe dann im Stadtbus bisher ungekannte 680 PS Leistung und 44 000 Newtonmeter maximales Drehmoment ergibt, die selbstverständlich passagiergerecht aberegelt sind, um die Beschleunigung im irdischen Rahmen zu halten. Vorteil dieser beinahe unvernünftig klingenden Kraftkonzentration (wir erin-

Elektrobus Konzeptvergleich 2018 Technische Daten

| Hersteller | Sileo S18 | Solaris Urbino 18 electric | VDL Citea SLFA-181 Electric |
|---|--|---|---|
| Kunde | ASE AG | MZA Warschau | Karlstadsbuss (SWE) |
| Länge/Breite/Höhe | 18 300/2 550/3 213 mm | 18 000/2 550/3 400 mm | 18 150/2 550/3 410 mm |
| Radstand 1/2 | 6 000/6 080 mm | 5 900/6 000 mm | 5 250/6 750 mm |
| Wendekreis | k. A. | 22 950 mm | 23 570 mm |
| Stehhöhe Innenraum | 2 290 mm | 2750 mm | 2 416 mm |
| Leergewicht/zGG | k. A./28 000 kg (mit ZF RL75) | 19 195/29 000 kg | 21 400/28 750 kg |
| Sitze/Klappsitze/Stehplätze | 38/-/81 | 42/-/78 | 31/11/64 |
| Türkonzept/Antrieb/Marke | 2/2/2; elektr./k. A. | 2/2/2/2; pneum./Ventura | 1/2/2/2; elektr./Ventura |
| Typ Klimaanlage | Aurora Wärmepumpe mit Kaltwassersatz, COP 2,5-4,5 | Konvekta UL 500 EM x 2; Hybrid-Zusatzheizung mit Wasserboiler | 2x Thermo King EDS-700N, Wärmepumpe; Biodiesel-Zusatzheizung |
| Fahrerarbeitsplatz | analog, VDV | Solaris digitaler Touchscreen | VDL mit Conti Digitaldisplay „EPIC“ |
| Energiegehalt Batterien | 345 kWh, alle auf dem Dach | 240/300 kWh (nutzbar/Max.) | 169 kWh, 4 Module auf dem Dach |
| Batterietyp | SCL-Batteriesystem mit aktiver Zellbalancierung; Überwachung und Austauschbarkeit einzelner Zellen, Lithium-Eisenphosphat (LiFePO4); luftgekühlt | High Energy Lithium-Ionen Batterien; 3 Module auf dem Dach und 3 Module im Heck; Nickel-Mangan-Cobalt (NMC); wassergekühlt | Microvast „High Power“ Li-Ionen (LTO); Silikon-Wärmetauscher; C-Rate 2,5 |
| Lademöglichkeit (Typ) | Sileo eigene Ladetechnik die mittels Combo2 Stecker sowohl AC als auch DC parallel zur Verfügung stellt / Dynamische Ladematrix für bis zu 10 Busse (optional) | CCS2/Combo; Schunk-Pantograf fahrzeugfest; | (invertierter) Pantograf; CCS2/Combo |
| Lademöglichkeiten (kW) | 40-80 kW / 400 kW (Eingangsleistung); 120 kW (Ausgangsleistung) | bis zu 450 kW | 420-450 kW / 30-50 kW |
| Elektromotor Typ | 2 x Elektrische Niederflur-Portalachse ZF „AVE 130“, 2./3. Achse; radnahe Asynchronmotoren (ASM), wassergekühlt, 3 Phasen, 600 V | Elektrische Niederflur-Portalachse ZF "AxTrax AVE" 3. Achse; radnahe Asynchronmotoren (ASM), wassergekühlt, 3 Phasen, 400 V; Traktionselektronik Medcom | Fahrzeugfester Permanentmagnet-Synchron-Zentralmotor (PSM); Siemens 1 DB2022, wassergekühlt, 6 Phasen, zwei Wicklungen; 650 V |
| Leistung (kW/PS) Dauer/Spitze | 4 x 120/250 kW; 163/340 PS | 2 x 125/250 kW; 163/340 PS | 210/240 kW; 285/326 PS |
| max. Drehmoment (Nenn-/Spitzenleistung) | k.A./ 4 x 11 000 Nm am Rad | k.A./ 2 x 11 000 Nm am Rad | 1 337/3 800 Nm bei 300 A |
| Getriebeübersetzung | zweistufig, i = 22,6 | zweistufig, i = 22,6 | keine |
| Connectivity | FMS Schnittstelle, Sileo eigener oder fremde Datenlogger | „Remote Diagnostics eSConnect“ | ZF openmatics (Serie) |
| Reichweite (min./max.)/Ladezeit | max. 350 km/4-10 Stunden | ca. 200 km/eine Stunde bei 300 kW Ladestärke | 40-160 km/ca. 45 min. |



⬆ Der Blick von oben zeigt die ganz unterschiedlichen Dachaufbauten

nern uns an den irrwitzigen „ludicrous Mode“ im Tesla Model S) sei die höhere Fahrstabilität und Steigfähigkeit gerade im Winter (obwohl alle drei Probanden zu eben diesem Zweck bereits über elektronisch geregelte Knickwinkelsteuerungen verfügen). Und die zweifache Rekuperationsfähigkeit von bis zu 40 % der eingesetzten Traktionsenergie. Denn die Motoren arbeiten ja in beide Richtungen und können auf Strom aus dem Bremsvorgang regenerieren. Ob das dann aber den Zusatzinvest im Wert eines Kleinwagens bei ohnehin schon überdimensionalen Investitionskosten wieder einspielt, darf doch ernsthaft bezweifelt werden.

Gänzlich anders sieht die Sache beim fahrzeugfesten Siemens-Zentralsmotor im VDL aus, der auf den kryptischen Namen 1 DB2022 hört und übersetzungsfrei bis zu 240 kW an Spitzenleistung bietet. Das beinahe dezente maximale Drehmoment beläuft sich auf 3800 Newtonmeter, immer noch viel im Vergleich zu einem Stadtbus-Dieselmotor mit maximal 2000 Zählern. Es handelt sich zwar noch um die 2. ELFA Generation von Siemens, von der bereits rund 7500 Systeme an 50 Hersteller in alle Welt verkauft wurden (ELFA 3 steht gerade vor dem Roll-out), aber er ist bereits als PSM-Version ausgeführt, also mit permanenterregtem Synchronmotor, der für seine

hohe Effizienz bekannt ist, aber Seltene Erden wie Neodym benötigt. Das führt immer wieder zu Kritik in Sachen globaler Förderungsbedingungen und -abhängigkeiten.

ZF arbeitet ebenfalls an der Technologie, wird diese aber nicht zeitnah anbieten können. Vorteil der wassergekühlten, hinter der konventionellen Hinterachse verbauten Maschine ist die fahrzeugfeste, vibrationsgelagerte Montage und seine relative Geräuscharmheit, die im Bonner Stadtvermehr wiederum nicht exakt gemessen werden konnte, aber subjektiv deutlich vernehmbar ist. Zudem können Hersteller, die ihren Bus konzeptionell nicht völlig umstricken wollen, einfach den Diesel durch den E-Motor ersetzen, und den restlichen Antriebstrang beibehalten. Über mangelnde Flexibilität kann sich der

Die schöne, neue Elektrowelt macht es dem Kunden nicht einfach



⬆ Über Nacht wurden die Batterien bestromt Foto: Jürgen Görgler

Kunde ebenfalls nicht beschweren, mit rund 14 möglichen Motorenkombinationen für Midi bis Gelenkbusse (Größe, Zahl der Wicklungen, Zahl der Motoren) ist das System sehr kundenfreundlich und hat sich schon zu so etwas wie dem Brot-und-Butter-Antrieb in aller Welt gemauert. Man darf gespannt sein, wenn die Kollegen aus München und Södertälje mit ihrem eigenen Zentralsmotor in den Ring steigen ab 2020.

Alle drei Testkandidaten legen besonderen Wert auf Heizung und Kühlung, entweder werden ausschließlich Wärmepumpen, oder eine Kombination mit konventioneller Klimaanlage eingesetzt, was aus Effizienzgründen beim Elektrobus eher die Pflicht als Kür darstellt. Letztere, nämlich CO₂ als Kühlmittel oder eine rein elektrische Zuheizung beherrscht aber noch keiner im Trio. VDL gönnt seinen Fahrgästen sogar eine elektrische Fußbodenheizung unter edlem Synthetikparkett, und macht so das Fehlen eines Warmwasserkreislaufs wett. Solaris wiederum verbaut einen Hybridheizer mit Verbrenner und elektrischem Boiler.

Als vorläufiges Fazit lässt sich ziehen, dass der Markt

durchaus schon serienreife elektrische Gelenkbusse bereithält, und das sogar im attraktiven Tram-Design, das hiermit wohl seine neue Blüte erleben dürfte. So ist der Elektrobus nicht nur beim Antrieb etwas ganz Besonderes! Die Antriebs- und Ladekonzepte sind recht unterschiedlich, am flexibelsten sind die bei Solaris: Die polnische Stadtbusschmiede bietet dem Kunden beinahe alles, was er wünscht, wenn auch die Karosserie mit ihrem Motorturm noch nicht optimal auf den Antrieb abgepasst ist.



Foto: Görgler

⬆ Jeder Testwagen durchlief auch einen Werkstattcheck

Auch VDL wird mit dem neuen Batteriekonzept flexibler, was die Infrastruktur angeht, der Wagen kommt sehr gediegen daher, der Antrieb ist leise und robust – wenn auch nicht eben dynamisch – eben der E-Golf im Vergleich. Der schöne Außenseiter ist der Sileo mit seinen deutsch-türkischen Genen. Viele Eigenschaften erinnern hier an Tesla, von den Hochleistungsbatterien und fahrerischen Superlativen, bis hin zur eher mäßigen Verarbeitung. Trotzdem weiß sein Konzept vor allem im Innenraum zu überraschen und überzeugen. Im zweiten Teil unseres Testes werden wir uns das genauer ansehen und auch die Fahreigenschaften unter die Lupe nehmen.

Olaf Forster