

Der Trolleybus-Hybridbetrieb in Esslingen

von Dr.-Ing. E.h. Harry Hondius, Dipl.-Ing. ETH, Beaufays, Belgien



1. Trolley-Hybridbus auf der Serpentinroute Zollbergstraße am Oberen Eisbergweg. Hier fuhr bis 1978 die Straßenbahn END. Aufnahme: SG

Die Stadt Esslingen hat 91.271 Einwohner und im Zentrum eine Höhenlage von 241 m bis 490 m in den umliegenden Hängen. Drei eigene Trolleybuslinien, 101, 113 (teils) und 118, die Buslinien 102, 103, 105, 115, 138 und sieben Linien von vier Privatunternehmern befördern 8,9 Mio. Fahrgäste pro Jahr. Diese Privatunternehmer wollten ab 1. Juli 2018 den gesamten Busbetrieb in eigenwirtschaftlicher Leistung übernehmen. Die Kommune beschloss jedoch, die Verkehre ab Juli 2018 in Direktvergabe durch den kommunalen Städtischen Verkehrsbetrieb Esslingen am Neckar (SVE) ausführen zu lassen. Die heutigen Konzessionäre könnten dann ggf. als Subunternehmer Linien befahren. Dies ist z.Z. wohl juristisch umstritten. Der SVE-Dieselbuspark besteht aus vier MAN Lion's City A20, neun MAN Lion's City A23 und drei Mercedes-Benz Citaro G (O 530 G).

Der Trolleybusbetrieb in Esslingen mit ca. 15,5 Strecken-km ist der zweitälteste noch bestehende in Deutschland nach Eberswalde (1940 eröffnet, Solingen folgte 1952). Der Esslinger Trolleybus existiert seit Juni 1944, als die Straßenbahnstrecke Esslingen–Obertürkheim ersetzt wurde. Bis 1950 wurde der Trolleybus von der SSB, Stuttgart, seitdem von der Stadt Esslingen als SVE betrieben. Letztere hat eine bewegte Geschichte, die in Wikipedia [1] ausführlich dargestellt ist. Bis 1998 gab es in Ober-

türkheim einen perfekten Übergang zur SSB-SL 4 (Abb. 2), die durch eine Stadtbahn, die in Untertürkheim endet, ersetzt wurde. Die Trolleybuslinie wurde leider nicht verlängert, Bus 61 verbindet jetzt SVE und SSB.

Von 1926 bis 1978 wurde durch die meterspurige Überlandstraßenbahn END der Bahnhof von Esslingen (Abb. 3) über den Zollberg, Höhenunterschied 133 m, mit Nellingen und Denkendorf verbunden [2]. Es gab neun vierachsige, viermotorige Triebwagen mit Holzaufbauten aus 1926–1929 (13 x 2,4 m), einen Triebwagen aus 1942 und ein Exemplar aus 1955, die alle mit den vorherigen identisch waren. Dazu kamen 15 zweiachsige Beiwagen, 10 x 2,4 m, mit vergleichbaren Lieferdaten. Die Triebwagen wurden technisch, teils u.a. durch den Einbau von Vielstufen-Nockenfahr-schaltern, modernisiert. 1958 folgten zwei neue, 16 x 2,5 m messende, stählerne Vierachser mit zweimotorigen Kardantrieben mit zwei neuen Vierachsbeiwagen mit den gleichen Dimensionen. Alle Fahrzeuge wurden von der Maschinenfabrik Esslingen geliefert. Für eine eventuelle Fortsetzung des Trambetriebes wurden mehrere Gutachten eingeholt, sogar Pläne ausgearbeitet, Hagener Düwag-Gelenkwagen zu kaufen und in Traktion fahren zu lassen, aber am Ende siegte die Wirtschaftlichkeit, 1978 war Schluss. Die vier modernen Wagen gingen an die Rittnerbahn und die END fuhr mit Dieselbussen. Ihre Existenz endete am 31. Dezember 2015 [3]. Eine Karte in „stadtverkehr“ 1-2/2016, Seite 42 [3] zeigt, wie weit das normalspurige SSB-Stadtbahnssystem bereits bis Nellingen vorgedrungen ist.

1974 stand die Existenz des Trolleybusses auf der Kippe [1] und in dieser Situation schlug der damalige Bundesminister für Forschung und Technologie, der Esslinger SPD-Abgeordnete Dr. Volker Hauff, Esslingen vor, einen Duo-Bus-Referenzbetrieb einzuführen. Die Ölkrise vom Herbst 1973 wird nicht ohne Einfluss dabei gewesen sein. Zwischen 1983 und 1995 gab es die MB O 305 GTD 306–308, die 1993 verkauft wurden und ab 1988 bis 1991 wurden 14 MB O 405 GTD 310–319 und bis 1995 nochmals fünf Stück 320–328 beschafft (Abb. 4, 5, 7). 1990 war die Zollberglinie bis Nellingen Linde sowie eine Ringlinie auf dem Zollberger Plateau elektrifiziert, das Gesamtnetz war nun ca. 15,5 km lang und das ist auch heute noch so (Abb. 6). Die OL 118 fuhr nun elektrisch in einer Richtung auf dem Plateau und die OL 119 und 120 elektrisch bis Nellingen Linde und von da an als Dieselbus nach Neuhausen oder Denkendorf. Eigentlich eine geniale Idee. Eine Zeitlang fuhr auch die OL 101 mit Duobussen, der Park war einheitlich. Es gab noch eine Weile einen schönen MB O 405 T-Trolleybus!

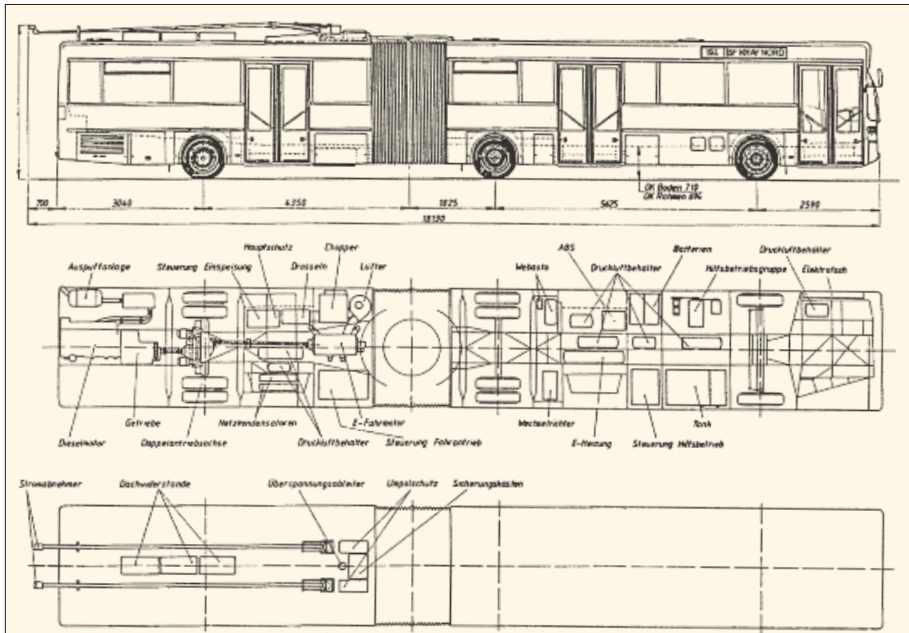
Mit 19 MB O 405 GTD waren die SVE der größte Betreiber dieses Typs, gefolgt von der EVAG, Essen, mit 18 Stück. Bergen erhielt zwei Stück,



2. Endhaltestelle der SSB-SL 4 und der Trolleybuslinie nach Esslingen in Obertürkheim, März 1957. Die Obusfahrdrähte sind auf beiden Seiten der Tram gerade sichtbar. Ein bequemes Umsteigen ist möglich.



3. Die Straßenbahn Esslingen-Nellingen-Denkendorf (END) nach Denkendorf am Bahnhof Esslingen im Jahr 1957; Tw 3 mit zwei Zweiachsbeiwagen. Ein Zweig der END führte nach Neuhausen. Aufnahmen ohne anderen Vermerk: HH



4. Der Mercedes-Benz-Duobus O 405 GTD, ein bemerkenswertes Fahrzeug! Abbildung: Mercedes-Benz



7. MB O 405 GTD in Essen als Trolleybus an der Stadtbahnhaltestelle Porscheplatz im Jahr 1989. Das Fahrzeug hatte Türen auf beiden Seiten.

Kapfenberg ebenfalls, wie auch Potsdam. Insgesamt waren das 43 Gleichstrom-Chopperfahrzeuge. Mit Hilfe des THERMIE-Programms der EU erhielt Kopenhagen zwei MB O 405 GTD mit Drehstromantrieb für eine 3,7 km lange, elektrifizierte Linie Norreport-Haraldsgade. Sie wogen nur 17,425 kg [4]. Die technischen Daten des MB O 405 GTD und des Solaris Metrostyle/Kiepe-Trolley-Hybridbusses können der Tabelle entnommen werden.

Der O 405 GTD [5, 6] war ein genial konzipiertes Fahrzeug. Die MB-Achse 3 wurde von hinten von einem klassischen OM-447h-Motor mit einem hydromechanischen ZF-Getriebe HP 500 angetrieben und die Antriebsachse erlaubte von vorn den elektrischen Antrieb mit einer Extra-Übersetzung mit Schiebemuffe, die entweder den Diesel oder den E-Antrieb

ermöglichte. Der AEG-Motor war eine besonders flache Ausführung. Effektiv war der GTD 12 % schwerer als das Diesel-Modell O 405 G. Der O 405 war die VÖV-SL-II-Ausführung von Mercedes-Benz und einer der besten Busse überhaupt. Einstieg mit zwei kleinen Stufen auf 711 mm. Eine Karosserie, die 20 Jahre ohne Rappeln (bei ordentlichen Straßen) überstand. Die O 405 G und O 405 GTZ fuhren in Zürich während 20 Jahren und die Trolleybusse waren bis 2015 stets in Topform. Ab 1989 wurde schon der O 405 N gebaut, bald gefolgt vom O 405 N2: die Niederflerperiode war angebrochen. Eines der echten Probleme mit Duobussen war, dass man so bequem im Flachen mit dem Diesel weiterfahren konnte. Das sah man auch in Nancy in den Hauptstraßen St-Jean und St-George; etwa jeder dritte oder vierte passierende Bus fuhr als Diesel.



5. MB O 405 GTD im Einsatz auf der Linie 147 der EVAG, Essen, aufgenommen beim Eindrahten, kommend vom Ruhrschnellweg aus Kray



6. Das Trolleybusnetz der SVE im Jahr 2010

Abbildung: Maximilian Dörrbecker



8. Van Hool AG 300 T am Bf Esslingen, Bahnsteig Richtung Obertürkheim, links der zweite ZOB-Bahnsteig mit Schleife



9. Van Hool AG 300 T, Blick in den gezogenen Hinterwagen

Ab 2002 beschaffte die SVE neun Van Hool AG 300 T Puller-Trolleybus mit einem IGBT-Antrieb der Achse 2 von Kiepe/Skoda (Abb. 8, 9). Die technischen Daten: 17,98 x 2,49 m, 16,7 t, 1 x 210 kW, 2000 Nm/1482 min.⁻¹, vierpoliger 3AC-Skoda-Motor, Übersetzung $i = 9,53 : 1$, Deutz-Diesel-Notaggregat mit 53 kW, sechs 275/70R22.5-Reifen für die Achsen 1 und 2 und zwei 315/70R22.5-Reifen für die gelenkte Achse 3. Die Fahrzeuge wurden in einer gemeinsamen Bestellung mit Solingen für ca. 550.000 EUR/Stück beschafft. Sie fahren flott, der Antrieb ist redlich leise, aber, da auch die Straße nach Obertürkheim teilweise in mittelprächtigen Zustand ist, rappeln die Vorderwagen ordentlich. Ein Trolleybus ist eben ein Bus und 15 Jahre ist wohl die Lebensdauer.

Die Bedeutung der Hochflur-Duobusse verringerte sich allmählich, die Niederflerbuswelle rollte heran, ab 2005 fuhren sie nicht mehr elektrisch den Zollberg hinauf und 2008 wurde als letzter der Duobus 328 verkauft. Ende. Die Fahrzeuge konnten meistens in den Osten verkauft werden. Die neun Van Hools bedienten nun die OL 101 und 118, die Strecke Mutzen-

reisstraße–Nellinger Linde wurde nicht mehr elektrisch befahren. Als man auf der OL 101 zum Viertelstundenbetrieb überging, verkaufte man drei Van Hools nach Rumänien.

Trolleybus-Hybride

Die Idee war, die Van Hools nach etwa 15 Jahren zu ersetzen und so begannen 2011 die Überlegungen, ob man die bestehende Obusanlage nicht für die Zweirichtungsbefahrung der OL 118 auf dem Zollberg-Plateau und eine zusätzliche Linie 113 nutzen könnte, ohne in Infrastruktur zu inves-



10. Solaris Metrostyle/Cegelec-Trolleybus 351 für Salzburg bei Ekova zur Endmontage und Erprobung



11. Salzburg 351, viertürig, mit Boden durchgehend auf Höhe 330 mm

Vergleich MB 0405 GTD und Solaris Trollino 18 Metrostyle/Kiepe

In Betrieb	1988-2007	ab 2016
Hersteller Bus	Mercedes-Benz (MB)	Solaris
Hersteller E-Ausrüstung	AEG/Westinghouse	Kiepe
Achsanordnung	1'1A	1'AA
Länge (m)	17,43	18,75
Breite (m)	2,5	2,55
Überhang vorne (m)	2,59	2,7
Überhang hinten (m)	3,04	3,4
Radstand (m)	5,625 + 6,175	5,87 + 6,77
Türen (mm)	3 x 1200	3 x 1350
Vorderachse	MB-Starrachse	ZF RL 82 EC
Mittlere Achse	MB	ZF AV 132
Antriebsachse	MB-Doppelantriebsachse	ZF AV 132
Fußbodenhöhe (mm)	710	320-340
Gewicht, leer (t)	18,45	20,48
E-Motor(en)	AEG-Gleichstrommotor	TSA-Asynchronmotoren
Steuerung	Chopper	IGBT
Netzspannung (V)	600	600
Dauerleistung (kW)	180	2 x 160 (bei 1690 min. ⁻¹)
Dauerdrehmoment (Nm)		2 x 1300
Übersetzung	1 : 11,5	1 : 9,84
Höchstgeschwindigkeit (km/h)	65	80
Bremse	Nutz/Widerstand	Nutz/Widerstand
Batterie-Kapazität	—	LTO 46 kWh/240 kW
Heizung	Wasser	Wasser 40 kW/Kühlung 25 kW
Dieselmotor	OM 447h, 177 kW/2200 min. ⁻¹	—
Vmax (km/h)	78	—
Gewicht/m ² (kg)	422	428
Sitze	51	44
Stehplätze	100	66
Kapazität (zugelassen)	151	110



12. Solaris Metrostyle/Kiepe am Rathausplatz in Esslingen



15. Metrostyle am ZOB-Esslingen mit Bahnsteigen 3 und 4, gerechnet von den Eisenbahnschienen

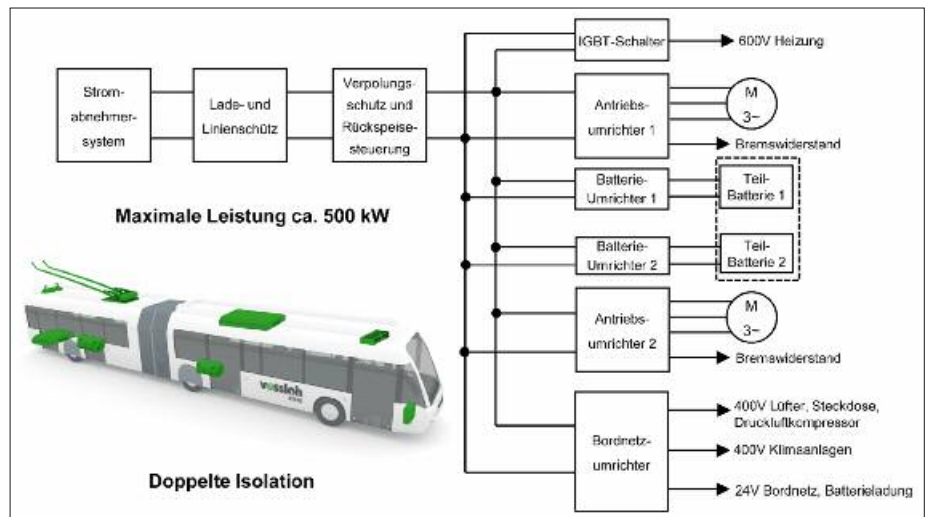
tieren, wobei man während der Fahrt unter den Fahrleitungen die Batterien laden würde – In-Motion-Charging (IMC)[®], wie Kiepe es registrierte.

Nachdem die Finanzierung sichergestellt war, beschaffte man mit Kiepe als Generalunternehmer vier Solaris Metrostyle Trolley-Hybrid-Busse. Die technischen Daten können der Tabelle entnommen werden. Das Fahrzeug ist eine verlängerte Ausführung der 26 zuletzt bestellten Metrostyle-Busse 345–370 der Stadtwerke Salzburg (Abb. 10, 11) mit einer E-Ausrüstung von Cegelec, Prag. Diese 18 x 2,55 m messenden Fahrzeuge sind auch voll-elektrisch, viertürig, mit einer Hilfsbatterie von 35,1 kWh und einer Leistung von 50 kW ausgestattet. Die ZF-Achse 3 vom Typ AV 132 mit einer Übersetzung $i = 6,2 : 1$ wird von einem eigenbelüfteten, sechspoligen TSA-AC-Motor von 250 kW Dauerleistung bei 1376 min⁻¹ angetrieben. Das Ganze rollt auf zehn 275/70R22.5-Reifen und vorne auf einer ZF-Achse RL 75 RC; die ZF-Achse in der Mitte ist vom Typ AVN 132. Das Leergewicht des Fahrzeugs beträgt 17,98 t und das zugelassene Gesamtgewicht (zGG) 28 t.

Die Abbildungen 12 und 18–20 vermitteln einen Eindruck des Esslinger Trolley-Hybrid-Fahrzeugs. Die Unterschiede zu Salzburg sind:

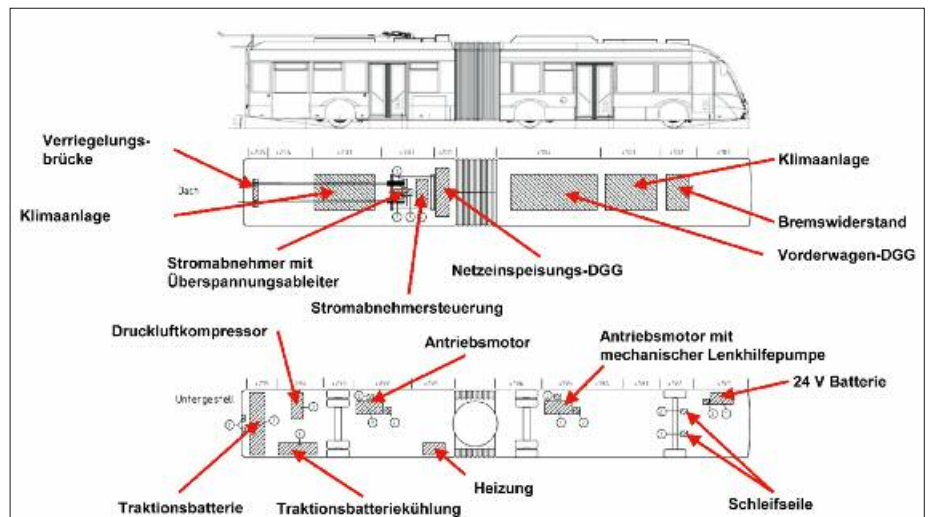
- Zweiachsanantrieb, mit der Konsequenz, dass zwei Wechselrichter vorhanden sind
- Vergrößerter Radstand des Vorderwagens, um die Verlängerung um 750 mm zu ermöglichen
- Verstärkung und Umbau des Hecks, weil dort die zwei Voltabox-LTO-Batteriepakete (Lithium Titanat Oxyde) untergebracht sind. Dies führte zu zwei Stufen im Hinterwagen.
- Sehr leistungsstarke 46-kWh-Batterien, die während 60 Sekunden 240 kW liefern können, eine Dauerleistung von 150 kW aufweisen und dementsprechend 1,3 t wiegen
- Fahrzeuggewicht leer 20,48 t, 2,5 t schwerer als die Salzburg-Edition.
- Salzburg offeriert 36 Sitze und 104 Stehplätze, insgesamt 140, der Esslinger Bus 44 Sitze und 66 Stehplätze, zusammen 110.
- Der Beschaffungspreis einer Miniserie von vier Stück beträgt 1 Mio. EUR/Stück im Vergleich zu ca. 770.000 EUR in Salzburg bei Beschaffung von 26 Exemplaren.

Das Esslinger Fahrzeug rollt auf einer ZF-Achse RL 82 ES vorne und auf zwei AV-132-Achsen. Die zwei vierpoligen, fremdbelüfteten TSA-Motoren verlangen ein höheres Übersetzungsverhältnis.



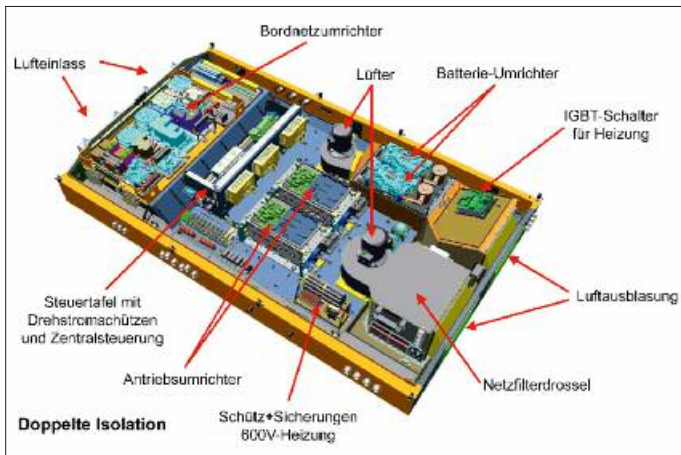
13. Das Kiepe-Blockschaltbild der elektrischen Ausrüstung

Abbildung: Kiepe



14. Kiepe: Anordnung der E-Apparate

Abbildung: Kiepe



16. Das Dachgerätegehäuse (DGG)

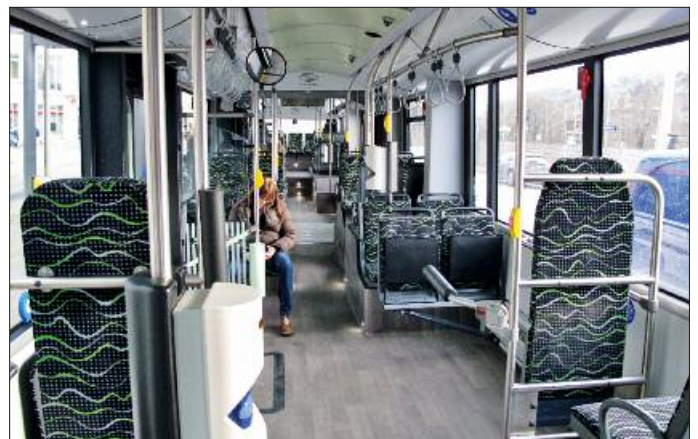
Abbildung: Kiepe



18. Metrostyle: Vorderwagen



17. Batterieboxen und Trolleyfänger (Retriever)



19. Metrostyle: Blick von vorn nach hinten

Knopf zur Nutzung freigegeben werden. Die Batterien sind in zwei Pakete unterteilt, die von einem eigenen Batterielader bedient werden. Die Ladung während der Fahrt darf 150 kW betragen, im Stillstand 50 kW (eine Frage der Temperatur der Fahrleitung). Wie bei allen Trolleybussen ist die auf 1500 V DC isolierte E-Ausrüstung doppelt isoliert. So ist der Dachcontainer (Abb. 16) doppelwandig gegenüber dem Dach und sind die dort montierten Apparate gegenüber dem Container isoliert. Die Traktionsmotoren sind isoliert am Fahrzeugrahmen befestigt und haben Isolierscheiben zwischen Motor und Kardanwelle. Im Bordnetzumrichter sind die Funktionen 24 V DC (10 kW) und 400 V 3AC (35 kW) galvanisch von der Zwischenkreisspannung isoliert. Eine Netzdrossel glättet die Zwischen-spannung gegenüber der Batterie ab, speziell die Bremsspannung wird heruntergetaktet. Die Klimatisierung erfolgt über zwei Konvekta-Geräte Ultralite 500 EM (25 kW). Die 40-kW-Heizung findet dabei über einen Heizwasserspeicher statt. Abbildung 17 zeigt die Batterieboxen im Heck mit den Stromabnehmer-Stangenfängern (Retriever) und die Abb. 18-21 das geschmackvolle Innendesign von verschiedenen Perspektiven aus gesehen sowie die Fahrerkabine.

Der Hybrid-Betrieb

Die OL 118 führt vom ZOB am Bahnhof Esslingen den Zollberg hinauf und bedient einmal stündlich linksherum (gegen den Uhrzeigersinn) fahrend als Trolleybus das Zollberg-Plateau. Um eine halbe Stunde versetzt wird am Zollberg aus- (Abb. 22) und auf dem Rückweg eingedrahtet und die Strecke auf dem Plateau im Uhrzeigersinn mit Batteriebetrieb befahren. Am ZOB gibt es jeweils fünf Minuten Pause, ein Fahrzeug genügt.

Die neue OL 113 fährt [9] ebenfalls vom ZOB den Zollberg hoch, drahtet an der Nutzenreisstraße aus und fährt dann als Batteriebus durch Berkheim, über die Adenauerbrücke wieder zum ZOB, wobei beim Schwimmbad auf der OL 101 eingedrahtet wird (Abb. 22 roter Pfeil). Den Batterie-Ladungsgrad (SOC) während dieser Fahrt zeigt Abbildung 23.

Man sieht, dass beim Herunterfahren der SOC relativ langsam sinkt. Hier sind zwei Fahrzeuge im Einsatz. Man kann mit vollgeladener Batterie minimal 10 km fahrleitungsfrei fahren. Die Fahrt in umgekehrter Richtung ist technisch machbar, könnte aber im Winter kritisch sein. Die Batteriekapazität müsste höher sein; deshalb fährt die OL 113 in der anderen Richtung als Gelenkdiesel. Bei einer Demonstrationsfahrt beschleunigte das Ganze und nahm den Zollberg im Batteriebetrieb wie ein Trolleybus. Auch auf dem Plateau werden 60 km/h flott erreicht. Die Fahreigenschaften sind gut, die Antriebe leider relativ laut. Die SVE gab an, einen Winterstromverbrauch von 2,6 kWh/km dem städtischen Versorgungsnetz entnommen zu haben. Das Projekt wird von Fraunhofer IVI und der Hochschule Esslingen begleitet.



20. Metrostyle: Der hintere Teil komplett neu gestaltet wegen der Unterbringung der Batterien – man vergleiche mit Abbildung 11



21. Fahrerplatz mit Video-Überwachungsbildschirm



24. Eleganter Trichter am Zollberg; erlaubt An- und Abdrähten per Druckknopf

Fazit

Man hat in Esslingen mit 270.000 EUR Projektkosten und 170.000 EUR Investition in die Fahrleitungen 8,2 km zusätzliche Strecken in einer Richtung elektrisch betreiben können. Natürlich musste man dafür einige sehr teure Fahrzeuge beschaffen. Die SVE erhielten eine Förderung von 1 Mio. EUR.

Die Frage stellt sich, warum mussten es zweimotorige Antriebe sein?

Arnhem ging von zweimotorigen Antrieben für die Serie auf einmotorigen Antrieb über. Auch Salzburg und Winterthur haben neue einmotorige Trolleybusse. Ein 250-kW-Motor auf der Achse 3 würde doch sicher auch genügen. Das spart einen Motor, eine Kardanwelle, einen Antriebs- teil der Portalachse und einen Wechselrichter plus Verkabelung und Gewicht. Außerdem kann der 250-kW-Motor sechspolig sein und es ist möglich, ein Standard-Übersetzungsverhältnis von 6,2 : 1 in der Antriebsachse verwenden.

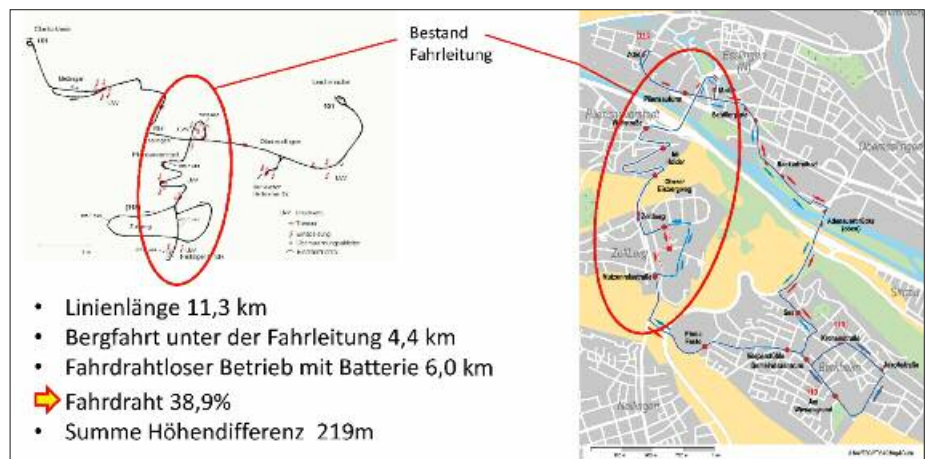
Bestehende Trolleybusbetriebe wären gut beraten, sich die Möglichkeiten der fahrleitungsfreien Fahrt in ihren Systemen zu überlegen. Es eröffnen sich v.a. am Berg Möglichkeiten, die reine Batteriebusse nicht bieten können. In Esslingen wird es von der definitiven Konzessionserteilung abhängen, wie man hier weiter vorgeht. Eine Weiterfahrt nach Untertürkheim? Im Mai kündigten Stadt und SVE an, in den kommenden Jahren Fahr- leitungsnetz und elektrischen Betrieb erweitern zu wollen. Arnhem hat zwei Hess/Kiepe-Swisstrolleys 4 mit dem IMC®-System bestellt, ebenso soll Solingen vier Solaris/Kiepe-IMC-Busse für die OL 695 in Auftrag gegeben haben.

Schrifttum

- [1] de.wikipedia.org, Stichwort: Oberleitungs- bus Esslingen am Neckar
- [2] 50 Jahre Strassenbahn Esslingen-Nellingen-Denkendorf, 1926-1976
- [3] M. Bosch: Abschied von der END, in: „stadt- verkehr“ 1-2/2016 und Stock, W.: Abschied von der Straßenbahn END, in: Der Stadtver- kehr 3/1978, S. 126f.
- [4] J.C. Led: The Duobus Project in Kopenhagen, in: Public Transport International 1/1994
- [5] K. Niemann: Duo-Busse mit Elektro- und Dieselantrieb, Technik und Betrieb, ETG- Fachbericht 50, 1994
- [6] H. Hondius: Duobus, eine Bestandsaufnahme, in: „stadtverkehr“ 3/1994
- [7] H. Hondius: Übersicht über die technische Entwicklung und die Position der Obusse

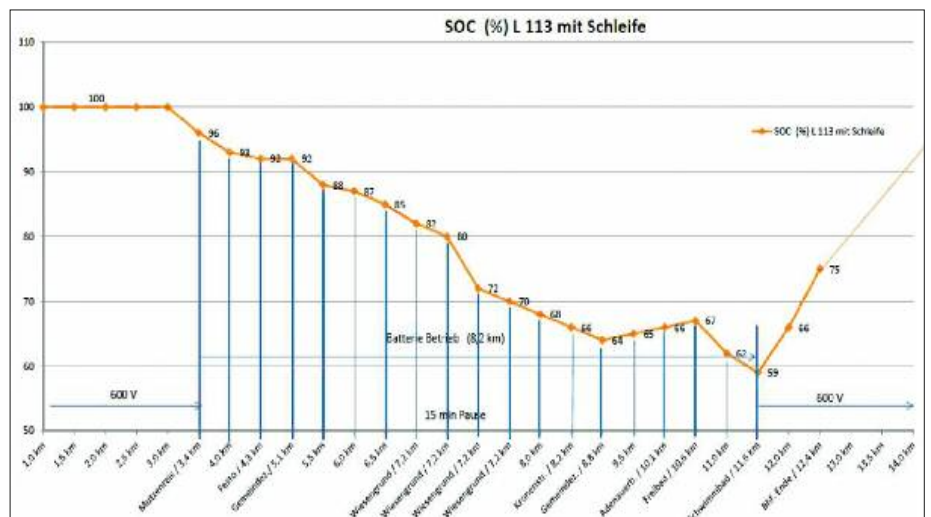
und Duobusse in der westlichen Welt, in: „stadtverkehr“ 5/1996 und 6/1996

- [8] J. Berndt: Vortrag: Umsetzung des Konzeptes Batteriebus mit In Motion Charging (IMC)® Elektrohybridbus Esslingen, 8.2.2017
- [9] H. Boog: Vortrag Fachtag Elektro-Hybridbus Esslingen, 8.2.2017
- [10] https://de.wikipedia.org/wiki/Oberleitungsbus_Esslingen_am_Neckar#/media/File:Karte_des_Oberleitungsbus_Esslingen.png



22. Verlauf der OL 113: Den Zollberg hinauf fährt man elektrisch, dann wird ausgedrattet, den roten Pfeilen folgend die Schleife durch Berkheim mit Batterie befahren, dann über die Adenauerbrücke bis zum Schwimmbad (OL 101), dort wird wieder eingedrahtet. Würde man umgekehrt fahren (blau), könnte man an der Nutzenreisstraße eindrahten.

Abbildung: SVE



23. OL 113, Ladezustand (SOC) im Verlauf der Strecke ZOB-Zollberg-Berkheim-Schwimmbad-ZOB SVE