

E-Mobilität: Welche Rolle kann der Trolleybus spielen?

Stand und Perspektiven eines unterschätzten Verkehrsmittels

Dr.- Ing. E.h. Dipl.-Ing. ETHZ Harry Hondius, Beaufays/Belgien

Der Trolleybus (in Deutschland ist der Begriff O-Bus geläufig) wird nach Angaben von Trolley-motion, einer Gruppe, die den Trolleybus aktiv fördert [1], weltweit noch in 300 Städten in der Welt eingesetzt. Der größte Betrieb befindet sich in Moskau mit 1598 Fahrzeugen auf einem Netz von 1250 km Länge. Der Trolleybus ersetzte in den dreißiger Jahren in den angelsächsischen Ländern Straßenbahnsysteme, die am Ende ihrer Lebensdauer angelangt waren.

Wo steht der Trolleybus heute?

1933 fiel in London der Beschluss, die Straßenbahn durch Trolleybusse zu ersetzen. 1940 stoppte der Umbau durch den Krieg, und nach dem Krieg entschloss man sich,

weitere Umstellungen durch Dieselbusse vorzunehmen. Dieser Prozess war 1952 abgeschlossen. 1954, es waren zu diesem Zeitpunkt 1811 Trolleybusse in Betrieb [2], wählte man den neu zu entwickelnden Routemaster zu seinem Nachfolger. 1962 fuhr in London der letzte Trolleybus.

40 Städte im Vereinigten Königreich (UK) betrieben Trolleybusse, 1972 fuhr der letzte Trolleybus in Bradford und 1986 der letzte im ehemaligen Britischen Empire in Johannesburg. Die dreiachsigen (davon zwei angetrieben) 70-Sitz-Doppeldeck-Trolleybusse hatten, speziell am Berg, ausgezeichnete Fahreigenschaften und waren hinsichtlich Beschleunigung, Geräuschniveau und Sitzplatzzahl, den damaligen Dieselnissen weit überlegen.

In Nord-Amerika gab es 80 Systeme, die meisten schlossen nach etwa 25 Betriebsjahren. In Betrieb sind: San Francisco (313 Busse), Seattle (159), Vancouver (262), alle drei Städte mit schweren Rampen, Dayton (54), Boston (60, Tunnelbetrieb) und Philadelphia (38), Mexico City (± 200) und Guadalajara (25). Toronto beendete den Betrieb 1993 und Edmonton in 2009.

In Latein-Amerika ist Sao Paulo die Stadt mit 88+191 lokal hergestellten Trolleybusse. Quito betreibt ein BRT-Trolleysystem mit 115 MB O405 G Hispano Carrocera/Kiepe Duo-Hochflurtrolleys. Die Tendenz geht Richtung Diesel und U-Bahn. In Venezuela gibt es derzeit zwei moderne BRT-Systeme mit Trolleybussen, eines in Barquisimeto (80 Neoplan N 6321/Bombardier) und eines in Mérida (45 Duo MB O405G/Hispano Carrocera/Kiepe). Durch die wirtschaftlichen Wirren des Landes sind beide nicht als Trolleybus-System in Betrieb! Wellington mit einem 50 km langen Netz, auf dem 60 modernisierte Nf-Trolleybusse mit brasilianischen Aufbauten fahren, stellte 2017 den Betrieb ein. Ersatz erfolgte durch Dieselnisse.

Im Deutschen Reich [3], ab 1938 inklusive Österreich, begann der Umbau von kleinen Straßenbahnbetrieben ab Mitte der dreißiger Jahre und setzte sich während des Krieges fort. Auch nach dem Krieg hielt dieser Trend bis Mitte der fünfziger Jahre an. Es entstanden insgesamt 68 Systeme, von denen Solingen mit 74 12-m-Trolleys das größte war. 1985 verschwand Kaiserslautern, nach der Wende Hoyerswerda, Weimar und Potsdam. Heute fahren in Deutschland Trolleybusse in Eberswalde, Solingen und Esslingen.



Foto: H. Hondius

Abb. 1: Cristallis ETB 18 der Sytral in Lyon, ein Designerbus von Irisbus/Alstom, der auf BRT-Strecken fährt.

In Frankreich war Lyon die erste Stadt [4] mit einem modernen Trolleybusbetrieb ab 1935. Während und nach dem Krieg kamen insgesamt 30 Systeme zustande, und sechs in Nord-Afrika. Lyon wuchs bis auf 685 Busse auf 173 km, gefolgt von Marseille 295 auf 105 km, St. Etienne 250 auf 33 km, Limoges 143 auf 30,5 km, und Paris 130 auf 30,5 km. Davon sind noch in Betrieb: Lyon mit sieben MAN/Hess/Kiepe, 69 Iveco/Alstom Cristallis ETB 12 und 55 Cristallis ETB 18 (Abb. 1), Limoges mit 31 Cristallis ETB 12 und vier Hess/Kiepe Swiss-Trolleys sowie St. Etienne mit elf Cristallis ETB 12.

Die Schweiz ist eine feste „Trolleybus-Burg“. Drei regionale Systeme verschwanden 1977 bis 1982, Lugano folgte 2000, Basel 2008 und La Chaux-de-Fonds 2014. Die dortigen Swis-Trolleys gingen an Neuenburg, die Solaris/Cegelec 18-m-Trolleys wurden nach Salzburg verkauft. Es verbleiben zwölf Systeme.

Italien war sicherlich in den vierziger Jahren das fortschrittlichste Trolleybusland, als Erstes betrieb es Gelenkbusse. Zwei gro-

ße Systeme blieben: Mailand und Neapel. Rom und Bologna machten einen Neubeginn. Es gab Neuanfänge in einigen Städten, andere setzten temporär den Trolleybetrieb aus. Verona könnte mit 37 Fahrzeugen eine wertvolle Ergänzung bieten.

Städte in West-Europa in denen der Trolleybus den Kern des ÖPNV formt, sind Arnhem (NL), Lausanne, Limoges (F), Solingen, Salzburg (>100 Busse), St. Gallen, Biel und Winterthur.

Deutlich wird, dass in der ehemaligen Sowjet-Union (SU) und in China zahlreiche Trolleybus-Systeme in Betrieb sind. In der SU gefördert durch den billigen Atomstrom.

Warum wurden Trolleybusse beschafft:

- Sie waren kostengünstiger als neue Straßenbahnen.
- Man musste die Schienenstrecken nicht erneuern, oft waren diese eingleisig und passten nicht mehr in die Verkehrssituation.

- Man konnte die bestehende Gleichspannungsverteilstruktur weiterverwenden und die Stadtwerke konnten weiterhin Strom verkaufen.
- Der Strom wurde in Europa mit einheitlicher Kohle erzeugt und war preisgünstig.
- Die Technik der Trolleybusse lieferte einen ganz anderen Fahr- und Bedienungskomfort als handgeschaltete Benzin- und Dieselbusse und eine hervorragende Beschleunigung.
- Am Berg waren Trolleybusse unvergleichbar mit Bussen mit Verbrennungsmotoren.
- Durch ihr leises, schnelles Fortbewegen waren sie beliebt, es gab zehn Prozent mehr Fahrgäste.
- Die dreiaxigen englischen Doppeldecker mit Zweichsantrieb wiesen 70 Sitze auf, gleich viele wie die doppelstöckigen Straßenbahnwagen.
- Trolleybusse konnten durch ihre Leistungscharakteristik sehr gut Anhänger ziehen.

ANZEIGE

21. Juni 2018
Hamburg

EURAILPRESS-FORUM
ALTERNATIVE ANTRIEBE im SPNV
Erwartungen und Herausforderungen

JETZT ANMELDEN!

www.eurailpress.de/antriebe18

Medienpartner:





Zum Autor

Dr.-Ing. E.h. Dipl.-Ing. Harry Hondius (77) ist nach einer Laufbahn in der Lokomotiv-, Energie- und Bauindustrie, seit 1988 als Berater und Publizist im Bereich des rollenden Materials für den Personentransport auf Schiene und Straße tätig.

Man sieht in Tabelle 2, dass PCC und Trolley die gleiche Beschleunigung haben und der Benzinbus nicht mitkommt, auch dass mit dem Benzinbus mehr Steuer bezahlt werden müssen. Das Resultat sprach für den Trolleybus.

Warum wurden Trolleybusse wieder abgeschafft?

Ab Mitte der fünfziger Jahre und verstärkt ab 1960 setzte ein massives Sterben der Straßenbahnen und Trolleys ein. Straßenbahnen: Berlin West 1965, Stockholm 1967, Kopenhagen 1972, Aachen 1974, Hamburg 1978 und als letzte Kiel 1984 und Wuppertal 1987. In München, Frankfurt und Nürnberg sorgte der U-Bahnbau für einen raschen Rückgang der Straßenbahnen. Bürgerinitiativen haben sie schließlich erhalten. Bei

den Trolleybussen ging es gleich schnell, Stockholm 1964 [6], Lüttich mit 150 Trolleys [7], einer der größten Betriebe, 1971. Es gab auch nach der ersten Ölkrise 1975 keinerlei Interesse, den Kurs zu ändern. UK, Dänemark, Frankreich bis auf vier Linien und Spanien waren ohne Trams und ohne Trolleybusse. Wie konnte das so passieren?

- Die Dieselmotortechnik verbesserte sich kontinuierlich. Gelenkbusse mit ständig wirtschaftlicheren automatischen Getrieben und Einmannbedienung senkten die Betriebskosten ungemein.
- Öl wurde sehr preisgünstig und Steinkohle und damit Strom immer teurer. Die E-Erzeugung wich aus auf Kernenergie und Öl- und Gasfeuerungen, aber die Zeit des ganz günstigen Stroms war vorbei.
- Die Unterhaltskosten der Dieselmotoren sanken ständig. Bereits 1990 drehten die Motoren 1 Mio km mit praktisch nur Ölwechseln.
- Dauernde Anpassungen der Straßen an den stets steigenden IV verlangten Investitionen in die Fahrdrähte.
- Die letzten Trolleybus-Serien waren elektrifizierte Dieselmotoren und da sagte man sich, der Dieselmotor ist einfacher. Trolleygelenkbusse wurden sogar in Dieselmotoren umgebaut.
- Die Zahl der Dieselmotoren in den Flotten stieg ständig, es war wirtschaftlicher ganz auf Diesel umzustellen.
- Der Preis neuer Trolleybusse stieg durch die stark verringerte Abnahme ständig.
- Die größte Bedrohung war und ist: Trolleybusse können im Flachland einfach durch Dieselmotoren ersetzt werden.

Die Tabelle 3 (alle Preise in CHF) basiert auf Hochflurfahrzeugen und stammt aus einem Vortrag von André Brechbühl, technischer Direktor der VBZ, im Haus der Technik in Essen 1992. Die VBZ [8] setzten damals auf eine Standardisierung auf MB O-405-Busse sowohl beim Diesel- als auch beim Trolleybetrieb. 191 Diesel- und 36 + 43 MB O 405 GTZ Trolleys mit einem dieselhydromechanischen Hilfsbetrieb auf der

Achse 2. Auch Winterthur beschaffte 20 MB O 405 GTZ. Die E-Ausrüstung für die 43 Exemplare war von ABB, als ABB sich schon aus dem Trolleygeschäft zurückgezogen hatte, mit Siemens-Motoren.

Es war deutlich, dass die Politik in der Schweiz aus Umweltgründen die Trolleybusse beibehalten und sogar erweitern wollte. Diese Politik wird bis heute verfolgt. 2008 kostete diese Strategie, mit rund 75 Gelenktrolleybussen ein 54 km langes Netz bedienen zu lassen, die VBZ jährlich 4 Mio CHF. Die MB O405 GTZ hielten 20 Jahre, ebenso wie die Dieselmotoren.

Die heutige Lage

Die Lage der westlichen Gelenkbus-Trolleywelt scheint zurzeit stabil, es wird Erweiterungen in Zürich und Luzern geben, in Lausanne wird die Konstruktion der M3 zu Aufhebungen führen, wie dies auch mit zwei Linien in Bern, die durch Trams ersetzt wurden, der Fall war. Auch in Nancy (1982-2000) wird die TVR, die die 13-Prozent-Steigung nach Brabois als Trolleybus nimmt, 2022 durch eine Tram ersetzt. Die Aufgabe der Trolleys in Innsbruck (1988/92-2007) längerfristig zugunsten einer Tram ist vielleicht verständlich, das Aufgeben von Lugano und Wellington mit Niederflurtrolleys ist es sicherlich nicht. Die Lijn ersetzte 2009 die Trolleys in Gent, die ab 1988 fuhren, durch Hybridbusse gegen den Willen der Stadt. Große Projekte kamen und starben: Stockholm, Los Angeles (1000 Busse), Amsterdam IJ-Tunnellinien Nord, Leipzig, Besançon (>Tram), Osnabrück (>Batteriebusse) und das BRT-System von Leeds.

Inzwischen hat sich das politische Klima sehr zugunsten elektrisch angetriebener Fahrzeuge in Städten gewendet! Da sollte der Trolleybus seine Rolle spielen können!

Technische Entwicklungen

Fahrleitungen?

Nachdem um 1900 Großstädte wie Berlin (Ende 1908), Brüssel (1942), Bordeaux (1958), London (1952), New York (1948), Paris (1938) und Washington (1963) Teile der Straßenbahnnetze in den Innenstädten ohne Fahrdrähte installierten, blieben die anderen Systeme, mit Ausnahme von Berlin und Brüssel, bis zur Aufhebung erhalten. Ab 2000 gab es eine neue „Anti-Fahrleitungswelle“ beginnend mit Alstom's APS-System in Bordeaux. Sieben Städte haben seitdem neue Tramsysteme mit teil-

Tab. 1: EU-Trolleybus-Systeme [4].

Zahl der Trolleys	
Italien	719
Tschechien	745 (Brünn 140)
Rumänien	729 (Bukarest 396)
Schweiz	566
Bulgarien	516
Litauen	466 (Vilnius 321, Kaunas 145)
Athen	366
Slowakei	320
Ungarn	281
Lettland	264 (Riga)
Polen	198
Frankreich	173
Österreich	142 (Salzburg 122)
Deutschland	71
Arnhem (NL)	40
Portugal	20
Spanien	9
Bergen(N)	6
Landskrona(S)	5
Insgesamt	± 5.600

weisem APS, drei Städte bekamen ein komplett fahrleitungsloses Netz.

Die SL 2 in Nizza erhält das Alstom-SRS-System mit Supercap-Aufladung an den Haltestellen. Das CAF-ACR-System, das ebenfalls Supercaps an den Haltestellen auflädt, wird in vier Stadtzentren verwendet. Auch Bombardier liefert Primo-ve-Systeme mit Batterieaufladung an den Haltestellen, ebenso Hitachi Italia's Tram-wave-System auch nach China und Taiwan.

Die TPG Genf, die ein 30 km langes Trolleybus-System mit 94 Trolleybussen betreibt, beschloss, die Elektrifizierung der OL 23 mit dem ABB-TOSA-Flashladung-Batteriesystem an bestimmten Haltestellen einzuführen. Nantes – eine Stadt, die seit 1985 drei Straßenbahnlinien mit 43,5 km Streckenlänge mit Fahrleitungen in Betrieb nahm und dazu die SNCF-Train-Tram-Linie nach Chateaubriant – entschloss sich, die gasbetriebenen MB-Gelenkbusse der BRT-Linie 4 2019 durch ein TOSA-System mit zwanzig 24,7 x 2,55 m Doppelgelenk-Batteriebusen zu ersetzen. In beide Fällen sind die Fahrzeuge Hess-Batteriebusse, geeignet für Flashladung.

Radnahe Motoren

Das Highlight der Innovation schienen 14 Neoplan-N6020/Magnet-Motor-Gelenktrolleys mit Vierradantrieb und Magnet-Motor-Fliehkraftspeicher für Basel 1994 bis 2008. 2002 folgten 28 N6121-Duobusse ohne Speicher nach Lausanne, die jedoch bereits 2006 durch 22 Neoman-N4522-Gas-Gelenkbusse ersetzt wurden. Iveco/Alstom lieferten von 2000 bis 2010 insgesamt 114 Cristallis ETB 12 mit zwei radnahen Motoren nach Lyon, Limoges, St. Etienne und Castellon (ES) und 55 ETB 18 mit vier Motoren an Lyon (Abb. 1). Dann stoppte Alstom 2011 die Lieferung der radnahen Asynchronmotoren. Das Design war von Lyon geprägt und sollte möglichst keine Ähnlichkeit mit Dieselbussen haben.

Alle andere Drehstrom-Trolleys, die bis 2016 geliefert wurden, hatten klassische Drehstrommotoren und Kardantriebe der ZF AV 131 oder 132 Portalachsen 2 oder 3 oder 2 und 3 und waren, mit Ausnahme der Hess-Produkte, von Diesel-Serienbussen abgeleitet.

Hersteller

MB und MAN stoppten ebenso wie ABB und Siemens um 1994 die Herstellung von Trolleybussen, Volvo 2001. Trolleybusse werden heute im Westen hergestellt von:

Tab. 2: Die Tabelle aus den USA [5] von 1940 unterstreicht, warum Trolleys Straßenbahnen ersetzen und günstiger waren als Benzinbusse, Preise in US-Dollar.

	PCC-car	Trolleybus	Benzinbus (Dieselbus?)
Sitze	54	40	40
Strecke km	16,5	16,5	216,5
Frequenz Min	2,5-5	1,75-4	1,75-4
V Durchsch/km/h	22,4	22,4	20,6
Zahl der Fz	22	31	35
Investition pro Fz in \$	15.000	12.000	11.000
Investition Fz,	330.000	372.000	385.000
Investition Strecke	450.000		
Inv. Fahrleitungen	50.000	45.000	
Inv. Insgesamt	830.000	417.000	385.000
Unterhalt Strecke Cents pro Fz/mile	2,2	0,3	
Unterhalt Fahrzeuge	2,2	2,6	4,4
kWh oder Benzin	4,6	3,1	3,9
Fahrer	7,5	7,4	7,7
Verschiedenes	2,5	2,3	3
Abschreibung Fz	1,8	3	4,7
Abschreibung Strecke	1,8	0,2	
Steuern	0,8	0,5	2,4
Insgesamt ct/mile	23,4	19,9	26,1
Jahreskosten	239.000	224.000	342.000

- Carosserie Hess, (Bellach CH) mit E-Komponenten von ABB und Kiepe, mit Lieferungen nach CH, D, F, NL.
- Van Hool mit Kiepe mit Lieferungen nach CH, D, I und NL.
- Iveco/Skoda mit Lieferungen nach CZ, I.
- Solaris mit Cegelec, Medcom, Skoda und Kiepe mit Westlieferungen an A, CH, D, ES und I.
- Skoda mit SOR in CZ und SK mit den Typen 30 TR und 31 TR, mit Solaris in

CZ, SK, BG, RUM und LV mit den Typen 26 und 27 TR. New Flyer tec. in Kanada und USA und Gillig mit Kiepe Electric.

Neue Techniken

Doppelgelenk-Trolleybus

2003 ergriff Hess zusammen mit der TPG die Initiative, in Genf einen Swisstrolley aus 1994 mit zwei Siemens-Asynchron-

Tab. 3: Kostenvergleich, Preise in CHF.

	Gelenk-dieselbus 17,43 x 2,5 m	Gelenktrolley 17,43 x 2,5 m	Gelenktram 20,5 x 2,2 m
Fahrgastzahl	160	160	160
Investition	630.000	1.000.000	2.700.000
Abschreibung	15 Jahre	20 Jahre	30 Jahre
Abschreibung/J	42.000	50.000	90.000
Unterhaltskosten/km	1	1,10	0,85
Revisionskosten/km	0,4	0,35	0,9
Energiekosten/km	0,38	0,49	0,44
Fahrerkosten/km	4,8	4,8	4,8
Netzkosten/km	0,19	0,69	1,39
Depot-und Garagekosten/km	0,16	0,16	0,31
Netzbelastungen	0,89	2,08	6,91
Gesamt Km-Kosten	7,82	9,67	15,6
Verhältnis	1	1,23	1,99

Foto: Hess

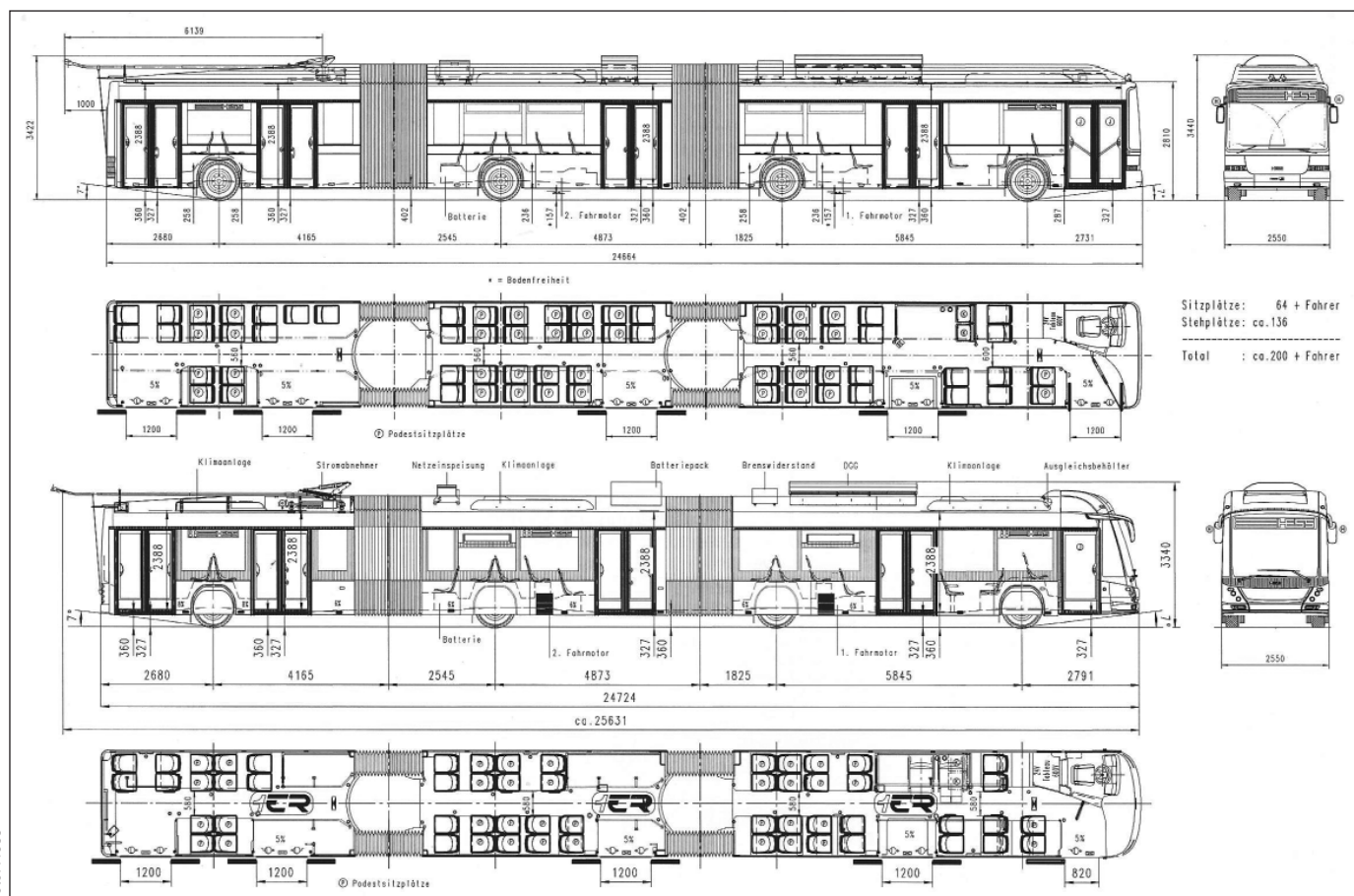


Abb. 2: Zwei Hess/Kiepe, Lightrams' der VBL, Luzern. Die Obere fährt auch in Genf, Zürich und St. Gallen. Die untere Version ist die modernere und wird auch in Bern und Zürich fahren. Die vierte Achse wird gelenkt mit einem Hess-System.

motoren zu einem Doppelgelenk-Trolley (DGTB) umzubauen mit den Maßen 24 x 2,5 m, bei denen die Achsen 1 und 4 gelenkt werden.

Dieses Fahrzeug fuhr Probe in Zürich und Luzern und wurde ein Hit. Es wurden geliefert, jetzt mit den Daten 24,7 x 2,55 m, 2 x 160 kW, nach Genf zehn Exemplare, Zürich 17 + 14, Luzern 21 (Abb. 2, 3), davon 18 mit einer moderneren Formgebung und nach St. Gallen sieben, insgesamt also 69.

Ein Luzerner Fahrzeug fuhr einige Monate in Salzburg, auch wurden in Lyon und Lausanne ausführliche Versuchsfahrten durchgeführt die vermutlich zu Aufträgen führen werden. Alle sind klassische Trolleybusse mit TSA-Asynchronmotoren und einem Kiepe-Wechselrichter pro Motor. Die E-Ausrüstung ist gegenüber der Karosserie zweimal isoliert und die Türleisten nochmals extra als dritte Isolation. Die Isolation ist elektronisch überwacht. Die letzte Version für Luzern weist 56 Sitze auf und ist bei einem ZGG von 39 t für 220 Personen zugelassen. Der Stromverbrauch der Gelenktrolleybusse (GTB) beträgt in Zürich

2,5 kWh/km, für die Doppelgelenk-Trolleybusse (DGTB) 3,5 kWh/km.

Van Hool/Kiepe liefern 20 Exemplare der Exqui.City-Plattform à raison für 1 Mio €/Bus an die Linzer Linien mit den Daten: 23,8 x 2,55 m, 24 t, zGG 36,6 t, 2 x 160 kW TSA-Motoren, 56 Sitze, 127 Stehplätze (Abb. 4, 5). Die Batterie (90 kW, 26 kWh) kann verdoppelt werden.

In der Türkei wurde 2016 in Malatya (460.000 Einwohner) ein 12 km langes BRT-System mit neun Bozankaya/Kiepe und neun Medcom DGTB's in Betrieb genommen, es wird ein Fünf-Minuten-Takt gefahren. Die Stadt Sanliurfa (790.000 Einwohner) folgt mit einer 7 km langen Trolleylinie und zehn DGTB.

Solaris Bus & Coach gab am 24. Januar 2018 bekannt, dass noch in diesem Jahr ein DGTB (Abb. 6) fertiggestellt wird und in Europa demonstriert werden soll. Auch hier sind die Achsen 2 und 3 von vierpoligen 160-kW-TSA-Motoren angetrieben, Cegelec liefert die Traktionsausrüstung und eine 54 kWh, 100 kW-Batterie sorgt für Hilfsleistung.

Hilfsbatterien

Die Hess-SwissTrolleys waren anfänglich mit 50 beziehungsweise 100 kW starken Still-Diesel-Hilfsaggregaten ausgestattet, was jedoch mit der Einführung von Euro-V- und -VI-Standards immer schwieriger wurde, und demzufolge ging man dazu über, Batterien einzubauen. Die VBZ, Zürich, beschloss, ihre 18 DGTB und 17 GTB von Hess aus 2003 auf Hilfsbatteriebetrieb umrüsten zu lassen und die letzten 18 Luzerner DGTB und 35 Trolleys der VBZ waren bereits ab Werk mit Batterien ausgestattet ebenso wie die VBZ-Trolleys aus 2013. Tabelle 4 zeigt das Resultat.

In Zürich hofft man, dass sich die ansehnlichen Kosten des Hess-Umbaus von rund 700.000 CHF rentieren, indem man beim Umbau vom Albisriederplatz und später des Bucheggplatzes wesentliche Investitionen in Fahrleitungen, Luftweichen und Kreuzungen spart. Die Linien 33 und 72 drahten Richtung Albisriederplatz am Hardplatz ab (Abb. 7) und 400 m später am Albisriederplatz (Abb. 8) wieder an. In Richtung Hardbrücke geschieht dasselbe. Der Albisrie-



Foto: Hess

Abb. 3: Doppelgelenk-Trolleybus von Hess/Kiepe in Luzern auf der Schnellbuslinie 1, die nach Ebikon verlängert wird.



Foto: Hess

Abb. 4: Doppelgelenker von Van Hool/Kiepe in Linz. Sie sind abgeleitet aus der Exqui.City-Plattform.

derplatz wurde rekonstruiert und kann mit einem reinen Trolleybus nicht mehr befahren werden. Es gibt dort keine Kreuzungen von Straßenbahn- und Trolleybusfahrleitungen mehr. Das Ab- und Andrahten erfordert wenig Zeit und funktioniert reibungslos. Automatisieren muss man das nicht. In Zürich wird die Leistung der Trolleys wirklich ausgenutzt, und hier merkt man eine entscheidende Verminderung der Beschleunigung und der Geschwindigkeit. Bei längeren Fahrten bei Bauarbeiten merkt man, dass man, um Strom zu sparen, die Klimaanlage abstellt, was bei hohen Außentemperaturen zu stickiger Luft und beschlagenen Fensterscheiben führt. Auch die 93 einmotorigen New-Flyer-Kiepe-Gelenktrolleys (Abb. 9) mit 240-kW-Skoda-Motoren, die nach San Francisco geliefert werden, haben 26,5-kWh-Lithium-Eisen-Phosphat(LFP)-Notfahrbatterien mit einer Leistung von 130 kW.

Dynamic Charging oder In-Motion-Charging

Man kann die Batterieleistung (kW) vergrößern, und bekommt dann ein Fahrzeug, das betreffend Beschleunigung und Fahrverhalten im Batteriebetrieb mit dem Trolleybus unter Fahrdraht gleichzieht, allerdings nur im Rahmen, den die Kapazität der Batterie (kWh) erlaubt. Kiepe nennt das Trolley-Hybrid und In Motion Charging®, die Batterie wird unter dem Fahrdraht mit 150 kW geladen, im Stillstand mit 50 kW.

Die SVE, Esslingen, mit einem Trolleybusbetrieb von 15,2 km Länge hat dazu vier Solaris-Trollino 18/Kiepe Batterie-Trolleys (Abb. 10, 11) gekauft [12, 13]. Das Fahrzeug ist eine verlängerte Ausführung der zuletzt

bestellten Metrostyle-Busse 345–370 der Stadtwerke Salzburg (Abb. 12), aber jetzt mit zwei Elektromotoren. 46-kWh-Lithium-Titan-Oxyd-Batterien (37 kWh nutzbar) können während 60 Sekunden 240 kW liefern und weisen eine Dauerleistung von 150 kW auf. Der Beschaffungspreis einer Miniserie von vier Stück betrug 1 Mio Euro pro Fahrzeug im Vergleich zu etwa 770.000 Euro in Salzburg bei Beschaffung von 26 einmotorigen-Exemplaren. Dies war auch der Preis der 33 zweimotorigen Van Hool Exqui.City in Genf (Abb. 13).

Wie bei allen bisherigen Trolleybussen ist die auf 1500 V DC isolierte E-Ausrüstung doppelt ausgeführt. Und zwar ist der Dachcontainer doppelwandig gegenüber dem Dach und die dort montierten Apparate sind gegenüber dem Container isoliert. Die Traktionsmotoren sind isoliert am Fahrzeugrahmen befestigt und haben Isolierscheiben zwischen Motor und Kardanwelle.

Die Klimabeherrschung erfolgt über zwei 25-kW-Konvekta-Geräte. Die 40-kW-Heizung findet dabei über einen Heizwasserspeicher statt. Die OL 118 führt vom ZOB den Zollberg hoch und bedient einmal stündlich linksrum fahrend als Trolley das Zollbergplateau, und um eine halbe Stunde verschoben, wird am Zollberg aus- und auf dem Rückweg eingedrahtet und die Strecke auf dem Plateau rechtsrum drehend im Batteriebetrieb befahren.

Im ZOB Esslingen gibt es jeweils fünf Minuten Pause, ein Fahrzeug genügt. Eine neue OL 113 fährt ebenfalls vom ZOB den Zollberg hoch, drahtet an der Nutzenreisstraße aus und fährt dann als Batteriebus durch Berkheim und über die Adenauerbrücke wieder zum ZOB, wobei beim Schwimmbad auf der OL 101 eingedrahtet wird. Es werden 8,2 km extra in einer Richtung befahren wofür eine Investition von 270.000 Euro an Projektkosten und 170.000 Euro in



Foto: H. Hondius

Abb. 5: Van Hool DGTB für Linz, Blick von derTüre 2 nach hinten. Die Achsen 2 und 3 sind angetrieben, 1 und 4 gelenkt.

Foto: Solaris



Abb. 6: Solaris wird dieses Jahr seinen neuen Solaris Trollino 24 präsentieren.

Foto: H. Hondius



Abb. 7: Gelenk-Trolley 175 der Verkehrsbetriebe Zürich. Der Bus drahtet am Hardplatz ab und fährt als Batteriebus bis zum Albisriederplatz.

die Fahrleitungen erforderlich war. Bei einer Demonstrationsfahrt beschleunigte der Bus und nahm den Zollberg im Batteriebetrieb wie ein Trolleybus. Auch auf dem Plateau wird 60 km/h flott erreicht. Die Fahreigenschaften sind gut, die Antriebe leider relativ laut. Die SVE gaben an, einen Winterstromverbrauch von 2,6 kWh/km dem städtischen Versorgungsnetz entnommen zu haben. Sie beabsichtigen, ihre Fahrleitungen für 3,6 Mio Euro um 3,6 km zu erweitern, um dann mit 16 bis 17 Batterie-Trolleys große Teile des heutigen Dieselbusnetzes elektrisch zu befahren. Heute sind sechs bestellt.

Eine kleine Delegation von Fachleuten fuhr mit einem SVE-Trolley von Oosterbeek

(NL), Ende der Arnheimer Trolleylinie 1, im Batteriebetrieb 2 x 12,5 km hin und zurück nach Wageningen. Arnheim hat Interesse, die Trolleybusse der OL 3 von Het Duifje nach Huissen ohne Fahrdrähte weiterfahren zu lassen. In zwei Hess/Kiepe-Swiss-trolleys 4 mit 240 kW TSA -Antrieb der Achse 3 wird der Dieselmotorhilfsantrieb durch eine wassergekühlte 160 kW-/30 kWh-Batterie ersetzt, die während der Fahrt unter der Fahrleitung mit 150 kW nachgeladen werden kann.

Solingen hat ähnliche Vorhaben und dazu für 900.000 Euro/Bus vier vergleichbare Trollinos 18 bei Solaris/Kiepe bestellt. Sie sollen auf der OL 695 Meigen-Gräfrath zum Einsatz kommen, die auf dem Abschnitt Unionstraße-Bahnhof Mitte unter Fahrdrabt verläuft. Die Energiespeicher sind wassergekühlte LTO-Batterien mit 41,6 kWh nutzbarer Energie für eine Dauer-Entladeleistung von 200 kW und bis zu 320 kW Spitzenleistung. Bei einer 11 km langen Buslinie mit zirka 2 km Fahrleitung wird mit 200 kW im Fahren, parallel zur Versorgung von den 2 x 160 kW Motoren und der Heizung/Klimaanlage, geladen. An der Endhaltestelle Abteiweg in Gräfrath wird eine 200 kW-Ladestation mittels Fahrleitungs-Trichtern aufgestellt. Inzwischen sind die Stromabnehmerköpfe modifiziert und kann mit 200 kW stationär geladen

Tab. 4: Überblick über aktuell gelieferte Gelenk- und Doppelgelenk-Trolleybusse.

Lieferant	Wagen-nummer	L x B m	Leergew. t	ZGG t	Leistung kW	Hilfsbatterie kW/kWh	Sitz+ Stehpl4/m ²
Solaris.Cegelec	BBG 063(2012)	18x2,55	18,225	28	1x250	120/42	41+98z
Hess/Kiepe	VBZ 144-161(2007)	18,7x2,55	19,5	30	2x160	120/35	45 + 70
Hess/Kiepe	VBZ 162-182(2013)	Idem	19,6	30	2x120	61/51	44 + 70
Van Hool/Kiepe	TPG 1601-33 (2014)	18,61x2,55	20,2	30	2x120	85/32,5	41 + 88
Solaris/Gegelec	SLB 333-444 (2016)	18x2,55	18,2	28	1x240	50/35,1	35 + 69
Solaris/Kiepe	SVE 501-04 (2016)	18,75x2,55	20,5	28	2x160	IMC 150 /46	44 + 68
Hess SwissTrolley Plus	VBZ 183 (2016)	18,74x2,55	±18,6	30	2x152PMS	DC 240/60	42 +101(z)
Hess/Kiepe	VBZ 61-77 (2007)	24,7x2,55	24	38,1	2x160	120/35	60 + 96
Hess/Kiepe	VBZ 78-91 (2013)	Idem	24	38,1	2x160	75/64	60 + 96
Hess/Kiepe	VBL 234-242 (2014)	Idem	24	39	2x160	90/26	56 + 108
VanHool/Kiepe	LinzAG 221-240 (2017-19)	23,82x2,55	24,1	36,5	2x160	90/26*	56 +127(z)

(DC Dynamic Charging. IMC: In Motion Charging. z: zugelassene Zahl. *Alles ist vorbereitet für eine Verdoppelung. BBG: Eberswalde, VBZ: Zürich, VBL: Luzern, TPG: Gent, SLB: Salzburg, SVE: Esslingen)



Foto: H. Hondius

Abb. 8: Anschließend drahtet der Bus am Albisriederplatz wieder ein und fährt weiter als Trolley.



Foto: Kiepe Electric

Abb. 9: New Flyer/Kiepe-Gelenktrolley in San Francisco mit Batteriehilfsantrieb und Skoda-Motoren.

werden. Es bestehen Pläne, das 50 km lange 600-V-DC-Trolleynetz als Gleichstromnetz in der lokalen Stromverteilung [14] eine Rolle spielen zu lassen (Solarpaneele produzieren auch Gleichstrom)

In Prag werden Versuche auf einer Teilstrecke mit einem 12-m-SOR-NS12/Rail-electronics-Batteriebus auf einer 1 km langen Teilstrecke in der Prosecká-Straße unternommen, um das In-Motion-Charging bergauf fahrend zu erproben.

Auch die Trolleylinie 23 in St. Petersburg [15] ist mit 15 12-m-Trolza-Megapolis-Trolleybussen, die Toshiba-Batterien aufweisen, bestückt. Die 14 km lange Linie wurde

im östlichen Teil um 7 km ohne Fahrleitungen erweitert.

Seit September 2017 fahren zehn chinesische Dongfeng-Yangtse-Solowagen auf einer neuen 10 km langen BRT-Trolleybuslinie in Marrakesch [16], die größtenteils entlang der Avenu Hassan II verläuft und Guelz und Massira miteinander verbindet. Nur etwa 3 km der Strecke sind elektrifiziert, dort werden die Traktionsbatterien der Busse unter Fahrleitung aufgeladen, um die Fahrt ohne Oberleitung fortzusetzen. Weitere drei Linien sind geplant, alle ebenso nach BRT-Standard mit einem hohen Anteil an Eigentrasse. Die nächste Linie soll 2019 eröffnet werden, weitere 15

Hybrid-Trolleybusse in Gelenkausführung sind geordert.

SwissTrolley plus

Das mittelständische Unternehmen Hess, Bellach (CH), erkannte, dass es, wenn es als Generalunternehmer auftreten will, über eigene elektronische Kenntnisse verfügen muss und hat sich personalmäßig und in enger Zusammenarbeit mit der Schweizer Industrie entsprechend aufgestellt. Der „SwissTrolley plus“ von Hess ist ein vom Schweizer Bundesamt für Energie (BFE) unterstütztes „Leuchtturmprojekt“ für die Realisierung eines reinen Elektromobilitätsfahrzeugs aus Schweizer Produktion.



Foto: H. Hondius

Abb. 10: Solaris Trollino 18 Metro Style/Kiepe Trolley-Batteriebus der SVE in Esslingen.



Foto: H. Hondius

Abb. 11: Solaris Trollino der SVE mit erhöhter Plattform zur Unterbringung der Batterien.

Foto: H. Hondius



Abb. 12: Solaris Trollino Metro Style/ Cegelec für Salzburg in Ostrava bei Ekova für Montage und Tests.

Foto: Van Hool



Abb. 13: Einer der 33 Van Hool/KiepeExqui. City's in Genf.

Die VBZ unterstützen dieses Vorhaben im Rahmen ihres e-Bus-Plans, der folgende Schritte umfasst: Flexibilisierter Trolleybus light – fahrleitungsloses Fahren auf kurzen Teilstrecken – Elektrifizierung. Sie ist in Planung für die OL 69 Hönggerberg–Milchbuck (4.2 km) und die OL 80 Bahnhof Oerlikon–Triemlispital (11.8 km).

Der SwissTrolley plus (Abb. 14) ist etwa eine Tonne leichter als sein Vorgänger Swisstrolley 4, was teils der leichteren mechanischen Konstruktion, teils der Verwendung von ABB-PMS-Motoren, teils der leichteren

Heizung und Lüftungsanlagen zu verdanken ist. So wird zum Beispiel Strahlungsheizung verwendet. Markant ist die galvanische Trennung von Fahrleitungsnetz nach dem Lekov-Stangenstromabnehmer und Hauptschalter und dem batteriegespeisten-Antriebsystem des Fahrzeugs durch einen Stadler-DC/DC-Wandler. Damit ist die Frage der doppelten Isolation eliminiert.

Die Traktionssteuerung stammt von Hess, Actia liefert das LFP-Batteriepackage und Batteriemanagementsystem. Die Traktionswechselrichter und PMS-Motoren wur-

den bei ABB gekauft. Die notwendige LTO-Hochleistungsbatterie von 60 kWh ist so konzipiert, dass zusätzlich zum Fahren im Batteriemodus die Stromspitzen der Fahrleitung abgeflacht werden. Die Batterien werden während der Fahrt mit 11 bis 22 kW aus dem Netz und mit Bremsstrom aufgeladen. Man sollte bis zu 10 km mit ihr fahrdradtlos fahren können. **Der Trolleybus wird zum Batteriebus mit permanenter Ladung aus Fahrleitungen.**

Der «SwissTrolley plus» benötigt ausgeklügelte Steuer- und Regelalgorithmen (Abb. 15), um den Batterieladestand vorausschauend und energieeffizient planen und steuern zu können. Die ETHZ lieferte das nötige Know-how in der Regelungstechnik, um Batteriefahrzeuge zuverlässig und mit minimalem Energiebedarf über die Strecke zu leiten. Das Institut für Dynamische Systeme und Regelungstechnik der ETH Zürich entwickelte ein selbstlernendes Energiemanagement, welches Reichweite, Energieeffizienz, Batteriebensdauer, Energiebedarf der Nebenverbraucher unter Berücksichtigung von positionsabhängigen Streckeninformationen gleichzeitig optimiert. Durch all diese Maßnahmen sollte der Trolley-Batteriebus 15 Prozent weniger Strom verbrauchen.

Es sollen 17 solcher Trolleys beschafft werden sowie drei in Doppelgelenkausführung. Während einer längeren Testfahrt konnte kein Unterschied in der Beschleunigung und maximalen Geschwindigkeit zwischen beiden Fahrmodi festgestellt werden. Die Fahreigenschaften waren gut, kein Motorischen und das Geräuschniveau innen war sehr niedrig; ein echter Fortschritt im Vergleich zum SwissTrolley 3 und 4. Die Berner und Biel-Verkehrsbetriebe erhalten 17 + 10 vergleichbare Swisstrolleys und Bern sieben DGTB nach diesem Muster. Insgesamt wurden mehr als 300 Swisstrolley GTB und 76 DGTB bestellt.

Die neue ZF-AV-133-Achse

Trolleybusse sind mit den AV 131 und AV 132 selten innen leiser geworden als Dieselsebusse. Im Kardantrieb wurden Elektrik und Mechanik verbunden und diese Verbindung schien oft verwaist. Das Achsgetriebe hörte sich oft an wie ein altes Tramgetriebe, Kardanwellen waren nicht balanciert. Die AV133-Achse scheint nun die Möglichkeit zu bieten, diesen Zustand essentiell zu verbessern. Sowohl der Swisstrolley Plus als der Van HoolExqui. City waren (neu) innen wirklich leise.

Foto: H. Hondius



Abb. 14: Hess Swiss Trolley Plus vor dem Triemli-Spital am Fuß des Uetlibergs. Weit und breit ist keine Trolleyfahrleitung zu sehen.

Fazit

- Zurzeit gibt es in der EU etwa 5600 Trolleybusse und etwa 600 Elektrobusse.
- Erstaunlich: Nach Kenntnisstand des Autors ist ein neues Trolleybusssystem in der EU in Planung (Verona). Sollte man bei der Elektrifizierung des ÖPNV den Trolleybus als Alternative nicht immer untersuchen?
- Dabei haben die Studie [11] und eine interne Studie der VBZ, Zürich, aus 2016 gezeigt, dass der Trolleybus den wirtschaftlichen Vergleich mit dem Batteriebus nicht scheuen muss.
- Aus den ursprünglichen Hilfsantrieben sind voll taugliche Hybrid-Lösungen entstanden, die fahrplanmäßig befahrene Strecken ohne Fahrleitung ermöglichen. Hier kann man von den Technologie-Erfahrungen der Batteriebusse profitieren. Die Batterien können sowohl während der Fahrt als auch statisch an einem Punkt geladen werden.
- Die Hybrid-Technologie ermöglicht den abschnittswise Verzicht auf Weichen und Kreuzungen (etwa in städtebaulich heiklen Zonen). Dies bringt Kosteneinsparungen und reduziert die optische Belästigung empfindlicher Politiker. In Betriebshöfen kann man Fahrleitungen sparen. Das gibt völlig neue Planungsgrundlagen (siehe Esslingen, Solingen und Zürich).
- Der Doppelgelenk-Trolleybus ist ein sehr beschleunigungsstarkes Fahrzeug mit großer Kapazität.
- In seiner letzten SwissTrolley-Ausführung ist der Trolleybus ein Batteriebus mit permanenter Aufladung.
- Eine 15 km lange Trolleybuslinie mit DC oder IMC vom Außenviertel durch die Innenstadt bis zum anderen Außenviertel, verteilt in 5 km mit Fahrleitung, 5 km ohne Fahrleitung in der Innenstadt und wiederum 5 km mit Fahrlei-

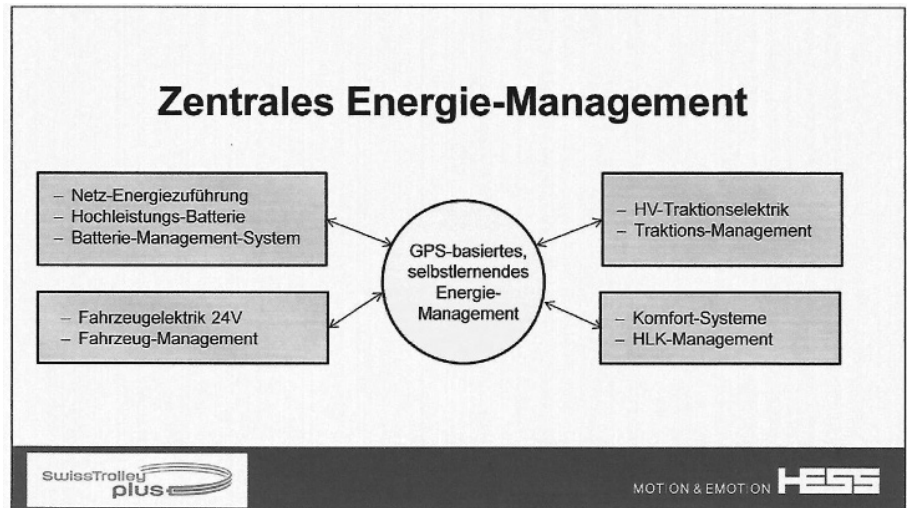


Abb. 15: Prinzip des zentralen Managements von SwissTrolley Plus.

tung, sollte an Infrastruktur nicht mehr als 15 Mio Euro erfordern. Dazu kämen 15 Mio Euro für 15 Doppelgelenk-Trolleybusse. Insgesamt 30 Mio Euro für 15 km Linienlänge oder 2 Mio Euro/km. Dafür hat man eine „gummibereifte Stadtbahn“ mit einer Lebensdauer von mindestens 15 Jahren. Das kostengünstigste neue Tramsystem etwaiger gleicher Kapazität (12,5 km) in Besançon mit 19

CAF 23 x 2,4 m Trams kostete 20 Mio Euro/km.

- Der Autor rät allen Verkehrsunternehmen, die Trolleybusse betreiben, zu einer sorgfältigen Pflege der Anlagen und Fahrzeuge sowie zur Untersuchung, welche Möglichkeiten es gibt, mit Direct Charging oder In Motion Charging Linien ohne Investitionen in Fahrleitungen zu verlängern.

Literatur/Anmerkungen

- | | |
|--|--|
| [1] Daten von Trolleyemotion. www.trolleyemotion.eu | [10] Erik Lenz: Elektrobus mit IMC® von Kiepe Elektrik. V+T 8+9/2017. |
| [2] Joh R Day: London's trams and trolleybuses. London Transport 1977. | [11] Ralph Pütz: Potentiale des Oberleitungsbusses zur breiteren Einführung der Elektromobilität im ÖPNV mit Linienbussen. Ökonomische Analyse unter LCC-Aspekten. Trolleyemotion, Berlin 2016. |
| [3] Werner Stock: Obus-Anlagen in Deutschland. 1987. | [12] Berndt: Vortrag: Umsetzung des Konzepts Batteriebus mit In-Motion-Charging (IMC) Elektrohybridbus Esslingen, 08.02.2017 |
| [4] Georges Muller: 1900-2016: Trolleybus français en France et dans le monde, 2016. | [13] H.Boog: Vortrag Fachtag Elektrohybridbus Esslingen, 08.02.17 |
| [5] Erwin E. Dreese: Electric Transportation, International Textbook Cy, 1940. | [14] Matthias Lenz: Die Herausforderung der Energiewende aus Sicht eines Verteilnetzbetreibers. Dezentrale sektorenübergreifende Flexibilitätsoption am Beispiel Solingen. ETG-Tagung FFM 2012/7 |
| [6] Leif Stolt: Trådbussen i Sverige Del I und II 2002. | [15] Metro Report 19.12.17 |
| [7] J.G. Godeaux et al: Liège au fils des trolleybus, GTF, 2001. | [16] Mitteilung Trolleyemotion, Citynews |
| [8] Peter Kamm: Der Trolleybus in Zürich, 2006. | |
| [9] Adolf Müller-Hellmann: Überlegungen zu Batteriebus-Systemen. Vor- und Nachteile verschiedener Ladesysteme, Elektrobusse 2017, Sonderheft DER NAHVERKEHR, S. 11–15. | |

Zusammenfassung/Summary

E-Mobilität: Welche Rolle kann der Trolleybus spielen?

Der Trolleybus sollte bei der Elektrifikation von Dieselbuslinien eine Chance bekommen. Er kann, mit leistungsfähigen Batterien ausgestattet, bestimmte Strecken ohne Fahrdrat befahren und die Batterien dann wieder unter Fahrdrat fahrend, aufladen. In Innenstädten würden sich dabei Investitionen in Fahrleitungen erübrigen. Die zweimotorigen Doppelgelenk-Trolleybusse können für eine relativ bescheidene Investition einen elektrischen BRT (Bus Rapid Transit), eine Stadtbahn auf Gummireifen formen, und dabei, vor allem in hügeligem Gelände, bemerkenswerte Fahrleistungen aufweisen. Es wäre zu wünschen, dass man bei der Projektierung von E-Buslinien dem Trolleybus als Alternative eine objektive Chance bietet. Esslingen, Solingen und Zürich sind hier richtungsweisend und Linz wird folgen. Auch Castellon (ES) und Malataya sind interessante Beispiele.

E-Mobility: How important can the trolleybus become?

The trolleybus should at the electrification of diesel bus lines get a fair chance. The trolleybus can, if equipped with powerful batteries, serve certain parts of the line that are catenary free, to recharge the batteries on following stretches equipped with overhead wires. Sensitive areas in town can so remain catenary free. The double articulated trolleybuses, 24,7 x 2,55 m, with axles 2 and 3 driven, can for a relatively modest sum be part of a electrified Bus Rapid Transit system, offering a "tram on rubber tires". Certainly, in hilly terrain these vehicles can demonstrate their superb acceleration and speed qualities. The author expresses the hope, that when projecting electrified bus lines, the trolleybus will be given an objective competitive chance. Esslingen, Solingen and Zürich, Castellon and Malataya are interesting examples, Linz might follow.